

## Санитарно-биологическая характеристика прибрежной акватории ландшафтного заказника «Ласпи» (Черное море)

Е. А. Тихонова\*, О. В. Соловьёва, О. А. Миронов, Н. В. Бурдиян

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

*\*e-mail: tihonova@mail.ru*

Поступила 27.03.2020 г.; принята к публикации 10.08.2020 г.; опубликована 25.09.2020 г.

Целью работы является определение уровня загрязнения б. Ласпи по основным физико-химическим и микробиологическим параметрам воды и донных отложений. В качестве показателей экологического благополучия акватории были выделены: физико-химические показатели донных отложений, концентрация хлороформ-экстрагируемых веществ и нефтяных углеводородов, микробиологические показатели в морской воде и донных отложениях. Санитарно-биологическое исследование б. Ласпи показало, что в целом по определяемым параметрам данную прибрежную акваторию можно характеризовать как относительно благополучную. Однако ряд показателей (содержание нефтяных углеводородов в воде, в частности в придонном слое, относительно высокая концентрация гетеротрофных бактерий в морской воде и донных отложениях) указывают на то, что данный участок акватории, который ранее относился к категории эталонно чистых, испытывает существенное антропогенное воздействие. Возможно, полученные результаты связаны с активной застройкой урочища Ласпи, наблюдаемой в последние годы. По всей видимости, загрязняющие вещества поступают в водную среду прибрежной акватории заказника со сточными и иными водами, а параметры среды указывают на низкий уровень их окисления и, соответственно, ее самоочищения.

**Ключевые слова:** донные отложения, морская вода, хлороформ-экстрагируемые вещества, нефтяные углеводороды, гетеротрофные бактерии, углеводородокисляющие бактерии, заказник «Ласпи», Черное море.

**Благодарности:** работа выполнена в рамках государственного задания ФИЦ ИнБЮМ «Молисмологические и биогеохимические основы гомеостаза морских экосистем» (№ АААА-А18-118020890090-2).

**Для цитирования:** 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. doi:10.22449/2413-5577-2020-3-95-106

© Тихонова Е. А., Соловьёва О. В., Миронов О. А., Бурдиян Н. 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

## Sanitary and Biological Characteristics of the Laspi Reserve Coastal Waters (the Black Sea)

E. A. Tikhonova\*, O. V. Soloveva, O. A. Mironov, N. V. Burdiyan

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

\*e-mail: tihonova@mail.ru

Submitted 27.03.2020; revised 10.08.2020; published 25.09.2020

This paper aims at determining the level of Laspi Bay's pollution according to the main physical and chemical as well as microbiological parameters of water and sea bottom sediments. The following indicators of the ecological well-being of the water area were determined: physical and chemical indicators of sea bottom sediments, concentration of chloroform-extractable substances and total petroleum hydrocarbons, microbiological indicators in sea water and bottom sediments. Integrated sanitary and biological research of the Laspi Bay showed that, by the defined parameters, this coastal area can be characterized, in general, as relatively prosperous. However, a number of indicators (the content of total petroleum hydrocarbons, particularly in the bottom water layer, a relatively high concentration of heterotrophic bacteria in sea water and bottom sediments) indicate that this part of the water area, which previously was classified as standard clean, is exposed to a significant anthropogenic stress. The obtained results may be associated with intense development of the Laspi region observed in the recent years. Apparently, pollutants enter the aquatic environment of the Laspi Reserve coastal water area with sewage and other waters, whereas environmental parameters indicate a low level of their oxidation and self-purification.

**Keywords:** sea bottom sediments, seawater, chloroform-extractable substances, total petroleum hydrocarbons, heterotrophic bacteria, hydrocarbon-oxidizing bacteria, Laspi reserve, Black Sea.

**Acknowledgements:** 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).

**For citation:** Tikhonova, E.A., Soloveva, O.V., Mironov, O.A. and Burdiyan, N.V., 2020. Sanitary and Biological Characteristics of the Laspi Reserve Coastal Waters (the Black Sea). *Ecological Safety of Coastal and Shelf Zones of Sea*, (3), pp. 95–106. doi:10.22449/2413-5577-2020-3-95-106 (in Russian).

Ценность ландшафтов береговой зоны обусловлена флористическим и фаунистическим разнообразием биоценозов. Территория заказника «Ласпи» – это своеобразный центр биологического разнообразия в горных условиях. В то же время эти природные системы являются открытыми и, как следствие, очень уязвимыми с экологической точки зрения (URL: <http://oopt.aari.ru/oopt/Ласпи>).

К заказнику примыкает не вошедший в его границы прибрежный аквальный комплекс. Природоохранные мероприятия на его территории почти не проводятся. Ситуация усугубляется постоянным поступлением различного рода веществ со смывом. Гидрохимические условия района тесно связаны с его геологическим строением. В частности, особенностью переме-

щения подземных вод в пределах исследуемого участка является то, что вода в основном движется струями по трещинам и ломам, выпавшим оседающими массивами известняка, оползнями и глыбовыми потоками. В Ласпинской долине источники выходят в смещенных известняковых массивах [1]. Несмотря на то, что в районе заказника постоянные водные объекты отсутствуют, интенсивный поверхностный сток осуществляется в период выпадения стокообразующих осадков в виде склонового стекания и ручьев. В своих водах они могут нести загрязняющие вещества с расположенной над урочищем и активно эксплуатируемой автомобильной трассы.

В [2] указывается, что на дне Ласпинской бухты есть зона выхода подземных вод. Зона субмаринной разгрузки подземных вод в районе б. Ласпи определяется по резкому понижению концентрации хлор-иона в иловой воде до 4.59 ‰. С субмаринными водами в акваторию могут попадать вещества различной природы, принесенные с территории Байдарской долины. На данный момент в бухте имеется пять выпусков сточных вод с биологической очисткой, которые вынесены от берега на расстояние 90–150 м. Суммарный объем сточных вод превышает 210 тыс. м<sup>3</sup>·год<sup>-1</sup> (см. отчет<sup>1)</sup>). В б. Ласпи также отмечено пониженное содержание растворенного в воде кислорода (6.89 см<sup>3</sup>/дм<sup>3</sup>) при относительно высокой средней температуре (9.5 °С) в слое от 0–60 м и повышенное содержание биогенных элементов (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>, SiO<sub>3</sub><sup>2-</sup>) (Родионова Н. Ю., неопубл.), что, вероятно, свидетельствует о влиянии берегового стока.

Описанные выше условия могут негативно сказываться на биоценозе прибрежной акватории [3]. К примеру, за последние 25 лет в б. Ласпи выявлено [4] значительное сокращение количественных показателей фитобентоса и изменение его структуры. Доля живых *Soropoda* в Черном море в среднем составляет 57 %, а в б. Ласпи данный показатель был одним из наименьших – 29 % [5].

С учетом сказанного выше, контроль качества прибрежной акватории Ласпинского заказника актуален и необходим. В связи с этим целью работы является определение уровня загрязнения б. Ласпи по основным физико-химическим и микробиологическим параметрам воды и донных отложений.

#### **Материал и методика исследований**

В прибрежной зоне (рис. 1) на пяти станциях отбирали пробы донных отложений (ст. 1–5) для физико-химического анализа. Образцы морской воды (ст. 1–3) и грунтов (ст. 1–4) для микробиологического анализа брали в сухопутной экспедиции отдела морской санитарной гидробиологии ФИЦ ИнБЮМ летом 2017 г. Для микробиологических исследований также отбирали пробы донных отложений на трех станциях (рис. 1, ст. М1–М3) во время 93-го рейса НИС «Профессор Водяницкий» весной 2017 г.

Численность гетеротрофных бактерий (ГБ), основных деструкторов органического вещества в водоемах, и углеводородокисляющих бактерий (УОБ),

<sup>1)</sup> Разработка практических рекомендаций по оздоровлению природной среды прибрежной зоны морей Украины. Экологическая экспертиза морской прибрежной акватории от Балаклавы до мыса Сарыч : отчет о НИР / ИнБЮМ ; рук. Морозова А. Л. Севастополь, 2000. Т. 1. 90 с. № ГР 0101U000697. Инв. № 0201U001877.



Р и с . 1 . Схема станций отбора проб в б. Ласпи в сухопутной экспедиции (а), в 93-м рейсе НИС «Профессор Водяницкий», 2017 г. (b)

Fig. 1. Map of sampling stations in the Laspi Bay: land expedition (a), the 93<sup>d</sup> cruise of R/V «Professor Vodyanitsky», 2017 (b)

деструкторов нефтяных углеводородов, в пробе определяли методом предельных разведений с использованием элективных сред [6] с учетом солености воды <sup>2)</sup>. Наиболее вероятное число микроорганизмов в единице объема рассчитывали по таблице Мак-Креди (в трех повторностях), составленной на основе метода вариационной статистики <sup>3)</sup>.

Сбор донных отложений проводили дночерпателем Петерсона с площадью захвата 0.038 м<sup>2</sup>. В свежееотобранных пробах морских осадков *in situ* проводили измерение величин pH и Eh pH-метром-термометром «Нитрон-рН» (предел допускаемой основной абсолютной погрешности измерения pH и ЭДС составляет 0.01 ед.; 0.7 мВ). В лабораторных условиях осадки высушивали до воздушно-сухого состояния, растирали в ступе и часть пробы просеивали через сита с диаметром ячеек 0.25 мм для определения концентрации нефтяных углеводородов (НУ) методом инфракрасной спектроскопии <sup>4)</sup> на Фурье-спектрометре ФСМ 1201. Хлороформ-экстрагируемые вещества (ХЭВ) определяли весовым методом. Все полученные результаты для концентраций ХЭВ и НУ пересчитывали на 100 г воздушно-сухого донного осадка (возд.-сух. д. о.).

Пробы морской воды для определения количества НУ отбирались по сетке станций (рис. 1, ст. М1–М9) в ходе 93-го рейса НИС «Профессор Водяницкий» весной 2017 г., а также в акватории б. Ласпи в 96 (лето 2017 г.), 102 (лето 2018 г.) и 105-м (зима 2018 г.) рейсах. В пробы, отобранные с поверхностного и придонного горизонтов, добавляли тетрахлорметан (CCl<sub>4</sub>)

<sup>2)</sup> Бурдиян Н. В. Сульфатредуцирующие, тионовые, денитрифицирующие бактерии в прибрежной зоне Черного моря и их роль в трансформации нефтяных углеводородов : автореф. дис. ... канд. биол. наук. Севастополь, 2011. 24 с.

<sup>3)</sup> Практикум по микробиологии / Под ред. А. И. Нетрусова. М. : Академия, 2005. 608 с.

<sup>4)</sup> Руководство по методам химического анализа морских вод / Под ред. С. Г. Орадовского. Л. : Гидрометеиздат, 1977. С. 118–131.

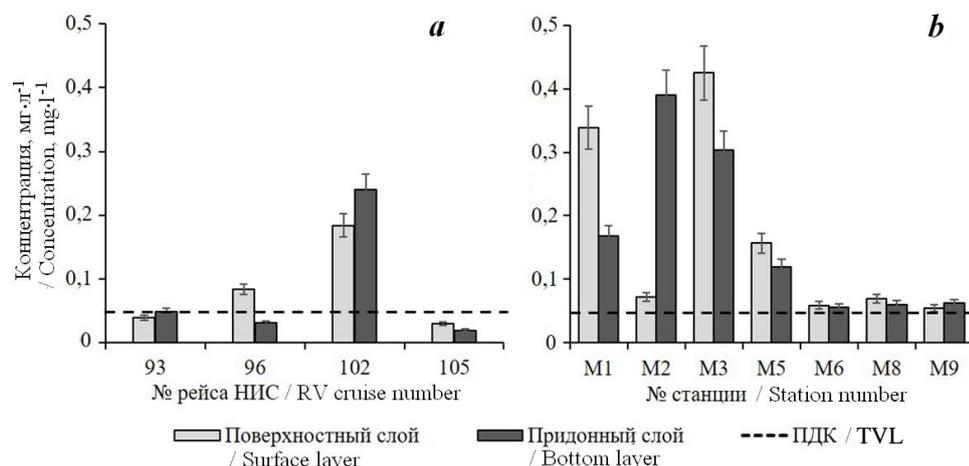
из расчета 20 см<sup>3</sup> на 2 дм<sup>3</sup> для последующей экстракции. Дальнейшую обработку проводили на берегу в лабораторных условиях с использованием общепринятой методики, разработанной в ГОИН <sup>4)</sup>.

По литературным данным [7–9] проведен обобщающий анализ физико-химических показателей воды в акватории б. Ласпи.

### Результаты и обсуждение

Важными составляющими оценки экологического состояния акватории являются физико-химическая характеристика воды, а также способность акватории к самоочищению. Результаты, полученные группой исследователей [7], показали, что уровень солености в водах бухты идентичен уровню солености, полученному для вод Южного берега Крыма (ЮБК). Значения рН колеблются в диапазоне 8.26–8.34. В то же время зафиксирован высокий уровень аэрации водных масс (98–109 % насыщения). Отмечено [8], что повышение уровня органических форм азота, фосфора, окисляемости и биологического потребления кислорода за 5 дней (БПК<sub>5</sub>) в летний период в районе здравниц предполагает поступление сточных вод в б. Ласпи. Таким образом, в водную среду прибрежной акватории заказника поступают загрязняющие вещества со сточными и иными водами, а параметры среды указывают на недостаточно интенсивный уровень процессов самоочищения акватории.

Как видно из представленных данных (рис. 2, *a*), содержание НУ в воде находилось на уровнях, близких к предельно допустимым, при этом летом 2018 г. зафиксировано превышение предельно допустимой концентрации (ПДК) в 3–4 раза. Отмечено, что полученные величины были выше, чем в среднем для Севастопольских бухт [10].



Р и с . 2 . Содержание нефтяных углеводородов в морской воде б. Ласпи, отобранной в рейсах НИС «Профессор Водяницкий» в период с 2017 по 2018 г. (*a*); в поверхностном и придонном слоях в 93-м рейсе НИС «Профессор Водяницкий» весной 2017 г. (*b*)

Fig. 2. Oil hydrocarbon content in the Laspi Bay sea water samples taken: during cruises of R/V «Professor Vodyanitsky» from 2017 to 2018 (*a*); in the surface and bottom layers during the 93<sup>d</sup> cruise of R/V «Professor Vodyanitsky» (*b*)

Действительно, ранее нами были отмечены концентрации НУ несколько выше фоновых (0.3 ПДК). Однако содержание НУ в придонном и поверхностном горизонтах исследуемого района не достигало опасных значений, хотя и превышало концентрацию НУ, полученную в акватории ЮБК [11]. Следует отметить, что в 2016 г. частота зафиксированных случаев превышения ПДК в придонном горизонте акватории б. Ласпи составила 25 % [12, 13], а результаты, полученные нами в 2017 г. (по более детальной сетке станций), показали превышение ПДК уже в 100 % случаев (см. рис. 1, *b*; 2, *b*). Таким образом, исследуемый участок, ранее относившийся к категории эталонно чистых, испытывает существенное антропогенное воздействие. Возможно, полученные результаты связаны с активной застройкой урочища Ласпи, наблюдаемой в последние годы. В большинстве проб концентрация НУ в придонном слое воды выше, чем в поверхностном. Данный факт позволяет говорить о глубинном источнике поступления исследуемого поллютанта. В нашем случае это может быть несанкционированный канализационный сток в районе станции М2.

Наиболее информативным объектом, по загрязнению которого можно судить об уровне нагрузки на акваторию, являются донные отложения. На исследуемом полигоне они были представлены песками. По полученным данным, содержание ХЭВ в песках на пяти станциях в среднем не превышало  $42 \text{ мг} \cdot 100 \text{ г}^{-1}$  воздушно-сухого вещества, что соответствует первому уровню из пяти описанных [14]. НУ зафиксированы на уровне следовых концентраций. Ранее, в 80-е г. XX в. [15], показатели ХЭВ в донных отложениях б. Ласпи были сравнимы с показателями ХЭВ, полученными в 2016–2017 гг. В отдельных случаях на некоторых участках данные прошлого века превышали зафиксированные в 2017 г. значения.

Донные отложения Ласпинской бухты имели следующие физико-химические характеристики: показатель Eh колебался от +49 до +68 мВ, соответственно, рН – от 7.95 до 8.22. Известно, что величина Eh зависит от рН. Для получения сравнимых данных в исследуемых донных осадках с различной величиной рН нами рассчитан показатель водородного потенциала по формуле У. И. Кларка ( $rH_2 = Eh/29 + 2pH$ ) (Ганжара Н. Ф. Почвоведение. М. : Агроконсалт, 2001. 392 с.). Существует градация, в соответствии с которой при значении  $rH_2$  выше 27 преобладают окислительные процессы, при равном 22–25 – восстановительные, а ниже 20 – интенсивные восстановительные. В нашем случае данный показатель на исследуемых станциях был менее 20, т. е. в донных отложениях б. Ласпи происходят интенсивные восстановительные процессы.

В донных отложениях б. Ласпи в весенний период (ст. М1–М3) численность ГБ варьировала от  $10^2$  до  $10^4$  кл.·г<sup>-1</sup>, УОБ – от 1 до 10 кл.·г<sup>-1</sup>. Количественные показатели тионовых бактерий в донных отложениях б. Ласпи колебались в диапазоне от  $9.5 \cdot 10$  до  $2.5 \cdot 10^2$  кл.·г<sup>-1</sup>, денитрифицирующих – от  $2.5 \cdot 10^2$  до  $1.5 \cdot 10^3$  кл.·г<sup>-1</sup>. Численность сульфатредуцирующих бактерий изменялась в широком диапазоне от 2.0 до  $2.5 \cdot 10^2$  кл.·г<sup>-1</sup>.

Численность гетеротрофов в поверхностном слое воды летом 2017 г. колебалась от  $9.5 \cdot 10$  до  $9.5 \cdot 10^3$  кл.·мл<sup>-1</sup>. УОБ в воде выделены в единичном количестве. В донных отложениях число гетеротрофов варьировало от  $1.5 \cdot 10^4$  до  $2.5 \cdot 10^6$  кл.·г<sup>-1</sup>, а УОБ выделены только в одной пробе (таблица).

Численность гетеротрофных (ГБ) и углеводородокисляющих (УОБ) бактерий акватории бухты Ласпи в летний период 2017 г.

Number of heterotrophic (HB) and hydrocarbon oxidizing (HOB) bacteria in the Laspi Bay water area in summer 2017

| Номер станции /<br>Station number | Морская вода, кл. · мл <sup>-1</sup> /<br>Sea water, cell · mL <sup>-1</sup> |              | Донные отложения, кл. · г <sup>-1</sup> /<br>Sediments, cell · g <sup>-1</sup> |              |
|-----------------------------------|--|--------------|--|--------------|
|                                   | ГБ /<br>HB   | УОБ /<br>HOB | ГБ /<br>HB   | УОБ /<br>HOB |
| 1                                 | 9.5 · 10 <sup>3</sup>  | 1.0          | 1.5 · 10 <sup>4</sup>  | 0            |
| 2                                 | 9.5 · 10   | 1.0          | 2.5 · 10 <sup>6</sup>  | 0            |
| 3                                 | 7.5 · 10 <sup>3</sup>  | 0            | 2.5 · 10 <sup>4</sup>  | 1.0          |
| 4                                 | н/о /<br>ND  | н/о /<br>ND  | 4.5 · 10 <sup>4</sup>  | 0            |

Примечание: н/о – не определяли.

Note: ND – not determined.

Полученные значения содержания ГБ в донных отложениях соответствуют показателям для портовых акваторий Севастополя, например б. Голландия, испытывающей интенсивную антропогенную нагрузку [16]. Численность ГБ в морской воде б. Ласпи сравнима, а в отдельных случаях даже несколько ниже, чем концентрация данной группы бактерий, определенная для прибрежных акваторий Азово-Черноморского бассейна и Каспийского моря. В частности, в прибрежной зоне Крымского побережья Черного моря численность ГБ варьировала от 100 до 10<sup>6</sup> кл. · мл<sup>-1</sup>, а в водах Северо-Восточного Прикаспия (г. Атырау) зафиксировано 10<sup>4</sup> кл. · мл<sup>-1</sup> [17, 18].

В результате нами получены данные о достаточно высоких концентрациях НУ в воде и следовых количествах НУ в донных отложениях. Отмечена незначительная численность УОБ, надежных индикаторов нефтяного загрязнения, и относительно высокая численность ГБ как в воде, так и в донных отложениях.

Высокие показатели содержания НУ и количества ГБ в морской воде, а также отсутствие УОБ могут указывать на наличие отдельных классов органических веществ (непетрогенного происхождения). Они могут как продуцироваться в водах акватории, так и поступать с береговым стоком. В частности, известно о важной роли фотосинтетически продуцированного органического углерода как источника энергии для пелагических гетеротрофных бактерий [19]. Описана положительная взаимосвязь между увеличением численности фитопланктона и обилием гетеротрофных бактерий в воде [20–22]. И, как следствие, можно предполагать наличие активного развития фитопланктона в водах Ласпинской бухты. В свою очередь, в процессе жизнедеятельности фитопланктона образуется значительное количество автохтонных углеводов, которое превалирует над концентрацией НУ, определенных при ИК-спектрометрии<sup>5)</sup>. Это полностью объясняет

<sup>5)</sup> Щекатурина Т. Л. Углеводороды автохтонного и аллохтонного происхождения и их преобразование в морских организмах : автореф. дис. ... докт. хим. наук. Ростов-на-Дону, 1992. 34 с.

наличие НУв воде и их отсутствие в донных отложениях, а также единичную численность УОБ.

### **Заключение**

Проведенное санитарно-биологическое исследование акватории б. Ласпи показало, что в целом данную прибрежную акваторию можно характеризовать как относительно благополучную по определяемым параметрам. Однако ряд показателей (содержание НУ в воде, в частности в придонном слое, относительно высокие концентрации ГБ в морской воде и донных отложениях) указывают на то, что данный участок акватории, который ранее относился к категории эталонно чистых, испытывает существенное антропогенное воздействие. По всей видимости, полученные результаты связаны с активной застройкой урочища Ласпи, наблюдаемой в последние годы. Очевидно, со сточными и иными водами в прибрежную акваторию заказника поступают загрязняющие вещества, а параметры среды указывают на низкий уровень их окисления и, соответственно, самоочищения акватории.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. *Панкеева Т. В., Миронова Н. В.* Организация и оптимизация территориальной структуры природного заказника «Ласпи» (г. Севастополь) // Биота и среда заповедных территорий. 2018. № 4. С. 124–139.
2. *Зекцер И. С.* Вода под водой. М. : Знание, 1988. 47 с.
3. *Петров А. Н., Неврова Е. Л.* Сравнительный анализ структуры таксоцено донных диатомовых (Bacillariophyta) в районах с различным уровнем техногенного загрязнения (Черное море, Крым) // Морской экологический журнал. 2004. Т. 3, № 2. С. 72–83.
4. *Pankeeva T. V., Mironova N. V.* Spatiotemporal changes in the macrophytobenthos of Laspi Bay (Crimea, Black Sea) // Oceanology. 2019. Vol. 59, no. 1. P. 86–98. doi:10.1134/S0001437019010168
5. *Литвинюк Д. А.* Доля жизнеспособного мезозoopланктона шельфовой зоны Крыма (Crustacea: Soropoda) в зимний период 2016 года // Материалы Всероссийской молодежной гидробиологической конференции «Перспективы и проблемы современной гидробиологии», пос. Борок, Ярославская область, 10–13 ноября 2016 г. / Под ред. И. С. Турбанова, Я. С. Климовой, С. Ю. Синельникова. Ярославль : Филигрань, 2016. С. 48–50. URL: <https://ibiw.ru/upload/conf/312473.pdf> (дата обращения: 20.08.2020).
6. *Бурдиян Н. В.* Анаэробная микрофлора донных осадков Севастопольских бухт (Черное море) // Экология моря. 2004. Вып. 66. С. 22–24.
7. *Катунина Е. В.* Кинетические показатели качества морских вод при оценке экологического состояния акватории бухты «Ласпи» // Материалы научной конференции с международным участием «Современные проблемы гидрохимии и мониторинга качества поверхностных вод». Часть 2. Ростов-на-Дону, 8–10 сентября 2015 г. Ростов-на-Дону, 2015. 21–24 с. URL: <http://gidrohim.com/sites/default/files/%D0%A1%D0%B1%D0%BE%D1%80%D0%BD%D0%B8%D0%BA%20%D0%93%D0%A5%D0%98%202015%20-%202.pdf> (дата обращения: 20.08.2020).
8. *Куфтаркова Е. А., Ковригина Н. П., Бобко Н. И.* Оценка гидрохимических условий бухты Ласпи – района культивирования мидий // Экология моря. 1990. Вып. 36. С. 1–7.

9. Измерение гидрологических параметров воды над метановым сипом в бухте Ласпи в течение непрерывных *in situ* экспериментов / А. А. Будников [и др.] // Ученые записки физического факультета Московского университета. 2019. № 3. 1930902.
10. Миронов О. Г., Миронов О. А. Биологическая защита морской среды от нефтяного загрязнения // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2018. № 4. С. 5–9. doi:10.30713/2411-7013-2018-4-5-9
11. Соловьева О. В., Тихонова Е. А., Миронов О. А. Загрязнение вод крымского побережья Черного и Азовского морей нефтяными углеводородами зимой 2016 года // Известия Уфимского научного центра РАН. 2019. № 1. С. 13–18. doi:10.31040/2222-8349-2019-0-1-13-18
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. 2017. Т. 3 (69), № 3. С. 147–155.
13. Мониторинг концентрации нефтяных углеводородов в прибрежных водах Крыма / О. В. Соловьева [и др.] // Вода: химия и экология. 2018. № 4–6. С. 19–24.
14. Миронов О. Г., Миловидова Н. Ю., Кирюхина Л. Н. О предельно допустимых концентрациях нефтепродуктов в донных осадках прибрежной зоны Черного моря // Гидробиологический журнал. 1986. Т. 22, № 6. С. 76–78.
15. Миронов О. Г., Кирюхина Л. Н., Дивавин И. А. Санитарно-биологические исследования в Черном море. СПб : Гидрометеиздат, 1992. 115 с.
16. Санитарно-биологические исследования в прибрежной акватории региона Севастополя / Под ред. О. Г. Миронова. Севастополь : ЭКОСИ-Гидрофизика, 2009. 192 с.
17. Бурдиян Н. В., Дорошенко Ю. В. Микробиологическая характеристика акватории крымского побережья Черного и Азовского морей (по результатам 90 рейса НИС «Профессор Водяницкий») // Биологическое разнообразие Кавказа и юга России: материалы XX юбилейной Международной научной конференции, г. Махачкала, 6–8 ноября, 2018 г. Махачкала : ИПЭ РД, 2018. С. 561–563.
18. Идрисова Д. Т., Жумадилова Ж. Ш., Шорабаев Е. Ж. Микробиологическое изучение прибрежных морских вод, донных отложений зоны Северо-Восточного Прикаспия // Успехи современного естествознания. 2015. № 9-1. С. 110–112.
19. Sundh I., Bell R. T. Extracellular organic carbon released from phytoplankton as a source of carbon for heterotrophic bacteria in lakes of different humic content // Hydrobiologia. 1992. Vol. 229. P. 93–106. <https://doi.org/10.1007/BF00006993>
20. Cole J. J., Findlay S., Pace M. L. Bacterial production in fresh and saltwater ecosystems: a cross-system overview // Marine Ecology – Progress Series. 1988. Vol. 43. P. 1–10. URL: <https://www.int-res.com/articles/meps/43/m043p001.pdf> (date of access: 20.08.2020).
21. Bird D. F., Kalff J. Empirical relationships between bacterial abundance and chlorophyll concentration in fresh and marine waters // Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. 1984. Vol. 41. P. 1015–1023. <https://doi.org/10.1139/f84-118>
22. Heterotrophic bacterial population in water, sediment and fish tissues collected from Koka Reservoir and Awash River, Ethiopia / L. Wondimu [et al.] // International Journal of Aquaculture. 2015. Vol. 5, no. 11. P. 1–5. doi:10.5376/ija.2015.05.0011

*Об авторах:*

**Тихонова Елена Андреевна**, старший научный сотрудник, 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**, *tihonoval@mail.ru*

**Соловьёва Ольга Викторовна**, старший научный сотрудник, 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**, *kozl\_ya\_oly@mail.ru*

**Миронов Олег Андреевич**, старший научный сотрудник, Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН (299011, Россия, г. Севастополь, пр. Нахимова, 2), кандидат биологических наук, **Scopus Author ID: 56227568700**, *mironov87@gmail.com*

**Бурдиян Наталия Витальевна**, старший научный сотрудник, 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**, **SPIN-код: 5663-115**, **Scopus Author ID: 862968**, *burdiyan@mail.ru*

*Заявленный вклад авторов:*

**Тихонова Елена Андреевна** – определение физико-химических характеристик донных отложений, редактирование рукописи

**Соловьёва Ольга Викторовна** – постановка цели и задач комплексного исследования, редактирование рукописи

**Миронов Олег Андреевич** – определение нефтяных углеводородов в морской воде, редактирование рукописи

**Бурдиян Наталия Витальевна** – микробиологические работы, редактирование рукописи

*Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.*

#### REFERENCES

1. Pankeeva, T.V. and Mironova, N.V., 2018. Organization and Optimization of the Territorial Structure of the Nature Reserve (Zakaznik) "Laspi" (Sevastopol). *Biodiversity and Environment of Protected Areas*, (4), pp. 124–139.
2. Zektser, I.S., 1988. [*Water under Water*]. Moscow: Znanie, 47 p. (in Russian).
3. Petrov, A.N. and Nevrova, E.L., 2004. Comparative Analysis of Taxocene Structures of Benthic Diatoms (Bacillariophyta) in Regions with Different Level of Technogenic Pollution (the Black Sea, Crimea). *Morskoy Ehkologicheskij Zhurnal = Marine Ekological Journal*, 3(2), pp. 72–83 (in Russian).
4. Pankeeva, T.V. and Mironova, N.V., 2019. Spatiotemporal Changes in the Macrophytobenthos of Laspi Bay (Crimea, Black Sea). *Oceanology*, 59(1), pp. 86–98. doi:10.1134/S0001437019010168
5. Litvinyuk, D.A., 2016. Portion of Viable Mesozooplankton of the Shelf Area of Crimea (Crustacea: Copepoda) in Winter 2016. In: I. S. Turbanov, Ya. S. Klimova and S. Yu. Sinelnikov, eds., 2016. [*Proceedings of the All-Russia Youth Hydrobiological Conference "Prospects and Problems of Modern Hydrobiology"*, village of Borok, Yaroslavl Region, 10–13 November 2016]. Yaroslavl: Filigran, pp. 48–50 (in Russian).

6. Burdiyan, N.V., 2004. Anaerobic Microflora in Sevastopol Bays Bottom Sediments (the Black Sea). *Ekologiya Morya*, iss. 66, pp. 22–24 (in Russian).
7. Katunina, E.V., 2015. [Motional Indicators of Seawater Quality in Evaluation of the Ecological State of the Laspi Bay Water Area]. In: [*Proceeding of the Scientific Conference with International Participation “Modern Problems of Hydrochemistry and Quality Monitoring of Surface Waters”*]. Part 2. Rostov-on-Don, 8–10 September 2015]. Rostov-on-Don, pp. 21–24 (in Russian).
8. Kuftarkova, E.A., Kovrigina, N.P. and Bobko, N.I., 1990. Estimation of Hydrochemical Conditions of the Laspi Bay, the Region of Mussel Cultivation. *Ekologiya Morya = Ecology of the Sea*, iss. 36, pp. 1–7 (in Russian).
9. Budnikov, A.A., Ivanova, I.N., Malakhova, T.V. and Kirillov, E.V., 2019. Measurement Hydrological Parameters of Water over Methane SIP in Laspi Bay during Continuous in situ Experiments. *Memoirs of the Faculty of Physics, Lomonosov Moscow State University*, (3), 1930902 (in Russian).
10. Mironov, O.G. and Mironov, O.A., 2018. Biological Protection of Marine Environment from Oil Pollution. *Environmental Protection in Oil and gas Complex*, (4), pp. 5–9. doi:10.30713/2411-7013-2018-4-5-9 (in Russian).
11. Soloveva, O.V., Tikhonova, E.A. and Mironov, O.A., 2019. Crimean Coastal Waters of the Black Sea and the Sea of Azov: Pollution by Oil Hydrocarbons in Winter 2016. *Proceedings of the RAS Ufa Scientific Centre*, (1), pp. 13–18. doi:10.31040/2222-8349-2019-0-1-13-18 (in Russian).
12. Soloveva, O.V., Tikhonova, E.A. and Mironov, O.A., 2017. The Concentrations of Oil Hydrocarbons in Coastal Waters of Crimea. *Scientific Notes of V.I. Vernadsky Crimean Federal University. Biology. Chemistry*, 3(3), pp. 147–155 (in Russian).
13. Soloveva, O.V., 2018. Monitoring of Oil Hydrocarbons Concentrations in the Coastal Waters of the Crimea. *Water: Chemistry and Ecology*, (4–6), pp. 19–24 (in Russian).
14. Mironov, O.G., Milovidova, N.Yu. and Kiryukhina, L.N., 1986. [On Treshold Limit Values of Oil Product Concentrations in Bottom Sediments of the Black Sea Coastal Area]. *Gidrobiologicheskiy Zhurnal [Hydrobiological Journal]*, 22(6), pp. 76–78 (in Russian).
15. Mironov, O.G., Kiryukhina, L.N. and Divavin, I.A., 1992. [*Sanitary-Biological Investigations in the Black Sea*]. Saint-Petersburg: Gidrometeoizdat, 115 p. (in Russian).
16. Mironov, O.G., ed., 2009. *Sanitary-Biological Investigations in Coastal Area of Sevastopol Region*. Sevastopol: ECOSI-Gidrofizika, 192 p. (in Russian).
17. Burdiyan, N.V. and Doroshenko, Yu.V., 2018. [Microbiological Characteristics of the Crimean Coast Water Area of the Black Sea and Sea of Azov (Based on the Results of the 90th Cruise of R/V “Professor Vodyanitsky”). In: [*Proceedings of the 20th Anniversary International Scientific Conference “Biological Diversity of Caucasus and South of Russia, Makhachkala, 6–8 November 2018”*], Makhachkala: IPE RD, pp. 561–563 (in Russian).
18. Idrisova, D.T., Zhumadilova, Z.S. and Shorabayev, E.Z., 2015. Microbiological Studying of Coastal Sea Waters, Ground Deposits of the Zone of Northeast Prikaspiya. *Advances in Current Natural Sciences*, (9-1), pp. 110–112 (in Russian).
19. Sundh, I. and Bell, R.T., 1992. Extracellular Organic Carbon Released from Phytoplankton as a Source of Carbon for Heterotrophic Bacteria in Lakes of Different Humic Content. *Hydrobiologia*, 229, pp. 93–106. <https://doi.org/10.1007/BF00006993>

20. Cole, J., Findlay, S. and Pace, M.L., 1988. Bacterial Production in Fresh and Saltwater Ecosystems: a Cross-System Overview. *Marine Ecology – Progress Series*, 43, pp. 1–10. URL: <https://www.int-res.com/articles/meps/43/m043p001.pdf> (date of access: 20.08.2020).
21. Bird, D.F. and Kalff, J., 1984. Empirical Relationships between Bacterial Abundance and Chlorophyll Concentration in Fresh and Marine Waters. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 41, pp. 1015–1023. <https://doi.org/10.1139/f84-118>
22. Wondimu, L., Sreenivasa, V., Prabhadevi, L., Natarajan, P. and Khillare, Y., 2015. Heterotrophic Bacterial Population in Water, Sediment and Fish Tissues Collected from Koka Reservoir and Awash River, Ethiopia. *International Journal of Aquaculture*, 5(11), pp. 1–5. doi:10.5376/ija.2015.05.0011

*About the authors:*

**Elena A. Tikhonova**, Senior 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: 0000-0002-9137-087X**, **Scopus Author ID: 57208495804**, **ResearcherID: X-8524-2019**, [tihonova@mail.ru](mailto:tihonova@mail.ru)

**Olga V. Soloveva**, Senior 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: 0000-0002-1283-4593**, **Scopus Author ID: 57208499211**, **ResearcherID: X-4793-2019**, [kozl\\_ya\\_oly@mail.ru](mailto:kozl_ya_oly@mail.ru)

**Oleg A. Mironov**, Senior Research Associate, A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS (2 Nakhimov Av., Sevastopol, 299011, Russian Federation), Ph.D. (Biol.), **Scopus Author ID: 56227568700**, [mironov87@gmail.com](mailto:mironov87@gmail.com)

**Nataliya V. Burdiyan**, Senior 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**, **Scopus Author ID: 862968**, [burdiyan@mail.ru](mailto:burdiyan@mail.ru)

*Contribution of the authors:*

**Elena A. Tikhonova** – determination of physical and chemical characteristics of sea bottom sediments, manuscript editing

**Olga V. Soloveva** – setting of the comprehensive research purpose and tasks, manuscript editing

**Oleg A. Mironov** – determination of the total petroleum hydrocarbons in seawater, manuscript editing

**Nataliya V. Burdiyan** – microbiological analyses, manuscript editing

*All the authors have read and approved the final manuscript.*