

Анаэробные бактерии в прибрежных наносах бухты Троицкой (Севастополь, Черное море)

Н. В. Бурдиян*, С. В. Алемов

*Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского РАН,
Севастополь, Россия*

**e-mail: burdiyan@mail.ru*

Поступила: 06.03.2020 г.; принята к публикации 08.05.2020 г.; опубликована 25.06.2020 г.

Бактериологический анализ считается наиболее показательным при определении экологического состояния водоемов. Контактная зона суша – море, особенно в пределах портовых акваторий, подвергается постоянному нефтяному загрязнению. В данной работе проанализированы годовая динамика численности и особенности распределения сульфатредуцирующих, тионовых и денитрифицирующих групп бактерий в прибрежных наносах стихийного пляжа б. Троицкой (акватория Севастополя), подверженной сильной антропогенной нагрузке. Отбор проб и последующая обработка материала осуществлены на основе стандартных методов гидробиологии и общей микробиологии. Исследуемые бактерии распространены повсеместно. Сезонные отличия количественного содержания исследуемых групп бактерий не отмечены. Численность тионовых бактерий варьировала от $9.5 \cdot 10$ до $7.5 \cdot 10^3$ кл./г, сульфатредуцирующих – от 1 до $2.5 \cdot 10^3$ кл./г, а денитрифицирующих – от $2.5 \cdot 10^2$ до $2.5 \cdot 10^4$ кл./г. Определена способность накопительных культур сульфатредуцирующих, тионовых и денитрифицирующих бактерий, изолированных из прибрежных наносов, использовать углеводороды нефти в качестве единственного источника углерода и энергии, что отражает участие этих групп микроорганизмов в биодegradации нефтяных углеводородов в прибрежной зоне. Полученные результаты являются основой для дальнейших исследований экологического состояния прибрежных зон акватории Севастополя.

Ключевые слова: тионовые бактерии, сульфатредуцирующие бактерии, денитрифицирующие бактерии, прибрежные наносы, нефть, Черное море.

Благодарности: авторы благодарят Ю. В. Дорошенко, сотрудника отдела морской санитарной гидробиологии ФИЦ ИнБЮМ, за помощь в отборе проб. Работа выполнена в рамках государственных заданий: ФИЦ ИнБЮМ «Молисмологические и биогеохимические основы гомеостаза морских экосистем» (№ АААА-А18-118020890090-2) и поддержана грантом РФФИ № 18-44-920028 р_а «Анализ современного состояния структурно-функциональной организации донных биоценозов Севастопольского региона и их устойчивости под влиянием изменчивости природно-антропогенных факторов».

© Бурдиян Н. В., Алемов С. В., 2020



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

Для цитирования: Бурдиян Н. В., Алемов С. В. Анаэробные бактерии в прибрежных наносах бухты Троицкой (Севастополь, Черное море) // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2020. № 2. С. 122–130. doi:10.22449/2413-5577-2020-2-122-130

Anaerobic Bacteria in Coastal Sediments of the Troitskaya Bay (Sevastopol, the Black Sea)

N. V. Burdiyan*, S. V. Alyomov

*A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS,
Sevastopol, Russia*

**e-mail: burdiyan@mail.ru*

Submitted 06.03.2020; revised 08.05.2020; published 25.06.2020

Bacteriological analysis is considered to be the most indicative in determining the ecological status of water bodies. The land – sea contact zone, especially within port water areas, is subject to constant oil pollution. In this paper, we analyze the annual dynamics of abundance and distribution features of sulfate-reducing, thiobacteria, and denitrifying groups of bacteria in the coastal sediments of a natural beach of the Troitskaya Bay, which is exposed to a strong anthropogenic load. Sampling and subsequent treatment of the material were conducted using standard methods of hydrobiology and general microbiology. In the coastal sediments the abundance of thiobacteria, denitrifying and sulfate-reducing bacteria varied from $9.5 \cdot 10$ to $7.5 \cdot 10^3$, from 1 to $2.5 \cdot 10^3$ and from $2.5 \cdot 10^2$ to $2.5 \cdot 10^4$ cell/g, respectively. General presence of the examined bacterial groups is proven. Seasonal differences of quantitative content of the studied bacteria groups are not noticed. The capacity to utilize oil hydrocarbons as the only carbon and energy source was tested in continuous cultures of sulfate-reducing, thiobacteria and denitrifying bacteria isolated from coastal sediments, which reflects participation of these groups of microorganisms in biodegradation of petroleum hydrocarbons in the coastal zone. The obtained results are the basis for further studies of the environmental coastal zone of Sevastopol.

Keywords: thiobacteria, sulfate-reducing, denitrifying bacteria, oil, coastal sediments, the Black Sea.

Acknowledgements: the authors are grateful to Yu. V. Doroshenko, department of Marine Sanitary Hydrobiology of A.O. Kovalevsky IBSS, for assistance with sampling. The research is performed under state order “Molismologic and biogeochemical base of marine ecosystem homeostasis” of A. O. Kovalevsky IBSS (No. AAAA-A18-118020890090-2) and funded by RFBR grant no. 18-44-920028 p_a “Analysis of the current state of structural and functional organization of the Sevastopol region bottom biocenoses and their resilience to natural and anthropogenic factors variability”.

For citation: Burdiyan, N.V. and Alyomov, S.V., 2020. Anaerobic Bacteria in Coastal Sediments of the Troitskaya Bay (Sevastopol, the Black Sea). *Ecological Safety of Coastal and Shelf Zones of Sea*, (2), pp. 122–130. doi:10.22449/2413-5577-2020-2-122-130 (in Russian).

Введение

Нефть и ее производные относятся к наиболее распространенным загрязняющим веществам, представляющим опасность для морских экосистем. Аварийные разливы нефтепродуктов, например в Керченском проливе

(2007 г.) и Мексиканском заливе (2010 г.), определяют особую актуальность исследований процессов самоочищения прибрежной зоны моря от углеводородов нефти [1]. Контактная зона суша – море, особенно в пределах портовых акваторий, подвергается постоянному нефтяному загрязнению. Прибрежные наносы на линии уреза испытывают гидродинамическое воздействие. С одной стороны, это может ускорить процесс преобразования нефти за счет ее эмульгирования и насыщения воды кислородом, а с другой стороны, в случае проникновения нефти в глубокие слои наносов, – резко его замедлить. Следует добавить, что в прибрежных наносах встречаются сгустки пелагической смолы, состоящей в основном из тяжелых нефтяных фракций и представляющей собой одну из разновидностей нефтяного загрязнения [2, с. 7].

Интенсивный гидродинамический режим в контактной зоне суша – море приводит к образованию и многократной смене аэробных и анаэробных зон в прибрежных наносах. Активную роль в процессе анаэробной деструкции играют сульфатредуцирующие (СРБ), тионовые (ТБ) и денитрифицирующие бактерии (ДНБ). СРБ являются важным звеном естественного цикла круговорота серы. Они осуществляют диссимиляционное восстановление сульфатов и связывают потоки углерода и серы в анаэробных биотопах, которые содержат сульфат. СРБ принадлежит ведущая роль в образовании сероводорода в природе. Данная группа бактерий – облигатные анаэробы. Многие из них относятся к категории строгих анаэробов, для роста которых требуется не только отсутствие кислорода, но и низкий окислительно-восстановительный потенциал среды. В то же время некоторые штаммы проявляют устойчивость к кислороду и выживают в условиях аэрирования разной продолжительности. Сульфатвосстанавливающие бактерии характеризуются разнообразием типов энергетического обмена и, как следствие, могут использовать большое число различных органических субстратов. В свою очередь, сероводород, образующийся в результате анаэробных процессов редукции сульфатов и гниения белков, окисляется в контактном слое на границе аэробной и анаэробной зон. Энергичными окислителями сероводорода являются ТБ. Массовое развитие этих микроорганизмов создает бактериальный фильтр, препятствующий проникновению сероводорода в вышележащие слои воды и прибрежного грунта. Микроорганизмы, осуществляющие процесс денитрификации, широко представлены в природе. Все ДНБ – факультативные анаэробы, переключающиеся на денитрификацию только в отсутствие кислорода. Денитрификация может идти в анаэробных и аэробных условиях, но особенно интенсивно она протекает без доступа кислорода. ДНБ могут использовать самые разные органические вещества, в том числе и продукты разложения клетчатки. Данные группы бактерий участвуют и в процессах преобразования углеводородов нефти в морской среде [3–7]. Ранее наши исследования [8] показали, что количественный состав анаэробных бактерий в прибрежных наносах и донных осадках адекватно отражает уровень загрязнения органическими веществами аллохтонного и автохтонного происхождения.

В связи с этим целью работы является изучение динамики численности и особенностей распространения сульфатредуцирующих, тионовых и денитрифицирующих групп бактерий, выделенных из прибрежных наносов б. Троицкой, подверженной сильной антропогенной нагрузке.

Материал и методы

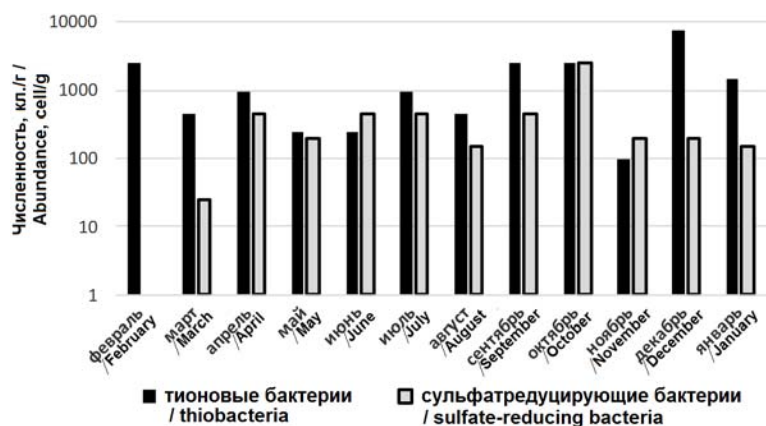
Объектом для проведения исследований была выбрана б. Троицкая – одна из мелких бухт, входящих в систему Севастопольской бухты. Б. Севастопольская расположена на юго-западной оконечности Крымского п-ова и представляет собой почти замкнутую акваторию эстуарного типа с затрудненным водообменом. Протяженность основной части бухты от входа до вершины составляет 7.5 км при максимальной ширине около километра. Ось бухты ориентирована примерно с востока на запад [9]. Глубина у входа составляет около 20 м и плавно уменьшается к вершине до 4–5 м. Вершиной бухты является устье р. Черной. Воды этой реки представляют собой источник загрязнения акватории нефтяными углеводородами, тяжелыми металлами и биогенными элементами [10]. В Севастопольской бухте на частицах наносов отмечено превышение содержания нефтяных углеводородов над биогенными [2]. В свою очередь, б. Троицкая относится к акваториям активного хозяйственного использования, так как граничит с Килен-бухтой, на берегу которой расположен судоремонтный завод. Западный мыс Килен-бухты превращен в огромный причальный пояс для вспомогательного флота. Акваторию между бухтами разделяет безымянный мыс.

Материалом для работы послужили пробы прибрежных наносов, отобранные на стихийном пляже в районе пассажирского причала (44°36.57' с. ш., 33°33.43' в. д.) в б. Троицкой. Отбор проб для микробиологических анализов производили в течение года ежемесячно с февраля 2014 г. по январь 2015 г. В каждой пробе определяли численность тионовых, сульфатредуцирующих и денитрифицирующих групп бактерий. Количество микроорганизмов в пробе определяли методом предельных разведений¹ с последующим посевом 1 мл из каждого разведения в соответствующие питательные среды [11, 12]. При приготовлении сред учитывали соленость морской воды. Наиболее вероятное число микроорганизмов в единице объема рассчитывали по таблице Мак-Креди, составленной на основе метода вариационной статистики¹. Однократно были получены накопительные культуры исследуемых групп бактерий¹. Способность и интенсивность роста выделенных бактериальных культур на различных источниках углерода определяли посевом полученных накопительных культур бактерий на среду Диановой – Ворошиловой с последующим добавлением источников углерода (нефть, дизельное топливо, мазут) [13].

Результаты и обсуждение

Результаты проведенных исследований показали, что ТБ выделены из всех проб прибрежных наносов. Численность ТБ варьировала от 9.5·10 до 7.5·10³ кл./г. Максимум выделен однократно в декабрьской пробе, минимальный показатель (95 кл./г) получен в ноябрьском образце. Высокая численность отмечена в осенних и зимних пробах, в остальных пробах показатель численности не превышал второго порядка (рис. 1). Следует отметить [14], что в целом количественные показатели ТБ в прибрежных наносах б. Троицкой

¹) Практикум по микробиологии / Под ред. А. И. Нетрусова. М. : Издательский центр «Академия», 2005. 608 с.



Р и с . 1. Численность сульфатредуцирующих и тионовых бактерий в прибрежных наносах б. Троицкой

Fig. 1. Abundance of sulphate-reducing bacteria and thio-bacteria in coastal sediments of the Troitskaya Bay

на порядок ниже, чем содержание ТБ в прибрежных наносах в районе стихийного пляжа на северной стороне Севастопольской бухты, в непосредственной близости от действующего причала, а также в прибрежных наносах открытого побережья.

СРБ выделены в 100 % проб, численность бактерий изменялась в широком диапазоне: от 1 до $2.5 \cdot 10^3$ кл./г (рис. 1). Минимальные показатели (1–25 кл./г) получены в февральской и мартовской пробах. Максимум выделен в октябре. В остальных пробах число СРБ колебалось от 150 до 450 кл./г. Превышение числа СРБ над числом ТБ отмечено только в июльской и ноябрьской пробах. Сравнивая указанные показатели численности СРБ с показателями численности СРБ, полученными в прибрежных наносах с различным содержанием нефтяных углеводородов [15], следует отметить сходство показателей СРБ в прибрежных наносах б. Троицкой и стихийного пляжа на северной стороне б. Севастопольской. Пляж расположен в районе причала торговых и пассажирских судов, а в его прибрежных наносах отмечена наиболее высокая, в сравнении с остальными станциями, концентрация нефтяных углеводородов, в частности в пос. Учкучевка и б. Круглой (акватория Севастополя) [15].

ДНБ выделены из всех проб. Диапазон бактериальной численности варьировал от $2.5 \cdot 10^2$ до $2.5 \cdot 10^4$ кл./г (рис. 2). Максимум определен в декабрьской пробе. За исключением отобранных в сентябре и октябре, в оставшихся пробах численность денитрификаторов не превышала 1000 клеток в 1 г наносов. Следует отметить относительно равномерную динамику количественных показателей ДНБ. В то же время численность ДНБ в б. Троицкой на порядок меньше их численности, определенной в ранее проведенных исследованиях прибрежных наносов в б. Севастопольской и районе открытого побережья [14].

Для исследуемых групп бактерий отмечено отсутствие сезонных колебаний и широкая вариабельность данных.

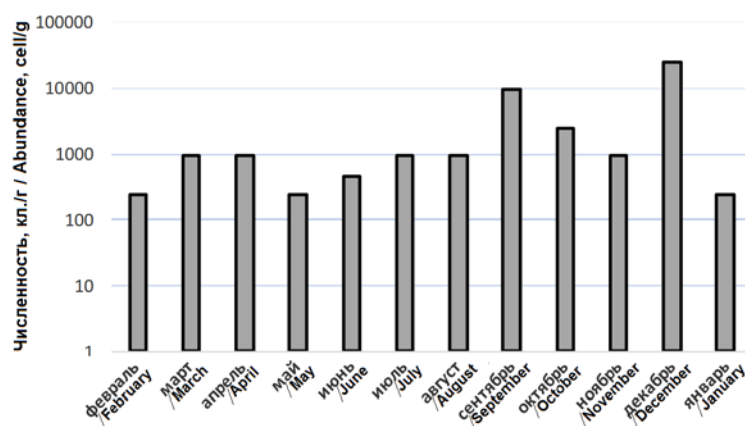


Рис. 2. Численность денитрифицирующих бактерий в прибрежных наносах б. Троицкой

Fig. 2. Abundance of denitrifying bacteria in coastal sediments of the Troitskaya Bay

Для сравнения способности выделенной микробиоты к росту на различных источниках углерода был проведен посев накопительных культур бактерий на среду Диановой – Ворошиловой с добавлением нефти, дизельного топлива и мазута (таблица).

Из результатов определений видно, что накопительная культура ТБ показала скудный рост на нефти и отсутствие роста на мазуте и дизельном топливе. Умеренный рост отмечен и у накопительной культуры ДНБ. По всей видимости, анаэробная микробиота, изолированная из прибрежных наносов, обладает не слишком выраженным углеводородокисляющим потенциалом и не адаптирована к повышенным концентрациям углеводородов нефти и ее производных.

Рост накопительных культур бактерий с добавлением различных источников углерода

Growth of enrichment bacteria cultures with various carbon sources

Накопительные культуры бактерий / Enrichment bacteria cultures	Источник углерода / Carbon source		
	Нефть / Oil	Дизельное топливо / Diesel fuel	Мазут / Mazut
Сульфатредуцирующие / Sulphate-reducing	*	*	*
Тионовые / Thiobacteria	+	–	–
Денитрифицирующие / Denitrifying	++	++	++

Примечание: «++» – умеренный рост; «+» – скудный рост; «*» – наличие роста.

Note: “++” – moderate growth, “+” – poor growth, “*” – growth is present.

Заключение

В прибрежных наносах б. Троицкой (г. Севастополь), подверженной сильной антропогенной нагрузке, колебания численности СРБ составляли от 1 до $2.5 \cdot 10^3$ кл./г, ТБ – от $9.5 \cdot 10$ до $7.5 \cdot 10^3$ кл./г, ДНБ – от $2.5 \cdot 10^2$ до $2.5 \cdot 10^4$ кл./г. Сезонные отличия количественного содержания исследуемых групп бактерий не отмечены. Накопительные культуры сульфатредуцирующих, тионовых и денитрифицирующих групп бактерий, изолированные из прибрежных наносов, способны использовать углеводороды нефти в качестве единственного источника углерода и энергии, что отражает участие этих групп микроорганизмов в биодegradации нефтяных углеводородов в прибрежной зоне.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Санитарно-биологические исследования прибрежных акваторий юго-западного Крыма в начале XXI века / Под ред. О. Г. Миронова, С. В. Алёмова. Симферополь : ИТ «АРИАЛ», 2018. 276 с. <https://doi.org/10.21072/978-5-907118-89-8>
2. Миронов О. Г. Потоки нефтяных углеводородов через морские организмы // Морской экологический журнал. 2006. Т. 5, № 2. С. 5–14.
3. Квасников Е. И., Ключникова Т. М. Микроорганизмы – деструкторы нефти в водных бассейнах. Киев : Наукова думка, 1981. 131 с.
4. The new facultatively chemolithoautotrophic, moderately halophilic, sulfate-reducing bacterium *Desulfovermiculus halophilus* gen. nov., sp. nov., isolated from an oil field / E. V. Belyakova [et al.] // Microbiology. 2006. Vol. 75. Iss. 2. P. 161–171. <https://doi.org/10.1134/S0026261706020093>
5. Aeckersberg F., Bak F., Widdel F. Anaerobic oxidation of saturated hydrocarbons to CO₂ by a new type of sulfate-reducing bacterium // Archives of Microbiology. 1991. Vol. 156, iss. 1. P. 5–14. <https://doi.org/10.1007/BF00418180>
6. Shelton T. B., Hunter J. V. Anaerobic decomposition of oil in bottom sediments // Journal (Water Pollution Control Federation). 1975. Vol. 47, no. 9. P. 2256–2270. URL: www.jstor.org/stable/25038359 (date of access: 25.05.2020).
7. Sportmann A. M., Widdel F. Metabolism of alkylbenzenes, alkanes, and other hydrocarbons in anaerobic bacteria // Biodegradation. 2000. Vol. 11, iss. 2–3. P. 85–105. <https://doi.org/10.1023/A:1011122631799>
8. Санитарно-биологические исследования в прибрежной акватории региона Севастополя / Под ред. О. Г. Миронова. Севастополь : ЭКОСИ-Гидрофизика, 2009. 192 с.
9. Акватория и берега Севастополя: экосистемные процессы и услуги обществу / Отв. ред. Е. В. Павлова, Н. В. Шадрин. Севастополь : Аквавита, 1999. 290 с.
10. Источники загрязнения прибрежных вод Севастопольского района / В. М. Грузинов [и др.] // Океанология. 2019. Т. 59, № 4. С. 579–590. <https://doi.org/10.31857/S0030-1574594579-590>
11. Романенко В. И., Кузнецов С. И. Экология микроорганизмов пресных водоемов. Л. : Наука, 1974. 194 с. URL: <https://www.ibiw.ru/scan/upload/112681.pdf> (дата обращения: 25.05.2020)
12. Сорокин Ю. И. Микрофлора грунтов Черного моря // Микробиология. 1962. Т. 31, № 5. С. 899–903.
13. Микромир в морских санитарно-биологических исследованиях / О. Г. Миронов [и др.]. Севастополь : Манускрипт, 1995. 95 с.

14. *Бурдиян Н. В.* Анаэробная микрофлора прибрежной акватории региона Севастополя (Черное море) // Биоразнообразии и устойчивое развитие: материалы международной научно-практической конференции. Симферополь, 19–22 мая 2010 г. Симферополь, 2010. С. 21–23.
15. *Бурдиян Н. В.* Распространение сульфатредуцирующих бактерий в прибрежных наносах с различным уровнем антропогенной нагрузки // Экологическая безопасность прибрежных и шельфовых зон и комплексное использование ресурсов шельфа. Севастополь : ЭКОСИ-Гидрофизика, 2012. Вып. 26, т. 1. С. 95–98.

Об авторах:

Бурдиян Наталия Витальевна, старший научный сотрудник, Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского РАН (299011, Россия, г. Севастополь, пр. Нахимова, 2), кандидат биологических наук, **ORCID ID: 0000-0001-8030-1556**, **SPIN-код: 5663-1151** **Author ID: 862968**, *burdiyan@mail.ru*

Алемов Сергей Викторович, ведущий научный сотрудник, Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского РАН (299011, Россия, г. Севастополь, пр. Нахимова, 2), кандидат биологических наук, **ORCID ID: 0000-0002-3374-0027**, **Scopus Author ID: 24070027300**, **SPIN-код: 3372-5637** **Author ID: 658344**, *nima_63@mail.ru*

Заявленный вклад авторов:

Бурдиян Наталия Витальевна – постановка цели и задач комплексного исследования, редактирование рукописи, микробиологические работы

Алемов Сергей Викторович – постановка цели комплексного исследования

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи

REFERENCES

1. Mironov, O.G. and Alyomov, S.V., eds., 2018. *Sanitary and Biological Studies of the South-Western Crimea Coastal Waters at the Beginning of XXI Century*. Simferopol: PP "ARIAL", 276 p. <https://doi.org/10.21072/978-5-907118-89-8> (in Russian).
2. Mironov, O.G., 2006. Oil Hydrocarbons Flows through the Marine Organisms. *Marine Ecological Journal*, 5(2), pp. 5–14 (in Russian).
3. Kvasnikov, E.I. and Klyushnikova, T.M., 1981. [*Microorganisms-Oil Destructors in Water Basins*]. Kiev: Naukova Dumka, 131 p. (in Russian).
4. Belyakova, E.V., Rozanova, E.P., Borzenkov, I.A., Tourova, T.P., Pusheva, M.A., Lysenko, A.M. and Kolganova, T.V., 2006. The New Facultatively Chemolithoautotrophic, Moderately Halophilic, Sulfate-Reducing Bacterium *Desulfovermiculus halophilus* gen. nov., sp. nov., Isolated from an Oil Field. *Microbiology*, 75(2), pp. 161–171. <https://doi.org/10.1134/S0026261706020093>
5. Aeckersberg, F., Bak, F. and Widdel, F., 1991. Anaerobic Oxidation of Saturated Hydrocarbons to CO₂ by a New Type of Sulfate-Reducing Bacterium. *Archives of Microbiology*, 156(1), pp. 5–14. <https://doi.org/10.1007/BF00418180>
6. Shelton, T.B. and Hunter, J.V., 1975. Anaerobic Decomposition of Oil in Bottom Sediments. *Journal (Water Pollution Control Federation)*, 47(9), pp. 2256–2270. Available at: www.jstor.org/stable/25038359 [Accessed: 25 May 2020].
7. Spormann, A.M. and Widdel, F., 2000. Metabolism of Alkylbenzenes, Alkanes, and Other Hydrocarbons in Anaerobic Bacteria. *Biodegradation*, 11(2–3), pp. 85–105. <https://doi.org/10.1023/A:1011122631799>

8. Mironov, O.G., ed., 2009. *Sanitary-Biological Investigations in Coastal Area of Sevastopol Region*. Sevastopol: ECOSI-Gidrofizika, 192 p. (in Russian).
9. Pavlova, E.V. and Shadrin, N.V., eds., 1999. *Sevastopol Aquatory and Coast: Ecosystem Processes and Services for Human Society*. Sevastopol: Aquavita, 290 p. (in Russian).
10. Gruzinov, V.M., Dyakov, N.N., Mezenceva, I.V., Malchenko, Y.A., Zhohova, N.V. and Korshenko, A.N., 2019. Sources of Coastal Water Pollution near Sevastopol. *Oceanology*, 59(4), pp. 523–532. <https://doi.org/10.1134/S0001437019040076>
11. Romanenko, V.I. and Kuznetsov, S.I., 1974. [*Ecology of Freshwater Microorganisms*]. Leningrad: Nauka, 194 p. (in Russian).
12. Sorokin, Yu.I., 1962. [Soil Microflora of the Black Sea]. *Mikrobiologiya*, 31(5), pp. 899–903 (in Russian).
13. Mironov, O.G., Stepanova, O.A., Gubasaryan, L.A., Guseva, E.V., Voskresenskaya, O.V. and Krakova, T.V., 1995. [*Microworld in Marine Sanitary and Biological Studies*]. Sevastopol: Manuscript. 95 p. (in Russian).
14. Burdiyan, N.V., 2010. [Anaerobic Microflora of the Sevastopol Region Offshore Area (the Black Sea)]. In: NAS Ukraine Crimean Scientific Center, 2010. *Proceedings of the International Research and Practice Conference Biodiversity and Sustainable Development: Simferopol, 19–23 May 2010*. Simferopol, NAS Ukraine Crimean Scientific Center, pp. 21–23 (in Russian).
15. Burdiyan, N.V., 2012. Distribution of Sulphate-Reducing Bacteria in Littoral Sediments depending on the Anthropogenic Load. In: *Ekologicheskaya Bezopasnost' Pribrezhnykh i Shel'fovykh Zon i Kompleksnoe Ispol'zovanie Resursov Shel'fa* [Ecological Safety of Coastal and Shelf Zones and Comprehensive Use of Shelf Resources]. Sevastopol: ECOSI-Gidrofizika. Iss. 26(1), pp. 95–98 (in Russian).

About the authors:

Nataliya V. Burdiyan, Chief Research Associate, A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS (2 Nakhimov Av., Sevastopol, 299011, Russian Federation), Ph.D. (Biol.), **ORCID ID: 0000-0001-8030-1556**, **SPIN-code: 5663-1151**, **Author ID: 862968**, burdiyan@mail.ru

Sergey V. Alyomov, Leading Research Associate, A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS (2 Nakhimov Av., Sevastopol, 299011, Russian Federation), Ph.D. (Biol.), **ORCID ID: 0000-0002-3374-0027**, **Scopus Author ID: 24070027300**, **SPIN-code: 3372-5637** **Author ID: 658344**, numa_63@mail.ru

Contribution of the authors:

Nataliya V. Burdiyan – setting of the comprehensive research objective and tasks, manuscript editing, microbiological works

Sergey V. Alyomov – setting of the comprehensive research objective

All the authors have read and approved the final manuscript.