

Численность и распределение отдельных групп бактерий в воде прибрежной акватории полуострова Камчатка

К. М. Зарипова^{1*}, Е. А. Демидова², Е. А. Тихонова¹,
Н. В. Бурдиян¹, Ю. В. Дорошенко¹, Е. Д. Басова³

¹ Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН,
Севастополь, Россия

² Московский физико-технический институт, Долгопрудный, Россия

³ ИПНГ РАН «Институт проблем нефти и газа Российской академии наук»,
Москва, Россия

* e-mail: zaripova_km@ibss-ras.ru

Аннотация

Представлены результаты микробиологических исследований прибрежной акватории северо-западной части Тихого океана и Охотского моря, полученные в ходе экспедиции рейса 23/4 ПС «Профессор Мультиановский» (август – сентябрь 2023 г.) в рамках программы «Плавучий университет». Определены количественные характеристики и изучено пространственное распределение бактерий, трансформирующих основные классы органических соединений, включая углеводороды нефти (дизельное топливо), липиды и фенолы в поверхностном и придонном слоях водной толщи. Численность гетеротрофных бактерий в этих слоях варьировала от 10^3 до 10^5 кл/мл. Численность углеводородокисляющих бактерий составляла от 1 до 10^2 кл/мл в поверхностном слое и от 1 до 10 кл/мл – в придонном. Численность липолитических бактерий изменялась от 10 до 10^3 кл/мл в обоих слоях, а фенолоксиляющей группы бактерий колебалась от 1 до 10^2 кл/мл. Исследованные группы бактерий распределены в прибрежной акватории п-ова Камчатка неравномерно. Максимальные показатели были зафиксированы в антропогенно нагруженной акватории Авачинской губы, эксплуатируемых бухтах и местах активного речного стока. В рассматриваемый период температура воды поверхностного слоя изменялась от 11.0 до 16.1 °С, придонного слоя – от 1.6 до 11.3 °С. Значения водородного показателя в воде поверхностного горизонта колебались в диапазоне от 8.38 до 8.49. Глубина на станциях отбора придонной воды варьировала от 13.5 до 780 м в Тихом океане и от 26 до 62 м в Охотском море. Значимых корреляционных связей между численностью определяемых групп микроорганизмов и указанными физико-химическими параметрами выявлено не было.

Ключевые слова: гетеротрофные бактерии, прибрежные воды, полуостров Камчатка, Авачинский залив, Охотское море

© Зарипова К. М., Демидова Е. А., Тихонова Е. А., Бурдиян Н. В.,
Дорошенко Ю. В., Басова Е. Д., 2025



Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0)

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0) License

Благодарности: работы выполнены в рейсе 23/4 ПС «Профессор Мультиановский» в рамках научно-образовательной программы «Плавучий университет» (соглашение № 075-01593-23-06) при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ, питательные среды для определения численности индикаторных групп бактерий подготовлены в рамках темы госзадания ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН (ФИЦ ИнБИОМ) «Изучение биогеохимических закономерностей радиоэкологических и хемозокологических процессов в экосистемах водоемов Азово-Черноморского бассейна в сравнении с другими акваториями Мирового океана и отдельными водными экосистемами их водосборных бассейнов для обеспечения устойчивого развития на южных морях России» (№ гос. регистрации 124030100127-7).

Для цитирования: Численность и распределение отдельных групп бактерий в воде прибрежной акватории полуострова Камчатка / К. М. Зарипова [и др.] // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2025. № 2. С. 135–148. EDN VUFBCX.

The Abundance and Distribution of Individual Bacterial Groups in Coastal Waters of the Kamchatka Peninsula

K. M. Zaripova¹*, E. A. Demidova², E. A. Tikhonova¹,
N. V. Burdiyan¹, Yu. V. Doroshenko¹, E. D. Basova³

¹ A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of Russian Academy
of Sciences, Sevastopol, Russia

² Moscow Institute of Physics and Technology, Dolgoprudny, Russia

³ Institute of Oil and Gas Problems of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

* e-mail: zaripova_km@ibss-ras.ru

Abstract

The paper presents the results of microbiological study in the coastal waters of the northwestern Pacific Ocean and the Sea of Okhotsk, obtained during the expedition of cruise 23/4 of PV *Professor Multanovsky* (August–September 2023) within the Floating University Program. Quantitative characteristics and spatial distribution of bacteria transforming major classes of organic compounds, including petroleum hydrocarbons (diesel fuel), lipids, and phenols, in the surface and bottom layers of the water column were determined. The abundance of heterotrophic bacteria in the surface and bottom layers ranged from 10^3 to 10^5 cells/mL. The abundance of hydrocarbon-oxidizing bacteria ranged from 1 to 10^2 cells/mL in the surface layer and from 1 to 10 cells/mL in the bottom layer. The abundance of lipolytic bacteria varied from 10 to 10^3 cells/mL in both layers. The phenol-oxidizing bacterial group ranged in abundance values from 1 to 10^2 cells/mL in both the surface and bottom layers. The investigated bacterial groups exhibited non-uniform distribution in the coastal waters of the Kamchatka Peninsula. Maximum values are associated with the anthropogenically loaded Avacha Bay, exploited bays, and sites of active river runoff. During the study period, the water temperature of the surface layer ranged from 11.0 to 16.1 °C, and the bottom layer ranged from 1.3 to 11.3 °C. The pH values in surface water varied from 8.38 to 8.49. The depth at the bottom water sampling stations was from 13.5 to 780 m in the Pacific Ocean and from 26 to 62 m in the Sea of Okhotsk. No significant correlation was found between the abundance of identified microbial groups and the recorded physical and chemical parameters.

Keywords: heterotrophic bacteria, coastal waters, Kamchatka Peninsula, Avacha Bay, Sea of Okhotsk

Acknowledgements: The work was carried out during cruise 23/4 of PV *Professor Miltanovsky* as part of the Floating University Program (Agreement no. 075-01593-23-06) with the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation. The nutrient media for determining the abundance of indicator groups of bacteria were prepared as part of the IBSS state research assignment “Study of biogeochemical patterns of radioecological and chemoecological processes in the ecosystems of water bodies of the Sea of Azov–Black Sea Basin in comparison with other areas of the World Ocean and individual aquatic ecosystems of their drainage basins to ensure sustainable development in the southern seas of Russia” (No. 124030100127-7).

For citation: Zaripova, K.M., Demidova, E.A., Tikhonova, E.A., Burdiyan, N.V., Doroshenko, Yu.V. and Basova, E.D., 2025. The Abundance and Distribution of Individual Bacterial Groups in Coastal Waters of the Kamchatka Peninsula. *Ecological Safety of Coastal and Shelf Zones of Sea*, (2), pp. 135–148.

Введение

Прибрежные морские акватории представляют собой контактную зону, где смешиваются потоки загрязняющих веществ со стороны суши и моря. Кроме того, в таких акваториях часто ведется интенсивная хозяйственная деятельность. Различные органические вещества поступают в морские экосистемы, становясь значительным и постоянным экологическим фактором, и при этом подвергаются деструкции под действием микроорганизмов [1]. Углеводороды являются органическими загрязнителями, наиболее часто встречающимися в экосистемах [2, 3]. Весомый вклад в загрязнение морских вод, омывающих Камчатку, вносят нефтяные углеводороды и фенолы ¹⁾.

При загрязнении водоемов увеличение численности бактерий определенных групп зачастую наблюдается раньше, чем может быть зафиксировано изменение химических показателей воды. Таким образом, микробиологические методы могут быть значительно чувствительнее санитарно-химических [4]. Так, в качестве индикаторов загрязнения вод углеводородами рассматриваются показатели численности углеводородокисляющих бактерий (УОБ), фенолом – число фенолоксиляющих бактерий (ФОБ), веществами липидного состава – число липолитических бактерий (ЛЛБ) [5]. С учетом того, что в районе исследования расположена стоянка судов, заправляющихся дизельным топливом ²⁾, и постоянно проводится его транспортировка и бункеровка судов [6, 7], в качестве единственного источника углерода и энергии для УОБ был выбран один из распространенных видов углеводородного сырья – дизельное топливо.

В исследованиях, направленных на мониторинг уровня загрязнения и оценку качества природных вод, особое внимание уделяется гетеротрофному компоненту микробных сообществ. Этот компонент выполняет ключевые функции в энергетическом балансе водных экосистем и играет важную роль в процессах самоочищения водоемов.

¹⁾ Доклад о состоянии окружающей среды в Камчатском крае в 2022 году. Петропавловск-Камчатский : Министерство природных ресурсов и экологии Камчатского края, 2023. 418 с.

²⁾ Касперович Е. В. Техногенное влияние морских транспортных средств на состояние экосистем прикамчатских вод : автореф. дис. ... канд. биол. наук. Петропавловск-Камчатский, 2011. 25 с.

В прибрежных водах Восточной Камчатки и Охотского моря и ранее применялся метод микробной индикации для оперативной характеристики степени загрязнения вод (определялась численность гетеротрофных микроорганизмов, в том числе отдельных физиологических групп, таких как УОБ и ФОБ) в поверхностном слое воды в районе Авачинской бухты, в прибрежных акваториях о-ва Сахалин и в акватории порта Магадан в 2001 г. [8]. В 1997–1999 гг. также проводили микробиологические исследования в Авачинской бухте и вблизи северо-восточного побережья о-ва Сахалин (а также у северного Приморья и в зал. Петра Великого). Были изучены гетеротрофные микроорганизмы из поверхностного и придонного водных слоев, но в контексте оценки экологического состояния акватории в условиях повышенного загрязнения среды тяжелыми металлами [9, 10]. В 2004–2006 гг. в прибрежных водах юга о. Сахалин исследовали численность гетеротрофных бактерий (ГБ), бактерий группы кишечной палочки, УОБ и ЛЛБ³⁾. В 2015 г. в Авачинской губе на шести станциях в разные сезоны определяли численность сапрофитных микроорганизмов в морской воде и другие санитарно-микробиологические показатели [11]. В 2021 г. в качестве индикаторов загрязнения водотоков г. Петропавловска-Камчатского были изучены УОБ [12]. Можно заключить, что исследования численности гетеротрофных микроорганизмов разных эколого-трофических групп имели в основном эпизодический характер и в изучаемом нами районе прибрежных вод п-ова Камчатка были локализованы в Авачинской бухте, тогда как прочие области исследованы недостаточно. В докладе о состоянии окружающей среды в Камчатском крае в 2022 г. можно найти информацию о загрязнении морских вод лишь для районов Авачинской губы и Халактырского пляжа¹⁾.

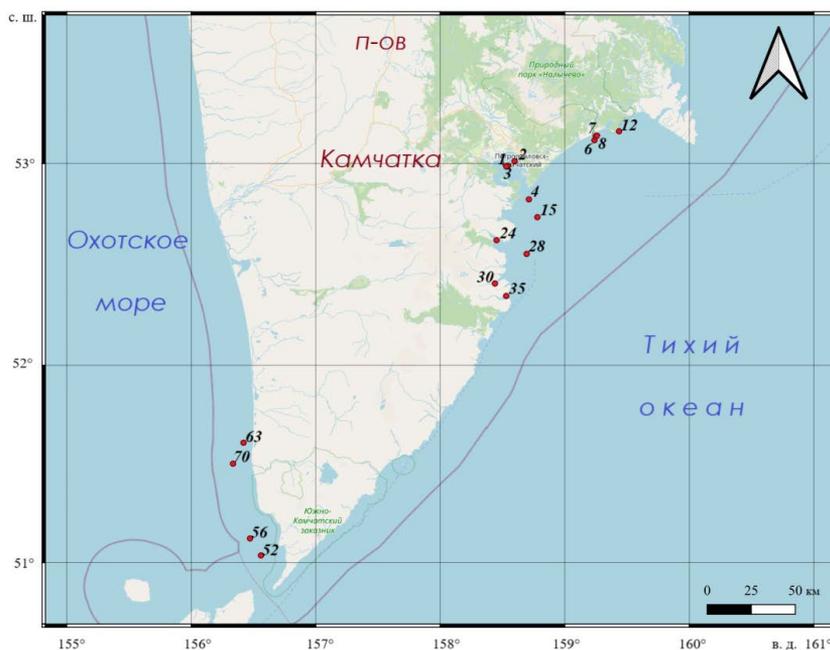
Цель работы – выявить особенности распределения бактерий разных индикаторных групп в воде юго-восточных и юго-западных прибрежных акваторий п-ова Камчатка в летне-осенний период.

Материалы и методы

Работы проводили в летне-осенний период 2023 г. в рейсе ПС «Профессор Мультиановский» в северо-западной части Тихого океана и Охотском море (рис. 1, табл. 1).

Станции отбора проб привязаны к зонам потенциально повышенного антропогенного воздействия: они расположены в бухтах, в морских устьевых областях крупных рек и в предустьевых пространствах, на водосборных территориях которых имеются населенные пункты, сельскохозяйственные и промышленные объекты (рис. 1). Так, ст. 1–3 находятся внутри Авачинской губы, в том числе непосредственно у устья р. Авачи, ст. 4 – в проливе, соединяющем Авачинскую губу с океаном, ст. 15 – в нескольких километрах от выхода из бухты. Станции 6–8 расположены в районе Халактырского пляжа – у устья р. Налычева, где в 2020 г. были зафиксированы «красные приливы» [13, 14]; ст. 12 – у устья р. Вахиль и Островной; ст. 24 – в акватории б. Вилючинской,

³⁾ *Ретина (Смирнова) М. А.* Нефтеуглеводородоокисляющие микроорганизмы прибрежных вод юга острова Сахалин : автореф. дисс. ... канд. биол. наук. Владивосток : Дальневост. гос. ун-т МОН РФ, 2009. 22 с.



Р и с . 1 . Карта точек отбора проб в прибрежной зоне п-ова Камчатка, 2023 г.

F i g . 1 . Map of sampling points in the coastal zone of the Kamchatka Peninsula, 2023

куда впадают р. Вилюча и Жировая; ст. 30 была выполнена в б. Русской; ст. 35 – в б. Лиственничной, куда впадает одноименная река; ст. 56 – у устья р. Лысой и Кривой; ст. 70 – вблизи устья р. Озерной у пос. Озерновского.

Пробы воды из поверхностного горизонта отбирали батометром, придонную воду отбирали непосредственно из дночерпателя типа *boxcorer*.

В поверхностном и придонном слоях воды определяли численность ГБ, УОБ, ЛЛБ и ФОБ. Посев не осуществляли для проб из поверхностного слоя со ст. 28, из придонного слоя со ст. 7 (и со ст. 15 для ЛЛБ и ФОБ). Численность бактерий определяли методом предельных разведений с использованием жидких питательных сред. Для ГБ использовали среду с пептоном⁴⁾, для УОБ и ЛЛБ применяли среду Ворошиловой – Диановой [15], для ФОБ – модифицированную среду Калабиной [16]. В качестве единственного источника углерода и энергии в каждую пробирку после посева для УОБ вносили 1 % стерильного дизельного топлива, для ЛЛБ – 1 % стерильного растительного масла. При приготовлении сред учитывали соленость морской воды. Наиболее вероятное число микроорганизмов в единице объема рассчитывали по таблице МакКреди, составленной на основе метода вариационной статистики. Пробы обрабатывали не позднее двух часов с момента отбора⁵⁾.

⁴⁾ Биологические аспекты нефтяного загрязнения морской среды / под ред. О. Г. Миронова. Киев : Наукова думка, 1988. 248 с.

⁵⁾ Практикум по микробиологии / под ред. А. И. Нетрусова. Москва : Издательский центр «Академия», 2005. 608 с.

Т а б л и ц а 1. Номера, координаты и глубины станций отбора проб в рейсе 23/4 ПС «Профессор Мульгановский»

Table 1. Numbers, coordinates and depths of sampling stations on cruise 23/4 of PV *Professor Multanovsky*

Номер станции / Station number	Широта, °с. ш. / Latitude, N	Долгота, °в. д. / Longitude, E	Глубина, м / Depth, m
1	52° 59.53'	158° 32.42'	25.0
2	53° 00.79'	158° 35.61'	22.0
3	52° 59.30'	158° 31.62'	26.0
4	52° 49.63'	158° 42.48'	59.0
6	53° 08.08'	159° 14.30'	15.0
7	53° 08.16'	159° 14.76'	15.0
8	53° 08.34'	159° 15.43'	13.6
12	53° 09.64'	159° 26.02'	24.0
15	52° 44.53'	158° 46.80'	780.0
24	52° 37.52'	158° 26.95'	14.0
28	52° 33.41'	158° 41.42'	119.0
30	52° 24.65'	158° 26.16'	26.0
35	52° 20.94'	158° 31.61'	31.0
52	51° 02.34'	156° 33.73'	33.0
56	51° 07.49'	156° 28.44'	62.0
63	51° 36.75'	156° 25.30'	26.0
70	51° 30.38'	156° 20.24'	57.0

Для характеристики прибрежных вод как среды обитания микроорганизмов в поверхностном и придонном слоях фиксировали температуру, соленость с помощью CTD-зонда (*CTD Sea-bird SBE 911plus*) и значения водородного показателя в поверхностном водном слое с помощью pH-метра (*FireSting-PRO*).

Карта точек отбора проб была построена в программе *QGIS 3.34.11* с использованием картографической подложки *OpenStreetMap*.

Результаты и обсуждение

За исследуемый период температура поверхностного слоя воды на изучаемых станциях 1–35 в северо-западной части Тихого океана варьировала от 11.0 до 15.7 °С, придонного слоя – от 1.6 до 11.3 °С. Соленость воды изменялась в диапазоне от 26.8 до 30.8 ЕПС в поверхностном слое и от 31.2 до 34.1 ЕПС в придонном. Глубина отбора проб придонной воды составляла от 13.6 до 780 м (табл. 1, 2).

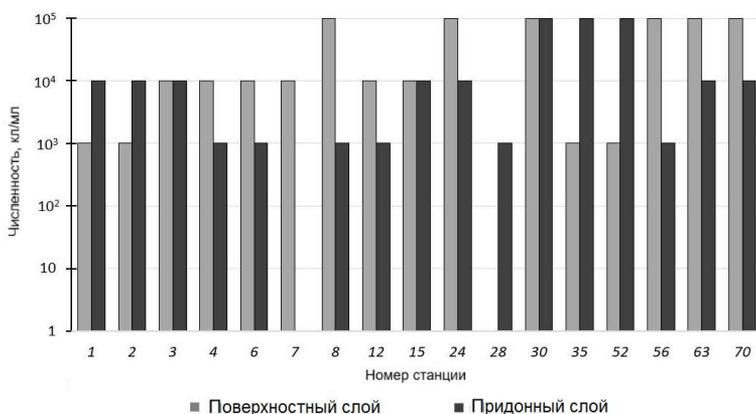
В Охотском море на станциях отбора проб 52–70 температура поверхностного слоя воды изменялась от 7.8 до 12.1 °С, придонного слоя – от 3.6 до 6.7 °С. Зафиксированная соленость воды в поверхностном слое изменялась в диапазоне 31.9–32.5 ЕПС, в придонном – в диапазоне 32.5–32.9 ЕПС. Глубина отбора проб придонной воды варьировала от 26 до 62 м (табл. 1, 2).

Т а б л и ц а 2. Температура и соленость в поверхностном и придонном слоях воды на станциях отбора проб

Table 2. Temperature and salinity in the surface and bottom water layers at sampling stations

Номер станции / Station number	Поверхностный слой / Surface layer		Придонный слой / Bottom layer	
	<i>t</i> , °C	<i>S</i> , ЕПС / <i>S</i> , PSU	<i>t</i> , °C	<i>S</i> , ЕПС / <i>S</i> , PSU
1	14.40	27.48	4.05	31,70
2	14.53	27.97	3.57	31.95
3	14.30	26.83	4.04	31.95
4	11.04	30.43	2.13	32.93
6	15.30	29.66	9.80	31.49
7	14.70	30.03	9.07	31.50
8	15.00	29.54	11.32	31.15
12	15.57	29.66	5.40	32.28
15	15.73	29.86	3.58	34.11
24	13.31	30.50	8.70	31.60
28	14.40	30.80	1.60	33.05
30	12.77	30.18	3.99	32.67
35	13.90	30.16	3.61	32.71
52	7.80	32.55	6.70	32.50
56	10.20	32.46	4.23	32.87
63	12.05	32.01	6.56	32.63
70	11.47	31.87	3.57	32.94

Бактерии-деструкторы органического вещества были обнаружены во всех пробах воды из обоих слоев (рис. 2). Численность ГБ и в поверхностном, и в придонном слое варьирует от 10^3 до 10^5 кл/мл. Статистически значимые различия между значениями численности бактерий в двух слоях отсутствуют. На основании определенной нами численности ГБ, согласно ГОСТ 17.1.2.04-77, 75 % проб воды северо-западной части Тихого океана относится к олиго- и бетамезасапробным водам. Исключения составляют пробы из поверхностного слоя со ст. 8, 24 и 30 и из придонного слоя со ст. 30 и 35: воды из этих проб относятся к полисапробным, т. е. по степени органического загрязнения – к «грязным» водам. В Охотском море отобранные из поверхностного слоя (на ст. 52 – из придонного) пробы воды по численности гетеротрофных микроорганизмов классифицируются как полисапробные (ГОСТ 17.1.2.04-77). Высокая численность ГБ свидетельствует о загрязнении вод органическими веществами, а также о высокой степени адаптации микроорганизмов к разрушению этих веществ.



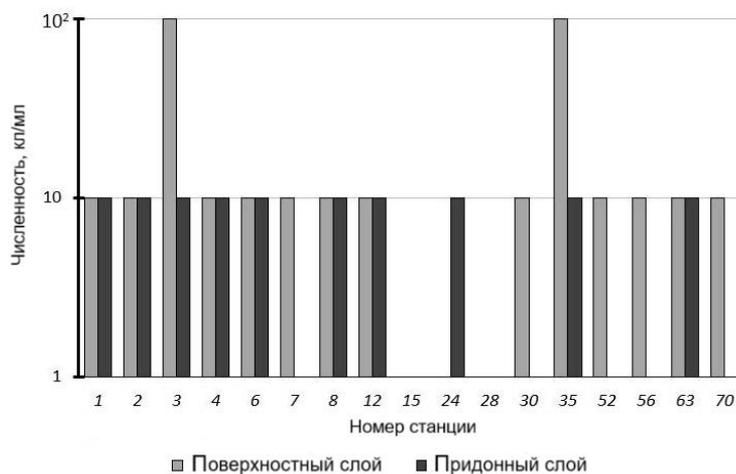
Р и с . 2 . Численность ГБ в поверхностном и придонном слоях водной толщи на исследуемых станциях

F i g . 2 . Abundance (cells/mL) of heterotrophic bacteria in the surface and bottom layers of the water column at the studied stations

Станция 8 расположена у устья р. Налычева (самая большая площадь водосбора среди рек Авачинской группы вулканов) и, вероятно, попадает в контур повышенной мутности речного мутностного шлейфа [17]. Более высокое значение численности ГБ в поверхностном слое, по сравнению с придонным, на ст. 8 может свидетельствовать о поступлении органического вещества с речным стоком.

Станции 24, 30 и 35 расположены в бухтах, имеющих высокую рекреационную ценность: туристы часто посещают бухты на водном транспорте, что оказывает определенную антропогенную нагрузку. Кроме того, в этих бухтах находятся устья малых рек, которые могут служить источником поступления органических веществ в исследуемые акватории.

УОБ выделены в 100 % проб. Численность углеводородокисляющих бактерий в морской воде на большинстве станций составляет 10 кл/мл в пробах из поверхностного слоя. Исключения составляют ст. 3 (в Авачинской губе) и ст. 35 (в б. Лиственничной) на Тихоокеанском побережье юго-восточной части Камчатки: на этих станциях в поверхностном слое их численность достигает 100 кл/мл, а на ст. 15 и 24 – 1 кл/мл. В воде Авачинской губы наибольшая концентрация растворенных углеводов регулярно фиксируется в местах стоянки судов, сброса сточных вод судоремонтных заводов, транспортных предприятий. При этом приливо-отливные и сгонно-нагонные течения способствуют распространению нефтяных углеводов на всю акваторию губы [18]. Отметим, что в мае 2022 г. был обнаружен сброс нефтепродуктов в районе пирса компании «Океанрыбфлот» (в губу попало 15 т нефтепродуктов). Во время разлива наблюдались высокие концентрации нефтяных углеводов в поверхностном слое бухты (на уровне 22–38 ПДК, до 1.7 мг/л), но уже спустя шесть месяцев после его ликвидации содержание углеводов в воде в районе аварии снизилось в 2.5 раза [18].



Р и с . 3 . Численность УОБ в поверхностном и придонном слоях водной толщи на исследуемых станциях

Fig. 3. Abundance (cells/mL) of hydrocarbon-oxidizing bacteria in the surface and bottom layers of the water column at the studied stations

Численность УОБ в придонном горизонте на большинстве станций также составляет 10 кл/мл, однако на ст. 28, 30, 52, 56 и 70 определяются минимальные единичные значения (рис. 3).

Нет статистически значимой разницы между выборками в распределении численности бактерий на поверхности и в придонном слое морской воды.

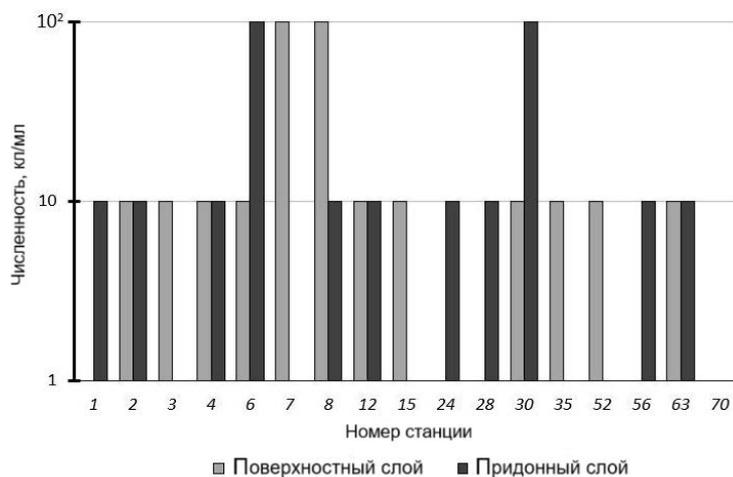
Наибольший вклад в загрязнение прикамчатских вод вносят нефтяные углеводороды и фенолы. Отметим, что, по данным ФГБУ «Камчатское УГМС», среднее содержание нефтепродуктов в воде 22 рек полуострова с 2019 по 2022 г. снизилось более чем в восемь раз и в 2022 г. превышение ПДК было приблизительно двукратным. В морских прибрежных водах Камчатки – в Авачинской губе и в прибрежной части залива (район Халактырского пляжа) – среднее содержание растворенных нефтяных углеводородов снизилось с примерно 2 ПДК в 2019 г. до 0.3 ПДК в 2022 г., однако в единичных случаях в Авачинской бухте встречались повышенные значения¹⁾.

ФОБ выделены в 87.5 % проб из поверхностного слоя. На большинстве станций их численность составляет 10 кл/мл, на ст. 7 и 8 (в районе Халактырского пляжа, на разном удалении от устья р. Налычева) и на ст. 30 в б. Русской (рис. 4) – 100 кл/мл, на ст. 1 и 24 – 1 кл/мл.

ФОБ выделены в 93.3 % проб из придонного слоя. На большинстве станций их численность равна 10 кл/мл, на ст. 6 (в районе Халактырского пляжа) и на ст. 30 в б. Русской (рис. 4) – 100 кл/мл, на ст. 3, 52 и 70 – 1 кл/мл.

Статистически значимые различия между численностью ФОБ в поверхностном и в придонном слоях отсутствуют.

За пятилетний (2018–2022 гг.) период наблюдений ФГБУ «Камчатское УГМС» среднегодовое количество фенолов в прибрежных морских водах



Р и с . 4 . Численность ФОБ в поверхностном и придонном слоях водной толщи на исследуемых станциях

Fig . 4 . Abundance (cells/mL) of phenol-oxidizing bacteria in the surface and bottom layers of the water column at the studied stations

уменьшилось с 2 до 0.3 ПДК. При этом фенол отмечен в числе основных загрязнителей, загрязняющих объекты речной сети полуострова. Его среднее содержание в речной воде с 2019 по 2022 г. оставалось на уровне 5–6 ПДК¹⁾.

ЛЛБ выделены в 100 % проб. Численность бактерий, способных окислять липиды, изменялась в широком диапазоне от 1 до 1000 кл/мл в пробах воды как из поверхностного слоя, так и из придонного (рис. 5).

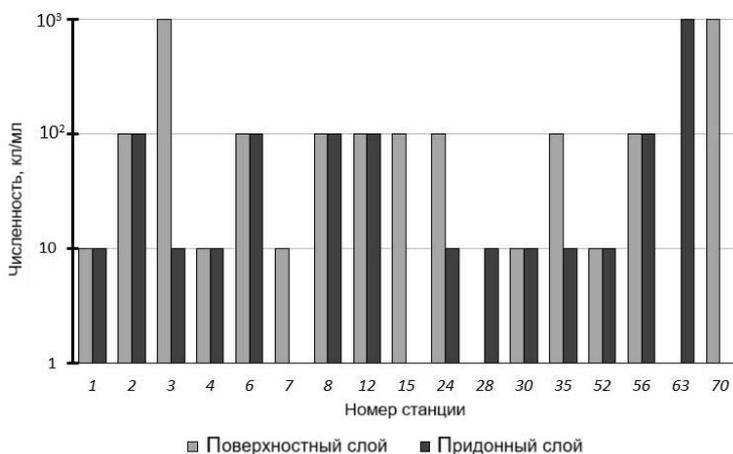
В поверхностном слое максимальное значение численности (1000 кл/мл) отмечено на ст. 3 и 70, минимальное значение (1 кл/мл) – на ст. 63. В придонном слое максимальное значение (1000 кл/мл) зафиксировано на ст. 63, минимальное значение 1 кл/мл – на ст. 70.

Статистически значимые различия между численностью ЛЛБ в поверхностном и в придонном слоях отсутствуют. Коэффициент корреляции между численностью УОБ и ЛЛБ составляет 0.4 ($P = 0.05$), что соответствует слабой положительной корреляционной связи. Отметим, что липиды могут образовываться в ходе биодеградации нефти.

Существует ряд факторов, определяющих численность микроорганизмов в морской воде: температура, соленость, глубина и др. Данные о температуре воды, полученные в ходе исследования, соответствуют оптимальным условиям развития психрофильных и психротрофных микроорганизмов. Зафиксированные в изучаемом районе значения водородного показателя воды благоприятны для существования УОБ [19].

Значимых корреляционных связей между численностью изучаемых групп микроорганизмов и значениями таких показателей, как температура поверхностной и придонной воды, соленость и глубина, выявлено не было.

Полученная численность ГБ сопоставима с данными для прибрежных акваторий о. Сахалин в 2004–2006 гг.: летний диапазон колебаний



Р и с . 5 . Численность ЛЛБ в поверхностном и придонном слоях водной толщи на исследуемых станциях

F i g . 5 . Abundance (cells/mL) of lipolytic bacteria in the surface and bottom layers of the water column at the studied stations

средней численности гетеротрофных микроорганизмов составил от $6 \cdot 10^3$ кл/мл (пос. Пригородное) до $45 \cdot 10^7$ кл/мл (порт Корсаков). В летний период воды портов Холмск и Корсаков, а также б. Лососей соответствовали категории «очень грязные», воды остальных станций – «грязные». Прибрежные акватории о. Сахалин являются районом с множеством источников нефтяного загрязнения как антропогенного, так и природного происхождения: в летний период доля УОБ от общего числа гетеротрофов здесь составляла от 60 % (пос. Охотск) до 80 % (пос. Золоторыбное)³⁾, что в несколько раз больше полученных нами количественных характеристик УОБ (см. рис. 3). Отметим также значения абсолютной численности планктонных гетеротрофных колониеобразующих микроорганизмов, изученных ранее в пробах воды акватории Авачинской губы в июле 1999 г.: их численность составляла от $1.63 \cdot 10^4 \pm 0$ кл/мл в б. Турпанка до $7.98 \cdot 10^5 \pm 0.83 \cdot 10^5$ кл/мл в б. Раковой [9].

Выводы

В ходе исследования были выявлены особенности пространственного распределения бактерий, способных к окислению разных групп органических веществ, и их количественные характеристики в поверхностном и придонном слоях вод юго-восточных и юго-западных прибрежных акваторий п-ова Камчатка в августе – сентябре 2023 г. Численность всех исследуемых групп бактерий колебалась в широких пределах и распределена в прибрежной акватории полуострова неравномерно. Максимальные показатели зафиксированы в антропогенно нагруженной акватории Авачинской губы, эксплуатируемых бухтах и местах активного речного стока. Локальная высокая численность ГБ свидетельствует как о загрязнении вод органическими веществами, так и о высоком потенциале вод к самоочищению.

Изученные физиологические группы бактерий не имеют достоверных различий в численности в поверхностном и придонном слоях. Значимых корреляционных зависимостей между численностью бактерий разных групп и такими параметрами, как соленость, температура и глубина, не обнаружено.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Pandolfo E., Caracciolo A. B., Rolando L.* Recent advances in bacterial degradation of hydrocarbons // *Water*. 2023. Vol. 15, iss. 2. 375. <https://doi.org/10.3390/w15020375>
2. *Giri K., Rai J. P. N.* Bacterial metabolism of petroleum hydrocarbons // *Biotechnology*. Vol. 11 : Biodegradation and Bioremediation. Studium Press India Pvt. Ltd., 2014. P. 73–93.
3. Plant-assisted remediation of hydrocarbons in water and soil: Application, mechanisms, challenges and opportunities. / S. R. S. Abdullah [et al.] // *Chemosphere*. 2020. Vol. 247. 125932. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.125932>
4. *Немировская И. А.* Нефть в океане (загрязнение и природные потоки). Москва : Научный мир, 2013. 428 с. EDN YMMLMD.
5. *Миронов О. Г.* Бактериальная трансформация нефтяных углеводородов в прибрежной зоне моря // *Морской экологический журнал*. 2002. Т. 1, № 1. С. 56–66. EDN SBJLRZ.
6. *Труднев С. Ю., Нистор А. С.* Анализ аварийности судов рыбопромыслового флота Дальнего Востока // *Техническая эксплуатация водного транспорта: проблемы и пути развития. Материалы Второй международной научно-технической конференции (23–25 октября 2019 г.)*. Петропавловск-Камчатский : КамчатГТУ, 2020. С. 66–69. EDN XYTWYU.
7. *Шевцов М. Н., Макарова В. С.* Оценка возможных негативных последствий от аварийного разлива нефтепродуктов на морской акватории в ходе операций по перегрузке грузов с барж // *Вестник Тихоокеанского государственного университета*. 2023. № 1. С. 153–160. EDN GXGKYS.
8. *Журавель Е. В., Безвербная И. П., Бузолева Л. С.* Микробная индикация загрязнения прибрежных вод Охотского моря и Авачинской бухты // *Биология моря*. 2004. Т. 30, № 2. С. 138–142. EDN EBRWPD.
9. *Димитриева Г. Ю., Безвербная И. П., Христофорова Н. К.* Микробная индикация – возможный подход для мониторинга тяжелых металлов в дальневосточных морях // *Известия ТИНРО*. 2001. Т. 128, № 3. С. 719–736. EDN IBXEFX.
10. *Димитриева Г. Ю., Безвербная И. П.* Микробная индикация – эффективный инструмент для мониторинга загрязнения прибрежных морских вод тяжелыми металлами // *Океанология*. 2002. Т. 42, № 3. С. 408–415.
11. *Сергеенко Н. В., Устименко Е. А.* Санитарно-микробиологические показатели воды Авачинской губы // *Морские биологические исследования: достижения и перспективы : сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, приуроченной к 145-летию Севастопольской биологической станции : в 3 томах, Севастополь, 19–24 сентября 2016 года. Севастополь : ЭКОСИ-Гидрофизика, 2016. Т. 3. С. 214–217. EDN XEVIHВ.*
12. *Конева М. Н., Ступникова Н. А.* Нефтеокисляющие микроорганизмы как индикаторы нефтяного загрязнения водотоков г. Петропавловска-Камчатского // *Международный научно-исследовательский журнал*. 2021. № 7. С. 23–27. EDN LIFJND. <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.109.7.037>
13. *Санамян Н. П., Коробок А. В., Санамян К. Э.* Качественная оценка последствий влияния вредоносного цветения водорослей осенью 2020 года у побережья юго-восточной Камчатки (северо-западная пачифика) на мелководные бентосные сообщества // *Вестник Камчатского государственного технического университета*. 2023. № 63. С. 22–44. EDN GKLENO. <https://doi.org/10.17217/2079-0333-2023-63-22-44>

14. The mysterious mass death of marine organisms on the Kamchatka Peninsula: A consequence of a technogenic impact on the environment or a natural phenomenon? / Z. B. Khesina [et al.] // *Marine Pollution Bulletin*. 2021. Vol. 166. 112175. EDN GSGHCL. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112175>
15. Ворошилова А. А., Дианова Е. В. Окисляющие нефть бактерии – показатели интенсивности биологического окисления нефти в природных условиях // *Микробиология*. 1952. Т. 21, № 4. С. 408–415.
16. Ермолаев К. К., Миронов О. Г. Роль фенолразрушающих микроорганизмов в процессе деструкции фенола в Черном море // *Микробиология*. 1975. Т. 10, № 5. С. 928–932. EDN KWMEJLJ.
17. К оценке возможного влияния материкового стока на гибель гидробионтов в Авачинском заливе Тихого океана (Камчатка) / С. Р. Чалов [и др.] // *Известия Русского географического общества*. 2022. Т. 154, № 4. С. 69–84. EDN YNPFBT. <https://doi.org/10.31857/S0869607122040048>
18. Русанова В. А., Седова Н. А. Определение содержания нефтепродуктов в воде и донных отложениях Авачинской губы в 2022 году // *Природные ресурсы, их современное состояние, охрана, промысловое и техническое использование : материалы XIV Национальной (всероссийской) научно-практической конференции (21–22 марта 2023 г.)*. Петропавловск-Камчатский : КамчатГТУ, 2023. С. 149–152. EDN PXLPPJ. <https://doi.org/10.24412/cl-35030-2023-1-149-152>
19. *Biological degradation and bioremediation of toxic chemicals* / edited by G. R. Chaudhry. Oregon : Dioscorides Press, 1994. 515 p.

Поступила 22.05.2024 г.; одобрена после рецензирования 23.07.2024 г.; принята к публикации 25.03.2025 г.; опубликована 30.06.2025 г.

Об авторах:

Зарипова Ксения Маратовна, младший научный сотрудник, ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН» (299011, Россия, г. Севастополь, пр. Нахимова, д. 2), **ORCID ID: 0009-0001-1160-4139**, **Scopus Author ID: 59173430600**, **ResearcherID: GWV-4575-2022**, **SPIN-код: 4535-0790**, zaripova_km@ibss-ras.ru

Демидова Екатерина Андреевна, магистрант, Московский физико-технический институт (141700, Московская область, г. Долгопрудный, Институтский пер., д. 9), **ORCID ID: 0009-0003-6756-5962**, **ResearcherID: KIK-8782-2024**, kated.00000@gmail.com

Тихонова Елена Андреевна, ведущий научный сотрудник, ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН» (299011, Россия, г. Севастополь, пр. Нахимова, д. 2), кандидат биологических наук, **ORCID ID: 0000-0002-9137-087X**, **Scopus Author ID: 57208495804**, **ResearcherID: X-8524-2019**, **SPIN-код: 3786-7334**, tihonoval@mail.ru

Бурдиян Наталия Витальевна, старший научный сотрудник, ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН» (299011, Россия, г. Севастополь, пр. Нахимова, д. 2), кандидат биологических наук, **ORCID ID: 0000-0001-8030-1556**, **Scopus Author ID: 57208497483**, **ResearcherID: AAD-1704-2022**, **SPIN-код: 5663-1151**, burdiyan@mail.ru

Дорошенко Юлия Валерьевна, научный сотрудник, ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН» (299011, Россия, г. Севастополь, пр. Нахимова, д. 2), кандидат биологических наук, **ORCID ID: 0000-0003-0498-3369**, **Scopus Author ID: 57211643141**, **ResearcherID: AAD-1706-2022**, **SPIN-код: 3643-9300**, julia_doroshenko@mail.ru

Басова Евгения Денисовна, научный сотрудник, ИПНГ РАН «Институт проблем нефти и газа Российской академии наук» (119333, Россия, г. Москва, ул. Губкина, д. 3)
Scopus Author ID: 57206472011, SPIN-код: 2806-4772, ORCID ID: 0009-0003-4017-2595,
basovaed@my.msu.ru

Заявленный вклад авторов:

Зарипова Ксения Маратовна – написание и оформление статьи, обоснование исследования и подготовка литературного обзора, построение графического материала, отбор проб, микробиологические работы по определению численности индикаторных групп бактерий, обработка и описание результатов исследования, анализ и обсуждение результатов

Демидова Екатерина Андреевна – построение графического материала, оформление статьи, отбор проб, микробиологические работы по определению численности индикаторных групп бактерий

Тихонова Елена Андреевна – разработка концепции, постановка целей и задач исследования, обсуждение результатов, обоснование исследования, отбор проб

Бурдиян Наталия Витальевна – описание методики, обсуждение результатов, изготовление питательных сред

Дорошенко Юлия Валерьевна – описание методики, обсуждение результатов, изготовление питательных сред

Басова Евгения Денисовна – отбор проб, подготовка глоссария

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.