Известия ТИНРО

2017 **Том 189**

УДК 579.68(265.54)

Н.К. Христофорова[1, 2], Т.В. Бойченко[1], А.А. Емельянов[1], А.В. Попова[1]*

[1] Дальневосточный федеральный университет,
690091, г. Владивосток, ул. Октябрьская, 27;
[2] Тихоокеанский институт географии ДВО РАН,
690041, г. Владивосток, ул. Радио, 7

МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ СОСТОЯНИЯ ВОД БУХТЫ НОВИК (ЗАЛИВ ПЕТРА ВЕЛИКОГО, ЯПОНСКОЕ МОРЕ)

Статья посвящена изучению распределения численности различных эколого-трофических групп микроорганизмов в водах бухты Новик (зал. Петра Великого, Японское море), отобранных в летне-осеннее время. Проведено сравнение с контрольным районом — зал. Посьета. Дана оценка качества среды исследованных акваторий, выявляющая направленность антропогенного воздействия на эти районы. Установлено, что воды бухты Новик испытывают мощное хозяйственно-бытовое и рекреационное воздействие, зал. Посьета остаётся чистым районом, с малой антропогенной нагрузкой.

Ключевые слова: бухта Новик, зал. Петра Великого, микробная индикация, эколого-трофические группы микроорганизмов, уровень антропогенного воздействия.

Khristoforova N.K., Boychenko T.V., Emelyanov A.A., Popova A.V. Microbiological control of the water condition in the Novik Bay (Peter the Great Bay, Japan Sea) // Izv. TINRO. — 2017. — Vol. 189. — P. 121–130.

Quantitative distribution of certain ecological-trophic groups of microorganisms in the Novik Bay (Peter the Great Bay, Japan Sea) is considered for summer-fall season and compared with their state in the Posyet Bay. The marine environments quality is evaluated. There is concluded that the Novik Bay is subjected to strong anthropogenic impact whereas the Posyet Bay is a clean area with insignificant anthropogenic load.

Key words: Novik Bay, Peter the Great Bay, microbial indication, ecological-trophic group of microorganisms, anthropogenic impact.

Введение

Бухта Новик, внутренняя бухта о. Русского, в последнее время привлекает пристальное внимание ученых и научной общественности. Акватория бухты активно используется для ведения круглогодичного промышленного рыболовства, в кутовой части со стороны п-ова Саперного строится коттеджный поселок для сотрудников

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

Khristoforova Nadezhda K., D.Sc., professor, e-mail: marineecology@rambler.ru; Boychenko Tatiana V., Ph.D., senior lecturer, e-mail: boychenko.tv@dvfu.ru; Emelyanov Alexander A., postgraduate student, e-mail: 990507@mail.ru; Popova Alexandra V., student, e-mail: popova_avl@students.dvfu.ru.

ДВФУ, в зимнее время она является популярным местом подледной рыбалки, в летнее — привлекает множество туристов. В то же время в вершину бухты стекают воды от канализационных очистных сооружений (КОС), находящихся в пос. Лесном, куда приходят сточные воды от всего кампуса ДВФУ. Кроме того, бухта окружена небольшими поселками, лодочными станциями, базами отдыха, которые не канализованы. Все настоящие и будущие пользователи заинтересованы в сохранении чистоты вод бухты и ее продуктивности.

В предыдущей статье (Христофорова и др., 2016) мы привели данные о химико-экологических показателях вод бухты, отметив, что в весеннее и летнее время в бухте наблюдается довольно напряженный кислородный режим. Особенно заметна неудовлетворительная экологическая ситуация в самом куту бухты и на входе в неё. В связи с этим важно было продолжить изучение экологического состояния бухты и расширить круг наблюдаемых параметров.

Цель работы — проанализировать информацию, полученную для двух сезонов года (лета и осени), о микробиологической ситуации в бухте.

Материалы и методы

Наблюдения проведены в июле, августе и октябре 2016 г. Одновременно для сравнения в июле также были отобраны пробы воды в зал. Посьета, как наиболее чистом районе зал. Петра Великого. Пробы были отобраны вдоль центрального разреза бухты Новик и проанализированы на эколого-трофические группы микроорганизмов. На рис. 1 показаны станции отбора проб, которые специально были особенно густо расположены в вершине исследуемой акватории.

Пробы отбирались из поверхностного слоя воды в стерильные пластиковые шприцы объемом 20 мл, с одновременным замером температуры воды. Их анализировали сразу же после доставки в лабораторию, определяя следующие эколого-трофические группы микроорганизмов: КГМ — колониеобразующие гетеротрофные микроорганизмы, БГКП — бактерии группы кишечной палочки, НО — нефтеокисляющие микроорганизмы, ДТ — деструкторы дизельного топлива, ФД — фенолдеструкторы.

Колониеобразующие гетеротрофные микроорганизмы — показатель, свидетельствующий об общем органическом загрязнении вод. Поступающие в водоемы органические вещества служат пищевым субстратом бактериям. Морские гетеротрофные микроорганизмы чрезвычайно активны и являются важной составной частью морских экосистем, участвуют в процессах трансформации и минерализации органического материала в морской среде (Михайлов, 1995). Благодаря физиологическим и генетическим особенностям, бактерии быстро реагируют на изменение качества среды и действие стрессовых факторов. В связи с этим они могут быть использованы для оценки органического загрязнения. По принятым микробиологическим критериям показатели численности микроорганизмов до 10^3 кл./мл соответствуют чистым олигосапробным водам; 10^3–10^5 кл./мл — мезосапробным водам, обогащенным органическими соединениями, что зачастую наблюдается в прибрежных водах; 10^6 кл./мл и выше — свидетельствуют о высоком загрязнении, соответствуют полисапробным водам (Общая и санитарная микробиология…, 2004).

Бактерии группы кишечной палочки (санитарно-показательные микроорганизмы) используются в качестве маркера фекальной контаминации среды. Под этим общим понятием объединяют бактерии семейства Enterobacteriaceae, родов Escherichia, Citrobacter, Enterobacter, Serratia, Klebsiella (Lipp et al., 2001; Noble et al., 2003). К категории БГКП относят грамотрицательные, не образующие спор и не обладающие оксидазной активностью палочки, ферментирующие лактозу и глюкозу до кислоты и углекислого газа при температуре 37 °С в течение 24 ч. Эти бактерии выделяются в окружающую среду только с испражнениями человека и теплокровных животных (Телитченко, Кокин, 1968).

Нефтеокисляющие микроорганизмы, как и деструкторы дизельного топлива, — индикаторы нефтяного загрязнения морских вод. Углеводородокисляющая группа

Рис. 1. Расположение станций отбора проб в бухте Новик: *1* — вход в бухту Новик между мысами Старицкого и Елагина (о. Елены); *2* — рядом с камнем Ермолаева; *3* — рядом с о. Папенберга; *4* — бухта Труда; *5* — южнее мыса Доронина и мыса Шигина; *6* — рядом с о. Фальшивым; *7* — напротив мыса Мелководного; *7*[1] — кутовая часть бухты Шошина; *8* — кутовая часть бухты Лесника; *8*[1] — вход в бухту Лагерная вблизи мыса Полонского; *9* — напротив мыса Фета; *10* — кутовая часть бухты Конечной; *11* — вход в бухту Полонка; *12* — восточная сторона бухты Полонка, устье ручья; *13* — юго-восточная сторона бухты Полонка, устье ручья; *14* — южная сторона бухты Полонка, устье стока с очистной станции «Лесная»; *15* — юго-западная часть бухты Полонка, устье ручья

Fig. 1. Scheme of sampling in the Novik Bay: *1* — entrance, between Cape Starytsky and Cape Elagin (Elena Island); *2* — Ermolaev Rock; *3* — Papenberg Island; *4* — Trud Bight; *5* — area southward of Cape Doronin and Cape Shigin; *6* — Falshivy Island; *7* — Cape Melkovodny; *7*[1] — Shoshin Bight; *8* — Lesnik Bight; *8*[1] — Lagernaya Bight (Cape Polonsky); *9* — Cape Fet; *10* — Konechnaya Bight; *11* — external Polonka Bight; *12* — eastern Polonka Bight; *13* — southeastern Polonka Bight; *14* — southern Polonka Bight (at sewer of the sewage disposal plant «Lesnaya»); *15* — southwestern Polonka Bight

микроорганизмов очень разнообразна, самыми распространенными и активными являются бактериальные штаммы, которые относятся к родам Pseudomonas, Arthrobacter, Rhodococcus, Acinetobacter, Flavobacterium, Mycobacterium, Xanthomonas, Alcaligenes, Nocardia, Brevibacterium, Corynebacterium. Из дрожжей к наиболее распространенным окислителям нефтеуглеводородов относятся роды Candida и Torulopsis. Среди грибов чаще всего выделяют как разрушителей нефтепродуктов Streptomyces, Aspergillus (Ramaiah et al., 2004).

В морской среде обнаружено 25 родов углеводородокисляющих бактерий, 27 родов микроскопических грибов, 12 видов дрожжей (окисляют один или несколько видов углеводородов), 9 родов цианобактерий (Тимергазина, Переходова, 2012).

Фенолдеструкторы свидетельствуют о присутствии фенолов в среде. Наиболее активными и часто единственными деструкторами фенолов являются микроорганизмы, которые одновременно могут служить индикаторами присутствия данных поллютантов в море (Кондратьева, Каретникова, 2000). Состав фенолустойчивых бактериальных сообществ морской воды и донных осадков близок к составу микрофлоры активных илов очистных сооружений.

Методы микробной индикации дают возможность выявлять и контролировать появление фенолов в морской среде гораздо раньше, чем отмечаются необратимые токсические эффекты у гидробионтов. Поскольку бактерии-индикаторы фенольного загрязнения одновременно являются активными деструкторами фенолов, а с исчезновением субстрата довольно быстро меняются состав и свойства микробного сообщества, это даёт возможность использовать бактериальную диагностику для биоиндикации и мониторинга фенольного загрязнения моря (Дроздовская, 2000). В настоящее время к числу микроорганизмов-деструкторов, способных использовать в качестве единственного источника углерода и энергии фенол, относятся представители Acinetobacter, Bacillus, Caulobacter, Comamonas, Desulfitobacterium, Nocardia, Ralstonia (Плотникова, 2010). Представители родов *Acinetobacter* sp., Rhodococcusrhodochrous, *Rh. rhodnii* способны метаболизировать фенол в концентрациях, достигающих нескольких миллиграмм на литр.

Наиболее вероятное количество бактерий отдельных физиологических групп — НО, ФД, ДТ — оценивали на основе метода предельных разведений с использованием элективных сред. В качестве основы для приготовления элективных сред использовали дрожжевой экстракт (0,005 %) с минеральными солями, куда добавляли один из следующих субстратов: нефть, фенол, дизельное топливо в конечной концентрации 0,1 % как единственный источник углерода для развития бактерий (Руководство…, 1980). Для определения наиболее вероятного числа клеток микроорганизмов использовали таблицу Мак-Креди (Руководство…, 1983). Анализ численности колониеобразующих форм гетеротрофных микроорганизмов проводили на среде СММ (среда для морских микроорганизмов) с добавлением 1,5 % агара чашечным методом Коха (Youchimizu, Kimura, 1976). Бактерии группы кишечной палочки обнаруживали с использованием селективной среды Эндо. Определяли каталазоположительные, оксидазоотрицательные, грамотрицательные бактерии (Руководство…, 1983).

Результаты и их обсуждение

В табл. 1–3 приведены результаты наблюдений.

Как видно, в июле численность гетеротрофных микроорганизмов распределялась от станции к станции более или менее равномерно, варьируя в основном в пределах от 10^4 до 10^5 КОЕ/мл. Это свидетельствует о том, что воды бухты относятся к категории мезосапробных, т.е. обогащенных органическими соединениями. И лишь на одной станции — 12-й (восточная сторона бухты Полонка) — воды относятся к категории полисапробных (10^6 КОЕ/мл). Второй по величине численности гетеротрофных микроорганизмов является станция 1 — вход в бухту Новик, между мысами Старицкого и Елагина ($5{,}4 \cdot 10^5$). Осенью состояние акватории изменилось, и воды перешли в категорию олигосапробных — численность гетеротрофов снизилась на два-три порядка величин. Исключением явилась станция 15 в вершине бухты, где численность КГМ по-прежнему была высокой, составляя 10^4 КОЕ/мл.

Бактерии группы кишечной палочки фактически повторили результаты по гетеротрофам. На входе в бухту (станция 1) их численность в июле составляла 10^5 КОЕ/мл, максимум численности фиксировался также в кутовой части на ст. 12 — 10^6 КОЕ/мл. Осенью единичные колонии этих бактерий выросли на чашках Петри только для трех станций — 7, 13, 15-й.

Следующей группой, которую целесообразно рассмотреть после бактерий группы кишечной палочки, являются фенолдеструкторы, поскольку в широком наборе микроорганизмов, относящихся к этой эколого-трофической группе, могут находиться

Таблица 1

Эколого-трофические группы микроорганизмов в поверхностных водах бухты Новик
(июль, октябрь 2016 г.)

Table 1

Ecological-trophic groups of microorganisms at the sea surface in the Novik Bay
in July and October of 2016

№ ст.	КГМ, КОЕ/мл		БГКП, КОЕ/мл		НО, кл./мл		ДТ, кл./мл		ФД, кл./мл	
	Лето	Осень	Лето	Осень	Лето	Осень	Лето	Осень	Лето	Осень
1	$(5{,}40 \pm 0{,}21) \cdot 10^5$	$(1{,}50 \pm 0{,}10) \cdot 10^2$	$(2{,}69 \pm 0{,}23) \cdot 10^5$	0	$25{,}0 \cdot 10^6$	$6{,}0 \cdot 10^3$	$13{,}0 \cdot 10^5$	$6{,}0 \cdot 10^2$	$2{,}5 \cdot 10^5$	$6{,}0 \cdot 10^2$
2	–	$(4{,}00 \pm 0{,}20) \cdot 10^2$	–	0	–	$6{,}0 \cdot 10^1$	–	0	–	$25{,}0 \cdot 10^2$
3	$(6{,}10 \pm 0{,}30) \cdot 10^4$	–	$(4{,}42 \pm 0{,}40) \cdot 10^3$	0	$6{,}0 \cdot 10^4$	–	$2{,}5 \cdot 10^5$	–	$2{,}5 \cdot 10^3$	
4	–	$(3{,}00 \pm 0{,}21) \cdot 10^2$	–	0	–	$2{,}5 \cdot 10^1$	–	$6{,}0 \cdot 10^1$	–	$2{,}5 \cdot 10^1$
5	$(1{,}55 \pm 0{,}23) \cdot 10^4$	$3{,}50 \cdot 10^2$	$(1{,}80 \pm 0{,}20) \cdot 10^4$	0	$110{,}0 \cdot 10^7$	$6{,}0 \cdot 10^2$	$2{,}5 \cdot 10^4$	0	$2{,}5 \cdot 10^4$	$6{,}0 \cdot 10^2$
6	–	$(2{,}00 \pm 0{,}12) \cdot 10^2$	–	0	–	$13{,}0 \cdot 10^1$	–	0	–	$13{,}0 \cdot 10^1$
7	$(4{,}23 \pm 0{,}27) \cdot 10^5$	$(2{,}50 \pm 0{,}11) \cdot 10^2$	$(1{,}32 \pm 0{,}21) \cdot 10^5$	5	$25{,}0 \cdot 10^6$	$6{,}0 \cdot 10^2$	$110{,}0 \cdot 10^7$	$6{,}0 \cdot 10^1$	$2{,}5 \cdot 10^5$	$6{,}0 \cdot 10^2$
8	–	$(2{,}80 \pm 0{,}18) \cdot 10^2$	–	0	–	$6{,}0 \cdot 10^3$	–	$13{,}0 \cdot 10^1$	–	$6{,}0 \cdot 10^2$
9	$(2{,}30 \pm 0{,}12) \cdot 10^4$	–	$(1{,}50 \pm 0{,}11) \cdot 10^4$	0	$2{,}5 \cdot 10^5$	–	$6{,}0 \cdot 10^1$	–	$6{,}0 \cdot 10^2$	
10	–	$(3{,}45 \pm 0{,}30) \cdot 10^3$	–	0	–	$13{,}0 \cdot 10^1$	–	$13{,}0 \cdot 10^1$	–	$25{,}0 \cdot 10^2$
11	$(2{,}53 \pm 0{,}30) \cdot 10^5$	$(1{,}90 \pm 0{,}20) \cdot 10^3$	$(2{,}86 \pm 0{,}20) \cdot 10^5$	0	$2{,}5 \cdot 10^5$	$6{,}0 \cdot 10^3$	$2{,}5 \cdot 10^4$	$2{,}5 \cdot 10^3$	$6{,}0 \cdot 10^3$	$6{,}0 \cdot 10^2$
12	$(2{,}27 \pm 0{,}22) \cdot 10^6$	$(6{,}50 \pm 0{,}30) \cdot 10^3$	$(1{,}60 \pm 0{,}20) \cdot 10^6$	0	$110{,}0 \cdot 10^7$	$2{,}5 \cdot 10^3$	$110{,}0 \cdot 10^7$	$6{,}0 \cdot 10^2$	$6{,}0 \cdot 10^3$	$6{,}0 \cdot 10^2$
13	–	$(2{,}65 \pm 0{,}23) \cdot 10^3$	–	7	–	$13{,}0 \cdot 10^3$	–	$13{,}0 \cdot 10^2$	–	$6{,}0 \cdot 10^3$
14	$(1{,}23 \pm 0{,}12) \cdot 10^4$	$(4{,}00 \pm 0{,}22) \cdot 10^3$	$(1{,}65 \pm 0{,}30) \cdot 10^4$	0	$2{,}5 \cdot 10^5$	$13{,}0 \cdot 10^2$	$13{,}0 \cdot 10^5$	$6{,}0 \cdot 10^2$	$110{,}0 \cdot 10^7$	$6{,}0 \cdot 10^3$
15	–	$(2{,}17 \pm 0{,}12) \cdot 10^4$	–	4	–	$6{,}0 \cdot 10^3$	–	$2{,}5 \cdot 10^3$	–	$2{,}5 \cdot 10^3$

Таблица 2

Численность колониеобразующих гетеротрофных микроорганизмов и бактерий группы кишечной палочки в поверхностных водах бухты Новик (13 августа 2016 г.)

Table 2

Number of heterotrophic microorganisms and bacteria belonging to the ecological-trophic group of intestinal bacilli at the sea surface in the Novik Bay in August, 13, 2016

Станция	КГМ, КОЕ/мл	БГКП, КОЕ/мл
1 — вход в бухту Новик	$(6{,}50 \pm 0{,}20) \cdot 10^3$	$(2{,}00 \pm 0{,}10) \cdot 10^4$
2 — рядом с небольшим маяком	$(1{,}35 \pm 0{,}12) \cdot 10^4$	$(4{,}95 \pm 0{,}20) \cdot 10^3$
4 — бухта Труда	$(3{,}20 \pm 0{,}32) \cdot 10^4$	$(8{,}00 \pm 0{,}11) \cdot 10^4$
7^1 — мыс Тупой	$(6{,}50 \pm 0{,}40) \cdot 10^3$	0
8 — мыс Узкий	$(4{,}20 \pm 0{,}11) \cdot 10^3$	$(2{,}12 \pm 0{,}20) \cdot 10^3$
8^1 — напротив мыса Шошина	$(1{,}17 \pm 0{,}10) \cdot 10^3$	0
10 — мыс Фета, заросли зостеры, устье речки	$(1{,}34 \pm 0{,}10) \cdot 10^4$	$(1{,}30 \pm 0{,}12) \cdot 10^3$
11 — вход в бухту Полонка	$(2{,}15 \pm 0{,}13) \cdot 10^4$	$(1{,}70 \pm 0{,}10) \cdot 10^2$
12 — сток с очистных сооружений, КОС Лесная, точка 1	$(1{,}25 \pm 0{,}20) \cdot 10^4$	$(5{,}25 \pm 0{,}32) \cdot 10^3$
13 — небольшая речушка, сток с очистных	$(4{,}93 \pm 0{,}22) \cdot 10^4$	0
14 — КОС Лесная, точка 2	$(3{,}20 \pm 0{,}10) \cdot 10^4$	$(4{,}65 \pm 0{,}32) \cdot 10^4$
15 — устье ручья	$(2{,}76 \pm 0{,}11) \cdot 10^3$	$(5{,}81 \pm 0{,}20) \cdot 10^3$

Таблица 3

Эколого-трофические группы микроорганизмов в поверхностных водах зал. Посьета (июль 2016 г.)

Table 3

Ecological-trophic groups of microorganisms at the sea surface in the Posyet Bay in July, 2016

Станция	КГМ, КОЕ/мл	БГКП, КОЕ/мл	ФД, кл./мл	ДТ, кл./мл	НО, кл./мл
1 — бухта Сивучья (ДВГМЗ)	$(6{,}85 \pm 0{,}30) \cdot 10^3$	0	0	0	$6{,}0 \cdot 10^1$
2 — западный берег бухты Рейд Паллада	$(3{,}16 \pm 0{,}21) \cdot 10^4$	0	$25{,}0 \cdot 10^5$	$13 \cdot 10^3$	$2{,}5 \cdot 10^3$
3 — мыс Острена (ДВГМЗ)	$(1{,}40 \pm 0{,}11) \cdot 10^4$	0	$13{,}0 \cdot 10^3$	$13 \cdot 10^1$	$6{,}0 \cdot 10^1$
4 — мыс Мраморный (ДВГМЗ)	$(6{,}10 \pm 0{,}20) \cdot 10^3$	0	$2{,}5 \cdot 10^3$	0	$13{,}0 \cdot 10^3$
5 — каменистая оконечность косы Назимова	$(8{,}50 \pm 0{,}11) \cdot 10^4$	0	$6{,}0 \cdot 10^2$	$6 \cdot 10^2$	$70{,}0 \cdot 10^2$
6 — бухта Новгородская	$(6{,}85 \pm 0{,}10) \cdot 10^4$	$(5{,}1 \pm 0{,}2) \cdot 10^3$	$13{,}0 \cdot 10^2$	$13 \cdot 10^1$	$13{,}0 \cdot 10^2$
7 — бухта Миноносок (ДВГМЗ)	$(5{,}90 \pm 0{,}30) \cdot 10^3$	0	$6{,}0 \cdot 10^1$	0	$13{,}0 \cdot 10^1$
8 — выход из бухты Витязь, мыс Восточный	$(2{,}95 \pm 0{,}10) \cdot 10^4$	0	$6{,}0 \cdot 10^1$	$25 \cdot 10^2$	$25{,}0 \cdot 10^2$

деструкторы фекальных стиролов (входят в состав фенольных соединений). Это предположение особенно ярко подтверждается для станции 14, где численность микроорганизмов данной группы достигала максимальной величины — 10^7 кл./мл. Привлекают внимание также станции 1-я (входная) и 7-я (напротив мыса Мелководного), где численность фенолдеструкторов составляла 10^5 кл./мл. Наименьшее количество клеток в миллилитре обнаружено в воде на станции 9-й (напротив мыса Фета). На остальных станциях концентрация клеток находилась в диапазоне 10^3–10^4 кл./мл. Осенью численность бактерий этой группы заметно уменьшилась, варьируя в пределах 10^1–10^3 кл./мл.

Группу нефтеокисляющих микроорганизмов целесообразно начать рассматривать с деструкторов дизельного топлива, так как это более легкоусваеваемая форма, которая будет предпочитаться микроорганизмами и использоваться в первую очередь. Максимальные значения численности деструкторов дизельного топлива были зафиксированы на станциях 7-й и 12-й, составив 10^7 кл./мл, минимальное количество микроорганизмов данной эколого-трофической группы обнаружено на станции 9-й — 10^1 кл./мл. Осенью произошло резкое уменьшение численности: на станции 7-й она снизилась на шесть порядков величин, на станции 12-й — на пять.

Численность нефтеокисляющих микроорганизмов находилась в диапазоне от 10^4 до 10^7 кл./мл. Их максимум (10^7) зафиксирован на двух станциях — 5-й (южнее мысов Доронина и Шигина) и 12-й. В отличие от деструкторов дизельного топлива, числен-

ность нефтеокисляющих микроорганизмов ни на какой станции не опускалась ниже 10^4 кл./мл. Осенью по сравнению с летом наблюдалось заметное снижение численности — на два-пять порядков величин.

Таким образом, наиболее загрязненными по многим показателям оказались 1, 5, 7 и 12-я станции. При этом 5-я станция выделилась только численностью нефтеокисляющих бактерий, 12-я — максимальной численностью микроорганизмов всех эколого-трофических групп, кроме фенолдеструкторов, на станциях 1-й и 7-й фиксировались довольно высокие показатели всех трофических групп микроорганизмов.

Если максимальная численность всех эколого-трофических групп в кутовой части бухты (станция 12) со стекающими в неё несколькими ручьями, в том числе и главного — от очистных сооружений, понятна и говорит о недостаточной очистке стоков, приходящих на КОС от кампуса университета, то высокие количественные показатели отдельных физиологических групп на остальных станциях требуют пояснения.

Станция 7-я расположена в самом узком участке средней части бухты Новик, между мысом Мелководным на одном берегу и пос. Экипажным — на другом. Мыс Мелководный замечателен тем, что на нем расположен Международный гребной центр с эллингами для лодок, спортклубом, капитальными кирпичными домами постройки начала 1900-х гг. и другими функциональными строениями. Крупный поселок с многоэтажными кирпичными домами на противоположной стороне бухты имеет очистное сооружение, стоящее вблизи берега. Все это показывает — под каким мощным и многосторонним прессом находится данный участок бухты Новик. Понятно также, что к осени антропогенное воздействие в районе мыса Мелководного снижается: посещаемость этого центра к поздней осени спадает, кроме того, осадки и усиливающаяся гидродинамика способствуют разбавлению и разносу контаминантов.

Станция 1-я — вход в бухту — находится под прессом от двух основных источников. На юго-западе полуострова, северной оконечностью которого является мыс Старицкого, находится мыс Чернявского. К этому мысу выходит полуразрушенный канализационный дюкер от КОС пос. Бабкино, транспортируя стоки в Амурский залив. След мутной воды прослеживается до мыса Старицкого включительно. Более того, за счет усиления течения между о. Уши и мысом Старицкого загрязненная вода «протаскивается» за мыс во входную часть бухты Новик. На противоположной стороне близ мыса Елагина в бухте Девятка расположена база отдыха. Кроме того, все побережье о. Елены является излюбленным местом отдыха горожан, которые добираются на остров на личных маломерных катерах. Берег о. Елены в летнее время буквально усыпан палаточными городками. При сильных юго-восточных ветрах мощным дополнительным источником загрязнения во входной части бухты могут быть стоки от крупного пос. Подножье, расположенного к юго-востоку от входа в бухту Новик. Очевидно, этими причинами и объясняется то многообразие и высокий уровень содержания контаминантов, которые выявляются по эколого-трофическим группам микроорганизмов.

Станция 5-я находится на фарватере, по которому проходят плавсредства от яхтклуба «Алые паруса», находящегося в бухте Школьной, а также от стоянки катеров, расположенной у подножья пос. Экипажного. Кроме того, многочисленный маломерный транспорт доставляет отдыхающих на берега бухты Новик. В пос. Шигино имеется пирс, стоянка катеров, база отдыха, у самого моря находится автобусная остановка на дороге, идущей вдоль берега на пос. Подножье. Все это вместе поспособствовало загрязнению, которое выявлено по численности нефтеокисляющих микроорганизмов.

Первая половина августа характеризовалась обилием осадков. Для того чтобы посмотреть, как это скажется на численности интересующих нас микроорганизмов, для наблюдения были отобраны только две эколого-трофические группы — гетеротрофы и бактерии группы кишечной палочки (табл. 2).

Как видно, численность гетеротрофных микроорганизмов после дождей снизилась до 10^3–10^4 КОЕ/мл. Сравнение со станциями, отобранными в июле, позволяет оценить это снижение более точно: на станциях 1-й и 12-й численность КГМ снизилась на два порядка величин, на станциях 11-й и 14-й — в десять раз. Численность БГКП

снизилась на 1–3 порядка величин. Особенно заметным было снижение на станции 12-й — в тысячу раз, в то время как на входе в бухту численность БГКП снизилась только в десять раз. Таким образом, интенсивные дожди привели к снижению численности микроорганизмов данных эколого-трофических групп. Следовательно, осадки, характерные для региона в конце лета — начале осени, приводят к очищению бухты.

Контрольным районом для сравнения численности эколого-трофических групп микроорганизмов в бухте Новик был выбран зал. Посьета (рис. 2), где несколько станций относились к морскому заповеднику (ДВГМЗ). Отбор проб был сделан также в июле (табл. 3).

Рис. 2. Расположение станций отбора проб в зал. Посьета: *1* — бухта Сивучья; *2* — западный берег бухты Рейд Паллада; *3* — мыс Острена; *4* — мыс Мраморный; *5* — каменистая оконечность косы Назимова; *6* — бухта Новгородская; *7* — бухта Миноносок; *8* — выход из бухты Витязь

Fig. 2. Scheme of sampling in the Posyet Bay: *1* — Sivuchy Bight; *2* — western Reid Pallada Bay; *3* — Cape Ostren; *4* — Cape Mramorny; *5* — rocky top of Nazimov Spit; *6* — Novgorodskaya Bight; *7* — Minonosok Bight; *8* — Vityaz Bight

Как можно видеть, численность гетеротрофных микроорганизмов в водах зал. Посьета была довольно стабильной и находилась в диапазоне 10^3–10^4 КОЕ/мл, соответствуя олиго- и мезосапробным водам. Как отмечено выше (см. табл. 1), в бухте Новик количество гетеротрофов находилось на уровне 10^4–10^6 КОЕ/мл. Данные о содержании БГКП подтвердили, что зал. Посьета является чистым районом, с минимальной антропогенной нагрузкой. И лишь вблизи порта Посьет (вход в бухту Новгородскую) было выявлено явное влияние человека (10^3 КОЕ/мл). Станция 6-я в бухте Новгородской была сделана немного южнее двух небольших баз отдыха («Наутилус» и «Новгородская»), с пирсом и паромной переправой, вблизи примыкающей к бухте железной дороги, по которой в порт поставляется уголь, и железнодорожной станции «Посьет». Не говоря о нулевых значениях БГКП почти на всех станциях в зал. Посьета, даже эта, находившаяся вблизи порта, отличается от показаний в бухте Новик на 1–3 порядка величин.

Численность деструкторов фенолов в зал. Посьета отличалась большой вариабельностью: от 0 до 10^5 кл./мл. Нулевые и минимальные значения фиксировались в бухтах Сивучья и Миноносок, на выходе из бухты Витязь. Более высокие значения численности фенолдеструкторов, проявившиеся у мысов Острена, Мраморный и вблизи западного берега бухты Рейд Паллада, возможно, связаны с полями зарослей зостеры, окружавших эти мысы, близостью нашего маршрута к рекомендованному курсу для судов, идущих в порт Посьет, а также подтоком более загрязненных вод, выходящих из бухты Экспедиции и от косы Назимова, вдоль юго-западного борта бухты Рейд Паллада, что обусловлено основным переносом вод в зал. Посьета в летне-осенний период (Григорьева, 2012).

Деструкторов дизельного топлива оказалось немного, как и бактерий группы кишечной палочки. Нулевые значения были характерны для трёх станций — бухт Сивучья и Миноносок, а также мыса Мраморного. На остальных станциях значения численности изменялись от 10^1 до 10^3 кл./мл.

Зал. Посьета незначительно загрязнён трудноокисляемыми нефтеуглеводородами — от 10^1 до 10^3 кл./мл, однако нулевых значений численности нефтеокисляющих микроорганизмов, как было установлено для деструкторов дизельного топлива, не выявлено.

Микробиологический подход был также применён при оценке качества вод бухты Козьмина, где находится нефтяной терминал нефтепорта «Козьмино» и куда подходит труба ВСТО (Гамаюнова и др., 2016). В этой акватории диапазон численности микроорганизмов, окисляющих нефть и нефтепродукты, находился в пределах 10^3–10^5 кл./мл. Если в зал. Посьета 10^3 кл./мл — это верхний уровень количества нефтеокисляющих микроорганизмов, то в бухте Козьмина — нижний.

Заключение

Результаты выполненной работы подтвердили данные, полученные в предыдущем гидрохимическом обследовании бухты Новик (Христофорова и др., 2016). Действительно, входная часть бухты и особенно её вершина находятся в летнее время в напряженном экологическом состоянии. Однако если, используя кислородные показатели, мы констатировали пониженное содержание кислорода (около ПДК) и наличие легко- и трудноокисляемой органики в водах бухты, то, применяя микробиологический подход, в частности анализ на эколого-трофические группы микроорганизмов, мы смогли увидеть, какие именно вещества и в каких местах являются основными контаминантами. Так, бактерии группы кишечной палочки в наибольшем количестве выявлены летом в кутовой части бухты (10^6 КОЕ/мл), хотя вся акватория также довольно сильно загрязнена этими микроорганизмами, имеющими единственный источник — фекалии человека и животных. Микробиологический подход позволил выделить и другие экологически напряженные участки в акватории бухты, в частности район мыса Мелководного с большим «букетом» контаминантов, и район фарватера после двух сходящихся навстречу друг другу мысов, который выделился только максимальной численностью нефтеокисляющих микроорганизмов. Сравнение с чистыми акваториями морского заповедника на юго-западе зал. Петра Великого еще раз подчеркнуло напряженность экологического состояния бухты Новик. Однако летние дожди существенно улучшили ситуацию в бухте. Осенний же режим с осадками, усиленной гидродинамикой и пониженной температурой радикально изменил экологическую обстановку в акватории в сторону улучшения — бактерии группы кишечной палочки обнаруживались единично лишь в куту да у мыса Мелководного, деструкторы дизельного топлива однозначно выявлялись только в кутовой части, и лишь фенолдеструкторы и нефтеокисляющие микроорганизмы по-прежнему определялись по всей акватории, но в несравненно меньших количествах, чем летом (на два-пять порядков величин), с выраженным преобладанием численности в вершине бухты.

Список литературы

Гамаюнова О.А., Христофорова Н.К., Дроздовская О.А. Химико-экологическая и микробиологическая характеристика вод бухты Козьмина (залив Петра Великого, Японское море) // Вестн. ДВО РАН. — 2016. — № 3. — С. 39–46.

Григорьева Н.И. Залив Посьета: физико-географическая характеристика, климат, гидрологический режим // Современное экологическое состояние залива Петра Великого Японского моря. — Владивосток : ДВФУ, 2012. — С. 31–61.

Дроздовская О.А. Поиск микроорганизмов — индикаторов и деструкторов фенолов в прибрежных водах дальневосточных морей : дис. … канд. биол. наук. — Владивосток : ДВГУ, 2000. — 156 с.

Кондратьева Л.М., Каретникова Е.А. Микробиологическая индикация фенольного загрязнения водных экосистем // Экология пойм сибирских рек и Арктики : мат-лы 2-го совещ. — Томск, 2000. — С. 248–256.

Михайлов В.В. Морские гетеротрофные микроорганизмы — продуценты физиологически активных веществ : автореф. дис. … д-ра биол. наук. — Владивосток : ДВО РАН, 1995. — 46 с.

Общая и санитарная микробиология с техникой микробиологических исследований : учеб. пособие / под ред. А.С. Лабинской, Л.П. Блинковой, А.С. Ещиной. — М. : Медицина, 2004. — 576 с.

Плотникова Е.Г. Бактерии-деструкторы ароматических углеводородов и их хлорпроизводных: разнообразие, особенности метаболизма, функциональная геномика : автореф. дис. … д-ра биол. наук. — Пермь, 2010. — 83 с.

Руководство к практическим занятиям по микробиологии / под ред. Н.С. Егорова. — М. : МГУ, 1983. — 186 с.

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

Телитченко М.М., Кокин К.А. Санитарная гидробиология : руководство к практикуму. — М. : МГУ, 1968. — 103 с.

Тимергазина И.Ф., Переходова Л.С. К проблеме биологического окисления нефти и нефтепродуктов углеводородокисляющими микроорганизмами // Нефтегазовая геология. Теория и практика. — 2012. — Т. 7, № 1 (http://www.ngtp.ru/rub/7/16_2012.pdf/).

Христофорова Н.К., Дёгтева 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.

Lipp E.K., Farrah S.A., Rose J.B. Assessment and impact of microbial fecal pollution and human enteric pathogens in a coastal community // Mar. Poll. Bull. — 2001. — Vol. 42, № 4. — P. 286–293.

Noble R.T., Moore D.F., Leecaster M.K. et al. Comparison of total coliform, fecal coliform, and enterococcus bacterial indicator response for ocean recreational water quality testing // Water Res. — 2003. — Vol. 37, № 7. — P. 1637–1643.

Ramaiah N., Kolhe V., Sadhasivan A. Abundance of pollution indicator and pathogenic bacteria in Mumbai waters // Current Science. — 2004. — Vol. 87, № 4. — P. 435–439.

Youchimizu M., Kimura T. Study of intestinal microflora of Salmonids // Fish. Pathol. — 1976. — Vol. 10, № 2. — P. 243–259.

Поступила в редакцию 28.03.17 г.

Принята в печать 7.04.17 г.