

Органическое вещество донных отложений крымского и кавказского побережий (Азовское и Черное моря)

Е. А. Тихонова

ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей им. А.О. Ковалевского РАН»,
Севастополь, Россия
e-mail: tihonova@mail.ru

Поступила 24.06.2021 г.; принята к публикации 12.08.2021 г.; опубликована 25.09.2021 г.

В рамках 113-го рейса научно-исследовательского судна «Профессор Водяницкий» проведены исследования органического загрязнения донных отложений прибрежных районов Крыма и Кавказа, а также акватории перед Керченским проливом. Концентрацию хлороформ-экстрагируемых веществ определяли весовым методом, нефтяных углеводородов – методом инфракрасной спектрометрии. В 2020 г., как и в 2016 г. (83-й рейс научно-исследовательского судна «Профессор Водяницкий»), донные отложения крымского и кавказского побережья обладают свойствами, типичными для морских грунтов данного региона. Это свидетельствует о благополучном состоянии исследованных акваторий в целом. В соответствии с региональной классификацией загрязнения донных отложений полученные максимальные концентрации хлороформ-экстрагируемых веществ как для черноморского, так и для азовоморского побережья указывают на третий уровень загрязнения (23 % исследованных проб). Данные показатели отмечены в донных отложениях акватории Севастополя ($225 \text{ мг} \cdot 100 \text{ г}^{-1}$), в прибрежной части м. Тарханкут ($120 \text{ мг} \cdot 100 \text{ г}^{-1}$), района Карадага ($120 \text{ мг} \cdot 100 \text{ г}^{-1}$), южной части Азовского моря ($125 \text{ мг} \cdot 100 \text{ г}^{-1}$) и Туапсе ($110 \text{ мг} \cdot 100 \text{ г}^{-1}$). Содержание хлороформ-экстрагируемых веществ в донных отложениях у Черноморского побережья Кавказа и азовоморского побережья несколько ниже, чем у побережья Крыма. Ко второму уровню загрязнения со средней концентрацией $72 \text{ мг} \cdot 100 \text{ г}^{-1}$ возд.-сух. в-ва отнесены донные осадки в 46 % проб. Остальные участки (31 %) исследуемой акватории относились к условно чистому первому уровню (менее $50 \text{ мг} \cdot 100 \text{ г}^{-1}$). Отмечено некоторое увеличение концентрации нефтяных углеводородов в донных отложениях как Черного, так и Азовского моря и их доли в общем количестве хлороформ-экстрагируемых веществ. В целом уровень загрязнения донных отложений органическими веществами остался неизменным по сравнению с данными прошлых лет, в частности с данными 2016 г.

Ключевые слова: прибрежные акватории, донные отложения, хлороформ-экстрагируемые вещества, нефтяные углеводороды, Азовское море, Черное море.

Благодарности: автор выражает благодарность с.н.с. отдела морской санитарной гидробиологии ФИЦ ИнБЮМ, к.б.н. Н. В. Бурдиян за организацию и отбор проб донных отложений в 113-м рейсе НИС «Профессор Водяницкий». Работа выполнена

© Тихонова Е. А., 2021



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

в рамках государственного задания ФИЦ ИнБЮМ «Молисмологические и биогеохимические основы гомеостаза морских экосистем» (№ 121031500515-8).

Для цитирования: Тихонова Е. А. Органическое вещество донных отложений крымского и кавказского побережий (Азовское и Черное моря) // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2021. № 3. С. 52–67. doi:10.22449/2413-5577-2021-3-52-67

Organic Matter of Bottom Sediments of the Crimean and Caucasian Coasts (Azov and Black Seas)

E. A. Tikhonova

*A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol, Russia
e-mail: tihonova@mail.ru*

Submitted 24.06.2021; revised 12.08.2021; published 25.09.2021

As part of the 113th cruise of the R/V “Professor Vodyanitsky”, research was conducted on organic pollution of bottom sediments in the coastal areas of Crimea and the Caucasus, as well as the water area in front of the Kerch Strait. Concentration of chloroform-extractable substances was determined by the weight method and that of petroleum hydrocarbons was determined using infrared spectrometry. Both in 2020 and 2016 (the 83^d cruise of the R/V “Professor Vodyanitsky”), properties of the bottom sediments of the Crimean and Caucasian coasts were typical of the marine soils of this region. This indicates that the studied water areas are generally in good condition. In accordance with the regional classification of bottom sediment pollution, the maximum concentrations of chloroform-extractable substances obtained for both the Black Sea and the Sea of Azov coast indicate pollution level III (23% of analysed samples). These values were found in bottom sediments in the Sevastopol water area ($225 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$), in the coastal area of Cape Tarkhankut ($120 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$) and Karadag ($120 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$), the southern part of the Sea of Azov ($125 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$) and Tuapse ($110 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$). The content of chloroform-extractable substances in bottom sediments off the Black Sea coast of the Caucasus and the Sea of Azov coast is slightly lower than that off the Crimean coast. Pollution level II is assigned to bottom sediments in 46 % of the samples, with an average concentration of $72 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ of air-dry solids. The rest (31 %) of the studied area was classified as conditionally clean (pollution level I, i. e. less than $50 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$). There has been a slight increase in the concentration of petroleum hydrocarbons in the bottom sediments of both the Black Sea and the Sea of Azov and their share in the total amount of chloroform-extractable substances. In general, the level of pollution of bottom sediments by organic matter remained unchanged if compared with previous years, in particular with the data from 2016.

Key words: coastal waters, bottom sediments, chloroform-extractable substances, petroleum hydrocarbons, Azov Sea, Black Sea.

Acknowledgements: the author is grateful to N. V. Burdiyan, Ph.D. (Biol.), the leading research associate of the Marine Sanitary Hydrobiology Department of IBSS, for the organization and sampling of bottom sediments during the 113th cruise of the R/V “Professor Vodyanitsky”. The work was performed under state task of IBSS on topic “Molismological and biogeochemical foundations of the marine ecosystems homeostasis” (no. 121031500515-8).

For citation: Tikhonova, E.A., 2021. Organic Matter of Bottom Sediments of the Crimean and Caucasian Coasts (Azov and Black Seas). *Ecological Safety of Coastal and Shelf Zones of Sea*, (3), pp. 52–67. doi:10.22449/2413-5577-2021-3-52-67 (in Russian).

Нефтяное загрязнение прибрежных вод в настоящее время остается одной из наиболее острых проблем, вызывающих опасение экологов и природоохранных служб различных стран. В этом отношении выделяются Черное и Азовское моря как морские регионы с наибольшим антропогенным прессом в Европе [1–3].

Источники поступления углеводородов в водоем имеют естественное и антропогенное происхождение. Это могут быть углеводороды как образовавшиеся в почве в ходе биогеохимических процессов, так и мигрировавшие снизу из глубоких нефтеносных пластов. Техногенные углеводороды проникают в почву после загрязнения ее поверхности нефтью, нефтепродуктами, сточными водами и другими веществами, содержащими углеводороды [4, 5].

В результате естественных процессов сорбции, протекающих в водоемах, уровни накопления химических веществ в донных отложениях, поровых водах и придонном слое воды намного выше, чем в водной толще. Кроме того, донные осадки являются «хранилищами» многих загрязняющих веществ. В прибрежных и мелководных зонах под влиянием волновой и ветровой деятельности, а также биологического взмучивания моллюсками донные осадки становятся источником вторичного загрязнения вод [6], поэтому при оценке качества водоемов они должны исследоваться наравне с водной толщей [5].

Донные отложения представляют собой единство живой и неживой природы, так как они состоят не только из минеральных, но и из органических веществ. Кроме того, их населяют многочисленные живые организмы, начиная с микроорганизмов, фито- и зообентоса и заканчивая рыбами-бентофагами, обитающими в донных отложениях [5]. Именно наличие живой и неживой компоненты осложняет создание системного универсального подхода к оценке качества донных отложений и выработку на ее основе нормативов и указывает на необходимость мониторинга среды и контроля ее параметров.

Донные отложения морей также представляют собой сложную физико-химическую систему. Твердая фаза системы представлена минеральным веществом и органическими остатками, жидкая фаза – седиментационной водой, захваченной осадком в процессе его формирования из придонной воды [6, 7]. Изучение особенностей накопления органических веществ, в том числе нефтяных углеводородов (НУ), в донных отложениях всегда проводилось в комплексе с изучением основных физико-химических и геохимических характеристик осадка [8–13].

Прибрежная акватория является наиболее уязвимой в экологическом аспекте, поскольку здесь концентрируются загрязняющие вещества, попадающие как со стороны берега, так и со стороны моря. При этом в данной зоне люди постоянно контактируют с морской средой [1].

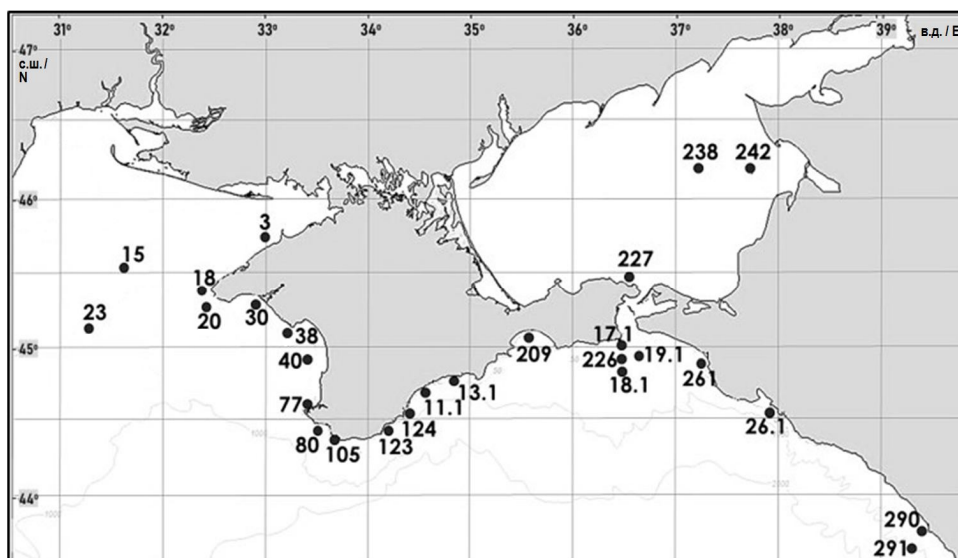
Цель работы состоит в изучении пространственно-временных особенностей накопления и распределения органических веществ, в том числе НУ, в донных отложениях прибрежных районов Крымского п-ова и Кавказа.

Материал и методика исследований

Пробы отбирались во время 113-го рейса НИС «Профессор Водяницкий» (июнь 2020 г.) по сетке станций (рис. 1), расположенных вдоль крымского и кавказского побережья (Черное и Азовское моря). Номера станций сохранены в соответствии с рейсовым донесением. Глубина на точках отбора донных отложений в Черном море вдоль крымского побережья составляла от 15 до 82 м, вдоль кавказского побережья – от 115 до 1300 м, в акватории Азовского моря – от 5 до 12 м.

Донные отложения отбирали с помощью дночерпателя «Океан-50». Для анализа использовали верхний 5-сантиметровый слой. Все пробы упаковали в специальные контейнеры и маркировали. В черноморской акватории Крыма выполнено 12 станций, черноморской акватории Кавказа – 4 станции, в азовоморской акватории – 3 станции (рис. 1).

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 концентраций НУ методом инфракрасной спектроскопии¹⁾ на спектрофотометре ФСМ-1201 и хлороформ-экстрагируемых веществ (ХЭВ) весовым методом. Все полученные результаты для концентраций ХЭВ и НУ пересчитывали на 100 г воздушно-сухого донного осадка (возд.-сух. д. о.). Коэффициент корреляции рассчитывался при $P = 0.05$ в программе *Microsoft Excel*.



Р и с . 1 . Схема станций отбора проб донных отложений в 113-м рейсе НИС «Профессор Водяницкий», июнь 2020 г.

Fig. 1. The map of bottom sediment sampling stations in the 113th cruise of the R/V “Professor Vodyanitsky”, June 2020

¹⁾ Руководство по методам химического анализа морских вод / Под ред. С. Г. Орадовского. Л. : Гидрометеиздат, 1977. С. 118–131.

Результаты и обсуждение

Береговая полоса наиболее подвержена загрязнению, в том числе органическому. Постоянное поступление аллохтонного материала из различных источников приводит к его концентрированию в донных отложениях. Характер пространственного распределения загрязняющих веществ, в частности НУ, обусловлен комплексом природных и техногенных факторов [12, 13]. Станции пробоотбора находились в акваториях с повышенной антропогенной и рекреационной нагрузкой, а также в природоохранных зонах. Таким образом, охватываются разные участки с разной эксплуатационной мощностью, что дает возможность контроля состояния окружающей среды – и антропогенно нагруженной, и экологически чистой.

Отобранные в ходе 113-й экспедиции НИС «Профессор Водяницкий» донные отложения соответствовали характерным для Крымского и Кавказского регионов илистым осадкам с примесью ракушечника и песка, которые в значительной степени аккумулируют как природное органическое вещество, так и соединения антропогенного происхождения. В донных отложениях некоторых станций был отмечен слабый запах сероводорода.

В настоящее время каких-либо нормативов, определяющих степень загрязнения морских грунтов, не существует. Однако исследователями ИнБЮМа разработана региональная шкала оценки органического загрязнения и его влияния на макрозообентос. Согласно работе [14], существует пять уровней загрязнения донных отложений по содержанию в них ХЭВ:

- I – менее $50 \text{ мг} \cdot 100 \text{ г}^{-1}$;
- II – $50\text{--}100 \text{ мг} \cdot 100 \text{ г}^{-1}$;
- III – $100\text{--}500 \text{ мг} \cdot 100 \text{ г}^{-1}$;
- IV – $500\text{--}1000 \text{ мг} \cdot 100 \text{ г}^{-1}$;
- V – свыше $1000 \text{ мг} \cdot 100 \text{ г}^{-1}$.

Согласно данной классификации [14], полученные в настоящем исследовании максимальные показатели как для крымского, так и для кавказского побережья соответствуют уровню загрязнения III.

Концентрация ХЭВ в донных отложениях Черного моря (рис. 2) крымского побережья колебалась от 28 до $225 \text{ мг} \cdot 100 \text{ г}^{-1}$ возд.-сух. д. о., кавказского – от 20 до $110 \text{ мг} \cdot 100 \text{ г}^{-1}$ возд.-сух. д. о. Минимальные значения для крымской черноморской акватории отмечены в районе м. Опук, а максимальные – вблизи Севастополя. Данные концентрации являются типичными для донных отложений прибрежных севастопольских районов [3].

В районе Керченского предпроливья в разные периоды исследования отмечаются высокие концентрации НУ в воде [15–17], но уровень загрязнения донных осадков, как и ранее, невысок [18, 19]. В 2020 г. концентрация ХЭВ здесь составляла $70 \text{ мг} \cdot 100 \text{ г}^{-1}$, тогда как в 2016 г. – $72 \text{ мг} \cdot 100 \text{ г}^{-1}$ возд.-сух. д. о., что указывает на стабильное состояние исследуемой среды. Повышенные концентрации нефтепродуктов в донных отложениях отмечались непосредственно в торговом и рыбном портах Керчи (где превышение безопасной для гидробионтов концентрации составляло 4–5 и 6.5 раза соответственно) во всех районах дноуглубления²⁾ как в 2016 г.

²⁾ Петренко О. А. Особенности естественной и антропогенной составляющей гидрохимического режима вод Керченского предпроливья Черного моря : дис. ... канд. геогр. наук : 11.00.08. Океанология. Керчь, 1999. 109 с.

[20], так и ранее. Станции отбора проб в данном исследовании находились вне указанных выше районов.

Донные отложения, отнесенные к уровню загрязнения III, кроме Севастополя, отмечены в прибрежной части м. Тарханкут и района Карадага с одинаковым значением $120 \text{ мг} \cdot 100 \text{ г}^{-1}$ возд.-сух. в-ва (рис. 2). Глубины отбора проб у м. Тарханкут (ст. 18, 20) сходны (45 и 57 м), состав донных отложений на обеих станциях представлен илами с примесью песка и ракушки. Но донные отложения, отобранные мористее, имеют более низкие показатели ХЭВ ($35 \text{ мг} \cdot 100 \text{ г}^{-1}$). С другой стороны, в поверхностном слое воды у м. Тарханкут периодически отмечаются повышенные концентрации НУ [1, 21]. Данный факт в этой части акватории часто связывают со стоком европейских рек, а также с их гидрологическим режимом [22, 23]. Загрязняющие вещества переносятся на значительные расстояния черноморскими течениями [23]. Например, в акватории м. Тарханкут отмечена высокая для Черного моря концентрация Sr^{90} , что может быть следствием его поступления с речными водами [24]. Данный участок вызывает интерес и наличием апвеллинга, районы действия которого, с одной стороны, относят к наиболее рыбопродуктивным. С другой – у м. Тарханкут производится добыча нефтепродуктов, и детальное исследование мезомасштабной изменчивости апвеллинга необходимо для прогноза распространения загрязнения на побережье при аварийном поступлении нефти в море [25]. То есть исследуемый участок является условно чистым, но в то же время в его акваторию

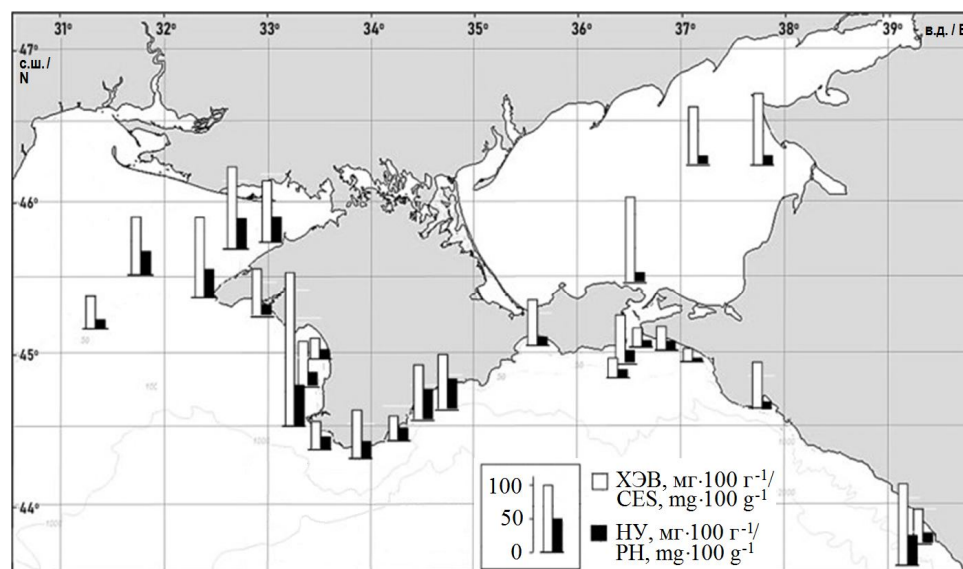


Рис. 2. Концентрации хлороформ-экстрагируемых веществ (ХЭВ) и нефтяных углеводородов (НУ) в донных отложениях, отобранных в 113-м рейсе НИС «Профессор Водяницкий»

Fig. 2. Concentrations of chloroform-extractable substances (CES) and petroleum hydrocarbons (PH) in sea bottom sediments sampled during the 113th cruise of the R/V “Professor Vodyanitsky”

периодически поступают загрязняющие вещества вследствие их переноса прибрежными течениями и динамических процессов в водной среде.

В районе Карадага находятся города и крупные поселки, в которых на настоящий момент отсутствует система канализации. Пробы донных отложений отбирались вблизи Коктебеля (рис. 1). В морскую прибрежную акваторию с неочищенными сточными и канализационными водами поступают органические вещества, что впоследствии может приводить к увеличению их содержания в морских грунтах.

В 50 % проб донные осадки крымского побережья Черного моря (Каркинитский залив, Малореченск, акватория оз. Донузлав, Каламитский залив, акватория Ялты, Феодосийский залив, предпроливная часть Керченского пролива) имели уровень загрязнения II со средним показателем ХЭВ $72 \text{ мг} \cdot 100 \text{ г}^{-1}$ возд.-сух. в-ва. Остальные участки (35 %) можно охарактеризовать как условно чистые уровня I (менее $50 \text{ мг} \cdot 100 \text{ г}^{-1}$). Это акватории м. Опук, мористой части м. Тарханкут, п. Мирного, б. Ласпи, пгт. Партенита. Донные отложения указанных участков крымского побережья относились к условно чистым и ранее. Однако, например, в поверхностных и придонных слоях воды в прибрежной акватории заказника Ласпи ранее были отмечены повышенные концентрации НУ [21, 26], тогда как уровень загрязнения органическими веществами донных отложений оставался достаточно низким. В предыдущие годы исследований (2016–2017 гг.) концентрация ХЭВ составляла $42 \text{ мг} \cdot 100 \text{ г}^{-1}$, в настоящее время – $40 \text{ мг} \cdot 100 \text{ г}^{-1}$ возд.-сух. в-ва. В целом на основании сравнения данного показателя за многолетний период исследований содержание ХЭВ в донных отложениях черноморского побережья Крыма можно считать характерным для региона [27, 28].

Следует отметить, что полученные данные о концентрации ХЭВ в донных отложениях кавказского побережья несколько ниже, чем у побережья Крыма. Это согласуется и с данными о содержании НУ в воде, где этот показатель у кавказского побережья ниже, чем у крымского [1]. Более низкие концентрации также могут быть связаны с разным составом донных отложений (ст. 261 – ракуша с примесью песка) и глубиной пробоотбора (ст. 26.1 и 291 являются глубоководными с глубинами 723 и 1300 м соответственно).

В донных отложениях Азовского моря концентрации ХЭВ колебались от 85 до $125 \text{ мг} \cdot 100 \text{ г}^{-1}$, что несколько ниже ранее отмеченных. В 2016 г. максимальные зафиксированные значения ($187 \text{ мг} \cdot 100 \text{ г}^{-1}$) соответствовали значениям, полученным нами в 2010 г. ($186 \text{ мг} \cdot 100 \text{ г}^{-1}$) [2]. Тем не менее концентрации ХЭВ не превышали характерных для исследуемого района (для ракушечников – $20 \text{ мг} \cdot 100 \text{ г}^{-1}$, для пелитовых илов – до $230 \text{ мг} \cdot 100 \text{ г}^{-1}$ [28]). Полученные результаты соответствуют ранее описанным, и по данному показателю донные отложения можно отнести к природно-чистым [2, 18].

Ранее [29, 30] в донных отложениях на большинстве станций как Черного, так и Азовского моря отмечались следовые количества НУ (до $5 \text{ мг} \cdot 100 \text{ г}^{-1}$). Тогда как в настоящем исследовании зафиксированные показатели несколько выше: в черноморской акватории крымского побережья – от 9.3 до $59 \text{ мг} \cdot 100 \text{ г}^{-1}$, у кавказского побережья – от 5.3 до $27 \text{ мг} \cdot 100 \text{ г}^{-1}$ возд.-сух. в-ва. В азовской акватории в 2010 г. на 65 % станций концентрация НУ в донных осадках составляла менее $5 \text{ мг} \cdot 100 \text{ г}^{-1}$ [2]. В 2016 г. [29] и в 2020 г. на всех станциях

отмечены количества выше следовых (со средним значением $13.5 \text{ мг} \cdot 100 \text{ г}^{-1}$). Полученные показатели могут свидетельствовать о поступлении свежих нефтепродуктов в исследуемые акватории. Прежде всего это связано с судоходной активностью и береговыми стоками, в том числе увеличивающейся рекреационной нагрузкой на крымское побережье. Так, для Черного моря доля поступления НУ со стоками, в том числе бытовыми, индустриальными, ливневыми и речными, составляет более 95 % [31]. Самые неблагоприятные условия отмечены в районе стока Одессы и Сочи, а также р. Дунай, которая, как указывалось выше, является источником поступления загрязняющих веществ в акваторию западной части Крымского п-ова [22, 32]. Часть НУ, поступающих в море со стоком р. Дунай, движется по стрезню Основного Черноморского течения и, достигая западной части циклонической завихренности, возвращается к юго-западному побережью Крыма [33]. Загрязняющие вещества, в том числе и НУ, поступают также в акваторию м. Тарханкут из Каркинитского залива [34]. Механизм переноса поллютантов связан с процессом формирования в холодное время года тяжелых вод и их субдукционным распространением за пределами залива. Интенсивное зимнее охлаждение приводит к развитию конвективной циркуляции, отток более плотных вод из вершины залива происходит в придонном слое. Покидают залив эти воды вблизи м. Тарханкут [34]. В качестве одного из антропогенных факторов загрязнения НУ данной акватории можно рассматривать добычу углеводородов на Голицынском месторождении [35]. Но, согласно полученным данным по содержанию НУ в воде и донных отложениях вблизи мест добычи и на фоновых станциях, в формировании полей загрязнений НУ в этом районе интенсивно участвуют и другие факторы: вынос нефтепродуктов из открытых участков северо-западной части Черного моря, влияние речных, промышленных и хозяйственно-бытовых стоков, интенсификация судоходства и т. д. [35]. По данным современных спутниковых наблюдений, причиной образования нефтяной пленки на поверхности моря не всегда является деятельность человека, ею также может быть природный фактор – функционирование нефтяных и газовых сипов, грязевых вулканов [36]. Общий объем поступления нефтепродуктов в Черное море оценивается в 270 тыс. т в год [37]. При этом уровень нефтяного загрязнения крымского и кавказского побережья не превышал значений, характерных для чистых и слабозагрязненных акваторий Черного моря.

В Азовском море ранее также было отмечено волнообразное увеличение и уменьшение концентраций нефтепродуктов в донных отложениях [38]. С одной стороны, частота встречаемости их содержания более $1 \text{ г} \cdot \text{кг}^{-1}$, при которой возможны сублетальные эффекты, начиная с 2002 г. уменьшалась до 0–6 % [38]. С другой – в местах отбора проб донных отложений (например, в Таганрогском заливе) в большинстве случаев отмечается превышение в воде нормативных концентраций НУ [39]. А одним из источников поступления загрязняющих веществ в донные отложения является водная толща моря.

Максимальные значения НУ, как и концентрации ХЭВ, зафиксированы в прибрежной акватории Севастополя ($59 \text{ мг} \cdot 100 \text{ г}^{-1}$), м. Тарханкут ($43 \text{ мг} \cdot 100 \text{ г}^{-1}$) и Карадага ($45 \text{ мг} \cdot 100 \text{ г}^{-1}$). Полученные показатели НУ

не превышают нормативы так называемых «Голландских листов»³⁾, за исключением показателей в прибрежных районах Севастополя. При входе в Керченский пролив на всех станциях концентрация НУ не превышала $18 \text{ мг} \cdot 100 \text{ г}^{-1}$, что является характерным показателем для данной судоходной акватории [19, 28]. Максимальная нагрузка приходится на акваторию самого Керченского пролива и порта. Здесь наряду с активным судоходством, дам্পингом и гидростроительством осуществлялась запрещенная в настоящее время перегрузка топлива с малых нефтеналивных судов на крупнотоннажные танкеры [40]. Но на данных участках отбор проб донных отложений для настоящей работы не проводился. Минимальные количества НУ, близкие к следовым, отмечены в прибрежной акватории кавказского побережья.

Процентное содержание НУ в ХЭВ, которое указывает на степень углеводородности [28], колебалось в следующих пределах: в черноморском районе Крыма от 21 % (предпроливная зона) до 55 % (Малореченск, акватория в районе храма Маяк), до 50 % в акватории Партенита, на остальных участках процентное содержание было ниже 44 %; прибрежная акватория Кавказа – от 16 до 35 %, азовоморская акватория – от 11 до 15 %. По сравнению с данными прошлых лет, процентное содержание НУ в ХЭВ несколько увеличилось: в 2016 г. в азовских донных отложениях оно не превышало 6 %, в черноморских – 31 %. Ранее показатели более 50 % не были зафиксированы ни в одной пробе, в настоящее время – в двух пробах из 19. Это указывает на постоянное поступление аллохтонных углеводородов в окружающую среду, источником которого могут быть береговые стоки. Пробы донных отложений были отобраны в основном в прибрежной акватории. Вторым по интенсивности источником поступления данного класса веществ (после разливов нефти) является их попадание с берега [17].

Кроме того, отмечена тесная корреляционная зависимость между содержанием ХЭВ и НУ: в донных отложениях крымского побережья коэффициент корреляции составлял 0.89, кавказского – 0.88 и азовского – 0.8. Ранее настолько тесная зависимость не отмечалась ($r = 0.5$) [29].

Выводы

Таким образом, учитывая полученные данные по содержанию ХЭВ и НУ, а также физико-химические показатели донных отложений, можно резюмировать, что в настоящее время (2020 г.) донные осадки крымского и кавказского побережья Черного моря, а также азовоморского побережья обладают свойствами, типичными для морских грунтов исследованного региона. Это свидетельствует о благополучном состоянии исследованных акваторий в целом. В соответствии с региональной классификацией загрязнения донных отложений по концентрациям ХЭВ максимальные показатели для черноморского и азовоморского побережья относятся к уровню загрязнения III (23 % исследованных проб). При этом концентрации ХЭВ в донных отложениях кавказского и азовоморского побережья несколько ниже,

³⁾ URL:

esdat.net/Environmental%20Standards/Dutch/annexS_I2000Dutch%20Environmental%20Standards.pdf
(дата обращения: 19.09.2021).

чем у побережья Крыма. Максимальные зафиксированные концентрации ХЭВ, относящиеся к уровню загрязнения III, отмечены в донных отложениях акватории г. Севастополя ($225 \text{ мг} \cdot 100 \text{ г}^{-1}$), у м. Тарханкут ($120 \text{ мг} \cdot 100 \text{ г}^{-1}$), района Карадага ($120 \text{ мг} \cdot 100 \text{ г}^{-1}$), южной части Азовского моря ($125 \text{ мг} \cdot 100 \text{ г}^{-1}$) и г. Туапсе ($110 \text{ мг} \cdot 100 \text{ г}^{-1}$).

В 46 % всех проанализированных проб донные осадки (акваторий Каркинитского, Каламитского, Феодосийского заливов, Малореченска, оз. Донузлав, Ялты, предпроливной части Керченского пролива, Таганрогского залива (Азовское море), прибрежной части кавказского побережья) имели уровень загрязнения II со средним показателем ХЭВ $72 \text{ мг} \cdot 100 \text{ г}^{-1}$ возд.-сух. в-ва.

Остальные участки (31 %) можно охарактеризовать как условно чистые уровня I (менее $50 \text{ мг} \cdot 100 \text{ г}^{-1}$). Это акватории м. Опук, мористой части м. Тарханкут, п. Мирного, б. Ласпи, Партенита и прибрежной части кавказского побережья.

Отмечено некоторое увеличение концентрации НУ в донных отложениях как Черного, так и Азовского морей и доли НУ в общем количестве ХЭВ. В целом уровень загрязнения донных отложений органическими веществами остался неизменным по сравнению с данными прошлых лет, в частности с данными 2016 г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Миронов О. А., Миронов О. Г.* Современные данные по загрязнению прибрежной акватории Азово-Черноморского региона России нефтяными углеводородами // Юг России: экология, развитие. 2020. Т. 15, № 3. С. 77–85. <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2020-3-77-85>
2. *Tikhonova E. A., Kotelyanets E. A., Soloveva O. V.* Sea bottom sediments pollution of the Crimean coast (the Black and Azov seas) // Progress in GeoMedia. Vol. 2 / Edited by T. Chaplina. Cham, Switzerland : Springer Nature Switzerland AG, 2021. P. 199–211. doi:10.1007/978-3-030-53521-6_23
3. The estimation of the Sevastopol bays ecological state on basic chemical and microbiological criteria / E. A. Tikhonova [et al.] // Ecology, Environment and Conservation. 2018. Vol. 24, iss. 4. P. 1574–1584. URL: http://www.envirobiotechjournals.com/article_abstract.php?aid=9185&iid=265&jid=3 (date of access: 28.07.2021).
4. The estimation of the Sevastopol bays ecological state on basic chemical and microbiological criteria / E. A. Tikhonova [et al.] // Ecology, Environment and Conservation Paper. 2018. Vol. 24, iss. 4. P. 1574–1584.
5. Углеводороды в почвах: происхождение, состав, поведение (обзор) / А. Н. Геннадиев [и др.] // Почвоведение. 2015. № 10. С. 1195–1209. doi:10.7868/S0032180X15100020
6. *Даувальтер В. А.* Геоэкология донных отложений озер. Мурманск : изд-во МГТУ, 2012. 242 с. URL: <https://iner.ksc.ru/documents/Даувальтер%20В.А.%20Геоэкология%20донных%20отложений%20озер.pdf> (дата обращения: 28.07.2021).
7. *Петренко А. А., Кораблина И. В., Каталевский Н. И.* Накопление и пространственное распределение тяжелых металлов и мышьяка в донных отложениях прибрежных районов Крымского полуострова в период 2016–2018 гг. // Труды АЗНИИРХ. Ростов-на-Дону : изд-во АЗНИИРХ, 2019. С. 162–168.

8. Методическое обеспечение мониторинга загрязнения водных объектов Азово-Черноморского бассейна / Т. О. Барабашин [и др.] // Водные биоресурсы и среда обитания. 2018. Т. 1, № 3–4. С. 9–27. https://doi.org/10.47921/2619-1024_2018_1_3-4_9
9. Рябцев Ю. Н., Цыганова М. В. Моделирование на основе сопряженных уравнений переноса загрязнений для задач комплексного экологического мониторинга // Морской гидрофизический журнал. 2020. Т. 36, № 2. С. 214–225. doi:10.22449/0233-7584-2020-2-214-225
10. Achten C., Hofmann T. Native polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) in coals – A hardly recognized source of environmental contamination // Science of the Total Environment. 2009. Vol. 407, iss. 8. P. 2461–2473. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2008.12.008>
11. Petroleum related hydrocarbons in deep and subsurface sediments from South Western Barents Sea / S. Boitsov [et al.] // Marine Environment Research. 2011. Vol. 71, № 5. P. 357–368. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2011.04.003>
12. Doherty V. F., Otitoloju A. A. Monitoring of soil and groundwater contamination following a pipeline explosion and petroleum product spillage in Ijegan, Lagos Nigeria // Environmental Monitoring and Assessment. 2013. Vol. 185, iss. 5. P. 4159–4170. doi:10.1007/s10661-012-2858-8
13. Preliminary assessment of soil contamination by hydrocarbon storage activities: Main site investigation selection / J. Pinedo [et al.] // Journal of Geochemical Exploration. 2014. Vol. 147. P. 283–290. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2014.03.016>
14. Aging effect of petroleum hydrocarbons in soil under different attenuation conditions / J. Tang [et al.] // Agriculture, Ecosystems and Environment. 2012. Vol. 149. P. 109–117. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.12.020>
15. Миронов О. Г., Миловидова Н. Ю., Кирюхина Л. Н. О предельно допустимых концентрациях нефтепродуктов в донных осадках прибрежной зоны Черного моря // Гидробиологический журнал. Т. 22, № 6. 1986. С. 76–78.
16. 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
17. 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, № 3. С. 147–155.
18. Мониторинг концентрации нефтяных углеводородов в прибрежных водах Крыма / О. В. Соловьева [и др.] // Вода: химия и экология. 2018. № 4–6. С. 19–24.
19. Химические и микробиологические показатели донных отложений Керченского пролива после аварии судна «Волгонепфть-139» / Е. А. Тихонова [и др.] // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2015. № 4. С. 12–16.
20. 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 // Progress in GeoMedia. Volume 3. Cham, Switzerland : Springer Nature Switzerland AG, 2021. P. 285–293. doi:10.1007/978-3-030-69040-3_27
21. Soloveva O., Tikhonova E., Burdiyan N. Catastrophe of a tanker and its traces in the ecosystem of the strait (on example of the accident in the Kerch strait) // 19th International Multidisciplinary Scientific Geoconference SGEM 2019: Conference Proceedings. 30 June – 6 July 2019, Albena, Bulgaria. Sofia, 2019. Vol. 19, book 5.2. P. 203–208. doi:10.5593/sgem2019/5.2/S20.026

22. *Лебедев С. А.* Оценка фонового загрязнения нефтепродуктами Черного и Каспийского морей с использованием данных дистанционного зондирования и модельных расчетов // Экологические проблемы современности : Материалы научно-практического семинара. Майкоп, 12–15 мая 2009 г. Майкоп : ИП Магарин О.Г., 2009. С. 25–44. URL: https://www.researchgate.net/publication/259839488_Ocenka_fonovogo_zagrazneni_a_nefteproduktami_Cernogo_i_Kaspijskogo_morej_s_iskpolzovaniem_dannyh_distancionnogo_zondirovaniya_i_modelnyh_rascetov (дата обращения: 15.08.2021).
23. *Дятлов С. Е., Подплетная Н. Ф., Запорожец С. А.* Изменчивость содержания нефтепродуктов в воде и донных отложениях Одесского региона северо-западной части Черного моря // Вісник Одеського національного університету. Географічні та геологічні науки. 2015. Т. 20, вип. 2. С. 159–169. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vonu_geo_2015_20_2_14 (дата обращения: 15.08.2021).
24. *Егоров В. Н.* Теория радиоизотопного и химического гомеостаза морских экосистем. Севастополь : ФИЦ ИнБЮМ, 2019. 356 с. doi:10.21072/978-5-6042938-5-0
25. Исследование изменчивости черноморского апвеллинга в период 2005–2009 гг. / Р. В. Боровская [и др.] // Современные проблемы экологии Азово-Черноморского региона : Материалы VI Международной конференции. 6 октября 2010 г., Керчь, ЮгНИРО. Керчь : Изд-во ЮгНИРО, 2010. С. 6–14. URL: <http://hdl.handle.net/1834/9488> (дата обращения: 15.08.2021).
26. *Soloveva O., Tikhonova E., Mironov O.* Total petroleum hydrocarbons in the coastal waters of Crimean peninsula // 20th International Multidisciplinary Scientific Geoconference SGEM 2020 : Conference Proceedings, 18–24 August 2020, Albena, Bulgaria. Sofia, 2020. Vol. 20, book 5.1. P. 857–862. (Ecology and Environmental Protection). doi:10.5593/sgem2020/5.1/s20.108
27. 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
28. *Миронов О. Г., Кирюхина Л. Н., Дивавин И. А.* Санитарно-биологические исследования в Чёрном море // СПб. : Гидрометеиздат, 1992. 115 с.
29. *Тихонова Е. А., Соловьёва О. В., Котельянец Е. А.* Оценка уровня загрязнения донных отложений крымского побережья Чёрного и Азовского морей // Принципы экологии. 2016. № 5. С. 56–70.
30. *Миронов О. Г.* Санитарно-биологическая характеристика Азовского моря // Гидробиологический журнал. 1996. Т. 32, № 1. С. 61–67.
31. *Лебедев С. А.* Модельные расчеты фоновых значений антропогенного загрязнения нефтепродуктами и ассимиляционной емкости Черного моря (с использованием данных дистанционного зондирования) // Инженерная экология. 2008. № 5. С. 41–51
32. Petroleum and PAH contamination of the Black Sea / J. W. Readman [et al.] // Marine Pollution Bulletin. 2002. Vol. 44, iss. 1. P. 48–62. [https://doi.org/10.1016/S0025-326X\(01\)00189-8](https://doi.org/10.1016/S0025-326X(01)00189-8)
33. *Пыхов Н. В.* Динамические процессы береговой зоны моря. М. : Научный мир, 2003. 312 с.
34. *Еремеев В. Н., Латун В. С., Совга Е. Е.* Влияние антропогенных загрязнителей и путей их переноса на экологическую обстановку в северо-западном районе Черного моря // Морской гидрофизический журнал. 2001. № 5. С. 41–55.

35. Жугайло С. С. Загрязнение нефтепродуктами северо-западного шельфа Черного моря в зоне добычи углеводородов // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. Севастополь : ЭКОСИ-Гидрофизика, 2008. Вып. 17. С. 282–289.
36. Lavrova O. Yu., Mityagina M. I. Satellite monitoring of oil slicks on the Black Sea surface // *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*. 2013. Vol. 49, iss. 9. P. 897–912. <https://doi.org/10.1134/S0001433813090107>
37. Заграничный К. А. К вопросу об источниках и объёмах поступления нефтяных компонентов в акваторию Чёрного моря // *Инженерный вестник Дона*. 2014. № 1. С. 80–92.
38. Многолетняя динамика нефтяного загрязнения среды обитания гидробионтов Азовского моря / Л. Ф. Павленко [и др.] // *Вопросы рыболовства*. 2018. Т. 19, № 4. С. 534–544.
39. Степаньян О. В. Воздействие разливов нефтепродуктов на прибрежно-водные и водные растения // *Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе*. 2019. № 2. С. 12–17. doi:10.33285/2411-7013-2019-2(287)-12-17
40. Немировская И. А. Нефть в океане (загрязнение и природные потоки). М. : Научный мир, 2013. 432 с.

Об авторе:

Тихонова Елена Андреевна, старший научный сотрудник, ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей им. А.О. Ковалевского РАН» (299011, Россия, Севастополь, пр. Нахимова, 2), кандидат биологических наук, **ORCID ID: 0000-0002-9137-087X**, **Scopus Author ID: 57208495804**, **ResearcherID: X-8524-2019**, tihonova@mail.ru

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

REFERENCES

1. Mironov, O.A. and Mironov, O.G., 2020. Current Level of Oil Hydrocarbons in Russian Coastal Waters of the Black Sea and Azov Sea. *South of Russia: Ecology, Development*, 15(3), pp. 77–85. <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2020-3-77-85> (in Russian).
2. Tikhonova, E.A., Kotelyanets, E.A. and Soloveva, O.V., 2021. Sea Bottom Sediments Pollution of the Crimean Coast (the Black and Azov Seas). In: T. Chaplina, ed., 2021. *Progress in GeoMedia*. Vol. 2. Cham, Switzerland: Springer Nature Switzerland AG, pp. 199–211. doi:10.1007/978-3-030-53521-6_23
3. Tikhonova, E.A., Burdiyan, N.V., Soloveva, O.V. and Doroshenko, Yu.V., 2018. The Estimation of the Sevastopol Bays Ecological State on Basic Chemical and Microbiological Criteria. *Ecology, Environment and Conservation*, 24(4), pp. 1574–1584. Available at: http://www.envirobiotechjournals.com/article_abstract.php?aid=9185&iid=265&jid=3 [accessed: 28.07.2021].
4. Tikhonova, E.A., Burdiyan, N.V., Soloveva, O.V. and Doroshenko, Yu.V., 2018. The Estimation of the Sevastopol Bays Ecological State on Basic Chemical and Microbiological Criteria. *Ecology, Environment and Conservation Paper*, 24(4), pp. 1574–1584.
5. Gennadiev, A.N., Pikovskii, Y.I., Tsibart, A.S. and Smirnova, M.A., 2015. Hydrocarbons in Soils: Origin, Composition, and Behavior (Review). *Eurasian Soil Science*, 48(10), pp. 1076–1089. doi:10.1134/S1064229315100026
6. Dauvalter, V.A., 2012. *Geoecology of Lake Sediments*. Murmansk: izd-vo MGTU, 242 p. (in Russian).

7. Petrenko, A.A., Korablina, I.V. and Katalevsky, N.I., 2019. Accumulation and Spatial Distribution of Heavy Metals and Arsenic in Bottom Sediments of Coastal Areas of the Crimean Peninsula in 2016–2018. In: V. N. Belousov, ed., 2019. *Proceedings of AzNIIRKH*, Vol. 2, pp. 162–168 (in Russian).
8. Barabashin, T.O., Korablina, I.V., Pavlenko, L.F., Skrypnik, G.V., and Korotkova, L.I., 2018. Methodological Support of Pollution Monitoring of the Azov and Black Seas Water Bodies. *Aquatic Bioresources and Environment*, 1(3–4), pp. 9–27. https://doi.org/10.47921/2619-1024_2018_1_3-4_9 (in Russian).
9. Ryabtsev, Yu.N. and Tsyganova, M.V., 2020. Modeling of Pollution Transport for the Integrated Environmental Monitoring Based on the Adjoint Equations. *Physical Oceanography*, 27(2), pp. 197–209. doi:10.22449/1573-160X-2020-2-197-209
10. Achten, C. and Hofmann, T., 2009. Native Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAH) in Coals – A Hardly Recognized Source of Environmental Contamination. *Science of the Total Environment*, 407(8), pp. 2461–2473. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2008.12.008>
11. Boitsov, S., Petrova, V., Jensen, H.K.B., Kursheva, A., Litvinenko, I., Chen, Y. and Klungsoyr, J., 2011. Petroleum Related Hydrocarbons in Deep and Subsurface Sediments from South Western Barents Sea. *Marine Environment Research*, 71(5), pp. 357–368. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2011.04.003>
12. Doherty, V.F. and Otitoloju, A.A., 2013. Monitoring of Soil and Groundwater Contamination following a Pipeline Explosion and Petroleum Product Spillage in Ijegan, Lagos Nigeria. *Environmental Monitoring and Assessment*, 185(5), pp. 4159–4170. doi:10.1007/s10661-012-2858-8
13. Pinedo, J., Ibáñez, R., Primo, Ó., Gómez, P. and Irabien, Á., 2014. Preliminary Assessment of Soil Contamination by Hydrocarbon Storage Activities: Main Site Investigation Selection. *Journal of Geochemical Exploration*, 147, pp. 283–290. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2014.03.016>
14. Tang, J., Lu, X., Sun, Q. and Zhu, W., 2012. Aging Effect of Petroleum Hydrocarbons in Soil under Different Attenuation Conditions. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 149, pp. 109–117. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.12.020>
15. Mironov, O.G., Milovidova, N.Yu. and Kiryukhina, L.N., 1986. On Maximum Permissible Concentrations of Petroleum Products in Bottom Sediments of the Black Sea Littoral. *Gidrobiologicheskii Zhurnal* [Hydrobiological Journal], 22(6), pp. 76–78 (in Russian).
16. 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
17. 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).
18. Soloveva, O.V., Tikhonova, E.A., Mironov, O.A. and Zakharchenko, D.A., 2018. Monitoring of Oil Hydrocarbons Concentrations in the Coastal Waters of the Crimea. *Water: Chemistry and Ecology*, (4–6), pp. 19–24 (in Russian).
19. Tikhonova, E.A., Burdiyan, N.V., Soloveva, O.V. and Doroshenko, J.V., 2015. Chemical and Microbiological Parameters of the Kerch Strait Sea Bottom Sediments after the Accident of “Volgoneft-139” Ship. *Environmental Protection in Oil and Gas Complex*, (4), pp. 12–16 (in Russian).

20. Tikhonova, E.A., Soloveva, O.V. and Burdiyan, N.V., 2021. 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. In: T. Chaplina, ed., 2021. *Processes in GeoMedia. Volume III*. Springer Geology. Cham, Switzerland: Springer Nature Switzerland AG, pp. 285–293. https://doi.org/10.1007/978-3-030-69040-3_27
21. Soloveva, O., Tikhonova, E. and Burdiyan, N., 2019. Catastrophe of a Tanker and its Traces in the Ecosystem of the Strait (on Example of the Accident in the Kerch Strait). In: BAS, 2019. *19th International Multidisciplinary Scientific Geoconference SGEM 2019: Conference Proceedings. 30 June – 6 July 2019, Albena, Bulgaria*. Sofia. Vol. 19, book 5.2, pp. 203–208. doi:10.5593/sgem2019/5.2/S20.026
22. Lebedev, S.A., 2009. [Assessment of Background Pollution of the Black and Caspian Seas with Petroleum Products using Remote Sensing Data and Model Calculations]. In: MSTU, 2009. *Ecological Problems of the Present Day: Proceedings of the International Scientific Seminar. Maykop, 12–15 May 2009*. Maykop: IP Magarin O.G., pp. 25–44 (in Russian).
23. Dyatlov, S.Ye., Podplyotnaya, N.F. and Zaporozhets, S.O., 2015. Variability of Oil Contents in Water and Bottom Sediments of Odessa Region of Northwestern Part of the Black Sea. *Odesa National University Herald. Geography and Geology*, 20(2), pp. 159–169 (in Russian).
24. Egorov, V.N., 2019. *Theory of Radioisotope and Chemical Homeostasis of Marine Ecosystems*. Sevastopol: IBSS, 356 p. doi:10.21072/978-5-6042938-5-0 (in Russian).
25. Borovskaya, R.V., Klapan, S.N., Leksikova, L.A. and Adzhiumerov, S.N., 2010. [Study of Black Sea Upwelling Variability in 2005–2009]. In: O. A. Petrenko, ed., 2010. *Current Problems of the Azov-Black Sea Region Ecology: Materials of VI International Conference. 6 October 2010, Kerch, YugNIRO*. Kerch: YugNIRO Publishers', 2010, pp. 6–14 (in Russian).
26. Soloveva, O., Tikhonova, E. and Mironov, O., 2020. Total Petroleum Hydrocarbons in the Coastal Waters of Crimean Peninsula. In: BAS, 2020. *20th International Multidisciplinary Scientific Geoconference SGEM 2020: Conference Proceedings. 18–24 August 2019, Albena, Bulgaria*. Sofia. Vol. 20, book 5.1, pp. 857–862. doi:10.5593/sgem2020/5.1/s20.108
27. 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).
28. Mironov, O.G., Kiryukhina, L.N. and Divavin, I.A., 1992. [*Sanitary and Biological Studies in the Black Sea*]. Saint-Petersburg: Girdometeoizdat, 115 p. (in Russian).
29. Tikhonova, E.A., Kotelyanets, E.A. and Soloveva, O.V., 2016. Evaluation of the Contamination Level of Sea Bottom Sediments on the Crimean Coast of the Black and Azov Seas. *Principles of the Ecology*, (5), pp. 56–70 (in Russian).
30. Mironov, O.G., 1996. Sanitary-Biological Characteristic of the Azov Sea. *Gidrobiologicheskii Zhurnal* [Hydrobiological Journal], 32(1), pp. 61–67 (in Russian).
31. Lebedev, S.A., 2008. [Model Calculations of Background Values of Anthropogenic Pollution with Petroleum Products and Assimilation Capacity of the Black Sea (using Remote Sensing Data)]. *Engineering Ecology*, (5), pp. 41–51 (in Russian).
32. Readman, J.W., Fillman, G., Tolosa, I., Bartocci, J., Villeneuve, J.-P., Catinni, C. and Mee, L.D., 2002. Petroleum and PAH Contamination of the Black Sea. *Marine Pollution Bulletin*, 44(1), pp. 48–62. [https://doi.org/10.1016/S0025-326X\(01\)00189-8](https://doi.org/10.1016/S0025-326X(01)00189-8)

33. Pykhov, N.V., 2003. [*Dynamic Processes of the Coastal Area of Sea*]. Nauchny Mir, 2003, 312 p. (in Russian).
34. Eremeev, V.N., Latun, V.S. and Sovga, E.E., 2001. Influence of Anthropogenic Pollutants and Ways of their Transport upon the Ecological Situation in the Northwestern Region of the Black Sea. *Morskoy Gidrofizicheskiy Zhurnal*, (5), pp. 41–55 (in Russian).
35. Zhugailo, S.S., 2008. Oil Products Pollution of North-Western Shelf of Black Sea in Hydrocarbons Extraction Area. In: MHI, 2008. *Ekologicheskaya Bezopasnost' Pri-brezhnykh i Shel'fovykh Zon i Kompleksnoe Ispol'zovanie Resursov Shel'fa* [Ecological Safety of Coastal and Shelf Zones and Comprehensive Use of Shelf Resources]. Sevastopol: ECOSI-Gidrofizika. Iss. 17, pp. 282–289 (in Russian).
36. Lavrova, O.Yu. and Mityagina, M.I., 2013. Satellite Monitoring of Oil Slicks on the Black Sea Surface. *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*, 49(9), pp. 897–912. <https://doi.org/10.1134/S0001433813090107>
37. Zagranichny, K.A., 2014. To the Question of Sources and Volumes of Oil Components, Input into Black Sea. *Engineering Journal of Don*, (1), pp. 80–92 (in Russian).
38. Pavlenko, L.F., Skrypnik, G.V., Klimenko, T.L., Anokhina, N.S., Ekylic, V.S., Sevostyanova, M.V. and Barabashin, T.O., 2018. Long-Term Dynamics of Oil Pollution of Hydrobionts Environment in the Azov Sea. *Problems of Fisheries*, 19(4), pp. 534–544 (in Russian).
39. Stepanyan, O.V., 2019. Impact of Oil Spills on Coastal Waters and Aquatic Plants. *Environmental Protection in Oil and Gas Complex*, (2), pp. 12–17. doi:10.33285/2411-7013-2019-2(287)-12-17 (in Russian).
40. Nemirovskaya, I.A., 2013. *Oil in the Ocean (Pollution and Natural Flow)*. Moscow: Nauchny Mir, 432 p. (in Russian).

About the author:

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**, tihonoval@mail.ru

The author has read and approved the final manuscript.