

УДК 579.68(265.54)

Т.В. Бойченко¹, Н.К. Христофорова^{1,2}, А.А. Емельянов^{1*}¹ Дальневосточный федеральный университет,
690091, г. Владивосток, ул. Октябрьская, 27;² Тихоокеанский институт географии ДВО РАН,
690041, г. Владивосток, ул. Радио, 7

**МИКРОБНАЯ ИНДИКАЦИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ
ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД БУХТЫ НОВИК
(ОСТРОВ РУССКИЙ, ЗАЛ. ПЕТРА ВЕЛИКОГО,
ЯПОНСКОЕ МОРЕ)**

На основе микробиологических исследований бухты Новик в течение весны и осени 2017 г. и весны и лета 2018 г. получено представление о современном состоянии акватории бухты. Отмечено заметное улучшение качества вод во все исследованные периоды по сравнению с микробиологическими опробованиями 2016 г. и гидрохимическим анализом 2015–2016 гг. По общей численности гетеротрофных бактерий воды классифицируются как олиго- и мезосапробные. На основе численности металл-резистентных микроорганизмов подтверждено, что воды бухты не подвержены техногенному воздействию. Анализ численности индикаторов загрязнения среды нефтепродуктами показал, что воды большей части бухты относятся к малозагрязненным с локальными участками заметного пресса нефтеуглеводородов.

Ключевые слова: залив Петра Великого, остров Русский, бухта Новик, микробиологический контроль, эколого-трофические группы микроорганизмов, органическое загрязнение, индикаторы техногенного воздействия.

DOI: 10.26428/1606-9919-2019-198-186-194.

Boychenko T.V., Khristoforova N.K., Emelyanov A.A. Microbial indication of pollution for the surface waters in the Novik Bay (Russky Island, Peter the Great Bay, Japan Sea) // *Izv. TINRO*. — 2019. — Vol. 198. — P. 186–194.

The Novik Bay is the largest one among the inlets of Russky Island in Peter the Great Bay. This water area is actively used for aquaculture and commercial and recreational fishery and attracts many tourists, so permanent monitoring of its water quality is necessary. Current environmental situation in the Novik Bay is assessed using microbiological indicators. The following parameters are used: total number of heterotrophic bacteria, number of coliform bacteria, and number of metal-resistant microorganisms as indicators of oil and phenolic pollution.

* Бойченко Татьяна Валерьевна, кандидат биологических наук, старший преподаватель, e-mail: boychenko.tv@dvfu.ru; Христофорова Надежда Константиновна, доктор биологических наук, профессор, e-mail: marineecology@rambler.ru; Емельянов Александр Анатольевич, соискатель, e-mail: 990507@mail.ru.

Boychenko Tatiana V., Ph.D., senior lecturer, Far Eastern Federal University, Ocyabrskaya Str. 27, Vladivostok 690091, Russia, e-mail: boychenko.tv@dvfu.ru; Khristoforova Nadezhda K., D.Biol., professor, Far Eastern Federal University, Ocyabrskaya Str. 27, Vladivostok 690091, Russia; Pacific Geographical Institute, Far Eastern Branch, Russian Academy of Sciences, Radio Str. 7, Vladivostok 690041, Russia, e-mail: marineecology@rambler.ru; Emelyanov Alexander A., post-graduate student, Far Eastern Federal University, Ocyabrskaya Str. 27, Vladivostok 690091, e-mail: 990507@mail.ru.

The water samples were collected in spring and autumn of 2017 and in spring and summer of 2018, following the standards GOST 31862 and GOST 31861. The number of microorganisms was determined by standard microbiological methods of sowing. The total number of heterotrophic bacteria corresponds to the requirements for oligo- or mesosaprobic waters. The number of metal-resistant microorganisms indicates that the waters of the bay are not subjected to industrial effluents and other man-made effects, its pollution by oil products is noticeable in some local areas only but the major part of the bay is low-polluted. In comparison with the data of previous chemical-ecological and microbiological tests, these assessments show better condition of the Novik Bay waters.

Key words: Peter the Great Bay, Russky Island, Novik Bay, microbiological control, ecological group of microorganisms, organic pollution, indicator of anthropogenic impact.

Введение

Остров Русский входит в архипелаг островов, являющихся продолжением п-ова Муравьева-Амурского, на котором расположена столица Дальневосточного федерального округа — г. Владивосток.

С 2012 г. о. Русский соединен с материковой частью Владивостока вантовым мостом и стал «центром притяжения» как горожан, так и гостей города. Активное развитие инфраструктуры острова и резкое увеличение численности рекреантов привело к возрастанию нагрузки как на среду и биоту самого острова, так и на прибрежные морские экосистемы.

Бухта Новик — самая крупная из островных бухт зал. Петра Великого, начинается на северо-западной стороне острова между мысами Елагина и Старицкого, вдаётся вглубь острова на 13 км, поворачивая примерно на половине расстояния от входа на юго-восток. Акватория бухты активно используется для ведения хозяйств марикультуры и круглогодичного промышленного и любительского рыболовства, а в летнее время привлекает множество туристов. В связи с востребованностью и значимостью бухты необходим постоянный контроль качества ее среды. Опробования, которые были сделаны нами в 2014–2015 гг. по гидрохимическим, а в 2016 г. и по микробиологическим показателям, выявили неудовлетворительную экологическую ситуацию на большей части акватории бухты, особенно в летний период [Христофорова и др., 2016, 2017].

Приступая к работам, мы полагали, что всеми примененными нами способами зафиксируем наибольшее антропогенное воздействие на бухту в ее кутовой части. Однако, как оказалось, воды на выходе из бухты были не менее загрязнены, чем в ее вершине, и также находились в напряженном экологическом состоянии.

На обоих этих участках фиксировалось низкое содержание кислорода и наибольшее количество бактерий группы кишечной палочки (БГКП), хотя вся акватория также довольно сильно была загрязнена этими микроорганизмами (МО). Мы полагали, что есть несколько источников, влияющих на экологическое состояние бухты, главным из которых является очистная станция КОС «Лесная», поставляющая в ее вершину сточные воды после очистки. Однако в последнее время в результате вывода процесса очистки на технологический режим произошло значительное улучшение качества стока. Вместо мутных вод с обильными пузырями и пеной по ручью бежали прозрачные воды. Поэтому вновь возникла необходимость в оценке состояния бухты Новик.

Цель работы — оценить современную экологическую ситуацию в бухте Новик методом микробной индикации.

Материалы и методы

Материалом для исследования послужили результаты микробиологических наблюдений, выполненных в мае и октябре 2017 г., в мае и июле 2018 г. Отбор проб для анализа производили из подповерхностного слоя с помощью 5-литрового батометра Нискина в стерильные пластиковые емкости, которые транспортировали для анализа в лабораторию, согласно ГОСТ 31861-12. Пробы анализировали в день отбора, каждую — в трех повторностях с соблюдением сроков хранения проб по ГОСТ 31942-12 и 31861-12. Станции отбора проб показаны на рисунке. К числу определяемых ранее

эколого-трофических групп микроорганизмов мы добавили обширную группу металл-резистентных микроорганизмов.



Карта-схема расположения станций отбора проб в бухте Новик (май, октябрь 2017 г.; май, июль 2018 г.): 1 — вход в бухту Новик между мысами Старицкого и Елагина (о. Елены); 2 — возле мыса Елагина; 3 — мыс Старицкого; 4 — бухта Полеводина; 5 — канал; 6 — камень Ермолаева; 7 — к востоку от мыса Ислямова; 8 — бухта Рончевского; 9 — о. Папенберга; 10 — бухта Труда; 11 — южнее мысов Доронина и Шигина; 12 — о. Фальшивый; 13 — очистные у мыса Экипажного; 14 — бухта Шошина; 15 — бухта Лесника; 16 — мыс Фета; 17 — КОС «Лесная»

Scheme of sampling in the Novik Bay in May and October, 2017 and in May and July, 2018: 1 — entrance to the Novik Bay (Elena Isle); 2 — Cape Elagin; 3 — Cape Staritsky; 4 — Polevodin Bay; 5 — Channel; 6 — Ermolaev Stone; 7 — Cape Islyamov; 8 — Ronchevsky Bight; 9 — Papenberg Isle; 10 — Trud Bay; 11 — Capes Doronin and Shigin; 12 — Falshivy Isle; 13 — sewage treatment plant at Cape Ekipazhny; 14 — Shoshin Bay; 15 — Lesnik Bay; 16 — Cape Fet; 17 — sewage treatment plant Lesnaya

Анализ численности колониобразующих форм гетеротрофных микроорганизмов (КГМ) проводили на среде для морских микроорганизмов (СММ) с добавлением 1,5 % агара чашечным методом Коха [Yoshimizu, Kimura, 1976; Наливайко, 2006]. Подсчитывали число выросших колоний. Данные обрабатывали статистически: определяли среднее значение, стандартное отклонение, ошибку среднего значения для определения относительной погрешности полученных результатов. Бактерии группы кишечной палочки обнаруживали с использованием селективной среды Эндо. Определяли каталазоположительные, оксидазоотрицательные, грамотрицательные бактерии [Руководство..., 1983]. Количество металл-резистентных форм в сообществе гетеротрофных культивируемых микроорганизмов устанавливали также чашечным методом Коха, используя селективные среды, приготовленные на основе СММ с добавками солей металлов в концентрациях, ингибирующих рост чувствительных форм бактерий. В качестве добавок применяли хлориды металлов — Zn, Cu, Cd, Ni, Pb [Безвербная, 2002]. Наиболее вероятное количество бактерий отдельных физиологических групп — индикаторов нефтяного (Н), фенольного (Ф) загрязнения и загрязнения дизельным топливом (ДТ) — оценивали на основе ме-

тогда предельных разведений с использованием элективных сред [Руководство... , 1980]. Подробное определение данной индикаторной группы микроорганизмов описано нами ранее [Христофорова и др., 2017].

Результаты и их обсуждение

Гетеротрофные микроорганизмы являются потребителями легкоокисляемого растворенного органического вещества, по их количеству судят о сапробности вод. Как следует из данных табл. 1, численность гетеротрофов в водах бухты Новик была довольно стабильной и находилась преимущественно в диапазоне 10^2 – 10^3 КОЕ/мл, соответствуя олиго- и мезосапробным водам во все исследованные периоды. Максимумом органического вещества летом 2018 г. выделялась ст. 17 (КОС «Лесная»), где численность культивируемых гетеротрофных микроорганизмов достигала 10^5 КОЕ/мл, что, очевидно, обусловлено большим поступлением органического вещества как автохтонного, так и аллохтонного происхождения, но даже такое количество микроорганизмов позволяло отнести воды к категории мезосапробных, обогащенных органическими соединениями.

Данные о содержании БГКП показали, что в целом бухта Новик является чистым районом. БГКП фиксировались лишь на 5 из 17 обследованных мест. Ни в одной из проб не была высеяна *Escherichia coli*, которая является показателем фекального загрязнения. Отсутствие данного контаминанта свидетельствует о достаточно хорошей работе КОС «Лесное», которая осуществляет сброс очищенных сточных вод в вершину бухты. В то же время в ее куту мы улавливаем небольшой след биологического загрязнения, который фиксировался весной 2017–2018 гг. (соответственно $(7,3 \pm 0,2) \cdot 10^2$, $(1,2 \pm 0,2) \cdot 10^2$), но, несомненно, в меньших количествах и без наличия *E. coli*, выявленной нами в 2016 г. повсеместно. Важно подчеркнуть, что летом 2018 г. в кутовой части эта группа не была определена.

Анализ численности бактерий, растущих на среде с сырой нефтью, показал, что бухта Новик, за исключением центральной части (ст. 8, 9, 11), незначительно загрязнена трудно окисляемыми нефтеуглеводородами, на двух станциях даже выявлены нулевые количественные значения для индикаторов нефтяного загрязнения (ст. 14 — осень 2017 г. и ст. 15 — весна 2018 г.). По известной классификации Г.Ю. Димитриевой [1999] воды с численностью микроорганизмов — индикаторов нефтяного загрязнения, не превышающей 10^4 КОЕ/мл, относятся к категории «малозагрязненные». Согласно полученным данным, количество микроорганизмов, растущих на нефти, на половине обследованных станций находилось на отметке 10^3 КОЕ/мл, указывая на небольшое загрязнение вод нефтепродуктами.

Численность индикаторов загрязнения среды дизельным топливом также свидетельствовала о том, что воды большей части бухты относятся к малозагрязненным, за исключением станций 7, 8, 14 и 15, на которых выявлено значимое загрязнение по этому показателю (табл. 2).

В отличие от числа мест с высокой численностью индикаторов сырой нефти и дизельного топлива (которые были особенно заметны на четырех станциях), участков акватории с повышенным содержанием фенола в среде было больше. Фенолы относятся к высоко токсичным веществам и даже при численности их индикаторов, достигающей 10^2 кл/мл, они являются опасными поллютантами. На 12 из 17 станций определены значения численности, которые вызывают тревогу и характеризуют среду как высокотоксичную [Димитриева, 1999; Дембицкий, Толстиков, 2003].

Присутствие значительного количества фенол-резистентных микроорганизмов в среде имеет, как правило, несколько причин, основными из которых являются деятельность предприятий целлюлозно-бумажной, деревообрабатывающей и нефтеперерабатывающей промышленности (которые не характерны для бухты Новик). Кроме того, фенолы могут отражать загрязнение среды хлорорганическими пестицидами, а также иметь фекальную природу. На побережье бухты нет предприятий-поставщиков фенольного загрязнения, и практически все фенолы имеют естественное происхождение.

Численность колониобразующих гетеротрофных микроорганизмов и бактерий группы кишечной палочки в поверхностных водах бухты Новик, КОЕ/мл
 Таблица 1
 Number of colony-forming heterotrophic microorganisms and *Escherichia coli* bacteria in the surface waters of the Novik Bay, colony-forming units/ml
 Table 1

№ станции	КТМ						БГКП					
	Май 2017 г.	Октябрь 2017 г.	Май 2018 г.	Июль 2018 г.	Май 2017 г.	Октябрь 2017 г.	Май 2018 г.	Июль 2018 г.	Май 2017 г.	Октябрь 2017 г.	Май 2018 г.	Июль 2018 г.
1	$(1,7 \pm 0,2) \cdot 10^2$	—	$(4,0 \pm 0) \cdot 10$	$(2,0 \pm 0,3) \cdot 10^3$	$(1,0 \pm 0) \cdot 10$	—	0	—	—	—	0	0
2	—	$(1,0 \pm 0) \cdot 10$	—	—	—	0	—	—	—	0	—	—
3	—	$(1,0 \pm 0) \cdot 10$	—	—	—	0	—	—	—	0	—	—
4	—	$(2,0 \pm 0,22) \cdot 10^2$	—	—	—	0	—	—	—	0	—	—
5	—	—	—	$(1,0 \pm 0,2) \cdot 10^3$	—	—	—	—	—	—	—	0
6	—	—	$(4,50 \pm 0,22) \cdot 10^2$	$(1,0 \pm 0,2) \cdot 10^3$	—	—	—	—	—	0	—	0
7	—	$(1,8 \pm 0,3) \cdot 10^4$	—	—	—	—	—	—	—	0	—	—
8	—	$(1,0 \pm 0,18) \cdot 10^2$	—	—	—	—	—	—	—	0	—	—
9	$(1,7 \pm 0,3) \cdot 10^3$	—	$(6,0 \pm 0,1) \cdot 10$	$(1,50 \pm 0,22) \cdot 10^4$	0	—	—	—	—	0	—	0
10	—	—	$(1,0 \pm 0) \cdot 10$	—	—	—	—	—	—	0	—	—
11	$(1,1 \pm 0,1) \cdot 10^4$	—	$(6,0 \pm 0,3) \cdot 10^4$	—	$(1,5 \pm 0,1) \cdot 10$	—	—	—	—	0	—	—
12	$(1,0 \pm 0,1) \cdot 10^2$	$(1,5 \pm 0,2) \cdot 10^2$	—	$(2,0 \pm 0,2) \cdot 10^3$	0	—	—	—	—	0	—	$(1,0 \pm 0,3) \cdot 10$
13	—	—	$(7,0 \pm 0,2) \cdot 10^2$	$(9,0 \pm 0,2) \cdot 10^3$	—	—	—	—	—	0	—	0
14	—	$(4,0 \pm 0,18) \cdot 10$	—	—	—	—	—	—	—	0	—	—
15	$(3,1 \pm 0,1) \cdot 10^3$	$(1,0 \pm 0,2) \cdot 10^2$	$(1,0 \pm 0) \cdot 10$	$(1,0 \pm 0) \cdot 10$	0	—	—	—	—	0	—	$(1,0 \pm 0,12) \cdot 10^2$
16	—	$(3,0 \pm 0,2) \cdot 10^2$	$(9,0 \pm 0,17) \cdot 10^2$	$(2,0 \pm 0,1) \cdot 10^3$	—	—	—	—	—	0	—	0
17	$(1,7 \pm 0,2) \cdot 10^2$	$(1,80 \pm 0,32) \cdot 10^4$	$(4,4 \pm 0,3) \cdot 10^3$	$(2,70 \pm 0,18) \cdot 10^5$	$(7,3 \pm 0,2) \cdot 10^2$	—	—	—	—	0	—	$(1,2 \pm 0,2) \cdot 10^2$

Примечание. «↔» — нет данных.

Number of microorganisms in the surface waters of the Novik Bay in 2017–2018, by indicator groups, cells/ml

№ станции	Эколого-группы микроорганизмов													
	Н						ДТ						Ф	
	Май 2017 г.	Октябрь 2017 г.	Май 2018 г.	Июль 2018 г.	Май 2017 г.	Октябрь 2017 г.	Май 2018 г.	Лето 2018 г.	Май 2017 г.	Октябрь 2017 г.	Май 2018 г.	Июль 2018 г.		
1	6,0 · 10	–	2,5 · 10 ²	6,0 · 10 ²	13,0 · 10 ²	–	6,0 · 10	6,0 · 10 ²	6,0 · 10	–	2,5 · 10 ²	6,0 · 10 ²		
2	–	6,0 · 10 ³	–	–	–	25,0 · 10⁴	–	–	–	–	13,0 · 10 ²	–		
3	–	6,0 · 10 ²	–	–	–	6,0 · 10	–	–	–	–	2,5 · 10 ²	–		
4	–	2,5 · 10 ²	–	–	–	2,5 · 10 ²	–	–	–	–	2,5 · 10 ³	–		
5	–	2,5 · 10	–	6,0 · 10	–	13,0 · 10	–	2,5 · 10 ²	–	–	13,0 · 10 ²	–		
6	–	–	2,5 · 10	6,0 · 10 ²	–	–	0,6 · 10	6,0 · 10	–	–	–	2,5 · 10 ²		
7	–	70,0 · 10⁴	–	–	–	70,0 · 10⁴	–	–	–	–	70,0 · 10⁴	–		
8	–	110,0 · 10⁵	–	–	–	110,0 · 10⁵	–	–	–	–	70,0 · 10⁴	–		
9	2,5 · 10 ²	13,0 · 10 ³	2,5 · 10⁴	2,5 · 10 ²	2,5 · 10	6,0 · 10	6,0 · 10	6,0 · 10	6,0 · 10 ²	6,0 · 10 ²	13,0 · 10 ²	6,0 · 10 ²		
10	6,0 · 10	5,0 · 10 ³	6,0 · 10 ³	6,0 · 10 ²	2,5 · 10	6,0 · 10	0,6 · 10	6,0 · 10 ²	6,0 · 10 ²	6,0 · 10 ²	6,0 · 10	2,5 · 10 ²		
11	6,0 · 10 ²	110,0 · 10⁵	13,0 · 10 ²	–	6,0 · 10	6,0 · 10 ³	2,5 · 10	–	2,5 · 10 ²	6,0 · 10	110,0 · 10 ⁵	–		
12	6,0 · 10 ³	0	–	6,0 · 10 ²	6,0 · 10	0	–	2,5 · 10	6,0 · 10	6,0 · 10	6,0 · 10	6,0 · 10 ³		
13	–	70,0 · 10 ⁴	2,5 · 10 ²	6,0 · 10 ²	–	6,0 · 10 ²	2,5 · 10 ²	6,0 · 10 ²	–	–	110,0 · 10⁵	6,0 · 10		
14	–	6,0 · 10 ³	–	–	–	25,0 · 10⁴	–	–	–	–	6,0 · 10 ²	–		
15	13,0 · 10 ²	5,0 · 10 ³	0	6,0 · 10 ⁴	6,0 · 10	25,0 · 10⁴	0	6,0 · 10	6,0 · 10	6,0 · 10	13,0 · 10 ³	6,0 · 10		
16	–	6,0 · 10 ²	2,5 · 10 ²	6,0 · 10 ³	–	6,0 · 10 ³	6,0 · 10 ³	6,0 · 10 ²	–	–	2,5 · 10 ²	2,5 · 10⁴		
17	6,0 · 10	–	6,0 · 10 ³	6,0 · 10⁴	6,0 · 10	–	6,0 · 10	6,0 · 10	13,0 · 10	–	–	2,5 · 10²		

Примечание. Н — индикаторы нефтяного загрязнения; ДТ — индикаторы загрязнения среды дизельным топливом; Ф — индикаторы фенольного загрязнения; жирным шрифтом выделены наибольшие значения численности микроорганизмов.

Основными источниками поступления в среду фенолов является водная растительность, обильно представленная зарослями морской травы *Zostera marina*, выделяющая фенолы в среду как метаболиты, а также наземная растительность, которая подходит практически к урезу воды и занимает все прибрежное пространство, лишая его полноценной пляжной зоны [Дембицкий, Толстикова, 2003]. Несмотря на узкость пляжной зоны, большое количество рекреантов стремится на побережье бухты и также вносит свой вклад в контаминирование среды фенолами.

Распределение в бухте микроорганизмов, проявляющих устойчивость к повышенному содержанию того или иного тяжелого металла в среде, отличается мозаичностью (табл. 3). Это объясняется тем, что морские воды являются чрезвычайно динамичной средой и содержание взвешенных и растворенных поллютантов в ней зависит от действия большого числа природных и антропогенных факторов: скорости и направления течений, ветрового режима, pH среды, сезона, интенсивности сброса и состава сточных вод, действующих на каждой станции в данный момент времени [Шулькин, 2004].

Таблица 3

Численность металл-резистентных микроорганизмов в поверхностных водах бухты Новик, июль 2018 г., КОЕ/мл

Table 3

Number of metal-resistant microorganisms in the surface waters of the Novik Bay in July 2018, colony-forming units/ml

№ станции	Эколого-трофические группы микроорганизмов				
	Zn	Pb	Ni	Cu	Cd
1	0	0	0	0	0
5	$(1,0 \pm 0,05) \cdot 10$	0	$(5,5 \pm 0,1) \cdot 10$	0	0
6	$(1,5 \pm 0,1) \cdot 10$	$(3,0 \pm 0,21) \cdot 10$	$(3,80 \pm 0,21) \cdot 10^2$	$(2,1 \pm 0,3) \cdot 10^2$	0
9	0	0	$(4,30 \pm 0,18) \cdot 10^2$	$(4,1 \pm 0,3) \cdot 10^2$	0
10	$(2,0 \pm 0,2) \cdot 10$	0	$(2,50 \pm 0,21) \cdot 10^2$	$(2,2 \pm 0,1) \cdot 10^3$	0
12	$(1,0 \pm 0,1) \cdot 10$	$(2,3 \pm 0,3) \cdot 10$	$(5,0 \pm 0,19) \cdot 10$	$(2,6 \pm 0,1) \cdot 10^3$	0
13	0	0	0	0	0
15	$(2,0 \pm 0,15) \cdot 10$	$(3,0 \pm 0,3) \cdot 10$	–	$(1,0 \pm 0,1) \cdot 10$	0
16	$(3,0 \pm 0,1) \cdot 10$	–	$(3,0 \pm 0,3) \cdot 10$	0	0
17	$(3,0 \pm 0,22) \cdot 10$	$(1,0 \pm 0,1) \cdot 10$	$(5,50 \pm 0,21) \cdot 10$	$(9,20 \pm 0,18) \cdot 10$	$(1,50 \pm 0,21) \cdot 10$

Cd-резистентные микроорганизмы зафиксированы на одной (17-й) из десяти обследованных станций.

Свинец-резистентные микроорганизмы выявлены на четырех станциях.

В настоящее время вдоль береговой черты выявляются Zn- и Ni-резистентные МО, свидетельствуя о хозяйственно-бытовом и техногенном воздействии, связанном с прохождением, заправкой и стоянкой большого числа лодок и катеров, а также деятельностью маломерного флота.

Наиболее высокие показатели Ni-резистентных микроорганизмов обнаружены на трех станциях (6, 9, 10) и составили соответственно $(3,80 \pm 0,21) \cdot 10^2$, $(4,30 \pm 0,18) \cdot 10^2$ и $(2,50 \pm 0,21) \cdot 10^2$. Численность Zn-резистентных микроорганизмов на один порядок ниже численности устойчивых к никелю и на два порядка ниже медь-резистентных бактерий (табл. 3).

Привлекают внимание Cu-резистентные микроорганизмы — трассеры коммунально-бытовых стоков, численность которых достаточно высока на большинстве обследованных станций. Максимальные значения зафиксированы в бухте Труда и у о. Фальшивого (табл. 3).

Таким образом, бухта Новик загрязнена тяжелыми металлами незначительно. Некоторое загрязнение медью и никелем (10^2 – 10^3 КОЕ/мл) связано с хозяйственно-бытовой деятельностью и сжиганием углеводородного топлива.

Сравнение с данными предыдущих микробиологических опробований показало, что воды бухты Новик стали чище.

Заключение

Таким образом, микробная индикация, выполненная в течение 2017–2018 гг., выявила существенное улучшение состояния вод бухты Новик по сравнению с 2016 г. Общая численность гетеротрофных микроорганизмов, свидетельствующая о сапробности, позволяет отнести воды бухты к олиго- и мезосапробному типу во все периоды исследования. Данные о содержании БГКП подтвердили, что в период опробования бухта Новик являлась чистым районом. Ни в одной из проб не высеяна *E. coli*, которая свидетельствует о фекальном загрязнении. Анализ численности бактерий, растущих на средах с сырой нефтью и дизельным топливом, показал, что воды большей части бухты относятся к малозагрязненным с локальными участками заметного пресса. На основе данных по численности металл-резистентных микроорганизмов показано, что воды бухты не подвержены существенному техногенному воздействию.

Благодарности

Авторы благодарят к.б.н. В.Я. Кавуна за критическое прочтение рукописи, ценные замечания и советы по ее улучшению, которые были учтены.

Финансирование работы

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

Соблюдение этических стандартов

В работе не предусматривались исследования, связанные с использованием животных в качестве объектов.

Авторы заявляют, что не имеют конфликта интересов.

Информация о вкладе авторов

Т.В. Бойченко — обработка проб, представление данных в виде таблиц, обсуждение результатов, написание рукописи (55 %); Н.К. Христофорова — идея работы, выбор точек отбора, отбор проб, обсуждение результатов, общая редакция рукописи (30 %); А.А. Емельянов — отбор проб, карта района работ, нанесение на нее точек отбора с названиями мест, участие в обсуждении идеи работы и полученных результатов (15 %).

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.
- Дембицкий В.М., Толстикова Г.А.** Природные галогенированные органические соединения : моногр. — Новосибирск : Изд-во СО РАН. Фил. «Гео», 2003. — 366 с.
- Димитриева Г.Ю.** Планктонные и эпифитные микроорганизмы: индикация и стабилизация состояния прибрежных морских экосистем : дис. ... д-ра биол. наук. — Владивосток : ДВГУ, 1999. — 407 с.
- Наливайко Н.Г.** Микробиология воды : учеб. пособие. — Томск : Изд-во Томского политехн. ун-та, 2006. — 139 с.
- Руководство к практическим занятиям по микробиологии** / под ред. Н.С. Егорова. — М. : МГУ, 1983. — 221 с.
- Руководство по методам биологического анализа морской воды и донных отложений** / под ред. А.В. Цыбань. — Л. : Гидрометеоздат, 1980. — 193 с.
- 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.
- 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.

Шулькин В.М. Металлы в экосистемах морских мелководий : моногр. — Владивосток : Дальнаука, 2004. — 275 с.

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.

Dembitsky, V.M. and Tolstikov, G.A., *Prirodnyye galogenirovannyye organicheskiye soyedineniya* (Natural halogenated organic compounds), Novosibirsk: Izd-vo SO RAN. Fil. «Geo», 2003.

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.

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

Rukovodstvo k prakticheskim zanyatiyam po mikrobiologii (Guide to practical classes in microbiology), Yegorov, N.S., Ed., Moscow: Mosk. Gos. Univ., 1983.

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., 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.

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.

Shul'kin, V.M., *Metally v ekosistemakh morskikh melkovodii* (Metals in Ecosystems of Marine Shallow Waters), Vladivostok: Dal'nauka, 2004.

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

Поступила в редакцию 15.05.2019 г.

После доработки 28.05.2019 г.

Принята к публикации 26.07.2019 г.