

ПРОБЛЕМЫ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ
И МОРСКАЯ РАДИОХЕМОЭКОЛОГИЯ

УДК 574.58:579.22

DOI: [10.21072/eco.2026.11.2.07](https://doi.org/10.21072/eco.2026.11.2.07)

МИКРОБИОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА АКВАТОРИИ КЕРЧЕНСКОГО
ПРОЛИВА И ЧЕРНОМОРСКОГО ПРЕДПРОЛИВЬЯ СПУСТЯ ТРИ МЕСЯЦА
ПОСЛЕ АВАРИИ ТАНКЕРОВ В ДЕКАБРЕ 2024 Г. (ПО МАТЕРИАЛАМ
134-ГО РЕЙСА НИС «ПРОФЕССОР ВОДЯНИЦКИЙ»)

Бурдиян Н. В., Дорошенко Ю. В., Зиновьева Е. В.

ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН»,
г. Севастополь, Российская Федерация,
e-mail: burdiyan_nv@ibss-ras.ru

Аннотация: Микробиологические процессы в водных экосистемах играют решающую роль в процессе самоочищения акваторий от нефтяного загрязнения. В ходе 134-го рейса НИС «Профессор Водяницкий» получены количественные характеристики аборигенных гетеротрофных и углеводородокисляющих микроорганизмов в поверхностном слое воды и донных отложениях акватории Керченского пролива и прилегающей черноморской акватории спустя три месяца после аварийного разлива мазута в результате крушения танкеров «Волгонефть» в декабре 2024 г. Показано, что численность гетеротрофных микроорганизмов (ГБ) в поверхностном слое воды колебалась от 10^2 до 10^5 кл./мл, в донных отложениях – от 10^3 до 10^7 кл./г. Численность углеводородокисляющих микроорганизмов (УОБ) в поверхностном слое воды варьировала от 10 до 10^2 кл./мл, в донных отложениях – от $7,5 \times 10$ до $4,5 \times 10^3$ кл./г. Максимальные значения численности УОБ в донных отложениях зафиксированы на двух станциях, расположенных непосредственно в акватории пролива. Полученные результаты по численности УОБ, в подавляющем большинстве, свидетельствуют о низком потенциале бактериального самоочищения компонентов морской среды. Между глубиной места отбора проб и численностью анализируемых бактерий выявлена линейная корреляционная зависимость: положительная для ГБ ($r = 0,66$; $\alpha < 0,05$) и отрицательная для УОБ ($r = -0,27$; $\alpha < 0,05$). Накопительные культуры, выделенные из донных отложений трёх участков исследуемой акватории, показали неоднозначный рост на мазуте, нефти и дизельном топливе. Полученные результаты фоновых исследований в дальнейшем могут быть использованы для сравнительного анализа состояния компонентов водной среды Керченского пролива и прилегающей черноморской акватории при экологическом мониторинге последствий аварийного разлива мазута.

Ключевые слова: Чёрное море, Керченский пролив, углеводородокисляющие бактерии, донные отложения, мазут

Введение

Керченский пролив представляет собой ключевой транспортный маршрут, связывающий порты Азовского моря, а также бассейны рек Дон и Волга с Чёрным и Средиземным морями. Ширина пролива колеблется от 4,5 до 15 км, наибольшая глубина составляет 18 метров. Важные порты пролива — Керченский и Кавказский морские порты, основной грузооборот которых приходится на нефтеналивные грузы, что существенно повышает риски возникновения аварийных ситуаций. Одной из последних аварий в Керченском проливе стал разлив мазута 15 декабря 2024 г. Авария произошла в результате разлома корпусов двух нефтяных танкеров — «Волгонефть-212» и «Волгонефть-239» во время шторма. Окончательный объём аварийной утечки мазута до сих пор не установлен. Однако известно, что показатели разлива нефтепродуктов

в 2024 г. превышают значения аналогичной катастрофы, произошедшей в Керченском проливе в ноябре 2007 г. вследствие крушения танкера «Волгонефть-139», в результате которой в акваторию попало около 1,3 тыс. т мазута [Tikhonova, Soloveva, Burdiyan, 2021].

При ликвидации последствий загрязнения нефтью и нефтепродуктами очистка водных объектов является одной из самых сложных и трудоёмких задач, что обусловлено динамичностью водной среды и сложностью процессов трансформации углеводородов в ней [Сколубович Ю., Сколубович А., Цыба, 2025]. В процессе самоочищения морей от нефтяного загрязнения ведущее положение занимает биологический фактор, решающую роль в котором играют микробиологические процессы [Миронов, 1971]. К примеру, за полтора месяца в лабораторных условиях микробное сообщество в жидкой культуре может разложить до 90 % углеводородов [Cameotra, Singh, 2008]. Углеводородоокисляющие бактерии, основные деструкторы нефти в морской среде, способны усваивать практически весь ряд нефтяных углеводородов, включая самые тяжёлые и токсичные соединения, в то же время скорость деградации и необходимые для этого условия варьируют в большей степени [Dash et al., 2013]. Чаще всего в районах с сильным нефтяным загрязнением выделяют бактерии, принадлежащие к роду *Arthrobacter*, *Brevibacterium*, *Corynebacterium*, *Mycobacterium*, *Pseudomonas*, *Rhodococcus* [Богатыренко и др., 2022].

Целью нашей работы было получить количественные характеристики аборигенной углеводородоокисляющей микрофлоры и гетеротрофной группы бактерий в поверхностном слое воды и донных отложениях акватории Керченского пролива и прилегающей черноморской акватории.

Материалы и методы

Материалом для настоящей работы послужили пробы воды и донных отложений, отобранные в акватории Керченского пролива и черноморского предпроливья в ходе 134-го рейса НИС «Профессор Водяницкий» в марте 2025 г., согласно схеме станций (рис. 1). Для микробиологических работ пробы воды отбирали в стерильные пробирки объёмом 50 см³, донных отложений — в стерильные банки. В пробах определяли численность гетеротрофных (ГБ) и углеводородоокисляющих (УОБ) микроорганизмов. Определение численности бактерий проводили методом предельных десятикратных разведений с использованием жидких элективных сред с учётом солёности воды. Для гетеротрофных бактерий применяли среду с пептоном [Биологические аспекты ... , 1988]. Для углеводородоокисляющих бактерий использовали среду Ворошиловой — Диановой [Ворошилова, Дианова, 1952], в которую в качестве единственного источника углерода и энергии добавляли стерильную нефть (1 % от объёма). Наиболее вероятное число УОБ в донных отложениях в единице объёма рассчитывали по таблице Мак-Креди (в трёх повторностях), основанной на методе вариационной статистики [Практикум по микробиологии, 2005]. Учёт остальных групп бактерий проводили методом предельных разведений [Практикум по микробиологии, 2005]. Инкубацию посевов проводили в судовой лаборатории при температуре 18–20 °С.

Способность и интенсивность роста выделенных бактериальных культур на различных источниках углерода определяли посевом полученных накопительных культур бактерий на среду Ворошиловой — Диановой с последующим добавлением различных стерильных источников углерода, в частности сырой нефти, дизельного топлива и мазута. Накопительные культуры исследуемых групп бактерий из донных отложений были получены однократно, станции отбора проб отличались по удалённости от места аварии: самая дальняя станция в акватории предпроливья (ст. 360), ст. 370 «Т» — в 600 м от места затонувшего танкера (ближе подойти не представлялось возможным по техническим причинам), ст. 362 — непосредственно в акватории Керченского пролива, недалеко от косы Тузла (рис. 1). Рост накопительных культур на указанных источниках оценивали визуально.

В ходе экспедиции для микробиологического анализа было отобрано по 13 проб воды и донных отложений.

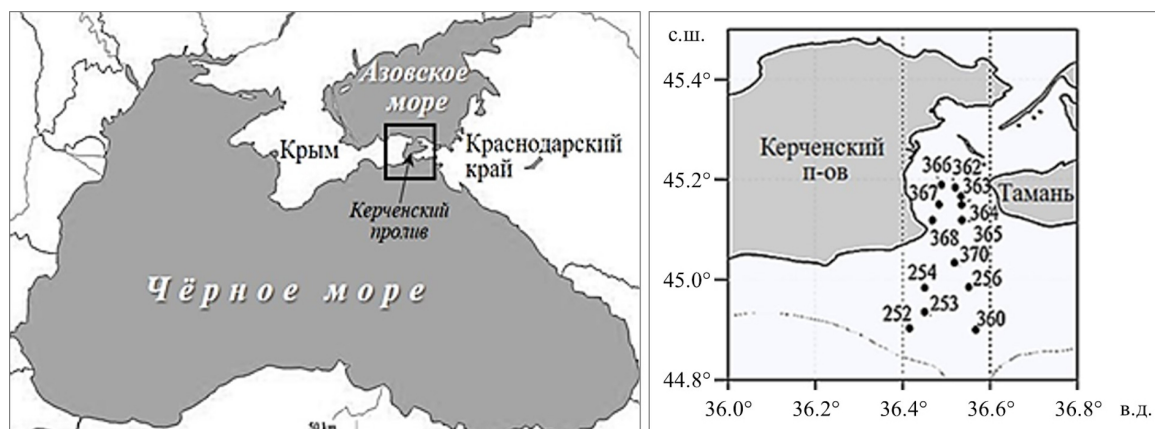


Рис. 1. Расположение станций отбора проб в Керченском проливе и прилегающей черноморской акватории (134-й рейс НИС «Профессор Водяницкий», март 2025 г.)

Результаты

Гетеротрофная микробиота — важный компонент биоценозов любых водных экосистем, его основная функция — ассимиляция и трансформация органических соединений, в том числе загрязняющих веществ антропогенного происхождения. Численность ГБ в поверхностном слое воды Керченского пролива варьировала от 10^2 до 10^5 кл./мл (рис. 2). Максимум выделен на ст. 368, на порядок меньшее число ГБ было зафиксировано на ст. 366. В остальных пробах численность ГБ составляла 10^3 кл./мл. В поверхностных водах прилегающей акватории численность ГБ колебалась в пределах 10^2 – 10^4 кл./мл (рис. 2). Максимальный показатель численности ГБ определён на ст. 254. Минимум ГБ выявлен на ст. 370 «Т», ближайшей к затонувшим танкерам.

Углеродоокисляющие микроорганизмы в поверхностном слое воды Керченского пролива и прилегающей акватории были выявлены повсеместно, численность УОБ колебалась в диапазоне от 10 до 10^2 кл./мл (рис. 2). Непосредственно в акватории пролива минимум численности УОБ выявлен на ст. 362 и 365. В остальных пробах число УОБ составляло 100 кл./мл. Наибольшие количественные показатели для УОБ в прилегающей к проливу акватории получены на станции (370 «Т»), ближайшей к месту аварии, и на ст. 254, в остальных пробах численность УОБ не превышала 10 кл./мл. В целом в исследуемой акватории в 54 % проб численность УОБ была в пределах второго порядка.

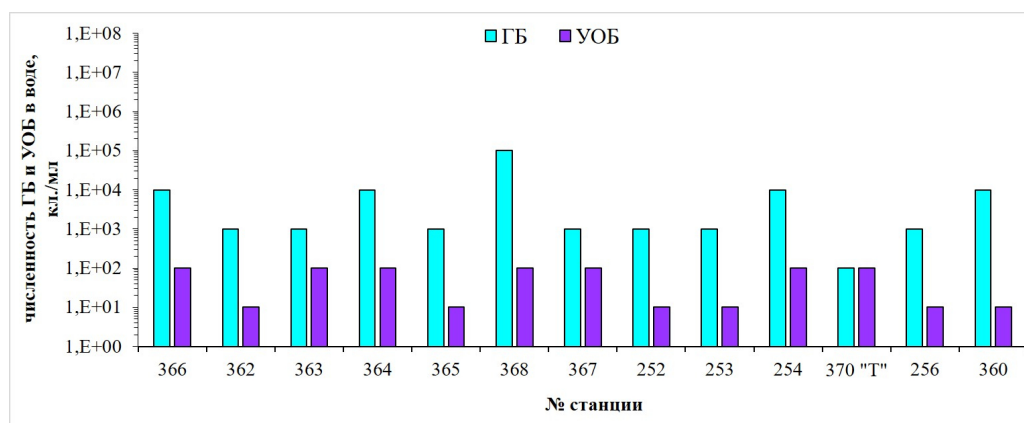


Рис. 2. Численность исследуемых групп бактерий в поверхностном слое воды Керченского пролива (134-й рейс НИС «Профессор Водяницкий»)

Глубина на станциях отбора донных отложений колебалась от 13 до 45 м. Донные отложения в основном были представлены серыми илами, также наблюдались пески и ракушечники. Численность ГБ в донных отложениях Керченского пролива варьировала от 10^3 до 10^7 кл./г (рис. 3). Максимум выделен на ст. 366, на порядок ниже численность ГБ на ст. 363. Минимум ГБ выявлен на ст. 362. На остальных станциях количественные показатели ГБ варьировали в пределах одного порядка: 10^4 – 10^5 кл./г. В донных отложениях черноморского предпроливья численность ГБ колебалась в пределах 10^4 – 10^5 кл./г. Максимум ГБ зафиксирован на ст. 252. На остальных станциях численность ГБ была в пределах четвертого порядка.

УОБ обнаружены во всех пробах донных отложений. Диапазон численности УОБ в донных отложениях Керченского пролива, отобранных с глубин от 10 до 17 м, колебался от $7,5 \times 10$ до $4,5 \times 10^3$ кл./г (рис. 3). Максимальные показатели ($4,5 \times 10^3$ кл./г) указанной группы бактерий зафиксированы на ст. 365 и 366. Минимум УОБ выделен на ст. 367, на остальных станциях численность УОБ варьировала от $1,5 \times 10^2$ до $9,5 \times 10^2$ кл./г. В донных отложениях, прилегающей к проливу акватории (станции № 252, 253, 254, 256, 360 и 370), на глубинах от 24 до 45 м численность УОБ колебалась от $9,5 \times 10$ до $9,5 \times 10^2$ кл./г. Минимум выделен на ст. 254. На станции (370 «Т»), ближайшей к месту аварии, число УОБ составляло 450 кл./г. На оставшихся станциях численность УОБ была равнозначной: $2,5 \times 10^2$ кл./г. Как отмечено [Мишустина, Щеглова, Мицкевич, 1985], колебания численности УОБ в донных отложениях прибрежных и открытых областей водных экосистем довольно значительно варьируют: от 10 до 10^9 кл./г. Полученные нами результаты по численности ГБ и УОБ схожи с результатами оценки нефтяного загрязнения Керченского пролива после аварии судов 11 ноября 2007 г. [Еремеев и др., 2008].

Между глубиной места отбора проб и численностью анализируемых бактерий выявлена линейная корреляционная зависимость: положительная для ГБ ($r = 0,66$; $\alpha < 0,05$) и отрицательная для УОБ ($r = -0,27$; $\alpha < 0,05$). Показано [Wang et al., 2011], что возрастание численности ГБ с глубиной может быть связано с множеством факторов, в том числе и с увеличением поступления углерода.

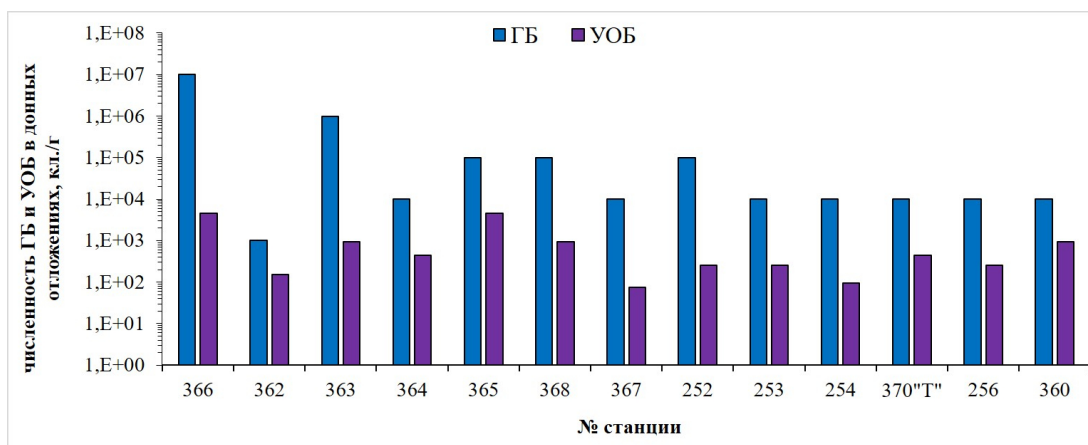


Рис. 3. Численность исследуемых групп бактерий в донных отложениях Керченского пролива (134-й рейс НИС «Профессор Водяницкий»)

В поверхностном слое воды процентная доля УОБ от количества ГБ варьировала от 0,1 до 10 %, за исключением ст. 370 «Т», ближайшей к месту аварии, где способность к деградации нефтяных углеводородов показало всё сообщество выселяемых ГБ, что может свидетельствовать об адаптации гетеротрофного сообщества микроорганизмов в районе ст. 370 «Т» к нефтепродуктам и протекающим процессам самоочищения в поверхностном слое воды, в то же время следует отметить низкую численность ГБ в указанном районе. Исследовано [Еремеев и др., 2008;

Мишустина, Щеглова, Мицкевич, 1985], что в районах с хроническим нефтяным загрязнением численность УОБ в воде колеблется в пределах 10^3 – 10^5 кл./мл и составляет от 35 до 80 % от количества ГБ. В незагрязнённых акваториях доля УОБ составляет до 7 % от общего количества ГБ [Студеникина, Толоконникова, Воловик, 2002]. В донных отложениях доля УОБ от общей численности ГБ варьировала, как в чистых акваториях: от 0,1 до 10 %, что может быть связано с зональным распределением мазута на дне.

В период отбора проб температура воды в поверхностном горизонте колебалась от 8,52 до 10,0 °С, а в придонном — от 8,3 до 9,7 °С. Не выявлена зависимость между температурой воды и численностью бактерий в поверхностном слое исследуемой нами акватории. По всей видимости, зафиксированные значения температуры воды несколько ниже оптимальных для активного развития большинства УОБ. В частности, для развития УОБ и интенсификации очищения воды от нефти оптимальными являются мезофильные условия (диапазон от +20 до +28 °С). При температуре от +6 до +15 °С интенсивность окисления нефти снижается в 2,5–4,0 раза по сравнению с оптимальной температурой. При +37 °С рост бактерий ограничивается, а разложение нефти замедляется [Квасников, Ключникова, 1981]. В то же время показано [Копытов, 1983], что действие температуры наиболее существенно проявляется в первые часы и сутки после внесения нефти в воду, далее наблюдается прогрессирующее снижение как скорости процесса биodeградации нефти, так и степени влияния на него повышенных температур.

В связи с тем, что донные отложения являются более консервативной средой, чем подвижные слои воды, был проанализирован рост микроорганизмов на накопительных культурах из проб грунта на различных станциях. Оказалось, что обильный рост, указывающий на адаптацию микробиоты к нефти и нефтепродуктам, отмечен только у культур из пробы ст. 362, расположенной в акватории Керченского пролива. Следует отметить, что донные отложения на этой станции были отобраны с наименьшей глубины (11 м), по сравнению с глубиной на ст. 360 и 370 «Т» (45 и 24 м соответственно). Микробиота, изолированная из донных отложений на станции, максимально приближенной к месту аварии (ст. 370 «Т»), показала скудный рост на всех источниках углерода, что свидетельствует о слабом углеводородокисляющем потенциале микрофлоры (табл. 1), что можно объяснить очаговым распределением мазута на дне акватории. По всей видимости, отбор данной пробы донных отложений был произведён на незагрязнённом участке дна.

Таблица 1

Рост накопительных культур бактерий с добавлением различных источников углерода

Накопительные культуры бактерий из станций (№)	Источник углерода		
	Мазут	Дизельное топливо	Нефть
360	++	++	++
362	+++	+++	+++
370 «Т»	+	+	+

Примечание: «+++» — обильный рост; «++» — умеренный рост; «+» — скудный рост.

Выводы

Получены количественные характеристики аборигенных гетеротрофных и углеводородокисляющих микроорганизмов в поверхностном слое воды и донных отложений акватории Керченского пролива и прилегающей черноморской акватории в марте 2025 г., спустя три месяца после аварийного разлива мазута. Численность ГБ в поверхностном слое воды колебалась

от 10^2 до 10^5 кл./мл, в донных отложениях — от 10^3 до 10^7 кл./г. Численность УОБ в поверхностном слое воды варьировала от 10 до 10^2 кл./мл, в донных отложениях — $7,5 \times 10$ до $4,5 \times 10^3$ кл./г. Максимальные значения ($4,5 \times 10^3$ кл./г) численности УОБ в донных отложениях зафиксированы на ст. 365 и 366, расположенных непосредственно в акватории пролива. Полученные результаты по численности УОБ в подавляющем большинстве свидетельствуют о низком потенциале бактериального самоочищения компонентов морской среды. Выявлена линейная корреляционная зависимость между численностью ГБ и глубиной на станциях отбора проб ($r = 0,66$; $\alpha < 0,05$), в то же время корреляционный анализ показал слабую отрицательную взаимосвязь между глубиной на станциях отбора проб и численностью УОБ ($r = -0,27$; $\alpha < 0,05$). Накопительные культуры, выделенные из донных отложений трёх участков исследуемой акватории, показали неоднозначный рост на мазуте, нефти и дизельном топливе. Микробиота, изолированная из донных отложений ближайшей к месту аварии ст. 370 «Т», не обладала выраженным углеводородокисляющим потенциалом. Полученные результаты фоновых исследований в дальнейшем могут быть использованы для сравнительного анализа состояния компонентов водной среды Керченского пролива и прилегающей черноморской акватории при экологическом мониторинге последствий аварийного разлива мазута.

Благодарности. Авторы благодарят сотрудника лаборатории хемозологии отдела радиационной и химической биологии младшего научного сотрудника Зарипову К. М. за помощь в отборе проб. Работы проводились в ЦПК НИС «Профессор Водяницкий» в рамках направления Государственного задания ФГБУН ФИЦ ИнБЮМ: «Комплексный мониторинг состояния морской среды и её способности к самоочищению в прибрежных районах Республики Крым и Краснодарского края после разлива нефтепродуктов в декабре 2024 г.» (FNNZ-2026-0016).

Список литературы

1. Биологические аспекты нефтяного загрязнения морской среды / АН УССР, Ин-т биологии юж. морей им. А. О. Ковалевского ; под общ. ред. О. Г. Миронова. — Киев : Наук. думка, 1988. — 247 с.
2. Богатыренко Е. А., Ким А. В., Полоник Н. С., Дункай Т. И., Пономарева А. Л., Дашков Д. В. Психротрофные углеводородокисляющие бактерии, выделенные из донных осадков залива Петра Великого Японского моря // Океанология. — 2022. — Т. 62, № 3. — С. 439–450. — <https://doi.org/10.31857/S0030157422030029>
3. Ворошилова А. А., Дианова Е. В. Окисляющие нефть бактерии — показатели интенсивности биологического окисления нефти в природных условиях // Микробиология. — 1952. — Т. 21, № 4. — С. 408–412.
4. Еремеев В. Н., Миронов О. Г., Алёмов С. В., Бурдиян Н. В., Шадрин Т. В., Тихонова Е. А., Волков Н. Г., Истомина М. И. Предварительные результаты оценки нефтяного загрязнения Керченского пролива после аварии судов 11 ноября 2007 г. // Морской биологический журнал. — 2008. — Т. 7, № 3. — С. 15–24. — <https://elibrary.ru/tynttp>
5. Квасников Е. И., Ключникова Т. М. Микроорганизмы — деструкторы нефти в водных бассейнах. — Киев : Наук. думка, 1981. — 131 с.
6. Копытов Ю. П. Влияние температуры на скорость биodeградации нефти в морской воде // Экология моря / АН УССР, Ин-т биологии юж. морей им. А. О. Ковалевского. — Киев : Наук. думка, 1983. — Вып. 14. — С. 75–80. — <https://elibrary.ru/yurckl>
7. Миронов О. Г. Нефтеокисляющие микроорганизмы в море. — Киев : Наук. думка, 1971. — 335 с.
8. Мишустина И. Е., Щеглова И. К., Мицкевич И. Н. Морская микробиология : учеб. пособие. — Владивосток : Изд-во Дальневост. ун-та, 1985. — 184 с.

9. Практикум по микробиологии : учеб. пособие / под ред. А. И. Нетрусова. – Москва : Академия, 2005. – 608 с.
10. Сколубович Ю. Л., Сколубович А. Ю., Цыба А. А. Последствия техногенных катастроф и их ликвидации // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. – 2025. – № 2. – С. 81–90. – <https://doi.org/10.22227/2311-1518.2025.2.81-90>
11. Студеникина Е. И., Толоконникова Л. И., Воловик С. П. Микробиологические процессы в Азовском море в условиях антропогенного воздействия. – Москва : Нац. рыб. ресурсы, 2002. – 168 с.
12. Cameotra S. S., Singh P. Bioremediation of oil sludge using crude biosurfactants // International Biodeterioration & Biodegradation. – 2008. – Vol. 62, iss. 3. – P. 274–280. – <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2007.11.009>
13. Dash H. R., Mangwani N., Chakraborty J., Kumari S., Das S. Marine bacteria: potential candidates for enhanced bioremediation // Applied Microbiology and Biotechnology. – 2013. – Vol. 97, iss. 2. – P. 561–571. – <https://doi.org/10.1007/s00253-012-4584-0>
14. Tikhonova E. A., Soloveva O. V., Burdiyan N. V. Assessment of the pollution by organic substances of water and sea bottom sediments of the Kerch Strait and the adjacent Azov–Black Sea water area // Processes in GeoMedia / ed. T. Chaplina. – Cham, Switzerland : Springer Nature, 2021. – Vol. 3. – P. 285–293. – https://doi.org/10.1007/978-3-030-69040-3_27
15. Wang J., Soininen J., Zhang Y., Wang B., Yang X., Shen J. Wang J. Contrasting patterns in elevational diversity between microorganisms and macroorganisms // Journal of Biogeography. – 2011. – Vol. 38, iss. 3. – P. 595–603. – <https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2010.02423.x>

MICROBIOLOGICAL CHARACTERISTICS OF THE WATER AREA OF THE KERCH STRAIT AND THE BLACK SEA PRE-STRAIT THREE MONTHS AFTER THE TANKER ACCIDENT IN DECEMBER 2024 (BASED ON THE MATERIALS OF THE 134TH VOICE OF THE R/V «PROFESSOR VODYANITSKY»)

Burdiyan N. V., Doroshenko Yu. V., Zinovieva E. V.

*A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol, Russian Federation,
e-mail: burdiyan_nv@ibss-ras.ru*

Abstract: During the 134th cruise of the research vessel «Professor Vodyanitsky», quantitative characteristics of the indigenous heterotrophic and hydrocarbon-oxidizing groups of bacteria were obtained in the surface water layer and bottom sediments of the Kerch Strait and adjacent Black Sea waters, three months after the emergency oil spill caused by the «Vologoneft» tankers in December 2024. The number of heterotrophic bacteria (HB) in the surface water layer ranged from 10^2 to 10^5 cells/ml, and in the bottom sediments from 10^3 to 10^7 cells/g. The number of hydrocarbon-oxidizing bacteria (HOB) in the surface water layer varied from 10 to 10^2 cells/ml, and in the bottom sediments from $7,5 \times 10$ to $4,5 \times 10^3$ cells/g. The maximum values of the HOB abundance in bottom sediments were recorded at two stations located directly in the strait. The results obtained on the number of HOBs overwhelmingly indicate a low potential for bacterial self-purification of marine environment components. A correlation was found between the number of GB and the depth at the sampling stations ($r = 0,66$; $\alpha < 0,05$), while the correlation analysis showed a weak relationship between the initial parameter and the number of HOB ($r = -0,27$; $\alpha < 0,05$). Accumulative cultures isolated from the bottom sediments of three areas of the studied water area showed ambiguous growth on fuel oil, petroleum, and diesel fuel. The results of the background studies can be used in the future for a comparative analysis of the state of the water environment components in the Kerch Strait and the adjacent Black Sea water area during ecological monitoring of the consequences of an emergency fuel oil spill.

Keywords: Black Sea, Kerch Strait, heterotrophic bacteria, hydrocarbon-oxidizing bacteria, bottom sediments, fuel oil

Сведения об авторах

Бурдиян Наталия Витальевна	кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории хемозологии ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского РАН», просп. Нахимова, 2, г. Севастополь, 299011, Российская Федерация, e-mail: burdiyan_nv@ibss-ras.ru
Дорошенко Юлия Валерьевна	кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории хемозологии ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского РАН», просп. Нахимова, 2, г. Севастополь, 299011, Российская Федерация, e-mail: doroshenko_yuv@ibss-ras.ru
Зиновьева Екатерина Вячеславовна	ведущий инженер НО ЦКП «Спектрометрия и хроматография», ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского РАН», просп. Нахимова, 2, г. Севастополь, 299011, Российская Федерация

*Поступила в редакцию 05.02.2026
Принята к публикации 08.05.2026*