

Научная статья

УДК [551.463.6:574.58]/(265.54)

DOI: 10.26428/1606-9919-2023-203-639-649

EDN: EMXLXK



**РАННЕВЕСЕННОЕ ОПРОБОВАНИЕ КАЧЕСТВА СРЕДЫ
БУХТЫ НОВИК (О. РУССКИЙ, ЗАЛ. ПЕТРА ВЕЛИКОГО,
ЯПОНСКОЕ МОРЕ) В АПРЕЛЕ 2023 Г.**

Н.К. Христофорова^{1,2}, А.Ю. Лазарюк³, Т.В. Бойченко¹, А.А. Емельянов^{4*}

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, 41;

⁴ Национальный научный центр морской биологии им. А.В. Жирмунского ДВО РАН,
690041, г. Владивосток, ул. Пальчевского, 17

Аннотация. Исследовано содержание и распределение гидролого-экологических показателей и индикаторных групп микроорганизмов в ранневесенний период в бухте Новик, расположенной на о. Русском в зал. Петра Великого Японского моря. Установлено, что к моменту наблюдений в бухте сформировалась устойчивая плотностная стратификация. Температура находилась в диапазоне от 2,3 °С у дна до 10,0 °С на поверхности, соленость варьировала в этих слоях от 33,6 до 31,1 епс. Хотя продукционные процессы находились в начале развития, о чём свидетельствовали относительно низкие концентрации хлорофилла *a* и кислорода в поверхностном слое, эти показатели были выше в придонных слоях, что, вероятно, является результатом деятельности диатомовых водорослей. Среди групп металл-резистентных микроорганизмов выделялись численностью и распространением никель-устойчивые бактерии, что обусловлено сжиганием углеводородного топлива. Это подтверждает и повсеместное распространение нефтеокисляющих микроорганизмов. Отмеченная низкая численность колониеобразующих гетеротрофных микроорганизмов (сапрофитов) указывает на относительную чистоту вод бухты в этот период.

Ключевые слова: гидролого-гидробиологическое профилирование, микробная индикация, бухта Новик, залив Петра Великого, Японское море

Для цитирования: Христофорова Н.К., Лазарюк А.Ю., Бойченко Т.В., Емельянов А.А. Ранневесеннее опробование качества среды бухты Новик (о. Русский, зал. Петра

* 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; 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.

Original article

**Early spring testing of environments quality in the Novik Bay
(Russky Island, Peter the Great Bay, Japan Sea) in April, 2023**

Nadezhda K. Khristoforova*, Alexander Yu. Lazaryuk,
Tatiana V. Boychenko***, Alexander A. Emelyanov******

* Far Eastern Federal University, Ajax Bay, 10, Vladivostok, 690922, Russia; Pacific Institute of Geography, Far Eastern Branch, Russian Ac. Sci., 7, Radio Str., Vladivostok, 690041, Russia

** Il'ichev Pacific Oceanological Institute, Far Eastern Branch, Russian Ac. Sci., 43, Baltiyskaya Str., Vladivostok, 690041, Russia

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

**** Institute of Marine Biology, National Scientific Centre of Marine Biology. Far Eastern Branch. Russian Ac. Sci., 17, Palchevskogo 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, boychenko.tv@dvfu.ru, ORCID 0000-0002-1338-9479

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

Abstract. Oceanographic and ecological properties were measured in the Novik Bay of Russky Island (Japan Sea) in early spring (April) of 2023, the indicating groups of microorganisms were examined. Good ecological state of the bay waters was detected. Stable density stratification was already formed, with the water temperature range from 2.3°C at the bottom to 10.0°C on the sea surface and salinity from 33.6 to 31.1, respectively. Dissolved oxygen content was high in the bottom layer (9.6–10.8 mg/L). In the surface layer, the oxygen content was lower, as well as chlorophyll *a* concentration. Abundance of the colony-forming heterotrophic microorganisms was rather low, so the waters of the bay were characterized as oligosaprobic and pure that indicated accumulation of easily accessible organic matter (accumulation predominated over destruction), apparently due to development of production processes. Some exceptions with zero balance between the production and destruction were found in the Trud Inlet, in the inlet of Sports Club, and at Podnozhye village. Bacteria of the sanitary-indicative group were recorded in small quantities at two stations where they indicated biological and fecal pollution of the water. Microorganisms growing on media with crude oil were observed everywhere, although their number was not high, so the waters of the Novik Bay were identified as low-polluted, in general. However, high abundance of phenol-resistant microorganisms at most of the stations was a signal of significant pollution by phenols, that could have both natural and anthropogenic sources. Metal-resistant microorganisms were not abundant in the surface layer that showed the minimal level of technogenic pressure. Their dominant group was Ni-resistant heterotrophs associated with combustion of hydrocarbon fuel.

Key words: hydrological and hydrobiological profiling, microbial indication, Novik Bay, Peter the Great Bay, Japan Sea

For citation: Khristoforova N.K., Lazaryuk A.Yu., Boychenko T.V., Emelyanov A.A. Early spring testing of environments quality in the Novik Bay (Russky Island, Peter the Great Bay, Japan Sea) in April, 2023, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2023, vol. 203, no. 3, pp. 639–649. (In Russ.). DOI: 10.26428/1606-9919-2023-203-639-649. EDN: EMXLXK.

Введение

Бухта Новик, одна из самых крупных внутренних островных бухт зал. Петра Великого, с 1935 до 1993 г. служила местом базирования Тихоокеанского флота и была закрыта для изучения. В начале 1990-х гг. в связи с предположением об использовании ее под марикультуру были проведены эколого-биологические исследования, показавшие, что долгая эксплуатация акватории ВМФ не ухудшила её состояние [Христофорова и др., 2018]. Однако с того обследования к настоящему времени как на о. Русском, так и в бухте произошли большие перемены. На острове, соединенном с г. Владивосток

вантовым мостом, вырос кампус Дальневосточного федерального университета, построен третий по величине в мире океанариум, создан крупный медицинский центр, продолжается интенсивное строительство. После открытия острова для свободного посещения (2010 г.) началось его активное изучение, а бухта Новик стала популярным местом отдыха, что привело к развитию массовых видов водного спорта. В зимнее время бухта, более четырех месяцев находящаяся подо льдом, активно используется рыбаками-любителями для подледного лова рыбы.

Перемены в развитии острова продолжаются. В текущем году вступит в строй выросший рядом с кампусом ДВФУ спортивно-культурный комплекс, не уступающий университету по масштабам. С его пуском значительно возрастут объемы сточных вод, пропускаемых через очистную станцию (КОС) «Лесная», и, соответственно, увеличится поступление пусть и очищенных, но пресных вод в бухту Новик. Следовательно, мы можем потерять этот уникальный морской объект, превратив его в сильно опресненный водоем — накопитель сточных вод от канализационных очистных сооружений. Такая перспектива вызывает большую озабоченность у ученых, краевых и городских властей, жителей города. В связи с этим интенсивно обсуждается недопустимость потери морской бухты и перенос сброса сточных вод в Уссурийский залив в район мыса Вятлина в виде глубоководного выпуска. Поэтому состояние бухты необходимо держать под постоянным экологическим контролем.

Мы уже не раз проводили обследование бухты, изучая ее и в то время, когда режим очистки стоков на КОС «Лесная» был еще не отработан и в бухту стекала мутная пузырящаяся вода, а поверхностные воды акватории были обильно заселены бактериями группы кишечной палочки, и ее главный индикатор *Escherichia coli* выявлялся повсеместно [Христофорова и др., 2017], и тогда, когда технология очистки стоков была уже отработана и сточные воды стали светлыми, а *E.coli* не обнаруживалась или встречалась единично и была ниже ПДК [Бойченко и др., 2019]. Но, кроме канализованного стока, имеются неконтролируемые источники загрязнения и нарастающий пресс рекреантов.

Тихая и спокойная бухта Новик замерзает обычно к середине декабря, освобождаясь ото льда в начале апреля. В этот период её воды, как правило, холоднее и солонее, чем в прилегающем Амурском заливе, вследствие мелководности, близости берега и выделяющегося при льдообразовании рассола. В результате во время ледостава благодаря пространственному плотностному градиенту формируется поток высокосолёных вод в придонном слое, направленный на север к выходу из бухты [Лазарюк и др., 2021]. Этот поток способствует процессу самоочищения акватории, что подтверждалось данными химико-экологических исследований [Христофорова и др., 2016]. Поэтому для оценки экологического состояния бухты Новик после ее освобождения ото льда важно было провести наблюдение как можно раньше, пока воды еще прозрачны, биологическая жизнь еще не вспыхнула со всей силой, а рекреанты еще не появились.

Цель работы — проанализировать современное состояние бухты в ранневесеннее время, используя гидролого-гидробиологическое профилирование и микробную индикацию с широким набором тест-групп микроорганизмов на контаминацию среды.

Материалы и методы

Узкая и длинная бухта Новик глубоко вдается в о. Русский, протягиваясь с северо-запада на юго-восток на 13 км (рис. 1). Ширина бухты на входе (между мысами Елагина и Старицкого) — 1,5 км. Искусственно прорытым каналом она соединяется с прол. Босфор Восточный, отделяющим остров от города. Является закрытой бухтой, морская вода заходит в неё с северо-запада из Амурского залива. Её входная более широкая часть довольно глубоководная (18–23 м), а к вершине бухта становится заметно уже (до 500 м и менее) и мелководнее, мелея до 1,0–0,5 м.

Ранневесенние гидролого-экологические наблюдения в бухте Новик выполнены 28 апреля 2023 г. Они включали профилирование толщи воды СТД-зондом (32 станции) и отбор проб поверхностной воды на микробную индикацию (12 станций). Станции профилирования располагались на осевом и трёх поперечных разрезах. Гидрологические параметры измерялись автономным профилографом ASTD102 (JFE Advantech Co. Ltd., Япония) с частотой 10 Гц, которая позволяет с оптимальным разрешением 0,5 м определять контролируемые показатели: температуру, давление, электропроводность (солёность), флюоресценцию хлорофилла *a*, мутность и концентрацию растворённого кислорода. Метрологические характеристики зонда ASTD102, заявленные изготовителем, представлены в табл. 1.

Таблица 1

Метрологические характеристики автономного профилографа ASTD102
(JFE Advantech Co. Ltd., Япония)

Table 1

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

Параметр	Диапазон	Точность	Разрешение	Инерционность, с
Температура, °C	–5...+40	0,01	0,001	0,2
Электропровод., мСм/см	0–65	0,01	0,001	0,2
Давление, дбар	0–1000	0,3	0,020	0,2
Мутность, FTU	0–1000	2 %	0,030	0,2
Кислород, мг/л	0–20	0,4	0,001	1,0
Хлорофилл, мг/м ³	0–400	1 %	0,010	0,2

Пробы воды на микробиологический анализ отобраны в соответствии с требованиями микробной индикации. Пробы отбирали из подповерхностного слоя в стерильные пластиковые ёмкости, которые транспортировали в лабораторию, согласно ГОСТ 31861–12. Их анализ выполняли в день отбора в трех повторностях с соблюдением сроков хранения проб по ГОСТ 31942–12 и ГОСТ 31861–12. Карта-схема расположения станций отбора проб в бухте Новик представлена на рис. 1.

Численность колониеобразующих форм гетеротрофных микроорганизмов (КГМ) в 1 мл воды определяли с использованием метода десятикратных разведений и последующего высева аликвоты в трёх повторностях на питательную среду для морских микроорганизмов (СММ) с добавлением 1,5 % агара [Yoshimizu, Kimura, 1976; Наливайко, 2006]. Количество олиготрофов в 1 мл воды находили тем же методом на твёрдой модифицированной для морских микроорганизмов среде Миллса [Ильинский и др., 2010]. Нефтеустойчивые (Н) и фенолустойчивые (Ф) микроорганизмы определяли на голодной среде, куда добавляли нефть или фенол в конечной концентрации 0,1 % как единственный источник углерода для развития бактерий. Количество металл-резистентных (МР) форм в сообществе гетеротрофных культивируемых микроорганизмов (МО) выявляли, используя селективные среды, приготовленные на основе среды СММ с добавками солей металлов в концентрациях, ингибирующих рост чувствительных форм бактерий [Руководство..., 1980]. В качестве добавок использовали хлориды металлов — Zn, Cu, Cd, Ni, Pb [Димитриева, 1999; Безвербная, 2002]. Проверка на резистентность осуществлялась для каждой токсичной добавки (поэлементно) для всех отобранных проб (в трёх повторностях). Бактерии группы кишечной палочки (БГКП) обнаруживали с использованием селективной среды Эндо. Определяли каталазоположительные, оксидазоотрицательные грамотрицательные бактерии [Руководство..., 1980].

Координаты гидрологических станций определялись по навигатору *Garmin eTrex*. Оценка погодных условий производилась по данным архива WMO_ID=31960, который содержит непрерывные ряды срочных (восемь раз в сутки) наблюдений на метеостанции «Владивосток–гора» [https://rp5.ru/Архив_погоды_во_Владивостоке].



Рис. 1. Карта-схема о. Русского, бухта Новик, 28 апреля 2023 г. Поперечные разрезы (A, F, G) и станции отбора проб: 1 — мыс Ислямова, 2 — мыс Старицкого, 3 — мыс Елагина, 4 — маяк (камень) Ермолаева, 5 — мыс Шигина, 6 — бухта Труда, 7 — пос. Минка, 8 — пос. Экипажный, 9 — Спортклуб, 10 — пос. Парис, 11 — мыс Узкий, 12 — конечная

Fig. 1. Scheme of survey in the Novik Bay (Russky Island) on April 28, 2023. Transects (A, F, G) and sampling stations are shown. 1 — Cape Islyamov, 2 — Cape Staritsky, 3 — Cape Elagin, 4 — Rock Kamen Ermolaeva, 5 — Cape Shigin, 6 — Trud Bay, 7 — Minka village, 8 — Ekipazhny village, 9 — Sports Club Inlet, 10 — Paris village, 11 — Cape Uzky, 12 — terminal

Результаты и их обсуждение

Погодные условия во время съёмки и в предшествующий период задавались действием южного муссона, характеризующегося южными ветрами с морским влажным воздухом. Как отмечалось выше, для закрытой бухты Новик характерен продолжительный период ледостава. В южной кутовой части бухты первые формы льда появляются уже в конце ноября, а его таяние завершается в первых числах апреля. Таким образом, наша съёмка пришлась на начальный период весенней активизации биоты в бухте после её освобождения ото льда.

Бухта Новик имеет малую площадь водосбора (1 : 4), поэтому, несмотря на осадки, которые в течение апреля 2023 г. превысили 50 мм, поверхностный слой по всей её акватории оставался прозрачным и мало опреснённым. Начало наших наблюдений в северной части бухты сопровождалось слабым восточным-юго-восточным ветром, который способствовал выносу вод из бухты, что проявлялось в небольшом повышении температуры (с 7,6 до 9,2 °C) в поверхностном слое воды у западного побережья — мыс Ислямова, пос. Подножье (рис. 2, а). На поперечном разрезе F от пос. Канал к пос. Подножье (рис. 2, а, б), помимо этой температурной аномалии, других особенностей не отмечалось: изотермы и изохалины сохраняли горизонтальный ход. При этом на осевом разрезе водная толща бухты, расположенная севернее разреза F, имела

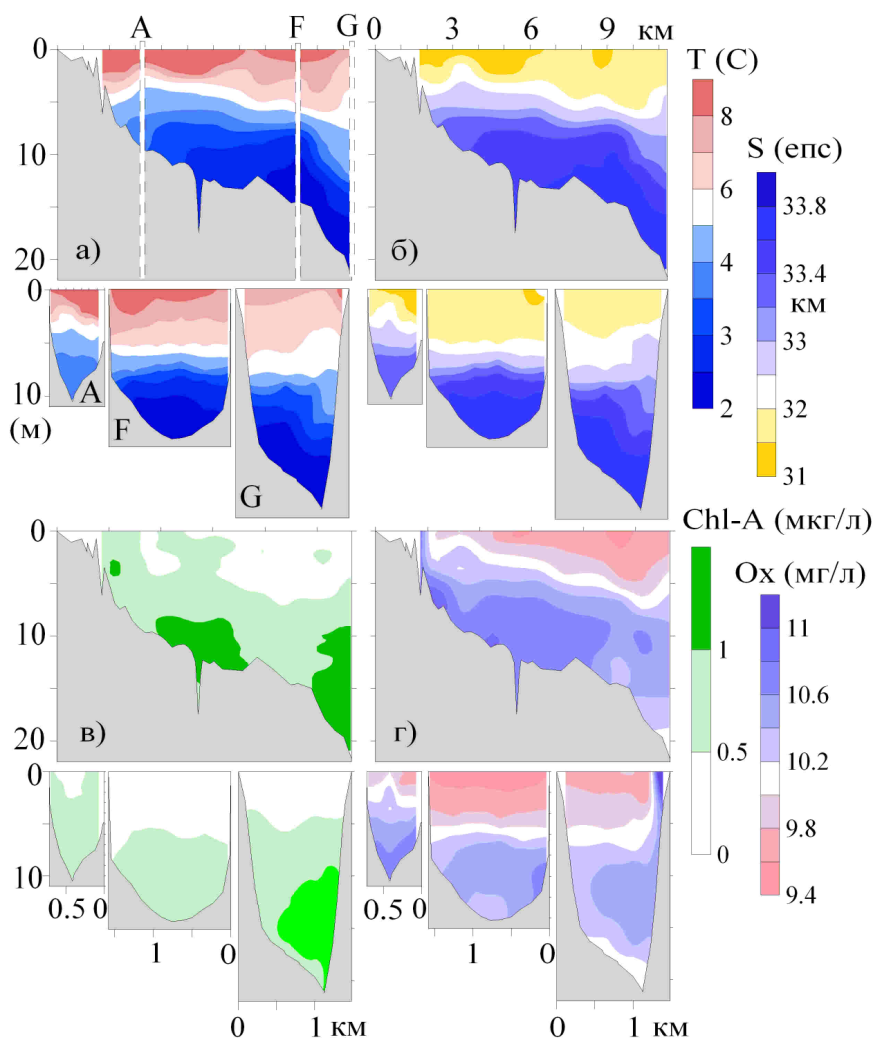


Рис. 2. Температура, T (а), соленость, S (б), концентрация хлорофилла a , $Chl-A$ (в) и содержание растворённого в воде кислорода, Ox (г), измеренные профилографом ASTD102 на осевом и поперечных (A , F и G) разрезах в бухте Новик 28 апреля 2023 г.

Fig. 2. Temperature (T , а), salinity (S , б), chlorophyll a ($Chl-A$, в), and dissolved oxygen content (Ox , г) at the axial sections and transects (A , F , and G) in the Novik Bay on April 28, 2023 (ASTD-102 measurements)

разнонаправленный наклон изолиний термохалинных параметров: в поверхностном слое до 5–6 м изолинии от 5–9 °C и 31,5–32,6 eps поднимались в сторону Амурского залива, в то время как на больших глубинах они опускались, повторяя рельеф дна. Наименьшая температура в бухте зарегистрирована в самой глубокой части (23 м) поперечного разреза G , вблизи о. Елены — 2,3 °C, где солёность достигала 33,6 eps. Распределение концентрации хлорофилла a (рис. 2, в) в этой части бухты повторяло солёностно-температурный абрис, нарастая от низких значений (менее 0,3 мкг/л) в поверхностном слое до 1 мкг/л на глубине 10 м. Кислородный режим следовал за хлорофиллом, имея наибольшие значения (до 10,4 мг/л) в придонном слое (рис. 2, г). При этом максимум содержания кислорода, равный 12 мг/л, наблюдался у о. Елены на станции 3, расположенной вблизи мыса Елагина. По-видимому, этот высокий уровень содержания кислорода обусловлен затоком вод из прилегающей мелководной бухты с обилием макрофитов.

По завершении обследования северной части бухты ветер сменил направление на устойчивое юго-восточное, и оставшийся период съёмки проходил при небольшом его усилении (до 4–5 м/с). Продолжение работ на станциях осевого разреза позволило выявить следующее: в среднем слое (5–7 м) изотермы и изохалины сохраняли преимущественно горизонтальный ход, в то время как в верхнем и придонном слоях наблюдалась разнонаправленная динамика этих параметров. Наблюдаемые в придонном слое северной широкой части бухты пониженные значения температуры и повышенные показания солёности обусловлены, очевидно, затоком вод из Амурского залива. Одновременно в узкой южной части бухты более ярко проявляется эффект её изолированности и влияние поступления пресных вод из очистных сооружений КОС «Лесная» (в сутки до 5000 м³). Поперечный разрез А, выполненный в этой части бухты, показал в поверхностном слое (до 4–5 м) наличие сгонного эффекта у пос. Экипажного и нагонного — у Спортклуба о. Русского, о чём свидетельствовало распределение термохалинных параметров: 8,15 °С и 31,6 епс против 10,0 °С и 31,1 епс, тогда как у дна ход изолиний сохранялся неизменным (рис. 2, а). Наличие сгонного эффекта обнаружилось и в распределении этих параметров на осевом разрезе, который проявился в виде небольшого всплеска изолиний температуры и солёности. В придонном слое южной части акватории наблюдались повышенные концентрации хлорофилла *a* (до 1 мкг/л) и насыщения кислорода (от 98 до 110 %), обусловленные её мелководностью и обилием донной растительности (наблюдаемой визуально).

Оценивая гидролого-гидрохимические показатели, полученные во время ранневесенней съёмки в бухте Новик, важно отметить благополучный кислородный режим (9,6–10,8 мг/л), свидетельствующий о стабильности условий существования её гидробиологической системы.

Результаты микробной индикации вод бухты приведены в табл. 2 и 3.

Общее представление о чистоте вод дают данные о содержании гетеротрофов, потребляющих растворённое органическое вещество. Как следует из данных табл. 2, в пробах из поверхностного слоя вод бухты Труда (станции 5 и 6) численность КГМ находилась на низком уровне (4,7–7,1) · 10 КОЕ/мл. На всех остальных станциях их численность была несколько выше, с наибольшим значением, до 4 · 10² КОЕ/мл, на станции 4, что, очевидно,

Таблица 2

Численность эколого-трофических групп микроорганизмов в поверхностных водах бухты Новик и значение индекса олиготрофности (апрель 2023 г.), КОЕ/мл

Table 2

Number of ecology-trophic groups of microorganisms in the surface layer of the Novik Bay in April 2023 (units/mL) and values of the oligotrophy index

№, название станции	КГМ	О	I (значения индекса олиготрофности)	БГКП
1. Мыс Ислямова	(1,2±0,3) · 10 ²	(1,2±0,2) · 10 ³	10,0	0
2. Мыс Старицкого	(2,3±0,1) · 10 ²	(2,3±0,1) · 10	0,10	(1,3±0,3) · 10 ²
3. Мыс Елагина	(1,5±0,3) · 10 ²	(5,7±0,2) · 10	0,38	0
4. Маяк (камень) Ермолаева	(4,0±0,2) · 10 ²	(2,7±0,4) · 10	0,06	0
5. Мыс Шигина	(4,7±0,1) · 10	(2,1±0,2) · 10	0,44	0
6. Бухта Труда	(7,1±0,2) · 10	(1,2±0,3) · 10 ²	1,69	0
7. Пос. Минка	(1,5±0,3) · 10 ²	(1,2±0,1) · 10 ²	0,80	0
8. Пос. Экипажный	(1,9±0,3) · 10 ²	(1,5±0,2) · 10 ²	0,78	0
9. Спортклуб	(2,3±0,1) · 10 ²	(2,3±0,4) · 10 ²	1,0	(1,3±0,1) · 10
10. Пос. Парис	(1,8±0,2) · 10 ²	(1,7±0,3) · 10 ²	0,94	0
11. Мыс Узкий	(1,1±0,1) · 10 ²	(9,2±0,3) · 10	0,83	0
12. Конечная	(3,0±0,4) · 10 ²	(1,8±0,4) · 10	0,06	0

Примечание. О — численность олиготрофов.

Таблица 3

Численность индикаторных групп микроорганизмов в поверхностных водах бухты Новик,
апрель 2023 г., КОЕ/мл

Table 3

Number of indicator groups of microorganisms in the surface layer of the Novik Bay in April 2023,
units/mL

№, название станции	Zn	Ni	Cu	Cd	H	Ф
1. Мыс Ислямова	0	0	$(2,1 \pm 0,3) \cdot 10$	0	$(4,5 \pm 0,2) \cdot 10^3$	$(2,5 \pm 0,3) \cdot 10^2$
2. Мыс Старицкого	$(9,5 \pm 0,5) \cdot 10^3$	0	0	0	$(2,5 \pm 0,4) \cdot 10^3$	$(5,1 \pm 0,1) \cdot 10$
3. Мыс Елагина	0	0	0	0	$(9,5 \pm 0,2) \cdot 10^2$	$(7,3 \pm 0,1) \cdot 10$
4. Маяк (камень) Ермолаева	0	$(4,3 \pm 0,1) \cdot 10$	0	0	$(3,8 \pm 0,2) \cdot 10^3$	$(2,2 \pm 0,2) \cdot 10^2$
5. Мыс Шигина	0	0	0	0	$(2,7 \pm 0,2) \cdot 10^3$	0
6. Бухта Труда	0	$(2,0 \pm 0,1) \cdot 10$	$(2,6 \pm 0,1) \cdot 10$	$(7,5 \pm 0,2) \cdot 10$	$(2,1 \pm 0,2) \cdot 10^2$	$(3,2 \pm 0,3) \cdot 10^2$
7. Пос. Минка	0	0	0	0	$(7,5 \pm 0,2) \cdot 10^2$	0
8. Пос. Экипажный	0	$(2,0 \pm 0,3) \cdot 10$	0	0	$(5,4 \pm 0,5) \cdot 10^2$	$(1,7 \pm 0,2) \cdot 10^2$
9. Спортклуб	0	$(4,0 \pm 0,3) \cdot 10$	$(9,2 \pm 0,8) \cdot 10$	0	$(3,3 \pm 0,3) \cdot 10^3$	0
10. Пос. Парис	0	$(1,5 \pm 0,2) \cdot 10$	0	0	$(9,8 \pm 0,2) \cdot 10^2$	$(3,4 \pm 0,3) \cdot 10^2$
11. Мыс Узкий	0	$(1,7 \pm 0,1) \cdot 10$	0	0	$(3,4 \pm 0,4) \cdot 10^3$	$(7,5 \pm 0,2) \cdot 10$
12. Конечная	0	$(6,0 \pm 0,3) \cdot 10$	0	0	$(1,7 \pm 0,4) \cdot 10^3$	0

Примечание. Рb-резистентные микроорганизмы не обнаружены.

связано с подтоком вод, поступающих с хозяйственно-бытовыми стоками от пос. Канал и яхтклуба. Близкой численностью КГМ, равной $3 \cdot 10^2$ КОЕ/мл, характеризовался поверхностный слой вод на станции 12, расположенной на осевом разрезе и максимально приближенной к КОС «Лесная». Тем не менее весь диапазон значений численности КГМ свидетельствует об олигосапробности вод бухты в момент опробования.

Важным показателем усвоения микроорганизмами малых количеств органики являются олиготрофы, численность которых варьировала от 10 до 10^3 КОЕ/мл. Одновременное выявление сапрофитов и олиготрофов, сравнение их количества показывает степень минерализованности органического вещества. Отношение числа олиготрофов к числу колоний сапрофитов дает количественный показатель — индекс олиготрофности. Индекс олиготрофности, больший единицы, свидетельствует о сбалансированности бактериальных процессов минерализации органического вещества. Если индекс олиготрофности меньше единицы, то водная среда загрязнена органическим веществом, а в биоценозе процессы аккумуляции органического вещества преобладают над его деструкцией. Значения этого индекса превышали единицу только на трех станциях (пос. Подножье, бухта Труда, Спортклуб), указывая на сбалансированность бактериальных процессов минерализации органического вещества. В то же время в кустовой части бухты индекс был минимальным, что демонстрирует нарушение баланса между группами организмов, потребляющих органику. Кроме того, среди этого пула гетеротрофов выделяются БГКП, обнаруженные на двух станциях — 2- и 9-й (соответственно 130 и 13 КОЕ/мл) и свидетельствующие о таком биологическом загрязнении, как фекальные стоки.

Анализ содержания металл-резистентных микроорганизмов позволяет выявить наличие специализированного прессы на поверхностные воды бухты. Микробная индикация зафиксировала никелевое загрязнение поверхностных вод, сопутствующее сжиганию углеводородного топлива, на 7 из 12 станций наблюдения. Если содержание ионов и комплексов Cd, Рb и Ni в воде свидетельствует о техногенном воздействии на среду, то Cu и Zn — о преимущественно антропогенном. Свинец-резистентные бактерии не выявлены вообще, что свидетельствует об отсутствии специализированного техногенного воздействия. Медь-резистентные микроорганизмы выявлены у пос. Подножье, в бухте

Труда и у Спортклуба, что можно было ожидать, учитывая локальный антропогенный пресс. Цинк-резистентные и кадмий-устойчивые микроорганизмы найдены только на одиночных станциях — соответственно на выходе из бухты у мыса Старицкого и в бухте Труда. В целом численность всех выявленных МР микроорганизмов была невысока, и их распределение характеризовалось мозаичностью. Для сравнения можно привести максимальную численность МР бактерий (Cu, Zn, Ni, Pb), превышающую 10^4 КОЕ/мл, в прибрежных водах г. Большой Камень, на заводе «Звезда» которого используются гальванические покрытия и свинцовая защита [Христофорова, Бойченко, 2018].

Нефтеокисляющие МО обнаружены повсеместно, хотя их численность была невысока и находилась в пределах 10^2 – 10^3 КОЕ/мл. Тем не менее из всего пула показателей численности наиболее высокая величина определена в северной части бухты вблизи мыса Ислямова. Подтверждением этому могут служить локальные нефтяные пятна, наблюдавшиеся нами у причала пос. Подножье, кроме того, в момент отбора проб отходящее от причала рыбацкое судно выбрасывало клубы дыма.

Фенолдеструкторы выявлены на 8 станциях. Численность бактерий данной эколого-трофической группы составила 10 – 10^2 КОЕ/мл, наиболее заметно они доминируют в бухте Труда и у пос. Парис ($3,2$ и $3,4$) · 10^2 КОЕ/мл. Поскольку фенолы относятся к высокотоксичным веществам, то даже при их численности, достигающей 10^2 кл/мл, они свидетельствуют об осязном загрязнении среды [Димитриева, 1999].

Заключение

Проведенное исследование позволило установить, что ранней весной 2023 г. (конец апреля) экологическое состояние бухты Новик было благополучным. Об этом свидетельствуют высокие значения концентраций растворенного кислорода ($9,6$ – $10,8$ мг/л). При сформировавшейся устойчивой плотной стратификации температура находилась в диапазоне от $2,3$ °C у дна на выходе из бухты до $10,0$ °C на поверхности, соленость, соответственно, варьировала в слоях от $33,6$ до $31,1$ епс. О слабом развитии фитопланктона в поверхностном слое в этот период свидетельствовали относительно низкие концентрации хлорофилла *a*, как и кислорода. В придонных слоях показатели этих параметров были выше, что, вероятно, обусловлено деятельностью донных диатомовых водорослей.

По данным численности КГМ воды характеризуются как олигосапробные, чистые.

Полученные значения индекса олиготрофности свидетельствуют о накоплении легкодоступного органического вещества (процессы аккумуляции преобладают над деструкцией), по-видимому, обусловленного развитием продукционных процессов. Исключением являются бухта Труда, пос. Подножье и Спортклуб, где фиксируется сбалансированность микробных процессов минерализации органического вещества.

В небольших количествах на двух станциях выявлены бактерии санитарно-показательной группы, свидетельствующие о биологическом и фекальном загрязнении вод.

Микроорганизмы, растущие на средах с сырой нефтью, фиксируются повсеместно, хотя их численность невысока и позволяет отнести воды бухты Новик к малозагрязненным.

Фенол-резистентные микроорганизмы, обнаруженные на большинстве станций, сигнализируют об осязном загрязнении среды данным поллютантом, обусловленном как природными, так и антропогенными процессами.

Металл-резистентные МО показали, что уровень специализированного пресса (техногенного) на поверхностные воды бухты минимален. Доминантной группой МР бактерий являются Ni-резистентные гетеротрофы, численность которых, несомненно, связана со сжиганием углеводородного топлива (котельные, судовые двигатели).

Благодарности (ACKNOWLEDGEMENTS)

Авторы благодарны рецензентам за ценные замечания, которые были учтены при подготовке настоящей рукописи к печати. Гидрологическое оборудование предо-

ставлено Центром коллективного пользования Морской биобанк ННЦМБ ДВО РАН — <http://marbank.dvo.ru/>.

The authors are grateful to the reviewers and scientific editor for their valuable comments, which were taken into account when preparing the manuscript for publication. Oceanographic equipment was used 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 hydrological part of the work was carried out on the state budget topic No. 121021700346–7. The microbiological assessment of the marine environment was carried out with the financial support of the 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 collection of samples and information, processing the results, writing, illustrating, and final preparing of the manuscript.

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.

Бойченко Т.В., Христофорова Н.К., Емельянов А.А. Микробная индикация загрязнения поверхностных вод бухты Новик (остров Русский, зал. Петра Великого, Японское море) // Изв. ТИНРО. — 2019. — Т. 198. — С. 186–194. DOI: 10.26428/1606-9919-2019-198-186-194.

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

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

Лазарюк А.Ю., Кильматов Т.Р., Марьина Е.Н., Кустова Е.В. Особенности сезонной изменчивости гидрологического режима бухты Новик (остров Русский, залив Петра Великого, Японское море) // Морской гидрофизический журнал. — 2021. — Т. 37, № 6(222). — С. 680–695. DOI: 10.22449/0233-7584-2021-6-680-695.

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.

Христофорова Н.К., Бойченко Т.В. Микробиологический контроль состояния некоторых акваторий залива Петра Великого (Японское море) // Сохранение биоразнообразия Камчатки и прилегающих морей : мат-лы 19-й междунар. науч. конф., посвящ. 70-летию со дня рождения члена-корреспондента РАН И.А. Черешнева. — Петропавловск-Камчатский : Камчатпресс, 2018. — С. 381–385.

Христофорова Н.К., Бойченко Т.В., Емельянов А.А., Попова А.В. Микробиологический контроль состояния вод бухты Новик (залив Петра Великого, Японское море) // Изв. ТИНРО. — 2017. — Т. 189. — С. 121–130. DOI: 10.26428/1606-9919-2017-189-121-130.

Христофорова Н.К., Дегтева Ю.Е., Бердасова К.С. и др. Химико-экологическое состояние вод бухты Новик (остров Русский, зал. Петра Великого, Японское море) // Изв. ТИНРО. — 2016. — Т. 186. — С. 135–144. DOI: 10.26428/1606-9919-2016-186-135-144.

Христофорова Н.К., Емельянов А.А., Ефимов А.В. Биоиндикация загрязнения прибрежно-морских вод о. Русского (залив Петра Великого, Японское море) тяжелыми металлами // Изв. ТИНРО. — 2018. — Т. 192. — С. 157–166. DOI: 10.26428/1606-9919-2018-192-157-166.

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.

Boychenko, T.V., Khristoforova, N.K., and Emelyanov, A.A., Microbial indication of pollution for the surface waters in the Novik Bay (Russky Island, Peter the Great Bay, Japan Sea), *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2019, vol. 198, pp. 186–194. DOI: 10.26428/1606-9919-2019-198-186-194.

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.

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

Lazaryuk, A.Yu., Kilmatov, T.R., Marina, E.N., and Kustova, E.V., Seasonal features of the Novik Bay hydrological regime (Russky Island, Peter the Great Bay, Sea of Japan), *Physical Oceanography*, 2021, vol. 28, no. 6, pp. 632–646. doi 10.22449/0233-7584-2021-6-680-695.

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.

Khristoforova, N.K. and Boychenko, T.V., Microbial indication of the state of some water areas of the Peter the Great Bay (the Japanese Sea), in *Mater. 19 mezhdunar. nauchn. konf. posvyashch. 70-letiyu so dnya rozhdeniya chlena-korrespondenta RAN I.A. Cheresheva "Sokhranenie bioraznobraziya Kamchatki i prilegayushchikh morei"* (Proc. 19th Int. Sci. Conf. dedicated to the 70th anniversary of I.A. Chereshev's birthday "Conservation of biodiversity of Kamchatka and coastal waters"), Petropavlovsk-Kamchatsky: Kamchatpress, 2018, pp. 381–385.

Khristoforova, N.K., Boychenko, T.V., Emelyanov, A.A., and Popova, A.V., Microbiological control of the water condition in the Novik Bay (Peter the Great Bay, Japan Sea), *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2017, vol. 189, pp. 121–130. doi 10.26428/1606-9919-2017-189-121-130

Khristoforova, N.K., Degteva, Yu.E., Berdasova, K.S., Emelyanov, A.A., and Lazaryuk, A.Yu., Chemical and ecological state of the waters in the Novik Bay (Russky Island, Peter the Great Bay, Japan Sea), *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2016, vol. 186, pp. 135–144. doi 10.26428/1606-9919-2016-186-135-144

Khristoforova, N.K., Emelyanov, A.A., and Efimov, A.V., Bioindication of heavy-metal pollution in the coastal marine waters off Russky Island (Peter the Great Bay, Sea of Japan), *Russ. J. Mar. Biol.*, 2018, vol. 44, no. 7, pp. 572–579. doi 10.1134/S1063074018070040

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

<https://rtp5.ru/Weather archive in Vladivostok>. Cited May 26, 2023.

Поступила в редакцию 26.06.2023 г.

После доработки 21.07.2023 г.

Принята к публикации 4.09.2023 г.

The article was submitted 26.06.2023; approved after reviewing 21.07.2023;
accepted for publication 4.09.2023