

Научная статья
УДК [551.46.09:504.61](262.5-751)
EDN SIPAON

Содержание углеводов и индикаторных групп бактерий в морской среде бухты Ласпи (Южный берег Крыма)

Е. А. Тихонова, О. В. Соловьёва, Ю. С. Ткаченко *,
Н. В. Бурдиян, Ю. В. Дорошенко, Е. В. Гусева, С. В. Алёмов

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

* e-mail: yulechkatkachenko.90@mail.ru

Аннотация

Оценено качество морской среды бухты Ласпи в районе урочища Батилиман по основным химико-микробиологическим параметрам в периоды различной рекреационной нагрузки на акваторию. Материалом для исследования послужили пробы воды и обрастаний, отобранные в мае, июле и октябре 2023 г. Качественный и количественный состав углеводов определялся на базе НОЦКП «Спектрометрия и хроматография» ФИЦ ИнБИОМ методом газовой хроматографии на хроматографе «Кристалл 5000.2» с пламенно-ионизационным детектором. Для идентификации вероятных источников поступления органических веществ использовали диагностические маркеры происхождения углеводов. Численность групп бактерий (сапрофитных гетеротрофных, углеводородокисляющих, липолитических и фенолокисляющих) определяли методом предельных десятикратных разведений с использованием элективных питательных сред. Концентрация углеводов в прибрежных водах урочища Батилиман с мая по октябрь 2023 г. составляла 0.013–0.304 мг·л⁻¹. Состав n-алканов указывал на отсутствие нефтяного загрязнения в исследуемой акватории. Превышение ПДК для углеводов, отмеченное в июле на одной из станций, носит природный характер и связано с активным поступлением аллохтонных соединений. Количественная оценка обозначенных групп бактерий в воде и микроперифитоне макрообрастаний указывает на возрастание численности индикаторных групп бактерий во всех пробах, отобранных в июле. Тем не менее результаты исследования углеводородного фона и количественной оценки основных микробиологических показателей в воде и микроперифитоне макрообрастаний указывают на то, в акватории урочища Батилиман активно происходят процессы бактериального самоочищения. По микробиологическим показателям исследуемый участок можно отнести к условно-чистым акваториям.

© Тихонова Е. А., Соловьёва О. В., Ткаченко Ю. С., Бурдиян Н. В.,
Дорошенко Ю. В., Гусева Е. В., Алёмов С. В., 2024



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

Ключевые слова: прибрежная зона, рекреационная нагрузка, морская вода, маркеры, перифитон, гетеротрофные бактерии, углеводородоксилирующие бактерии, липолитические бактерии, фенолоксилирующие бактерии, макрофиты, бухта Ласпи, антропогенное загрязнение, нефтяные углеводороды

Благодарности: работа выполнена в рамках государственного задания ФИЦ ИнБЮМ по теме «Изучение биогеохимических закономерностей радиоэкологических и хемоэкологических 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» (номер гос. регистрации 1023032000047-8-1.6.19).

Для цитирования: Содержание углеводов и индикаторных групп бактерий в морской среде бухты Ласпи (Южный берег Крыма) / Е. А. Тихонова [и др.] // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2024. № 1. С. 113–129. EDN SIPAON.

The Content of Hydrocarbons and Indicator Groups of Bacteria in the Marine Environment of Laspi Bay (Southern Coast of Crimea)

E. A. Tikhonova, O. V. Soloveva, Yu. S. Tkachenko *,
N. V. Burdijan, Yu. V. Doroshenko, E. V. Guseva, S. V. Alyomov

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

* e-mail: yulechkatkachenko.90@mail.ru

Abstract

The paper assesses the quality of the marine environment of Laspi Bay near the Batiliman Stow according to main chemical and microbiological parameters under various recreational impacts on the water area. The material for the study was water and fouling samples taken in May, July and October 2023. The qualitative and quantitative composition of hydrocarbons was determined by gas chromatography on a Crystal 5000.2 chromatograph with a flame ionization detector in the Scientific and Educational Center for Collective Use «Spectrometry and Chromatography» of A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS. Diagnostic markers of the origin of hydrocarbons were used to identify possible sources of organic substances. The abundance of bacteria groups (saprophytic heterotrophic, hydrocarbon-oxidizing, lipolytic and phenol-oxidizing) was determined by the method of tenfold dilutions using elective nutrient media. From May to October 2023, the concentration of hydrocarbons in the coastal waters of the Batiliman Stow was 0.013–0.304 mg·L⁻¹. The composition of n-alkanes indicated the absence of oil pollution in the studied water area. The exceedance of the maximum permissible concentration for hydrocarbons, noted in July at one of the stations, is of natural origin and is associated with an active intake of allochthonous compounds. The quantitative assessment of the mentioned bacteria groups in the water and microperiphyton of macrofouling indicates an increase in the abundance of indicator groups of bacteria in all samples taken in July. Nevertheless, the results of the hydrocarbon content study and the quantitative assessment of the main microbiological indicators in the water and microperiphyton of macrofouling suggest that there are active bacterial self-purification processes in the water area of the Batiliman Stow. According to microbiological indicators, the studied area can be classified as conditionally clean.

Keywords: coastal water area, recreational load, seawater, markers, periphyton, heterotrophic bacteria, hydrocarbon-oxidizing bacteria, lipolytic bacteria, phenol-oxidizing bacteria, macrophytes, Laspi Bay, anthropogenic pollution, petroleum hydrocarbons

Acknowledgments: The work was carried out under 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. 1023032000047-8-1.6.19).

For citation: Tikhonova, E.A., Soloveva, O.V., Tkachenko, Yu.S., Burdiyan, N.V., Doroshenko, Yu.V., Guseva, E.V. and Alyomov, S.V., 2024. The Content of Hydrocarbons and Indicator Groups of Bacteria in the Marine Environment of Laspi Bay (Southern Coast of Crimea). *Ecological Safety of Coastal and Shelf Zones of Sea*, (1), pp. 113–129.

Введение

Береговая линия урочища Батилиман (прибрежно-аквальный комплекс между м. Сарыч и б. Ласпи), с которого начинаются горы Южного берега Крыма, тянется от основания горы Куш-Кая до б. Ласпи. Акватория участка характеризуется интенсивным водообменом с открытым морем и высокой аэрацией. Сгонно-нагонные явления, характерные для Южного берега Крыма, приводят к колебаниям солености воды от 17.70 до 18.47 [1].

От уреза воды до небольших глубин (10 м) дно представлено валунами и глыбами (глыбовый бенч) (ст. 1) с редкими участками песчаного дна (ст. 2). Гранулометрический состав донных отложений и особенности морфодинамических условий среды (снос мелкодисперсных фракций в приглубые зоны) обуславливает отсутствие накопления органического углерода в пределах этого берегового участка [2].

С этим коррелируют сообщения [3] о невысокой численности микробного населения в рыхлых донных отложениях близлежащей б. Ласпи, где численность сапрофитных гетеротрофных бактерий в среднем составляет $2500 \text{ кл.} \cdot \text{г}^{-1}$, а углеводородокисляющих не превышает $2 \text{ кл.} \cdot \text{г}^{-1}$. Из макрофитов круглогодично доминируют по встречаемости *Cystoseira crinita* (Dybu, 1830) и *Ceramium diaphanum* (Roth, 1806), по фитомассе – *C. crinita* и *C. barbata* (C. Agardh, 1820) [4]. *Cystoseira* spp. является главным компонентом прибрежного фитоценоза и одним из основных источников органического вещества [5], к тому же *Cystoseira* spp. считается наиболее подходящим объектом альгомониторинга при оценке качества среды морских прибрежных акваторий, в том числе и акватории урочища Батилиман [6].

Ограничивающий урочище Батилиман с запада м. Айя является государственным природным ландшафтным заказником регионального значения¹⁾ и включает 208 га акватории Черного моря. Территория до следующего заповедного объекта, гидрологического памятника природы «Прибрежный аквальный комплекс у мыса Сарыч», не имеет природоохранного статуса, хотя работы в этом направлении ведутся. Авторы работы [7] предложили

¹⁾ О внесении изменений в постановление Правительства Севастополя от 29.04.2016 № 409-ПП «Об утверждении Положения о государственном природном ландшафтном заказнике регионального значения „Мыс Айя“»: постановление Правительства Севастополя от 25.04.2022 № 178-ПП. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/9200202204270012> (дата обращения: 27.02.2024).

создать национальный парк «Южнобережный» от б. Балаклавской до м. Сарыч с прилегающей акваторией и находящимися в нем особо охраняемыми природными территориями (ООПТ) регионального значения.

Туристическая привлекательность данного участка очень высока, но из-за ее небольшой рекреационной емкости есть опасность негативного влияния массового нерегламентированного посещения на состояние экосистемы акватории. За последние десятилетия наблюдается ухудшение экологического состояния рассматриваемой акватории. Это связано с увеличением потока отдыхающих и начавшейся застройкой прибрежной зоны, а также с размещением мидийных ферм поблизости (с выходом до 83 т (на сухую массу) биотложений в год, включая 3 т белка и по 1 т углеводов и липидов [8]). Современные исследования показали, что количество видов полихет уменьшилось с 64 (1983 г.) до 45 (2019 г.) [9], запасы макрофитобентоса средообразующих черноморских видов снизились примерно в 1.5 раза, а некоторые участки дна и вовсе лишились растительности [10]. По данным авторов работы [11], в 2017–2018 гг. содержание нефтяных углеводородов (НУ) в воде б. Ласпи находилось на уровнях, близких к предельно допустимым. При этом летом 2018 г. зафиксировано превышение предельно допустимой концентрации (ПДК) в 3–4 раза. Содержание НУ в б. Ласпи было выше, чем среднее содержание в Севастопольских бухтах, а в 2016 г. частота зафиксированных случаев превышения ПДК в придонном горизонте акватории б. Ласпи составила 25 % [12, 13]. Таким образом, авторы указывают, что исследуемый участок, ранее относившийся к категории эталонно чистых, испытывает существенное антропогенное воздействие. Возможно, полученные результаты связаны с активной застройкой береговой линии б. Ласпи в последние годы [11].

Следует отметить, что на данном участке берега часто бывают обвалы, оползни, сели, постоянно наблюдается абразия берегов [14]. Застройка этой местности лишь ухудшает ситуацию.

Для сохранения прибрежного аквального комплекса урочища Батилиман необходим комплексный подход к изучению прибрежной акватории, чтобы рассчитать современный уровень антропогенного пресса, устойчивость комплекса к нему и предложить мероприятия по минимизации негативных последствий от возрастающей рекреационной нагрузки без ущерба для сложившегося круговорота вещества и энергии, а также эстетики уникального места.

В рамках комплексного подхода к изучению экологического состояния акватории пляжа Батилиман ранее почти не исследовалось содержание углеводородов (УВ) в морской воде и характеристики ее бактериального населения, которое является первым звеном в процессе биологического самоочищения морской среды.

Цель работы – оценка содержания УВ и индикаторных групп бактерий в морской среде б. Ласпи.

В задачи исследования входит определение:

- качественного и количественного состава УВ в воде прибрежной акватории б. Ласпи;
- численности сапрофитных гетеротрофных бактерий – основных деструкторов легкодоступных органических соединений в воде и микроперифитоне макрообрастаний;

– численности индикаторных групп бактерий – деструкторов нефти, фенола и жиров в воде и микроперифитоне макробрастаний.

Материал и методы

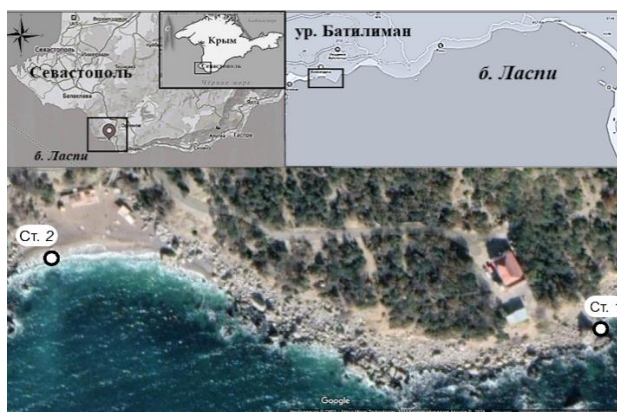
Пробы воды для анализа на содержание УВ отбирали в мае, июле и октябре 2023 г. на двух станциях. Станция 1 – биостанция, малоэксплуатируемый участок с низкой антропогенной нагрузкой. Станция 2 – пляж Таврида, район с высокой антропогенной нагрузкой в летний период. Как на ст. 1, так и на ст. 2 воду отбирали возле уреза (рис. 1).

Пробы воды отбирали в стеклянные бутылки с притертыми пробками вместимостью 1 дм³, предварительно вымытые хромовой смесью, водопроводной и дистиллированной водой и ополоснутые гексаном. Перед пробоотбором бутылки предварительно промывали н-гексаном и ополаскивали отбираемой водой.

Пробоподготовка осуществлялась в соответствии с методикой²⁾. Пробу воды (250 мл), подкисленную серной кислотой (1:1) (1.5 мл), экстрагировали дважды н-гексаном (по 25 мл). Гексановый экстракт пропускали через стеклянную колонку, заполненную оксидом алюминия, и концентрировали до объема 1 мл при комнатной температуре в вытяжном шкафу.

Качественный и количественный состав УВ определяли на базе НОЦКП «Спектрометрия и хроматография» ФИЦ ИнБЮМ методом газовой хроматографии на хроматографе «Кристалл 5000.2» с пламенно-ионизационным детектором (ПИД).

Аликвотную часть сконцентрированного экстракта вводили микрошприцем в нагретый до 250 °С испаритель газового хроматографа. Разделение УВ



Р и с . 1 . Карта-схема отбора проб морской воды и макробрастаний в акватории урочища Батилиман, 2023 г. Снимок Google Maps (URL: <https://www.google.ru/maps>)

Fig. 1. The map of seawater and macrofouling sampling in the water area of the Batiliman Stow, 2023. Google Maps image (available at <https://www.google.ru/maps>)

²⁾ Другов Ю. С., Родин А. А. Экологические анализы при разливах нефти и нефтепродуктов : практическое руководство. Москва : Лаборатория знаний, 2020. 273 с.

осуществляли на капиллярной колонке *TR-1MS* длиной 30 м, диаметром 0.32 мм и толщиной неподвижной фазы 0.25 мкм (*Thermo Scientific*). Температура колонки программировалась от 70 до 280 °С (скорость подъема температуры 8 °С·мин⁻¹). Поток газа-носителя (азот) в колонке – 2.5 мл·мин⁻¹ без деления потока. Температура детектора – 320 °С.

Количественное определение суммарного содержания УВ проводили путем абсолютной калибровки ПИД с использованием стандартной смеси УВ (C₁₀–C₄₀) в диапазоне 0.01–0.5 мг·л⁻¹. В качестве смеси УВ использовали стандартный образец *ASTM D2887 Reference Gas Oil* (фирма *SUPELCO*, США). Общее содержание УВ определяли по сумме площадей пиков элюированных н-алканов и неразделенного фона (*unresolved complex mixture, UCM*). Для обработки результатов использовали программное обеспечение «Хроматэк Аналитик 3.0», метод абсолютной калибровки и процентной нормализации.

Для идентификации генезиса УВ использованы следующие диагностические индексы: соотношение аллохтонного вещества к автохтонным соединениям (*terrigenous/aquatic ratio, TAR*) [15], средняя длина углеводородной цепи (*average chain length, ACL*) [16] и отношение содержания низкомолекулярных н-алканов к содержанию высокомолекулярных (*low-molecular weight to high-molecular weight homologies ratio, LWH/HWH*) [17]. Показатель *P_{aq}* [18] (*aquatic to terrestrial plant index*) позволяет определить, какой тип растительности преобладает в процессе формирования органического вещества. Для выявления нефтяного и биогенного происхождения УВ используются такие индексы, как индекс нечетности *CPI₁* [19] (*Carbon Preference Index*), рассчитанный для более легких н-алканов, и *CPI₂* [16], рассчитанный для высокомолекулярной части спектра. Маркеры генезиса УВ определяли по соотношениям, представленным в табл. 1.

Пробы морской воды для микробиологического анализа отбирали в стерильные пробирки объемом 50 см³, пробы обрастаний – в стерильные банки. В настоящем исследовании оценивали сообщество макрообрастания, с которого затем делали смыв микроперифитона для определения бактериальной численности.

Т а б л и ц а 1. Основные диагностические индексы для определения генезиса УВ

T a b l e 1. Main diagnostic indices for identification of the hydrocarbon genesis

| Индекс / Index | Формула / Formula |
|------------------------|--|
| <i>TAR</i> | $\frac{\sum(C_{27} + C_{29} + C_{31})}{\sum(C_{15} + C_{17} + C_{19})}$ |
| <i>LWH/HWH</i> | $\frac{\sum(C_{13}-C_{21})}{\sum(C_{22}-C_{37})}$ |
| <i>ACL</i> | $\frac{(27C_{27} + 29C_{29} + 31C_{31} + 33C_{33} + 35C_{35} + 37C_{37})}{(C_{27} + C_{29} + C_{31} + C_{33} + C_{35} + C_{37})}$ |
| <i>CPI₁</i> | $\frac{1}{2} \left\{ \frac{(C_{15} + C_{17} + C_{19} + C_{21})}{(C_{14} + C_{16} + C_{18} + C_{20})} + \frac{(C_{15} + C_{17} + C_{19} + C_{21})}{(C_{16} + C_{18} + C_{20} + C_{22})} \right\}$ |
| <i>CPI₂</i> | $\frac{1}{2} \left\{ \frac{(C_{25} + C_{27} + C_{29} + C_{31} + C_{33} + C_{35})}{(C_{24} + C_{26} + C_{28} + C_{30} + C_{32} + C_{34})} + \frac{(C_{25} + C_{27} + C_{29} + C_{31} + C_{33} + C_{35})}{(C_{26} + C_{28} + C_{30} + C_{32} + C_{34} + C_{36})} \right\}$ |
| <i>P_{aq}</i> | $\frac{(C_{23} + C_{25})}{(C_{23} + C_{25} + C_{29} + C_{31})}$ |

Во все периоды пробоотбора макрообрастание было представлено исключительно цистозирой. Ее количество закономерно уменьшалось с мая по октябрь, а биомасса во все периоды пробоотбора была несколько выше на ст. 1. В каждой пробе определяли численность сапрофитных гетеротрофных (ГБ), углеводородокисляющих (УОБ), липолитических (ЛБ) и фенолоксиляющих (ФОБ) групп бактерий. Численность указанных групп бактерий определяли методом предельных десятикратных разведений с использованием селективных питательных сред. Для ГБ использовали среду с пептоном [20]. УОБ и ЛБ культивировали на среде Ворошиловой – Диановой [21], в которую в качестве единственного источника углерода и энергии добавляли стерильную нефть или растительный жир (1 % от объема). Для фенолоксиляющих бактерий применяли модифицированную среду Калабиной – Роговской [22]. При приготовлении сред учитывали соленость морской воды. Наиболее вероятное число микроорганизмов в единице объема рассчитано по таблице МакКреди (в трех повторностях), составленной на основе метода вариационной статистики³⁾.

Результаты и обсуждение

Общее содержание УВ в воде на исследуемых станциях в период с мая по октябрь 2023 г. колебалось в пределах 0.013–0.304 мг·л⁻¹ (рис. 2). В июле на ст. 1 было зафиксировано превышение ПДК для рыбохозяйственных водоемов (0.05 мг/л)⁴⁾ в 6 раз (рис. 2), на ст. 2 в исследуемый период значение концентрации УВ было достаточно низким и ПДК не превышало.

Если сравнивать показатели малоэксплуатируемого участка побережья и пляжа, то сложно говорить об увеличении содержания УВ на пляже в летний период, когда антропогенная нагрузка на побережье сильно возрастает. Вероятно, ведущую роль в формировании углеводородного фона прибрежных вод в данном районе играют другие факторы.

Достовернее идентифицировать источники поступления УВ позволяет изучение индивидуального состава n-алканов, а также расчет маркеров, характеризующих источники происхождения органических веществ в воде.

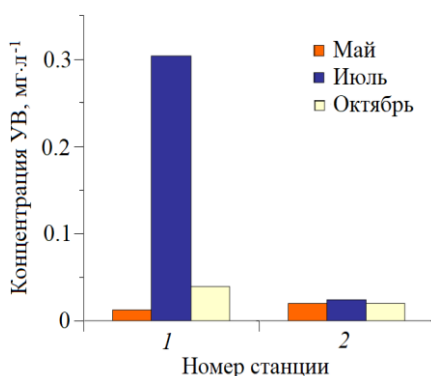


Рис. 2. Концентрация УВ в воде в прибрежной акватории урочища Батилиман, май – октябрь 2023 г.

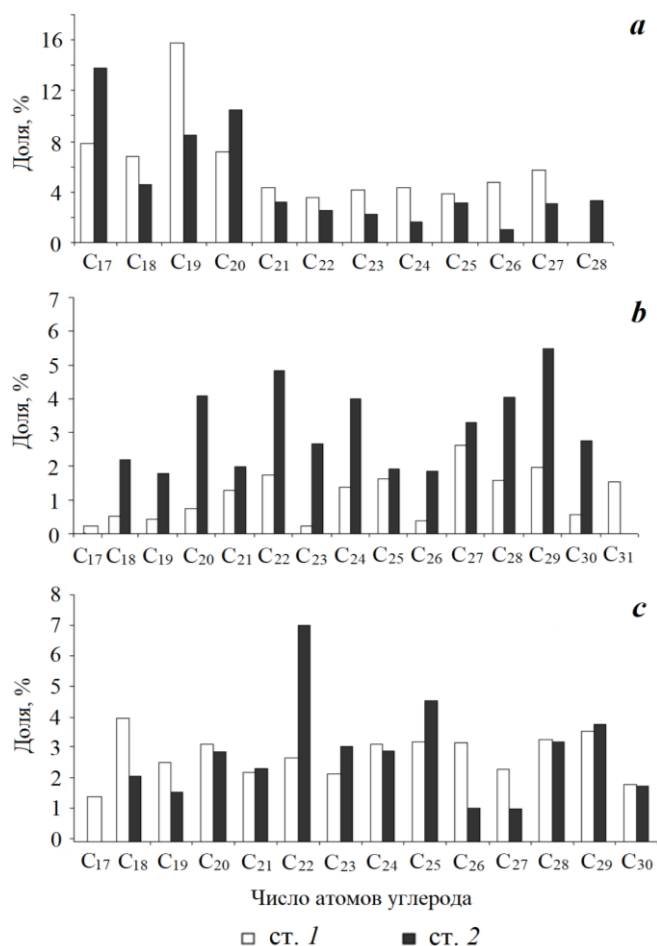
Fig. 2. Hydrocarbon concentrations in the coastal waters of the Batiliman Stow, May–October 2023

³⁾ Практикум по микробиологии / Под ред. А. И. Нетрусова. Москва : Академия, 2005. 608 с.

⁴⁾ Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения : приказ Минсельхоза РФ от 13.12.2016 № 552.

В пробах воды, отобранных с мая по октябрь 2023 г., идентифицированы *n*-алканы в диапазоне *n*-C₁₇–C₃₁ (рис. 3), *n*-алкан C₃₁ был зафиксирован только единожды на ст. 1 в июле (рис. 3, *b*). Гомологи C₂₉ и C₃₀ не были обнаружены в мае на обеих станциях (рис. 3, *a*), остальные *n*-алканы были представлены повсеместно.

Распределение *n*-алканов, полученное в мае на обеих станциях, имело одномодальный характер. В пробах поверхностных вод, отобранных в мае 2023 г., доминируют низкомолекулярные гомологи (рис. 3, *a*), в частности гептадекан (*n*-C₁₇), который является основным алканом, продуцируемым фито- и зоопланктоном [23, 24], и алкан *n*-C₁₉, также фитопланктонного генезиса. Хорошо выражены пики C₁₈ и C₂₀, которые связаны с развитием бактериального сообщества [25]. Маркеры *TAR* и *CPI*₁ (табл. 2) показывают преобладание в воде автохтонного вещества, образованного в результате микробиологической деструкции органических веществ [26].



Р и с . 3 . Распределение *n*-алканов в прибрежных водах урочища Батилиман: май (*a*), июль (*b*), октябрь (*c*), 2023 г.

Fig. 3. Distribution of *n*-alkanes in the coastal waters of the Batiliman Stow: May (*a*), July (*b*), October (*c*), 2023

Таблица 2. Содержание и состав n-алканов (маркеры) в воде прибрежной акватории урочища Батилиман, май – октябрь 2023 г.

Table 2. Content and composition of n-alkanes (markers) in the water of the coastal water area of the Batiliman Stow, May–October 2023

| Номер станции / Station number | <i>D</i> | <i>C</i> | <i>LWH/HWH</i> | <i>P_{aq}</i> | <i>TAR</i> | <i>ACL</i> | <i>CPI₁</i> | <i>CPI₂</i> |
|--------------------------------|----------------------------------|----------|----------------|-----------------------|------------|------------|------------------------|------------------------|
| <i>Май / May</i> | | | | | | | | |
| 1 | C ₁₇ –C ₂₇ | 0.013 | 1.59 | 1.00 | 0.23 | 26.17 | 1.78 | 1.50 |
| 2 | C ₁₇ –C ₂₈ | 0.020 | 2.66 | 1.00 | 0.12 | 26.00 | 1.79 | 1.23 |
| <i>Июль / July</i> | | | | | | | | |
| 1 | C ₁₇ –C ₃₁ | 0.304 | 0.21 | 0.34 | 13.57 | 28.00 | 1.08 | 2.50 |
| 2 | C ₁₈ –C ₃₀ | 0.024 | 0.34 | 0.52 | 4.50 | 27.40 | 0.48 | 0.92 |
| <i>Октябрь / October</i> | | | | | | | | |
| 1 | C ₁₇ –C ₃₀ | 0.040 | 0.65 | 0.65 | 1.27 | 27.00 | 0.73 | 0.93 |
| 2 | C ₁₈ –C ₃₀ | 0.020 | 0.34 | 0.65 | 3.33 | 26.90 | 0.60 | 1.32 |

Примечание: *D* – диапазон идентифицированных n-алканов; *C* – суммарная концентрация идентифицированных n-алканов, мг·л⁻¹.

Note: *D* – the range of identified n-alkanes; *C* – total concentration of identified n-alkanes, mg·L⁻¹.

Таким образом, n-алканы, присутствующие в пробах воды, отобранных в мае 2023 г., имеют преимущественно автохтонную природу и связаны с фитопланктонной и бактериальной продукцией. Для указанного сезона характерно активное развитие фитопланктона [27].

В июле на ст. 1, где отмечено превышение ПДК, зафиксировано относительно равномерное распределение n-алканов. На ст. 2 распределение отличалось, проявляя признаки бимодальности (рис. 3, *b*): первый пик – четные n-алканы в диапазоне C₁₈–C₂₄ – может быть связан с работой бактериального сообщества, второй – C₂₇–C₃₀ – обычно ассоциируется с высшей растительностью как водного, так и наземного происхождения [25].

На ст. 1 гомолог n-C₁₇ был идентифицирован в малых количествах, а на ст. 2 не обнаружен вовсе (рис. 3, *b*). Индекс *TAR* на обеих станциях значительно превышал единицу (табл. 2), что свидетельствует о преобладании аллохтонного вещества, поступающего с суши.

Несмотря на то что на ст. 1 в июле 2023 г. зафиксировано превышение ПДК в 6 раз, значение индекса *CPI₂* было 2.5 (табл. 2), что свидетельствует о биогенном происхождении органического вещества, к тому же отношение C₁₇/C₂₅ составило 0.08 (табл. 2), что указывает на преобладание аллохтонных гомологов [28]. Значение индекса *TAR* существенно превысило единицу и составило 13.57 (табл. 2), что также указывает на преобладание аллохтонного вещества в акватории.

Таким образом, несмотря на относительно равномерное распределение *n*-алканов, которое может быть признаком свежего нефтяного загрязнения, маркеры последнего отсутствуют. Диагностические индексы четко указывают на преобладание биогенного аллохтонного фона. Можно заключить, что в исследуемых пробах не обнаружено нефтяное загрязнение, а повышенные значения концентраций УВ обусловлены природными процессами.

В пробах поверхностной воды, отобранных в октябре 2023 г. распределение *n*-алканов было относительно монотонным (рис. 3, *c*). На ст. 2 доминировал гомолог *n*-C₂₂, вместе со значением индекса *CPI* (табл. 2) это говорит о присутствии в открытых поверхностных водах продуктов микробной деструкции УВ [25, 29]. В высокомолекулярной части спектра на ст. 2 был выражен пик, связанный с *n*-алканом C₂₅, который имеет аллохтонное происхождение. Гомолог C₁₇, являющийся маркером фито- и зоопланктона, на ст. 2 отсутствовал (рис. 3, *c*). Значения индексов *TAR* и *LWH/HWH* (табл. 2) на исследуемых станциях указывают на доминирование аллохтонного вещества, поступающего с суши. Признаков нефтяного загрязнения не выявлено, на что указывает значение маркера *CPI*₂ (табл. 2).

Маркер *ACL* используется для выявления изменений в экосистеме. Он остается стабильным на протяжении продолжительного времени и резко снижается в случае поступления нефтяного загрязнения [30]. Высокие значения маркера *ACL* свидетельствуют о преобладании вклада травянистой растительности в формирование УВ, а низкие значения *ACL* характерны для УВ древесного происхождения. Данный индекс на всех станциях варьировал от 26 до 28 (среднее 26.9 ± 0.7) (табл. 2), что говорит об отсутствии свежих нефтяных поступлений и отражает приблизительно одинаковый вклад древесных и травянистых растений в формирование органического вещества поверхностных открытых вод акватории. Показатель *P_{aq}* [18] (табл. 2) позволяет определить, какой тип растительности преобладает в процессе формирования органического вещества: терригенный или водный [18]. Показатель указывает на то, что в мае преобладали УВ водного происхождения, в июле на ст. 1 доминировало терригенное вещество, на ст. 2 автохтонное и аллохтонное вещество были примерно в равных долях. В октябре на обеих станциях отмечено небольшое преобладание автохтонных соединений.

По результатам исследования проб воды в акватории урочища Батилиман, отобранных с мая по октябрь 2023 г., в том числе в пик рекреационного сезона, установить наличие нефтяного загрязнения вод бухты не удалось. Основными источниками формирования углеводородного фона акватории в мае были автохтонные процессы, связанные с продукцией фитопланктона и бактериальной деструкцией органических веществ. В последующие периоды значимость фитопланктонной продукции снижалась, на первый план выходили бактериальные процессы и поступление аллохтонных соединений. Превышение санитарных нормативов (ПДК = 0.05 мг·л⁻¹), отмеченное в июле (0.304 мг·л⁻¹) на одной из станций, носит природный характер и связано с активным поступлением аллохтонных соединений.

Важным показателем качества морской среды является состояние бактериального сообщества, для которого поступающие в акваторию органические вещества, в том числе УВ, являются питательным субстратом.

Полученные нами результаты о происхождении УВ указывают на активное участие бактерий в процессах их синтеза и трансформации.

Результаты проведенных микробиологических исследований показывают, что максимальная численность ($2.5 \cdot 10^3$ кл. \cdot мл $^{-1}$) ГБ в воде отмечена однократно в майской пробе ст. 1 (рис. 4, *a*), в остальных пробах ст. 1 численность ГБ изменялась от 95 до 950 кл. \cdot мл $^{-1}$. В акватории пляжа (ст. 2) численность ГБ колебалась в пределах 150–950 кл. \cdot мл $^{-1}$ (рис. 4, *a*). Численность ГБ на обеих станциях в мае и июле превышала показатели ГБ в октябрьских пробах, что, по всей видимости, связано с цветением фитопланктона, характерным для весеннего сезона [31], и повышением температуры воды в летний период. Численность ГБ в воде исследуемых участков аналогична данным [32], полученным ранее в условно чистой акватории.

УОБ на ст. 1 выявлены во всех пробах, максимум (95 кл. \cdot мл $^{-1}$) отмечен в июльской пробе, в оставшихся пробах численность УОБ не превышала 10 кл. \cdot мл $^{-1}$ (рис. 4, *b*). В майской пробе ст. 2 УОБ не обнаружены, а в октябре они были представлены единичными клетками в миллилитре морской воды (рис. 4, *b*). Максимум УОБ на ст. 2 выделен в июле и составил 95 кл. \cdot мл $^{-1}$. Процент УОБ от численности ГБ в пробах воды на ст. 1 в мае не превышал одного процента, в июле и октябре составил 10 %. На ст. 2 в июле доля УОБ в численности ГБ составила 10 %, а в октябрьской пробе снизилась до 1.6 %. Считается, что в чистых водах на долю углеводородокисляющих микроорганизмов приходится до 7 % сапрофитной гетеротрофной микрофлоры [33].

Липолитические бактерии на ст. 1 в майской пробе не высеялись (рис. 4, *c*). Максимум численности ЛБ отмечен в июле (200 кл. \cdot мл $^{-1}$), на порядок меньше ЛБ зафиксировано в октябре. Численность ЛБ в воде ст. 2 колебалась от 2 до 150 кл. \cdot мл $^{-1}$ (рис. 4, *c*). Максимум ЛБ определен в июле, как и на ст. 1.

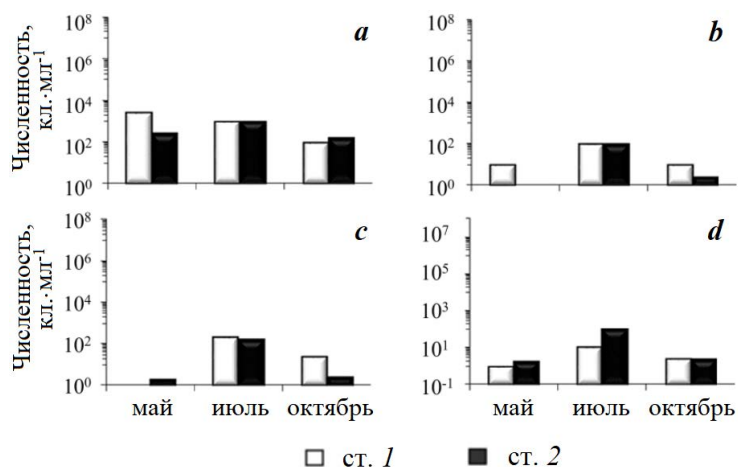


Рис. 4. Динамика численности (клет. \cdot мл $^{-1}$) гетеротрофных (*a*), углеводородокисляющих (*b*), липолитических (*c*), фенолоксиляющих (*d*) бактерий в воде

Fig. 4. Dynamics of the abundance (cells \cdot mL $^{-1}$) of heterotrophic (*a*), hydrocarbon-oxidizing (*b*), lipolytic (*c*), phenol-oxidizing (*d*) bacteria in the water

ФОБ на ст. 1 выявлены во всех пробах (рис. 4, *d*). Максимум ($10 \text{ кл.}\cdot\text{мл}^{-1}$) обнаружен на ст. 1 в июле, в остальных пробах ст. 1 данная группа бактерий представлена единичными клетками в миллилитре морской воды. На ст. 2 ФОБ также обнаружены во всех пробах (рис. 4, *d*). Максимум ($95 \text{ кл.}\cdot\text{мл}^{-1}$) выявлен на ст. 2 в июле. В остальных пробах численность ФОБ не превышала $10 \text{ кл.}\cdot\text{мл}^{-1}$.

Полученные результаты (рис. 5, *a*) оценки численности ГБ в микроперифитоне макрообрастаний показали, что на ст. 1 максимум численности ($2.5\cdot 10^6 \text{ кл.}\cdot\text{г}^{-1}$) ГБ, свидетельствующий о достаточном количестве легкоусвояемой органики, отмечен в майской пробе. В последующих определениях численность ГБ составляла $9.5\cdot 10^3 \text{ кл.}\cdot\text{г}^{-1}$. На ст. 2 численность ГБ в майской и октябрьской пробах колебалась в пределах $2.5\cdot 10^4 - 4.5\cdot 10^4 \text{ кл.}\cdot\text{г}^{-1}$, в июле число ГБ уменьшилось на порядок. Наибольший показатель численности ГБ на ст. 2, как и на ст. 1, определен в майской пробе ($4.5\cdot 10^4 \text{ кл.}\cdot\text{г}^{-1}$).

УОБ высеяны из всех проб обрастаний с обозначенных станций (рис. 5, *b*). На обеих станциях диапазон численности УОБ варьировал от 95 до $2.5\cdot 10^2 \text{ кл.}\cdot\text{г}^{-1}$. Однако на ст. 1 наименьший показатель ($95 \text{ кл.}\cdot\text{г}^{-1}$) УОБ отмечен в майской пробе, в остальных пробах ст. 1 число УОБ колебалось в пределах $1.5\cdot 10^2 - 2.5\cdot 10^2 \text{ кл.}\cdot\text{г}^{-1}$. В обрастаниях пляжа (ст. 2) максимум ($2.5\cdot 10^2 \text{ кл.}\cdot\text{г}^{-1}$) получен в июле, минимум ($95 \text{ кл.}\cdot\text{г}^{-1}$) – в октябре. Доля УОБ от ГБ в июльских пробах ст. 1 составила 1.6 %, ст. 2 – 2.6 %, в остальные месяцы доля УОБ на обеих станциях была меньше 1 %. Полученные количественные показатели УОБ в акватории урочища Батилиман значительно ниже аналогичных значений в микроперифитоне молдов акватории Севастополя, испытывающих существенную антропогенную нагрузку [34].

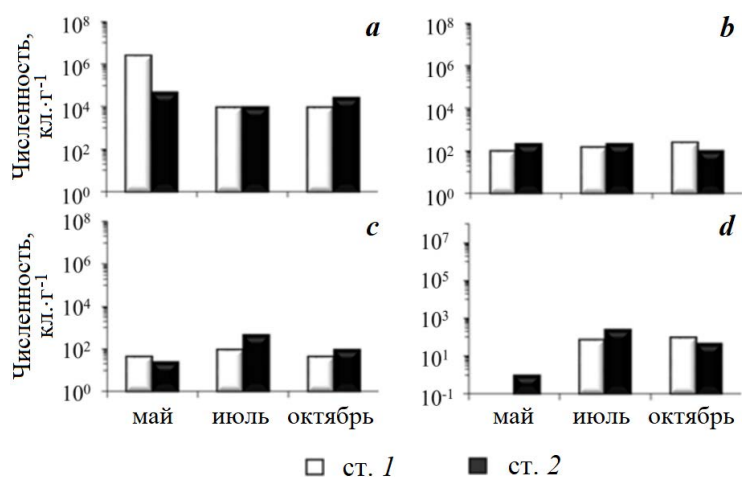


Рис. 5. Динамика численности ($\text{кл.}\cdot\text{г}^{-1}$) гетеротрофных (*a*), углеводородокисляющих (*b*), липолитических (*c*), фенолоксиляющих (*d*) бактерий в обрастаниях

Fig. 5. Dynamics of the abundance ($\text{cells}\cdot\text{g}^{-1}$) of heterotrophic (*a*), hydrocarbon-oxidizing (*b*), lipolytic (*c*), phenol-oxidizing (*d*) bacteria in the fouling

ЛБ выявлены в 100 % проб обрастаний со ст. 1 и 2 (рис. 5 *c*). На ст. 1 число ЛБ колебалось в пределах 45–95 кл.·г⁻¹, на ст. 2 диапазон численности ЛБ составлял 25–450 кл.·г⁻¹. Наибольшие показатели численности ЛБ на обеих станциях получены в разгар курортного сезона. В майской пробе на ст. 2 определена минимальная численность ЛБ (25 кл.·г⁻¹). В остальных пробах ст. 1 и 2 число ЛБ варьировало от 45 до 95 кл.·г⁻¹.

ФОБ на ст. 1 в майской пробе не высеялись, результаты последующих наблюдений на ст. 1 показали возрастание численности ФОБ в июльских и октябрьских пробах, соответственно 75 и 95 кл.·г⁻¹ (рис. 5, *d*). На ст. 2 численность ФОБ варьировала от 1 до 250 кл.·г⁻¹ (рис. 5, *d*). Максимум (250 кл.·г⁻¹) на ст. 2 отмечен в июльской пробе, минимум – в мае, а в октябре численность ФОБ в обрастаниях пляжа снизилась до 45 кл.·г⁻¹.

Анализ данных показал, что отсутствие ярко выраженного пика численности у сапрофитных гетеротрофных бактерий (рис. 4, *a*) и отмеченное повышение углеводородного фона в июле на ст. 1 (рис. 2) с учетом состава *n*-алканов может быть связано с поступлением высокомолекулярных аллохтонных соединений, которые в меньшей степени подвержены бактериальной деструкции [35]. Поступление аллохтонного материала может быть связано с прошедшими накануне (21–23 июля 2023 г.) осадками ([URL: https://goodmeteo.ru/pogoda-batiliman-orlinoe-sevastopol/23-7/](https://goodmeteo.ru/pogoda-batiliman-orlinoe-sevastopol/23-7/)) и особенностями расположения станции (возможность схода селевых потоков). Процентная доля УОБ в численности ГБ в обрастаниях на обеих станциях была довольно низкой и не превышала 2.6 %, что соответствует показателям для чистых акваторий⁵⁾. Полученные количественные характеристики УОБ и ЛБ в обрастаниях акватории урочища Батилиман на исследуемых участках намного ниже аналогичных показателей пляжа Голубая бухта (акватория Севастополя), в то же время содержание ФОБ намного выше, чем в перифитоне пляжа Голубая бухта [32]. Увеличение численности индикаторных групп бактерий (УОБ, ЛБ и ФОБ) на ст. 1 и 2 в июле как в пробах воды, так и в микроперифитоне является откликом микробного сообщества на сезонные изменения в экосистеме, включающие в себя и увеличение антропогенной нагрузки на акваторию ЮБК.

Заключение

Концентрация УВ в период с мая по октябрь 2023 г. в прибрежных водах урочища Батилиман составляла 0.013–0.304 мг/л. Состав и содержание УВ в прибрежных водах урочища Батилиман обусловлены природными процессами. Нефтяное загрязнение не зафиксировано.

Количественная оценка обозначенных групп бактерий в воде и микроперифитоне макрообрастаний и полученные результаты исследования углеводородного фона свидетельствуют о том, что, несмотря на существенную антропогенную нагрузку в летний период, в акватории урочища Батилиман активно происходят процессы бактериального самоочищения. По микробиологическим показателям исследуемый участок можно отнести к условно-чистым акваториям.

⁵⁾ Мишустина И. Е., Щеглова И. К., Мицкевич И. Н. Морская микробиология. Владивосток : ДВГУ, 1985. 184 с.

С учетом увеличивающейся антропогенной нагрузки на этот участок побережья, связанной со строительством туристических объектов, полученные результаты фоновых исследований могут быть использованы в дальнейшем для сравнительного анализа состояния вод урочища Батилиман при экологическом мониторинге или экологической оценке при чрезвычайных ситуациях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Куфтаркова Е. А., Ковригина Н. П., Бобко Н. И.* Оценка гидрохимических условий бухты Ласпи – района культивирования мидий // Экология моря. Киев : Наукова думка, 1990. Вып. 36. С. 1–7. EDN XWPRJN.
2. *Орехова Н. А., Овсяный Е. И.* Органический углерод и гранулометрический состав литоральных донных отложений бухты Ласпи (Черное море) // Морской гидрофизический журнал. 2020. Т. 36, № 3. С. 287–299. doi:10.22449/0233-7584-2020-3-287-299
3. *Skuratovskaya E., Doroshenko Yu.* Complex application of microbiological characteristics in bottom sediments and biochemical parameters of mussel *Mytilus galloprovincialis* (Lam.) for assessing the ecological state of marine coastal areas // Pollution. 2022. Vol. 8, iss. 3. P. 1038–1048. doi:10.22059/poll.2022.337948.1341
4. *Евстигнеева И. К., Танковская И. Н.* Макрофитобентос прибрежной зоны Батилимана (Черное море, заказник «Мыс Айя») // Вестник Тверского государственного университета. Серия: Биология и экология. 2018. № 4. С. 100–117. EDN YXEMJF. doi:10.26456/vtbio31
5. *Подкорытова А. В., Вафина Л. Х.* Химический состав бурых водорослей Черного моря: род *Cystoseira*, перспектива их использования // Труды ВНИРО. 2013. Т. 150. С. 100–107. EDN TFSJQH.
6. *Кравцова А. В., Мильчакова Н. А., Фронтасьева М. В.* Особенности накопления микроэлементов макроводорослями рода *Cystoseira* из прибрежных акваторий Крыма (Черное море) // Экосистемы, их оптимизация и охрана. Симферополь : ТНУ, 2014. Вып. 10. С. 146–158. EDN VKCZAB.
7. Перспективы формирования особо охраняемых природных территорий федерального значения в городе Севастополе / Н. А. Мильчакова [и др.] // Заповедники – 2019: биологическое и ландшафтное разнообразие, охрана и управление : Материалы IX Всероссийской научно-практической конференции, Симферополь, 09–11 октября 2019 года. Симферополь : ИТ «Ариал», 2019. С. 68–74.
8. *Нехорошев М. В., Усс Ю. А., Шаляпин В. К.* Химический состав биоотложений и скорость их выделения культивируемыми мидиями // Экология моря. 1990. Т. 36. С. 37–41. EDN XWPROD.
9. *Копий В. Г.* Характеристика таксономического состава полихет в акватории бухты Ласпи (Крым, Черное море) // Вестник МГТУ. 2023. Т. 26, № 1. С. 69–77. EDN KABUJT. doi:10.21443/1560-9278-2023-26-1-69-77
10. *Миронова Н. В., Панкеева Т. В.* Долговременные изменения пространственного распределения запасов макрофитов в бухте Ласпи (Черное море) // Экосистемы. 2018. № 16. С. 33–46. EDN YTUSBF.
11. Санитарно-биологическая характеристика прибрежной акватории ландшафтного заказника «Ласпи» (Черное море) / Е. А. Тихонова [и др.] // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2020. № 3. С. 95–106. EDN KLCMWN. doi:10.22449/2413-5577-2020-3-95-106

12. Соловьева О. В., Тихонова Е. А., Миронов О. А. Содержание нефтяных углеводородов в прибрежных водах Крымского полуострова // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. Биология. Химия. Т. 3, № 3. С. 147–155. EDN ZWNBXF.
13. Мониторинг концентрации нефтяных углеводородов в прибрежных водах Крыма / О. В. Соловьева [и др.] // Вода: химия и экология. 2018. № 4–6. С. 19–24. EDN XZUEOT.
14. Новиков А. А., Каширина Е. С., Белоконь В. В. Геолого-геоморфологические опасные процессы как факторы угроз для особо охраняемых природных территорий г. Севастополя // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. Севастополь : ЭКОСИ-Гидрофизика, 2014. Вып. 29. С. 61–69. EDN UXWYQT.
15. Meyers P. A. Organic geochemical proxies of palaeoceanographic, paleolimnologic, and paleoclimatic processes // Organic Geochemistry. 1997. Vol. 27, iss. 5–6. P. 213–250. doi:10.1016/S0146-6380(97)00049-1
16. An analysis of organic matter sources for surface sediments in the central South Yellow Sea, China: evidence based on macroelements and n-alkanes / S. Zhang [et al.] // Marine Pollution Bulletin. 2014. Vol. 88, iss. 1–2. P. 389–397. doi:10.1016/j.marpolbul.2014.07.064
17. Blumer M., Guillard R. R. L., Chase T. Hydrocarbons of marine phytoplankton // Marine Biology. 1971. Vol. 8, iss. 3. P. 183–189. doi:10.1007/BF00355214
18. An n-alkane proxy for the sedimentary input of submerged/floating freshwater aquatic macrophytes / K. J. Ficken [et al.] // Organic Geochemistry. 2000. Vol. 31, iss. 7–8. P. 745–749. doi:10.1016/S0146-6380(00)00081-4
19. L(U) X., Zhai S. The distribution and environmental significance of n-alkanes in the Changjiang river estuary sediments // Acta Scientiae Circumstantiae. 2008. Vol. 28, iss. 6. P. 1221–1226.
20. Биологические аспекты нефтяного загрязнения морской среды / Под ред. О. Г. Миронова. Киев : Наукова думка, 1988. 247 с.
21. 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.
22. Ермолаев К. К., Миронов О. Г. Роль фенолразрушающих микроорганизмов в процессе деструкции фенола в Черном море // Микробиология. 1975. Т. 44, № 5. С. 928–932. EDN KWMELJ.
23. Таушыкова Н. А., Куклин А. П., Базарова Б. Б. Первичная продукция фитопланктона, эпифитных водорослей и высших водных растений в протоках дельты реки Селенги // Вестник КрасГАУ. 2009. № 9. С. 106–112. EDN KYFJHT.
24. Yáñez-Arancibia A., Day J. Ecological characterization of Terminos Lagoon, a tropical lagoon-estuarine system in the Southern Gulf of Mexico // Oceanologica Acta. 1982. Vol. 5, iss. 4. P. 431–440.
25. Немировская И. А. Нефть в океане (загрязнение и природные потоки). Москва : Научный мир, 2013. 432 с.
26. Nishimura M., Baker E. W. Possible origin of n-alkanes with a remarkable even-to-odd predominance in recent marine sediments // Geochimica et Cosmochimica Acta. 1986. Vol. 50, iss. 2. P. 299–305. doi:10.1016/0016-7037(86)90178-X

27. Сезонная и многолетняя изменчивость фитопланктона в Черном море по данным дистанционного зондирования и контактными измерениями хлорофилла А / С. В. Востоков [и др.] // Доклады Академии наук. 2019. Т. 485, № 1. С. 99–103. EDN RKUJZH. doi:10.31857/S0869-5652485199-103
28. Немировская И. А. Распределение и происхождение углеводов на трансарктическом разрезе через моря Сибири // Океанология. 2021. Т. 61, № 2. С. 209–219. EDN SIQDEG. doi:10.31857/S0030157421020155
29. Bieger T., Abrajano T. A., Hellou J. Generation of biogenic hydrocarbons during a spring bloom in Newfoundland coastal (NW Atlantic) waters // Organic Geochemistry. 1997. Vol. 26, iss. 3–4. P. 207–218. doi:10.1016/S0146-6380(96)00159-3
30. Significance of long chain *iso* and *anteiso* monomethyl alkanes in the Lamiaceae (mint family) / X. Huang [et al.] // Organic Geochemistry. 2011. Vol. 42, iss. 2. P. 156–165. doi:10.1016/j.orggeochem.2010.11.008
31. Финенко З. З., Мансурова И. М., Суслин В. В. Временная динамика биомассы фитопланктона в поверхностном слое Черного моря по данным спутниковых наблюдений // Океанология. 2022. Т. 62, № 3. С. 416–427. EDN NEKDHS. doi:10.31857/S0030157422030042
32. Дорошенко Ю. В. Оценка состояния Голубой бухты в летний период по микробиологическим показателям // Актуальные вопросы биологической физики и химии. 2018. Т. 3, № 4. С. 892–896. EDN YLQROX.
33. Студеникина Е. И., Толоконникова Л. И., Воловик С. П. Микробиологические процессы в Азовском море в условиях антропогенного воздействия. Москва : ФГУП «Нацрыбресурсы», 2002. 168 с.
34. Дорошенко Ю. В. Микробиологическая характеристика гидротехнических сооружений некоторых бухт г. Севастополя // Актуальные вопросы биологической физики и химии. 2022. Т. 7, № 4. С. 645–649. EDN DLWWQQ. doi:10.29039/rusjbpс.2022.0576
35. Corner E. D. S. Pollution studies with marine plankton: Part 1. Petroleum Hydrocarbons and Related Compounds // Advances in Marine Biology. 1979. Vol. 15. P. 289–380. doi:10.1016/S0065-2881(08)60407-1

Поступила 30.11.2023 г.; одобрена после рецензирования 10.12.2023 г.; принята к публикации 27.12.2023 г.; опубликована 25.03.2024 г.

Об авторах:

Тихонова Елена Андреевна, ведущий научный сотрудник, ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН» (299011, Россия, г. Севастополь, пр. Нахимова, 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*

Соловьёва Ольга Викторовна, ведущий научный сотрудник, ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН» (299011, Россия, г. Севастополь, пр. Нахимова, 2), кандидат биологических наук, **ORCID ID: 0000-0002-1283-4593**, **Scopus Author ID: 57208499211**, **ResearcherID: X-4793-2019**, **SPIN-код: 3114-7955**, *kozl_ya_oly@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, 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*

Ткаченко Юлия Сергеевна, младший научный сотрудник, ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН» (299011, Россия, г. Севастополь, пр. Нахимова, 2), **ORCID ID: 0009-0001-1752-1043**; **Scopus Author ID: 1220495**, **SPIN-код: 9716-311**, *yulechkatkachenko.90@mail.ru*

Дорошенко Юлия Валерьевна, научный сотрудник, ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН» (299011, Россия, г. Севастополь, пр. Нахимова, 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*

Гусева Елена Владимировна, младший научный сотрудник, ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН» (299011, Россия, г. Севастополь, пр. Нахимова, 2), **Scopus Author ID: 57208488324**, **SPIN-code: 9270-4789**, *guseva_ev@ibss-ras.ru*

Алёмов Сергей Викторович, ведущий научный сотрудник, ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени 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**, *alyomov_sv@ibss-ras.ru*

Заявленный вклад авторов:

Тихонова Елена Андреевна – постановка целей и задач комплексного исследования, отбор проб воды, обрастаний, написание рукописи

Соловьёва Ольга Викторовна – анализ полученных результатов по углеводородному составу воды, обсуждение результатов, написание статьи

Ткаченко Юлия Сергеевна – пробоподготовка проб воды, определение в ней качественного и количественного состава углеводородов, написание и оформление статьи

Бурдиян Наталия Витальевна – постановка задач микробиологического исследования, анализ полученных результатов по микробиологическому исследованию, обсуждение результатов, написание статьи, микробиологические работы по определению численности индикаторных групп бактерий в перифитоне

Дорошенко Юлия Валерьевна – анализ полученных результатов по микробиологическому исследованию, обсуждение результатов, написание статьи, микробиологические работы по определению численности индикаторных групп бактерий в воде

Гусева Елена Владимировна – обоснование исследования, подготовка литературного обзора, отбор проб обрастаний, построение графического материала

Алёмов Сергей Викторович – отбор проб, описание сообщества макрообрастаний и его изменений в различные периоды пробоотбора

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.