



УДК 628.193:665.61:551.35(262.5)

## ХИМИКО-МИКРОБИОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ВОД И ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ КЕРЧЕНСКОГО ПРОЛИВА И ПРИЛЕГАЮЩИХ АКВАТОРИЙ

© 2017 г. **Е. А. Тихонова**, канд. биол. наук, с. н. с., **Н. В. Бурдиян**, канд. биол. наук, с. н. с.,  
**О. В. Соловьёва**, канд. биол. наук, с. н. с.

Институт морских биологических исследований им. А. О. Ковалевского РАН, Севастополь, Россия

E-mail: [tihonova@mail.ru](mailto:tihonova@mail.ru)

Поступила в редакцию 22.05.2017 г. Принята к публикации 01.08.2017 г.

Представлены результаты исследований уровня загрязнения нефтяными углеводородами и хлороформ-экстрагируемыми веществами донных отложений и морской воды районов черноморского предпроливья и Азовского моря (весна, осень 2016 г.). Выполнено сравнение уровней загрязнения морской среды с результатами предыдущих исследований (2007–2010 гг.). Приведены количественные характеристики гетеротрофной и нефтеокисляющей микробиоты в обозначенных районах. Установлено, что концентрация нефтяных углеводородов в поверхностном слое воды района азовского предпроливья в целом не превышала значения ПДК ( $0,05 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$ ). Исключение составили результаты, полученные осенью 2016 г. Численность гетеротрофных бактерий изменялась в поверхностном слое воды Азовского моря в пределах  $10^4$ – $10^5$  кл.·мл<sup>-1</sup>, нефтеокисляющие бактерии были выделены в единичных количествах. В акватории причерноморского района пролива число гетеротрофных бактерий составило  $10^6$ , численность нефтеокисляющих бактерий не превысила  $10$  кл.·мл<sup>-1</sup>. При сравнении с данными прошлых лет отмечено увеличение содержания хлороформ-экстрагируемых веществ и нефтяных углеводородов в донных отложениях. Общий уровень загрязнения при этом не превышал средних величин, определённых для данного региона. Численность гетеротрофных бактерий в донных отложениях в приазовской акватории варьировала от  $2,5 \cdot 10^4$  до  $4,5 \cdot 10^4$  кл.·г<sup>-1</sup>, а нефтеокисляющих бактерий — от  $2,5 \cdot 10$  до  $4,5 \cdot 10^2$  кл.·г<sup>-1</sup>. В донных отложениях черноморского предпроливья число гетеротрофов составляло  $4,5 \cdot 10^3$  кл.·г<sup>-1</sup>, нефтеокисляющих бактерий —  $10$  кл.·г<sup>-1</sup>.

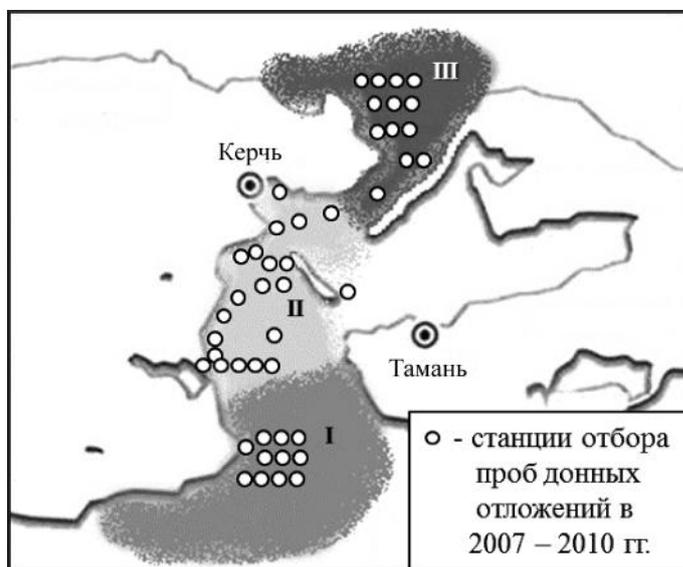
**Ключевые слова:** хлороформ-экстрагируемые вещества, нефтяные углеводороды, гетеротрофные и нефтеокисляющие бактерии, донные отложения, морская вода, Керченский пролив, Чёрное море, Азовское море

Проблема нефтяного загрязнения остаётся актуальной как для Азово-Черноморского региона в целом, так и для Крымского побережья в частности. Как известно, наибольшие объёмы нефти и её производных попадают в море во время транспортировки и перевалки, а также при аварийных разливах. Керченский пролив является акваторией с активным судоходством, сопряжённым с транспортом нефти, и здесь периодически случаются аварии. Так, в результате шторма в Керченском проливе в ноябре 2007 г. произошло крушение судна «Волгонепфть-139», а в апреле 2017 г. затонул сухогруз «Герои Арсенала». По предварительной информации [27], сухогруз был заправлен 19 т дизельного топлива, а на борту находилось более 1,5 т моторного масла. Благодаря развитости системы течений со стороны как Азовского, так и Чёрного моря попавшие в воду поллютанты выносятся за пределы акватории пролива. Многолетние наблюдения [?] показали, что течения со стороны Азовского моря преобладают

над черноморским потоком. Существенной составляющей формирования нагонно-стгонных явлений и важным фактором перепада уровня воды на концах пролива является также речной сток, влияющий на водный баланс Азовского и Чёрного морей [4]. Проведённые исследования [7, 13] показали, что наибольшему антропогенному загрязнению подвергается черноморское предпроливье, а течения со стороны Азовского моря в основном переносят органические вещества аллохтонного и автохтонного происхождения. В настоящее время одним из видов антропогенного воздействия, оказывающим влияние на экосистему пролива, является широкомасштабное строительство моста. Таким образом, на фоне интенсивной техногенной нагрузки в Керченском проливе актуальным остаётся вопрос оценки состояния его экосистемы и прилегающей к нему акватории Чёрного и Азовского морей.

Донные отложения, аккумулируя различные виды загрязнений, включая нефть и нефтепродукты, являются более достоверной индикаторной средой, чем подвижные слои воды. В свою очередь, гетеротрофные бактерии — основные деструкторы органического вещества аллохтонного и автохтонного происхождения — играют важную роль в процессах самоочищения морской среды, а их количественные характеристики позволяют оценивать уровень трофности водоёма [3]. По численности нефтеокисляющих бактерий в известной степени можно судить о степени загрязнения акватории нефтяными углеводородами. Микробная индикация довольно широко используется для оценки экологического состояния водной среды.

Ранее для качественной оценки экологического состояния донных отложений Керченского пролива [20] его акватория была условно поделена на три района: причерноморский (I), собственно пролив (II) и приазовский (III) (рис. 1). В связи с проведением масштабных строительных работ на данный момент акватория пролива закрыта, и наши исследования охватывают только два района: причерноморское и приазовское предпроливье. В работе будут задействованы также полученные нами ранее (2007–2010 гг.) результаты наблюдений.



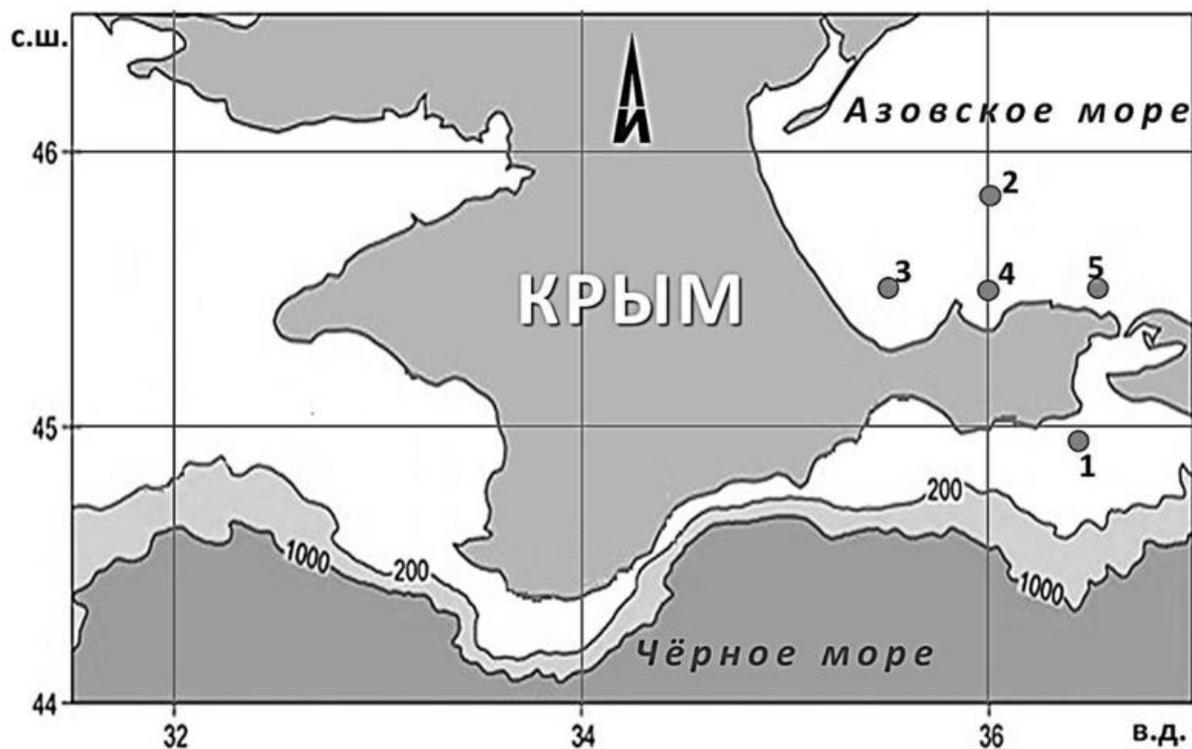
**Рис. 1.** Схема отбора проб донных отложений и районирование исследуемой акватории в 2007–2010 гг. Обозначения: I — причерноморский район, II — собственно Керченский пролив, III — приазовский район

**Fig. 1.** The scheme of sampling of the sea bottom sediments and zoning of the study area in 2007–2010. Key: I – the Black Sea part of the Kerch Strait, II – the Kerch Strait itself, III – the Azov Sea part of the Kerch Strait

Цель работы — оценить в акватории обозначенных районов уровень загрязнения воды нефтяными углеводородами, а донных отложений — нефтяными углеводородами и хлороформ-экстрагируемыми веществами, а также выполнить количественный учёт индикаторных групп бактерий в исследуемых средах.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Пробы донных отложений для физико-химического и микробиологического анализов были отобраны в 84-м рейсе (апрель 2016 г.) НИС «Профессор Водяницкий». В 90-м рейсе НИС «Профессор Водяницкий» (сентябрь — октябрь 2016 г.) отбирали морскую воду с поверхностного горизонта для микробиологических исследований (рис. 2). Диапазон глубин на станциях, расположенных в акватории Азовского моря, составлял от 9 до 18 м соответственно, глубина на станции в Чёрном море (ст. 1) — 28 м. Всего для химического и микробиологического анализов отобрано 10 проб воды и 5 проб донных отложений.



**Рис. 2.** Схема расположения станций отбора проб в 84-м и 90-м рейсах НИС «Профессор Водяницкий»

**Fig. 2.** The scheme of sampling stations location in the 84<sup>th</sup> and 90<sup>th</sup> cruises of RV “Professor Vodyanitsky”

Донные отложения отбирали с помощью автоматического коробчатого дночерпателя Vox corer и дночерпателя «Океан-50». Для анализа использовали верхний 5-сантиметровый слой. Все пробы маркировали и паковали в специальные контейнеры.

На борту судна в свежееотобранных пробах донных отложений при помощи рН-метра-термометра «Нейтрон-рН» проводили измерение величин рН и Eh. В лабораторных условиях осадки высушивали до воздушно-сухого состояния, растирали в ступе и просеивали через сита с диаметром ячеек 0,25 мм для определения концентраций нефтяных углеводородов (НУ) и хлороформ-экстрагируемых веществ (ХЭВ). Общее количество ХЭВ определяли весовым методом, НУ — методом инфракрасной спектроскопии на спектрофотометре ФСМ-1201 [16]. Ошибка метода определения ХЭВ и НУ не превышала 25 %.

Морскую воду для определения нефтяных углеводородов отбирали батометром. Первичную обработку собранного материала проводили непосредственно на судне. Для этого пробы морской воды объёмом 2 л, отобраные с поверхностного и придонного горизонта глубин, заливали четырёххлористым углеродом (CCl<sub>4</sub>) из расчёта 20 мл на 2 л для последующей экстракции. Дальнейшую обработку проводили на берегу в лабораторных условиях с использованием общепринятой методики, разработанной в

ГОИН [16].

Для микробиологических анализов стерильно отбирали верхний (0–3 см) слой донных отложений и поверхностный слой морской воды, где определяли численность гетеротрофных и нефтеокисляющих бактерий. Последующая обработка материала велась по ранее описанным методикам [15].

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Для вод акватории Азовского моря в 2016 г. характерны уровни НУ, не превышающие ПДК (средняя концентрация —  $0,036 \text{ мг}\cdot\text{л}^{-1}$ ). Данный показатель на исследованном участке изменялся в пределах  $0,004\text{--}0,044 \text{ мг}\cdot\text{л}^{-1}$ . По данным [5], в период с 2004 по 2008 г. средняя концентрация углеводородов в Азовском море составляла  $0,040\text{--}0,070 \text{ мг}\cdot\text{л}^{-1}$  при максимальном значении в весенний период  $0,090 \text{ мг}\cdot\text{л}^{-1}$ . Данное повышение уровней авторы связывают со смывом тальми водами накопившихся за зиму нефтяных углеводородов.

В поверхностном слое воды в причерноморской акватории количество НУ составило  $0,063 \text{ мг}\cdot\text{л}^{-1}$ , что превышает ПДК в 1,3 раза (ПДК  $0,05 \text{ мг}\cdot\text{л}^{-1}$ ), тогда как ранее нами в данном районе нефтяное загрязнение выявлено не было [18, 22]. Отмеченные уровни НУ могут быть связаны с подвижностью водных слоёв. В целом в отношении нефтяного загрязнения вод Керченского пролива в опубликованных источниках содержатся различные данные (есть показатели, как существенно превышающие ПДК [9, 10], так и не достигающие таковых [13]). Результаты проведённых эколого-токсикологических исследований Керченского пролива вдоль трассы строительства моста показывают, что концентрации нефтепродуктов в данной акватории не превышают предельно допустимых. Отмечено лишь некоторое увеличение взвешенных веществ в воде, что связывают с работами подготовительного периода в береговой зоне. Следует отметить, что воды всей исследованной акватории по гидрохимическому индексу загрязнения [28] отнесены ко II классу качества — к «чистым». Такие противоречивые результаты показывают, что поверхностные воды в силу своей подвижности не могут служить надёжным индикатором хронического нефтяного загрязнения, в отличие от донных отложений, которые являются более стабильным субстратом (накопление загрязняющих веществ в них происходит постоянно).

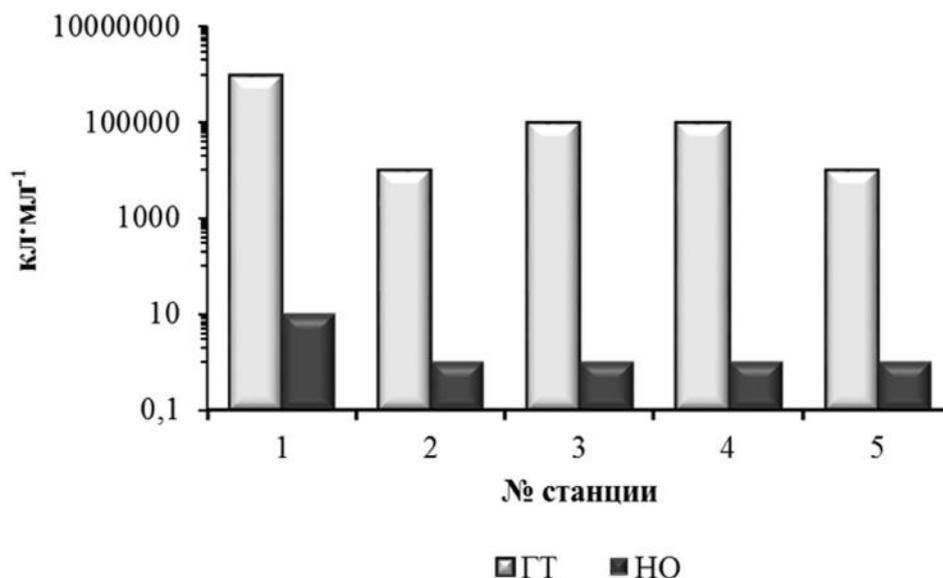
В исследуемом районе изучение нефтеокисляющей микробиоты и наблюдение за 1969 г., продолжено в 1971 г. и в период 2007–2010 гг., после аварии танкера «Волгонефть-139» [1, 17]. Проведённые нами бактериологические исследования морской воды показали, что численность гетеротрофных бактерий в акватории Азовского моря варьировала в пределах  $10^4\text{--}10^5$  (рис. 3). Высокая численность гетеротрофов в азовской воде, богатой органическими веществами, отмечалась и ранее [17]. В причерноморской акватории Керченского пролива (ст. 1) число гетеротрофов составило  $106 \text{ кл}\cdot\text{мл}^{-1}$ , и это количество превышает показатели, полученные в прошлом столетии [17]. Высокая численность гетеротрофных бактерий на ст. 1 может свидетельствовать о прогрессирующем эвтрофировании данного района.

Нефтеокисляющие бактерии в морской воде на станциях, расположенных в Азовском море, высеяны в единичных количествах. В причерноморской акватории Керченского пролива (ст. 1) число бактерий, осуществляющих деструкцию нефтяных углеводородов в ней, составило  $10 \text{ кл}\cdot\text{мл}^{-1}$ .

По опубликованным данным, донные отложения Керченского пролива по некоторым параметрам имеют следующую характеристику: сероводород не обнаружен, средние значения металлов до и во время строительства моста в среднем находились примерно на одном уровне [6, 7, 21].

Донные отложения в настоящем исследовании были представлены (как и ранее) серыми или тёмно-серыми илами, в большинстве случаев с примесью песка или ракушки, с достаточно чётко выраженным поверхностным окисленным слоем толщиной 3–5 мм. Ил на большинстве станций отбора проб был мелкодисперсным, что, как известно, способствует накоплению органических веществ, в том числе нефтепродуктов.

Важными параметрами, характеризующими качество и сорбционную способность донных отложе-



**Рис. 3.** Численность (клеток·мл<sup>-1</sup>) гетеротрофных (ГТ) и нефтеокисляющих (НО) бактерий в поверхностном слое морской воды на исследуемых станциях

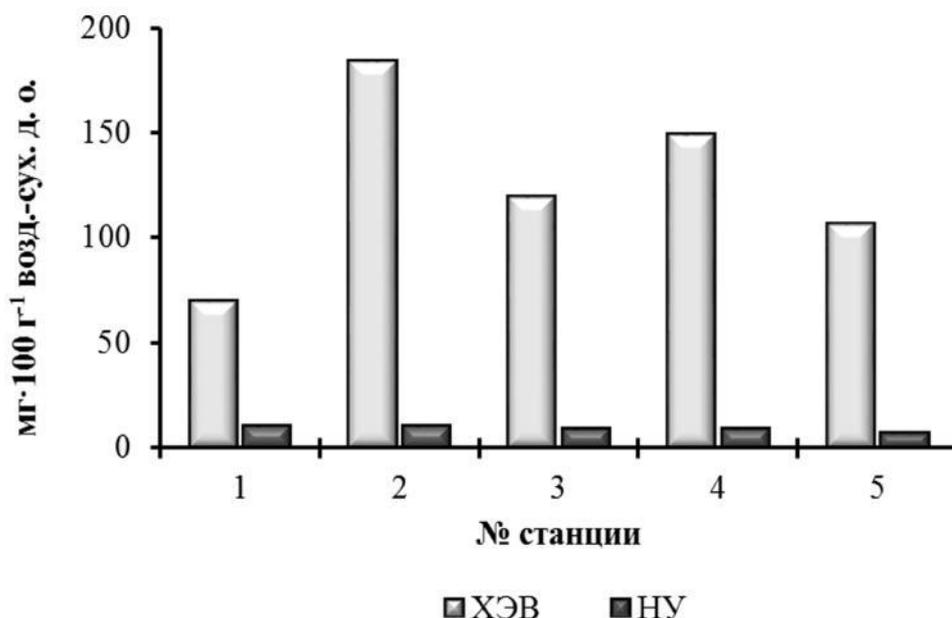
**Fig. 3.** The number (cell·ml<sup>-1</sup>) of heterotrophic (ГТ) and oil-oxidizing (НО) bacteria in the surface layer of the sea water at the investigated stations

ний, являются рН, окислительно-восстановительный потенциал, размеры частиц. По результатам наших исследований [23], в морских грунтах активная реакция среды была слабощелочной (рН 7,54–7,82). Eh донных осадков в причерноморской части акватории Керченского пролива был положительным (+110 мВ), что обеспечило окислительные условия среды. В Азовском же море это были слабовосстановленные (Eh +1...+44 мВ), за исключением мелководной ст. 2 с глубиной 11 м, и восстановительные условия (Eh -165 мВ). Такие условия способствуют накоплению углеводородов в донных отложениях, т. к. при низких значениях окислительно-восстановительного потенциала среды замедляются процессы преобразования битумоида [23].

Полученные ранее результаты показали, что в 2009 г. минимальные значения ХЭВ (26 мг · 100 г<sup>-1</sup> возд.-сух. д. о.) [19] были отмечены на станции, расположенной у входа в пролив со стороны Чёрного моря. Результаты исследований 2016 г. (рис. 4) указывают на уровень, в 2 раза превышающий отмеченные ранее значения.

Максимальные же величины ХЭВ характерны, как и ранее, для Азовской акватории, в частности для станции на выходе из Керченского пролива, где значения в 2010 и 2016 гг. составляли в илах 187 мг · 100 г<sup>-1</sup> [18, 23]. Полученные значения не превышают величин, характерных для данной акватории (для ракушника Азовского моря — 20 мг · 100 г<sup>-1</sup>, для пелитовых илов — 230 мг · 100 г<sup>-1</sup>) [12]. Следует отметить, что единых нормативов для определения уровня загрязнённости углеводородами донных отложений до настоящего времени не существует [11, 24], поэтому обычно проводится сравнительный анализ данных показателей до и после каких-либо разливов, в местах слива загрязняющих веществ с условно чистыми участками акваторий и в сравнении с другими регионами [19, 25, 26]. Результаты наших исследований показывают постепенное ежегодное увеличение концентрации ХЭВ в донных отложениях, при этом максимальная величина остаётся постоянной и не превышает региональных значений. Принимая во внимание разработанные Л. Н. Кирюхиной уровни загрязнения по содержанию ХЭВ в донных осадках, можно сказать, что в черноморской акватории они соответствуют II уровню, а в азовской — III (табл. 1).

В наших исследованиях [19] ранее отмечена тенденция к уменьшению количества НУ в донных отложениях Керченского пролива и предпроливья. В настоящее время зафиксированные concentra-



**Рис. 4.** Концентрации ХЭВ и НУ ( $\text{мг} \cdot 100 \text{ г}^{-1}$  возд.-сух. д. о.) в донных отложениях исследуемой акватории в 2016 г.

**Fig. 4.** The concentrations of chloroform-extractable substances (ХЭВ) and oil hydrocarbons (НУ) ( $\text{mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$  air-dry bottom sediments) in the sea bottom sediments of the investigated water area in 2016

ции больше следовых ( $5 \text{ мг} \cdot 100 \text{ г}^{-1}$ ), что в среднем в 3,0 и 1,6 раза выше отмеченных ранее в I и III районах соответственно (табл. 1). Однако данный уровень нефтяного загрязнения, как и таковой в предыдущих исследованиях, не превышает величин, характерных для чистых и слабозагрязнённых акваторий Чёрного моря.

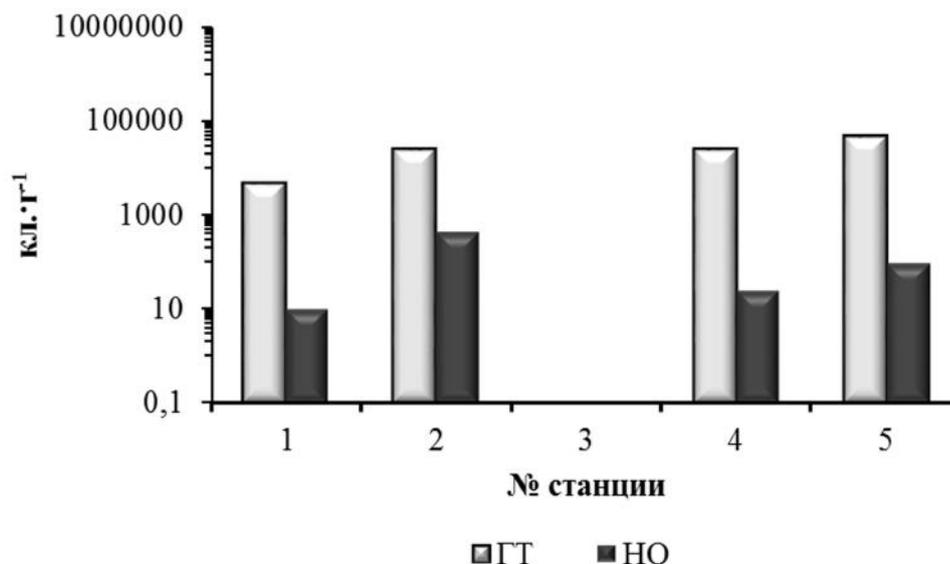
**Таблица 1.** Средние показатели содержания ХЭВ и НУ в донных отложениях Керченского пролива в 2007–2010 гг. и в 2016 г. по исследуемым районам ( $\text{мг} \cdot 100 \text{ г}^{-1}$  возд.-сух. д. о.)

**Table 1.** The average concentration of chloroform-extractable substances and oil hydrocarbons in the sea bottom sediments of the Kerch Strait in 2007–2010 and in 2016 for the investigated areas ( $\text{mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$  air-dry bottom sediments)

Наименование вещества	Концентрация, $\text{мг} \cdot 100 \text{ г}^{-1}$ возд.-сух. д. о.				
	I район (2007–2010 гг.)	II район (2007–2010 гг.)	III район (2007–2010 гг.)	I район (2016 г.)	III район (2016 г.)
ХЭВ	30,2	53,7	74,1	72,0	140,0
НУ	3,4	4,3	5,1	10,3	8,3

Максимальные значения концентрации НУ идентичны в донных отложениях как на ст. 2 в Азовском море, так и в причерноморской части Керченского пролива, но их доля от ХЭВ различна. Так, в азовской акватории она одинакова на всех исследованных станциях и составляет 6 %, тогда как в Чёрном море она в 2,3 раза выше (14 %) [23]. Более высокие показатели содержания ХЭВ и НУ в причерноморской части Керченского пролива могут указывать на современные процессы накопления этих веществ в донных осадках, а более высокое процентное содержание — свидетельствовать об интенсивной антропогенной нагрузке в данной акватории. В пробах донных отложений, отобранных в Азовском море, численность гетеротрофных бактерий (рис. 5) колебалась от  $2,5 \cdot 10^4$  до  $4,5 \cdot 10^4$  бактериальных клеток на один грамм донных отложений ( $\text{кл.} \cdot \text{г}^{-1}$ ). Количественные показатели нефтеокисляющих бактерий варьировали, соответственно, от  $2,5 \cdot 10$  до  $4,5 \cdot 10^2$   $\text{кл.} \cdot \text{г}^{-1}$ . В районе черноморского предпроливья

(ст. 1) число гетеротрофов в донных отложениях составило  $4,5 \cdot 10^3$  кл. $\cdot$ г $^{-1}$ , а нефтеокисляющих бактерий — 10 кл. $\cdot$ г $^{-1}$ . Эти показатели численности бактериобентоса на ст. 1 близки к таковым, полученным в акватории Керченского пролива в 2007 г. Так, число гетеротрофных бактерий в причерноморской акватории Керченского пролива в 2007 г. варьировало от  $9,5 \cdot 10^3$  до  $4,5 \cdot 10^5$  кл. $\cdot$ г $^{-1}$ , нефтеокисляющих — от 75 до 115 кл. $\cdot$ г $^{-1}$  [1].



**Рис. 5.** Численность гетеротрофных (ГТ) и нефтеокисляющих (НО) бактерий (кл. $\cdot$ мл $^{-1}$ ) в донных отложениях исследуемого района (на ст. 3 пробы не отобраны по погодным условиям)

**Fig. 5.** The number of heterotrophic (ГТ) and oil-oxidizing (НО) bacteria (cell $\cdot$ ml $^{-1}$ ) in the sea bottom sediments of the investigated areas (the samples were not collected at st. 3 because of weather conditions)

**Закключение.** Таким образом, определён современный уровень загрязнения воды и донных отложений органическими веществами, в том числе нефтяными углеводородами, и проведён количественный учёт индикаторных групп бактерий в них и морской воде обозначенного района, который характеризуется следующим:

1. Количества НУ в морской воде приазовской акватории Керченского пролива не превышали ПДК ( $0,05$  мг $\cdot$ л $^{-1}$ ), тогда как в черноморской были менее стабильны и зависели от сезона. Отмечено некоторое повышение содержания НУ в донных отложениях (ст. 1) в сравнении с таковым 2016 г.
2. Численность гетеротрофных бактерий в причерноморской акватории Керченского пролива была выше, чем таковая, измеренная ранее, что может свидетельствовать о прогрессирующем эвтрофировании данного региона. В Азовском море она варьировала в широких пределах ( $10^4$ – $10^5$  кл. $\cdot$ мл $^{-1}$ ), но не превышала показателей прошлого столетия. Нефтеокисляющие бактерии, определяющие интенсивность самоочищения морской среды от нефти и нефтепродуктов, выселяны в приазовской акватории в единичных количествах, а в причерноморской их численность не превышала 10 кл. $\cdot$ мл $^{-1}$ . В донных отложениях данные группы бактерий выселяны повсеместно, их показатели в причерноморской акватории близки к таковым 2007 г.
3. Количества ХЭВ и НУ в донных отложениях акваторий, прилегающих к Керченскому проливу, были выше по сравнению с таковыми прошлых лет, но при этом в приазовском участке максимальное содержание ХЭВ ( $187$  мг  $\cdot$   $100$  г $^{-1}$  возд.-сух. д. о.) соответствовало таковому в период 2007–2010 гг. и их уровень не превышал величин, характерных для данного региона. В причерноморском участке показатели концентраций ХЭВ в 2 раза превышают ранее отмеченные значения (2009 г.) и в 2 раза больше средних по черноморскому побережью Крыма ( $36,7$  мг  $\cdot$   $100$  г $^{-1}$ ).

4. Полученные результаты показывают стабильность состояния донных отложений исследуемой акватории, однако отмечена тенденция к некоторому увеличению показателей в обозначенном районе, что указывает на необходимость дальнейших мониторинговых исследований.

*Работа выполнена в рамках государственного задания ФГБУН ИМБИ «Создание методов и технологий оперативного контроля экологического состояния биоты, оценки и прогноза качества морской среды» (гос. рег. № 115081110012).*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Еремеев В. Н., Миронов О. Г., Алёмов С. В., Бурдиян Н. В., Шадрин Т. В., Тихонова Е. А., Волков Н. Г. Предварительные оценки нефтяного загрязнения Керченского пролива после аварии судов 11 ноября 2007 г. // *Морской экологический журнал*. 2008. Т. 7, № 3. С. 15–24. [Eremeev V. N., Mironov O. G., Alyomov S. V., Burdiyan N. V., Shadrina T. V., Tikhonova E. A., Volkov N. G. The preliminary results of oil contamination evaluation in the Kerch Strait after the failure of ships in November, 11, 2007. *Morskoy ekologicheskij zhurnal*, 2008, vol. 7, no. 3, pp. 15–24. (in Russ.)].
2. Жукова С. В., Куропаткин А. П., Шишкин В. М., Фоменко И. Ф., Лутынская Л. А., Стрельченко О. В. *Гидрологическая оценка ситуации в условиях восстановления коренной части косы Тузла у Таманского полуострова. Проблемы гидрометеорологии и геоэкологии*. Ростов н/Д : Изд-во СКНЦ ВШ АПСН, 2005. С. 119–131. [Zhukova S. V., Kuropatkin A. P., Shishkin V. M., Fomenko I. F., Lutynskaya L. A., Strel'chenko O. V. *Gidrologicheskaya otsenka situatsii v usloviyakh vosstanovleniya korennoi chasti kosy Tuzla u Tamanskogo poluostrova. Problemy gidrometeorologii i geoekologii*. Rostov n/D: SKNTs VSh APSN, 2005. pp. 119–131. (in Russ.)].
3. Калитина Е. Г. *Влияние органического загрязнения на структуру и состояние микробных сообществ поверхностных вод бухты Золотой Рог* : дис.... канд. биол. наук : 03.00.16. Владивосток, 2006. 181 с. [Kalitina E. G. *Vliyanie organicheskogo zagryazneniya na strukturu i sostoyanie mikrobnnykh soobshchestv poverkhnostnykh vod bukhty Zolotoi Rog*. [dissertation]. Vladivostok, 2006, 181 p. (in Russ.)].
4. *Керченская авария: последствия для водных экосистем* / под ред. И. Г. Корпакова, С. А. Агапова. Ростов н/Д : ФГУП АЗНИИРХ, 2008. 229 с. [*Kerchenskaya aviariya: posledstviya dlya vodnykh ekosistem* / pod red. I. G. Korpakova, S. A. Agarova. Rostov n/D: FGUP AzNIIRKh, 2008, 229 p. (in Russ.)].
5. Клёнкин А. А., Агапов С. А. Динамика распределения нефтепродуктов в воде и донных отложениях Азовского и Чёрного морей после аварии судов в Керченском проливе // *Водные ресурсы*. 2011. Т. 38, № 2. С. 214–222. [Klenkin A. A., Agapov S. A. Dynamics of oil product in water and bottom sediments of the Sea of Azov and the Black Sea after ship accidents in the Kerch Strait. *Vodnye Resursy*, 2011, vol. 38, no. 2, pp. 214–222. (in Russ.)].
6. Котельянец Е. А., Коновалов С. К. Тяжёлые металлы в донных отложениях Керченского пролива // *Морской гидрофизический журнал*. 2012. № 4. С. 50–60. [Kotel'yanets E. A., Kononov S. K. Tyazhelye metally v donnykh otlozheniyakh Kerchenskogo proliva. *Morskoi gidrofizicheskii zhurnal*, 2012, no. 4, pp. 50–60. (in Russ.)].
7. Крыленко М. В., Крыленко В. В. Научное обеспечение сбалансированного планирования хозяйственной деятельности на уникальных морских береговых ландшафтах и предложения по его использованию на примере Азово-Черноморского побережья // *Азовское море / Южное отделение Института океанологии им. П. П. Ширшова РАН : отчёт по НИР*. Геленджик, 2013. Т. 7. С. 1157. [Krylenko M. V., Krylenko V. V. Nauchnoe obespechenie sbalansirovannogo planirovaniya khozyaistvennoi deyatelnosti na unikal'nykh morskikh beregovykh landshaftakh

- i predlozheniya po ego ispol'zovaniyu na primere Azovo-Chernomorskogo poberezh'ya. In: *Azovskoe more / Yuzhnoe otdelenie Instituta okeanologii im. P. P. Shirshova RAN: otchet po NIR*. Gelendzhik, 2013, vol. 7, pp. 1157. (in Russ.).]
8. Лаврова О. Ю., Костяной А. Г., Лебедев С. А., Митягина М. И., Гинзбург А. И., Шеремет Н. А. *Комплексный спутниковый мониторинг морей России*. Москва : ИКИ РАН, 2011. 470 с. [Lavrova O. Yu., Kostianov A. G., Lebedev S. A., Mityagina V. I., Ginzburg A. I., Sheremet N. A. *Complex Satellite Monitoring of the Russian Seas*. Moscow: IKI RAN, 2011, 470 p. (in Russ.).]
  9. Ларин А. А., Павленко Л. Ф., Скрыпник Г. В., Корпакова И. Г. Загрязнение прибрежной акватории российского Причерноморья нефтяными компонентами // *Морской экологический журнал*. 2011. № 2 (спец. вып.). С. 49–55. [Larin A. A., Pavlenko L. F., Skrypnik G. V., Korpakova I. G. Oil pollution of the Black Sea coastal environment. *Morskoj ekologicheskij zhurnal*, 2011, no. 2 (sp. iss.), pp. 49–55. (in Russ.).]
  10. Матишов Г. Г., Инжебейкин Ю. И., Савицкий Р. М. Воздействие на среду и биоту аварийного разлива нефтепродуктов в Керченском проливе в ноябре 2007 г. // *Водные ресурсы*. 2013. Т. 40, № 3. С. 259–273. [Matishov G. G., Inzhebeikin Yu. I., Savitskii R. M. The environmental and biotic impact of the oil spill in Kerch Strait in November 2007. *Vodnye Resursy*, 2013, vol. 40, no. 3, pp. 259–273. (in Russ.).]
  11. Михайлова Т. В. Разработка нормативов загрязняющих веществ в донных грунтах (на примере нефти) // *VII Съезд гидробиологического общества РАН : тезисы докладов*. Калининград. 2001. С. 152–153. [Mikhailova T. V. Razrabotka normativov zagryaznyayushchikh veshchestv v donnykh gruntakh (na primere nefiti). In: *VII S'ezd gidrobiologicheskogo obshchestva RAN: tezisy dokladov*. Kaliningrad, 2001, pp. 152–153. (in Russ.).]
  12. Миронов О. Г. Санитарно-биологическая характеристика Азовского моря // *Гидробиологический журнал*. 1996. Т. 32, № 1. С. 61–67. [Mironov O. G. Sanitary-biological characteristic of the Azovian Sea. *Gidrobiologicheskii zhurnal*, 1996, vol. 32, no. 1, pp. 61–67. (in Russ.).]
  13. Немировская И. А. *Нефть в океане (загрязнения и природные потоки)*. Москва : Научный мир, 2013. 432 с. [Nemirovskaya I. A. *Neft' v okeane (zagryazneniya i prirodnye potoki)*. Moscow: Nauchnyi mir, 2013, 432 p. (in Russ.).]
  14. Петренко О. А., Жугайло С. С., Авдеева Т. М., Аджиумеров С. Н. Содержание нефтепродуктов в водной среде, донных отложениях и почве рекреационной зоны г. Керчи и о. Коса Тузла // *Геополитика и экогеодинамика регионов*. 2014. Т. 10, № 1. С. 818–821. [Petrenko O. A., Zhugailo S. S., Avdeeva T. M., Adzhiumerov S. N. Soderzhanie nefteproduktov v vodnoi srede, donnykh otlozheniyakh i pochve rekreatsionnoi zony g. Kerchi i o. Kosa Tuzla. *Geopolitika i ekogeodinamika regionov*, 2014, vol. 10, no. 1, pp. 818–821. (in Russ.).]
  15. *Практикум по микробиологии* / под ред. А. И. Нетрусова. Москва : Издательский центр «Академия», 2005. 608 с. [Praktikum po mikrobiologii / A. I. Netrusov (Ed.). Moscow: Izdatel'skii tsentr "Akademiya", 2005, 608 p. (in Russ.).]
  16. *Руководство по методам химического анализа морских вод* / под ред. С. Г. Орадовского. Ленинград : Гидрометеиздат, 1977. 208 с. [Rukovodstvo po metodam khimicheskogo analiza morskikh vod / S. G. Oradovskii (Ed.). Leningrad: Gidrometeoizdat, 1977, 208 p. (in Russ.).]
  17. *Самоочищение в прибрежной акватории Чёрного моря* / под ред. В. Н. Грезе. Киев : Наукова думка, 1975. 142 с. [Samoochishchenie v pribrezhnoi akvatorii Chernogo morya / V. N. Greze (Ed.). Kiev: Naukova dumka, 1975, 142 p. (in Russ.).]
  18. Тихонова Е. А. Нефтяное загрязнение донных осадков и прибрежных наносов Керченского пролива в период 2007–2010 гг. // *Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа*. 2011. Т. 1, № 25. С. 200–205. [Tikhonova E. A. Oil pollution of bottom

- sediments and coastal alluvium of the Kerch Strait during 2007–2010. *Ekologicheskaya bezopasnost' pribrezhnoi i shel'fovoi zon i kompleksnoe ispol'zovanie resursov shel'fa*, 2011, vol. 1, no. 25, pp. 200–205. (in Russ.).
19. Тихонова Е. А., Бурдиян Н. В., Соловьёва О. В., Дорошенко Ю. В. Химические и микробиологические показатели донных отложений Керченского пролива после аварии судна «Волгонефть-139» // *Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе*. 2015. № 4. С. 12–16. [Tikhonova E. A., Burdiyan N. V., Soloveva O. V., Doroshenko Yu. V. Chemical and microbiological parameters of Kerch Strait sea bottom sediments after accident of «Volgoneft-139» ship. *Zashchita okruzhayushchei sredy v neftegazovom komplekse*, 2015, no. 4, pp. 12–16. (in Russ.)].
  20. Тихонова Е. А., Гусева Е. В. Динамика нефтяного загрязнения донных осадков и прибрежных наносов Керченского пролива после аварийного разлива мазута в ноябре 2007 г. // *Современные рыбохозяйственные и экологические проблемы Азово-Черноморского региона* : материалы Междунар. конф. Керчь, 2012. Т. 1. С. 253–255. [Tikhonova E. A., Guseva E. V. Dinamika neftyanogo zagryazneniya donnykh osadkov i pribrezhnykh nanosov Kerchenskogo proliva posle avariinogo razlitiya mazuta v noyabre 2007 g. In: *Sovremennye rybokhozyaistvennye i ekologicheskie problemy Azovo-Chernomorskogo regiona*: materialy Mezhdunar. konf. Kerch, 2012, vol. 1, pp. 253–255. (in Russ.)].
  21. Тихонова Е. А., Котельянец Е. А., Соловьёва О. В. Современные данные по загрязнению донных отложений Крымского побережья Чёрного и Азовского морей // *Морские биологические исследования: достижения и перспективы* : материалы Всеросс. конф. с междунар. участием, приуроч. к 145-летию Севастопольской биологической станции, (Севастополь, 19–24 сентября 2016 г.). Севастополь : ЭКОСИ-Гидрофизика, 2016. Т. 3. С. 256–260. [Tikhonova E. A., Kotel'yanets E. A., Soloveva O. V. Sovremennye dannye po zagryazneniyu donnykh otlozhenii Krymskogo poberezh'ya Chernogo i Azovskogo morei. In: *Morskie biologicheskie issledovaniya: dostizheniya i perspektivy* : materialy Vseross. konf. s mezhdunar. uchastiem, priuroch. k 145-letiyu Sevastopol'skoi biologicheskoi stantsii, (Sevastopol, 19–24 Sept. 2016). Sevastopol: EKOSI-Gidrofizika, 2016, vol. 3, pp. 256–260. (in Russ.)].
  22. Тихонова Е. А., Соловьёва О. В. *Нефтяное загрязнение в районе Керченского пролива*. [CD-ROM]. Москва : Морские исследования и образование, 2016. С. 453–456. [Tikhonova E. A., Soloveva O. V. *Neftyanoe zagryaznenie v raione Kerchenskogo proliva*. [CD-ROM]. Moscow: Morskie issledovaniya i obrazovanie, 2016, pp. 453–456. (in Russ.)].
  23. Тихонова Е. А., Соловьёва О. В., Котельянец Е. А. Оценка уровня загрязнения донных отложений крымского побережья Чёрного и Азовского морей // *Принципы экологии*. 2016. № 5 (21). С. 56–70. [Tikhonova E. A., Soloveva O. V., Kotel'yanets E. A. Evaluation of the contamination level of sea bottom sediments on the Crimean coast of the Black and Azov seas. *Printsipy ekologii*, 2016, no. 5 (21), pp. 56–70. (in Russ.)].
  24. Томилина И. И. *Эколого-токсикологическая характеристика донных отложений водоёмов северо-запада России* : автореф. дис. ... канд. биол. наук. : 03.00.18. Борок, 2000. 21 с. [Tomilina I. I. *Ekologo-toksikologicheskaya kharakteristika donnykh otlozhenii vodoemov severo-zapada Rossii* : avtoref. dis. ... kand. biol. nauk.: 03.00.18. Borok, 2000, 21 p. (in Russ.)].
  25. Al-Saad H. T., Al-Taein S. M., Al-Hello M. A. R., DouAbul A. A. Z. Hydrocarbons and trace elements in the waters and sediments of the marshland of southern Iraq. *Mesopotamian Journal Marine Science*, 2009, vol. 24, iss. 2, pp. 126–139.
  26. Veerasingam S., Raja P., Venkatachalapathy R., Mohan R., Sutharsan P. Distribution of petroleum hydrocarbon concentration in coastal sediments along Tamilnadu coast, India. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, 2010, vol. 5, no. 2, pp. 5–8.
  27. Крушение сухогруза в Черном море: спасатели нашли тела трех погибших

[Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://ria.ru/incidents/20170419/1492605203.html> [дата обращения 12.07.2017]. [Krushenie sukhogruza v Chernom more: spasateli nashli tela trekh pogibshikh. Available at: <https://ria.ru/incidents/20170419/1492605203.html> [accessed 12.07.2017] (in Russ.)].

28. Ученые проводят мониторинг водных биоресурсов в районе строительства Крымского моста [Электронный ресурс]. Режим доступа:

<http://www.most.life/novosti/novosti/uchenye-provodyat-monitoring-vodnyh-bioresursov-v-raione-stroitelstva-krymskogo-mosta/> [дата обращения 12.07.2017]. [Uchenye provodyat monitoring vodnykh bioresursov v raione stroitel'syva Krymskogo mosta. Available at: <http://www.most.life/novosti/novosti/uchenye-provodyat-monitoring-vodnyh-bioresursov-v-raione-stroitelstva-krymskogo-mosta/> [accessed 12.07.2017] (in Russ.)].

## THE CHEMICAL-MICROBIOLOGICAL CHARACTERISTICS OF SEA WATER AND BOTTOM SEDIMENTS OF THE KERCH STRAIT AND ADJACENT WATER AREAS

E. A. Tikhonova, N. V. Burdiyan, O. V. Soloveva

Kovalevsky Institute of Marine Biological Research RAS, Sevastopol, Russian Federation

E-mail: [tihonoval@mail.ru](mailto:tihonoval@mail.ru)

This paper presents the results of contamination level of sea bottom sediments and seawater in the water areas by the strait of the Black Sea and the Azov Sea by oil hydrocarbons and chloroform-extractable substances studies (spring, autumn 2016). Comparison of marine environment pollution levels with the results of previous studies (2007–2010) and sanitary norms is given. The quantitative characteristics of heterotrophic and oil-oxidizing microbiota in the designated areas are presented. It was determined that the concentration of oil hydrocarbons in the water surface layer in the water area by the strait of the Azov Sea did not exceed the current norm ( $0.05 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ ). The single cases of the maximum permissible concentration exceeding were registered in the water area by the strait of the Black Sea (autumn 2016). In the surface layer of Azov Sea water, the number of heterotrophic bacteria ranged from  $10^4$  to  $10^5 \text{ cells}\cdot\text{ml}^{-1}$ , and the oil-oxidizing bacteria were isolated in single quantities. In the water area of the Black Sea region of the strait the number of heterotrophic bacteria was  $10^6$ , the number of oil-oxidizing bacteria did not exceed  $10 \text{ cells}\cdot\text{ml}^{-1}$ . In comparison with the previous years' data, there was an increase in quantitative indicators of chloroform-extractable substances and oil hydrocarbons in the sea bottom sediments. The overall level of pollution did not exceed the average values determined for the region. The number of heterotrophic bacteria in the sea bottom sediments varied in the Strait of Azov water area from  $2,5\cdot 10^4$  to  $4,5\cdot 10^4 \text{ cells}\cdot\text{g}^{-1}$ , while that of oil-oxidizing bacteria varied from  $2,5\cdot 10$  to  $4,5\cdot 10^2 \text{ cells}\cdot\text{g}^{-1}$ . In the sea bottom sediments of the Black Sea, the number of heterotrophic bacteria was  $4,5\cdot 10^3 \text{ cells}\cdot\text{g}^{-1}$ , the number of oil oxidizing bacteria was  $10 \text{ cells}\cdot\text{g}^{-1}$ .

**Keywords:** chloroform-extractable substances, oil hydrocarbons, heterotrophic and oil-oxidizing bacteria, sea bottom sediments, sea water, Kerch Strait, Black Sea, Azov Sea