

УДК 504.4.054(262.54)  
DOI: 10.7868/S25000640260105

## КОЛИЧЕСТВЕННЫЙ И КАЧЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ УГЛЕВОДОРОДОВ В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ЦЕНТРАЛЬНОЙ И ВОСТОЧНОЙ ЧАСТЕЙ АЗОВСКОГО МОРЯ В НОЯБРЕ 2024 г.

© 2026 г. О.В. Соловьёва<sup>1</sup>, Е.А. Тихонова<sup>1</sup>, О.А. Миронов<sup>1</sup>,  
О.В. Степаньян<sup>2</sup>, С.В. Алёмов<sup>1</sup>

**Аннотация.** Азовское море, недавно ставшее внутренним морем России, имеет ряд специфических особенностей, делающих его уникальным: малые глубины, огромный относительно размера моря водосборный бассейн, существенный объем стока рек, ежегодно замещающий значительную часть объема этого водоема. При этом Азовское море является одним из наиболее загрязненных в результате антропогенной деятельности, в частности углеводородами нефти. Статья посвящена вопросу изучения количественного и качественного состава углеводородов в донных отложениях центральной и восточной частей Азовского моря. Донные отложения являются наиболее информативным объектом мониторинга нефтяного загрязнения, поскольку они являются конечным «депо», в котором аккумулируются загрязнения из водной толщи. Пробы донных отложений были отобраны ноябре 2024 г. Были получены данные об углеводородном загрязнении донных отложений с применением методов газовой хроматографии, а также различных молекулярно-диагностических индексов, позволяющих сделать предположение о природе обнаруженных углеводородов. Был применен статистический анализ для кластеризации станций отбора проб по исследуемым параметрам. Сделан вывод о стабильной экологической обстановке центральной и восточной частей Азовского моря в отношении веществ углеводородной природы. В донных отложениях ввиду активного развития микробного сообщества происходит активная трансформация n-алканов нефтяного и автохтонного происхождения. Полученные результаты можно рассматривать как фоновые при изучении последствий аварии танкеров класса «Волгоневфть» вблизи Керченского пролива в декабре 2024 г.

**Ключевые слова:** Азовское море, углеводороды, донные отложения, газовая хроматография.

### QUANTITATIVE AND QUALITATIVE COMPOSITION OF HYDROCARBONS IN BOTTOM SEDIMENTS OF THE CENTRAL AND EASTERN PARTS OF THE SEA OF AZOV IN NOVEMBER 2024

O.V. Soloveva<sup>1</sup>, E.A. Tikhonova<sup>1</sup>, O.A. Mironov<sup>1</sup>, O.V. Stepanyan<sup>2</sup>, S.V. Alyomov<sup>1</sup>

**Abstract.** Located in the south of the European part of Russia and recently designated an inland sea, the Sea of Azov possesses a number of unique characteristics: shallow depths, a vast drainage basin relative to its size, and significant river runoff, annually replacing a significant portion of the sea's volume. Furthermore, the Sea of Azov is one of the most heavily polluted by human activity, particularly petroleum hydrocarbons. This article examines the quantitative and qualitative composition of hydrocarbons in bottom sediments of the central and eastern parts of the Sea of Azov. Bottom sediments are the most informative

<sup>1</sup> Федеральное исследовательское учреждение Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского Российской академии наук (Federal Research Centre A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of the Russian Academy of Sciences, Sevastopol, Russian Federation), Российская Федерация, 299011, г. Севастополь, пр. Нахимова, 2, e-mail: mironov\_oa@ibss-ras.ru

<sup>2</sup> Федеральное исследовательское учреждение Южный научный центр Российской академии наук (Federal Research Centre the Southern Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences, Rostov-on-Don, Russian Federation), Российская Федерация, 344006, г. Ростов-на-Дону, пр. Чехова, 41

source of oil pollution monitoring, as they act as the final “depot” for contaminants accumulated in the water column. Bottom sediment samples were collected in November 2024. New, up-to-date data on hydrocarbon contamination of bottom sediments were obtained using gas chromatography methods, as well as various molecular diagnostic indices, allowing for a hypothesis on the nature of the detected hydrocarbons. Statistical analysis was also used to cluster sampling stations based on the parameters studied. A conclusion was reached regarding the stable environmental conditions in the eastern and central parts of the Sea of Azov with respect to hydrocarbon substances. It was established that due to the active development of the microbial community, active transformation of n-alkanes of petroleum and autochthonous origin occurs in the bottom sediments. These results can be considered as background data for studying the consequences of the Volgoneft tanker accident near the Kerch Strait in December 2024.

**Keywords:** Sea of Azov, hydrocarbons, suspended matter, bottom sediments.

## ВВЕДЕНИЕ

Азовское море расположено на юге европейской части России. Оно соединяется с Черным морем узким (до 4 км) и мелким (3–4 м) Керченским проливом. Азовское море – самое мелководное и одно из самых маленьких морей мира. Его площадь составляет 39 тыс. км<sup>2</sup>, объем воды – 290 км<sup>3</sup>, наибольшая глубина – 15 м, средняя глубина – 7 м, а глубины в Таганрогском заливе – от 2 до 9 м [1].

Практически весь речной сток в море поступает из Дона и Кубани. Значительная часть их стока приходится на весеннее и летнее время. Основной водообмен Азовского моря с Черным происходит через Керченский пролив. Сезонные изменения уровня моря зависят от режима речного стока. Межгодовые колебания уровня составляют примерно несколько сантиметров и характеризуются повышением в весенний и летний период и понижением в осенний и зимний [2].

Зарегулирование двух крупнейших рек бассейна Азовского моря – Дона и Кубани – снизило ежегодный приток пресной воды на 15 км<sup>3</sup> и привело к редким паводкам в весенний период, теперь они происходят один раз в 5–7 лет. На фоне повышения спроса на пресную воду для хозяйственных целей в последние годы произошло существенное сокращение речного стока в Азовское море, в результате чего увеличилось поступление вод из Черного моря [3].

Степень загрязнения Азовского моря значительно превышает этот показатель у всех других морских водоемов страны. Несмотря на длительный спад производства в России и на Украине, отмечавшийся в период 1990–2000 гг. и приведший, по мнению ученых [4], к снижению поступления в водоем загрязняющих веществ и некоторому его самоочищению, современное состояние Азовского моря продолжает оставаться неблагоприятным в экологическом отношении. Это обусловлено глав-

ным образом огромной для столь малого водоема площадью водосбора в 570 тыс. км<sup>2</sup>, в 15 раз превосходящей площадь моря, и большим объемом водного стока, составляющим ежегодно 10–12 % от объема моря [1]. Поэтому экосистема Азовского моря намного быстрее и интенсивнее, чем экосистемы других морей, реагирует на изменения экологической ситуации на площади водосбора и колебания антропогенной нагрузки на водные объекты бассейна.

Среди многочисленных вредных веществ антропогенного происхождения, попадающих в Азовское море, нефть и нефтепродукты относятся к наиболее массовым загрязнителям. Их источниками являются речной сток, сточные воды предприятий, расположенных на прибрежных территориях, сбросы буровых растворов и шламмов при бурении нефтегазовых скважин, дампинг загрязненных донных отложений портовых акваторий, атмосферные осадки и золотые выпадения. В конечном итоге загрязняющие вещества аккумулируются в донных отложениях, что делает их наиболее информативным объектом мониторинга.

Необходимо отметить грязевые вулканы, расположенные в Темрюкском заливе, которые при функционировании неоднократно являлись причиной локального загрязнения моря нефтепродуктами. Например, в октябре 2015 г. произошло извержение вулкана Голубицкий, в результате чего образовался остров из грязевулканического материала. Содержание нефтепродуктов в изверженном материале достигало 2 г/кг [5].

Наибольший вклад в нефтяное загрязнение Азовского моря вносит судоходство, интенсивность которого увеличивается наряду с грузооборотом из года в год. Объем перевалки грузов в портах Азово-Черноморского бассейна в 2023 г. составил, по открытым данным Росморпорта, 293,4 млн т. По литературным данным, наиболее существен-

ным источником нефтяного загрязнения водных объектов являются эксплуатационные сбросы с судов, которые могут составлять до 40 % от общего поступления нефтепродуктов. Значительное поступление углеводородов в море происходит при аварийных разливах нефти и нелегальных сбросах льяльных вод с судов [6].

С начала 2000-х гг. в акватории Азовского моря интенсифицировались работы по поиску и разведке углеводородного сырья. Перспективные запасы углеводородов под акваторией восточной половины Азовского моря оцениваются более чем в 1,5 млрд т на 1 км<sup>2</sup> [7]. Количество углеводородов, поступающих в Азовское море с речным стоком, оценивается в 2,8–3,5 тыс. т/год [6]. Значительные их объемы попадают в море со сбросом загрязненных грунтов портовых акваторий при проведении дноуглубительных работ.

Загрязнение Азовского моря веществами углеводородной природы является одним из наиболее значительных, что обуславливает актуальность настоящей работы.

В литературе при описании пространственного распределения загрязняющих веществ по акватории Азовского моря используется традиционное районирование по Н.М. Книповичу, разделяющее акваторию моря на 13 районов [8]. В нашем исследовании сетка станций охватывала 7 из 13 районов, что дает возможность оценки общего экологиче-

ского состояния Азовского моря в отношении загрязнений углеводородной природы.

Цель настоящей работы – определение качественного и количественного состава важнейших загрязнителей Азовского моря (углеводородов) в донных отложениях и оценка вероятных источников их поступления в морскую среду.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Отбор донных отложений осуществляли с помощью дночерпателя ван Виина с площадью захвата 0,012 м<sup>2</sup> в ходе рейса научно-исследовательского судна «Денеб» 06–15.11.2024 г. (рис. 1).

Лабораторная обработка проб. Отбор проб для определения содержания углеводородов, н-алканов в донных отложениях проводили в соответствии с ГОСТ 17.1.5.01-80 [9]. Для анализа брали поверхностные 2 см грунтов. Пробы упаковывали в специальные контейнеры, маркировали и хранили в холодильной камере при температуре не выше 4 °С не более двух недель. Подготовленные воздушно-сухие пробы донных отложений (высушивали при нормальных условиях, удаляли крупные раковины моллюсков и обрывки водорослей) растирали и просеивали через сита с диаметром ячеек 0,25 мм.

Содержание углеводородов и н-алканов в донных отложениях определяли по методике, описанной в работе [10]. Навеску (5–7 г) экстрагировали 150 мл н-гексана в аппарате Сокслета в течение 1 часа. Экстракт отстаивали в течение 10 минут и переливали через воронку с бумажным фильтром в чистую коническую колбу. Полученный экстракт пропускали через стеклянную колонку (15 × 1 см), заполненную оксидом алюминия, для разделения полярных соединений и концентрировали с помощью роторного испарителя до объема 1 см<sup>3</sup>. Аликвоту концентрированного экстракта (1 мкл) вводили микрошприцем в испаритель (нагретый до 250 °С) газового хроматографа «Кристалл 5000.2» с пламенно-ионизационным детектором. Разделение углеводородов проводили на капиллярной колонке TR-1MS 30 × 0,32 мм с неподвижной фазой, толщина пленки 0,25 мкм (SGE Analytical Science). Температура колонки была запрограммирована от 70 до 280 °С (скорость повышения температуры 8 °С/мин). Расход газа-носителя (азота) в колонке составлял 2,5 мл/мин без деления потока. Температура детектора составляла 320 °С. Нормальные алканы идентифицировали, сопоставляя время удерживания, наблюдаемое для образцов, со временем

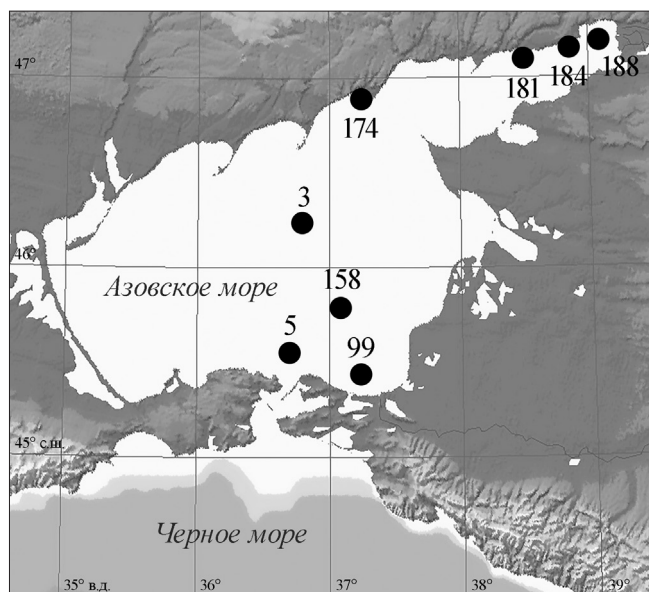


Рис. 1. Станции отбора проб донных отложений в центральной и восточной частях Азовского моря, ноябрь 2024 г.

Fig. 1. Stations of sampling of bottom sediments in the central and eastern parts of the Sea of Azov, November 2024.

удерживания, наблюдаемым для стандартного раствора *n*-алканов. Определение общего содержания углеводородов проводили путем калибровки пламенно-ионизационного детектора по смеси внешних стандартов углеводородов ( $C_8-C_{40}$ ) и пристана с фитаном в гексане. Для обработки результатов использовали программу Chromates Analyst 3.0, метод абсолютной калибровки и процентной нормализации. Определение углеводородов проводили на базе научно-образовательного центра коллективного пользования «Спектрометрия и хроматография» Федерального исследовательского центра Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского Российской академии наук (Севастополь, Россия).

Статистический анализ. Корреляционный анализ проводили по критерию Пирсона ( $r, p < 0,05$ ). Группировку станций отбора проб в зависимости от содержания углеводородов и состава алканов на них производили с помощью древовидной кластеризации, используя как меру евклидово расстояние. Для статистической обработки данных применяли программный пакет Statistica 12.

Определение генезиса углеводородов производили на основании характера хроматограмм, распределения *n*-алканов, а также биогеохимических маркеров. Индексы, применяемые для определения генезиса соединений: LWN/HWN, TAR,  $K_1$ , Pr/Ph и  $CP_{1,2}$ , – и отдельные характерные пики описаны в работе [11].

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Донные отложения повсеместно были представлены илами. Содержание углеводородов в них колебалось от 17,8 до 62,2 мг/кг (рис. 2).

Уровень, характерный для условно чистых илов (50 мг/кг [12]), незначительно превышен на станции 3 (62,2 мг/кг), расположенной на так называемой Железинской банке в пределах так называемой Аккумулятивной равнины Панова.

Величины содержания углеводородов в Таганрогском заливе в ноябре 2024 г. были близки к показателям в 2022 г., которые варьировали от 15 до 80 мг/кг [13]. Концентрация в донных отложениях Таганрогского залива соответствовала значениям на большинстве станций отбора проб в заливе Фос (Средиземное море, Франция), где значения составляли 10,2–76,0 мг/кг [14]. В других районах Азовского моря также получены сходные величины. В 2020 г. концентрации углеводородов в донных отложениях Азовского моря не превышали 23,6 мг/кг,

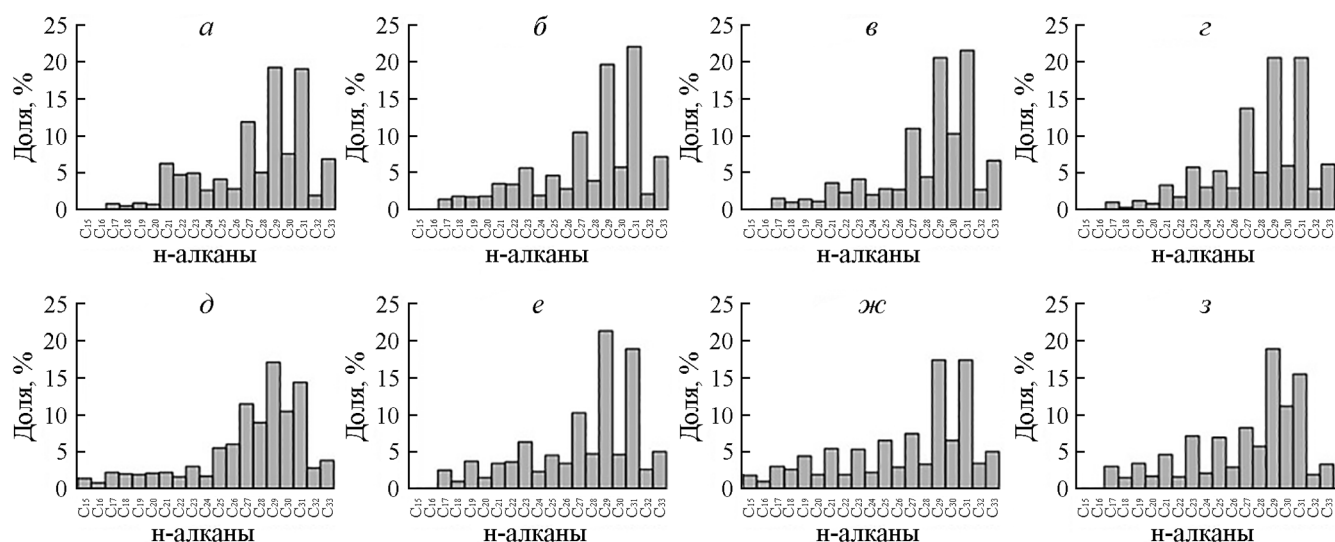


Рис. 2. Концентрация углеводородов в донных отложениях центральной и восточной частей Азовского моря, ноябрь 2024 г.

Fig. 2. Concentration of hydrocarbons in bottom sediments of the central and eastern parts of the Sea of Azov, November 2024.

за исключением акватории, прилегающей к Керченскому проливу, где было отмечено 51,1 мг/кг [15]. По сравнению с расположенным рядом Черным морем содержание углеводородов в донных осадках Азовского моря несколько ниже или соизмеримо. Например, в черноморской акватории, прилегающей к Керченскому проливу с юга, концентрация углеводородов в донных осадках не превышала 15,4 мг/кг, а в прибрежной акватории Севастополя достигала 127,8 мг/кг [15]. Значения, превышающие черноморские показатели, отмечены только для акватории, находящейся севернее Керченского пролива. Для сравнения: в других акваториях, где происходит транспортировка и перевалка нефтепродуктов, например в Аденском заливе в Йемене, концентрация углеводородов в донных отложениях была выше 9 мг/кг, в акватории острова Аль-Омаль, на побережье которого находится нефтеперерабатывающий завод, достигала 45 мг/кг [16]. Таким образом, подобные величины могут быть характерными для антропогенно нагруженных акваторий, на состояние которых влияют функционирование нефтеперерабатывающих предприятий, транспортировка и перегрузка нефтесодержащих грузов.

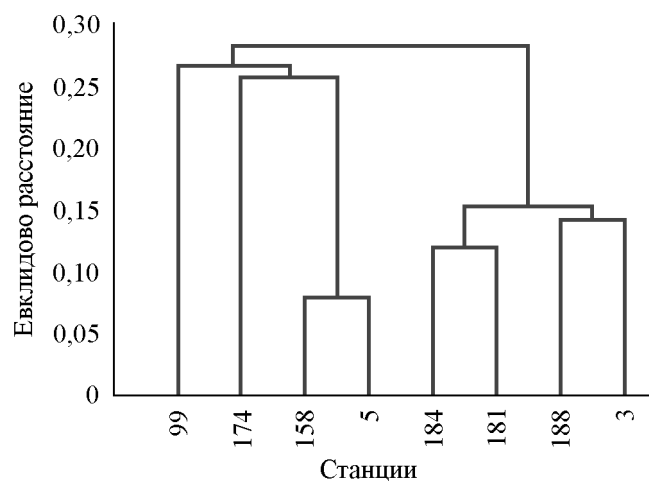
Доля *n*-алканов в углеводородах колебалась незначительно, в среднем составляя 44 % (от 36 до 51 %). В составе *n*-алканов повсеместно были представлены  $C_{17}-C_{33}$  (рис. 3). Отсутствие в пробах низкомолекулярных *n*-алканов может быть связано с их быстрой биотрансформацией, в результате чего содержание данных соединений становится ниже предела определения используемым методом. Отсутствие или низкое содержание низкомолекулярных гомологов также упоминается в литературе [17; 18], что объясняется их активной микробальной деструкцией и испарением. Испарение данных



**Рис. 3.** Распределение н-алканов в донных отложениях центральной и восточной частей Азовского моря, ноябрь 2024 г.  
**Fig. 3.** Distribution of n-alkanes in bottom sediments of the central and eastern parts of the Sea of Azov, November 2024.

гомологов может происходить как в окружающей среде, так и в процессе пробоподготовки. Накопление тяжелых фракций характерно для хронического нефтяного загрязнения [19]. Тот факт, что содержание указанных соединений было ниже предела определения, может свидетельствовать об отсутствии существенного нефтяного загрязнения донных отложений.

На станциях 174 и 184 были идентифицированы и более легкие гомологи –  $C_{15}$ ,  $C_{16}$ . Распределение н-алканов было однотипным по всей акватории и характеризовалось одномодальностью.



**Рис. 4.** Дендрограмма кластеризации станций (на основании состава н-алканов и содержания углеводородов в донных отложениях) в Азовском море, ноябрь 2024 г.  
**Fig. 4.** Clustering dendrogram of stations (based on the composition of n-alkanes and the content of hydrocarbons in bottom sediments) in the Sea of Azov, November 2024.

Существенно доминировали аллохтонные н-алканы  $C_{27}$ ,  $C_{29}$ ,  $C_{31}$ . Такого рода распределение характерно для преобладающего вклада аллохтонных источников в формирование органического вещества донных отложений. Подобное распределение н-алканов в донных отложениях Азовского моря отмечалось и ранее [4].

Таким образом, при захоронении взвешенного вещества его состав существенно изменялся: автохтонные и бактериальные соединения принимали подчиненное значение, накапливаются в донных отложениях преимущественно аллохтонные высокомолекулярные н-алканы.

Станции в соответствии с содержанием и составом углеводородов образовывали две группы (рис. 4). В одну группу вошли станции, находящиеся в районе предпроливья и в центральной части моря, станция 158 вблизи границы Центрального и Кубано-Темрюкского районов Азовского моря и станции в Северо-Восточном и Кубано-Темрюкском районах. Данные станции расположены вдоль генерального течения Азовского моря. Вторая группа находится в акватории Таганрогского залива и Центрального района в пределах аккумулятивной равнины Панова. Данная группировка станций является закономерной и, вероятно, отражает перемещение загрязняющих веществ, поступающих со стоками р. Дон в Таганрогский залив и аккумулирующихся в центральной части моря (станция 3).

Маркер терригенности TAR (табл. 1) имел очень высокие значения (6,9–116,5), что соответствует сильному преобладанию терригенных соединений

**Таблица 1.** Отдельные маркеры генезиса углеводородов в донных отложениях центральной и восточной частей Азовского моря осенью 2024 г.**Table 1.** Selected markers of hydrocarbon genesis in bottom sediments of the central and eastern parts of the Sea of Azov in autumn 2024

Маркер Marker	Станция Station							
	3	5	99	158	174	181	184	188
TAR	71,0	18,5	33,0	116,5	10,0	34,4	6,9	21,7
LWH/HWH	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,3	0,2
$C_{17} + C_{19} + C_{21} / \sum_{n\text{-алканов}}$ $C_{17} + C_{19} + C_{21} / \sum_{n\text{-alkanes}}$	0,01	0,04	0,02	0,02	0,05	0,05	0,09	0,05
$CPI_2$	3,0	3,8	2,9	3,5	1,8	3,4	3,1	2,4
Pr/Ph	0,2	0,2	0,5	–	0,5	0,2	0,5	0,2
Ki	0,4	0,6	0,4	–	0,5	0,2	0,5	0,4

в составе углеводородов донных отложений. Доля автохтонных n-алканов в донных отложениях была на порядок ниже, чем аллохтонных.

Маркер  $CPI_2$  имел значения в диапазоне 1,8–3,8, что соответствует наличию биогенных терригенных алканов [20]. При этом коэффициент изопреноидности был в пределах 0,2–0,6, что соответствует накоплению в донных отложениях свежей и слабо деградированной нефти, n-алканы которой, вероятно, ввиду активной микробиоты в водной толще были деградированы. Подобная быстрая элиминация n-алканов нефтяного генезиса была и ранее зафиксирована в водах Керченского пролива, соединяющего Азовское и Черное моря [21].

В любом случае ввиду содержания в донных отложениях углеводородов не более 62,2 мг/кг и их состава с преобладанием n-алканов наземной растительности можно сделать заключение об отсутствии хронического нефтяного загрязнения исследованной акватории. Вероятно, что нефть и нефтепродукты, попадающие в воды Азовского моря, успешно утилизируются экосистемой, не вызывая хронического загрязнения донных отложений акватории.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В илистых донных отложениях Азовского моря не отмечено существенное концентрирование угле-

водородов. Незначительное превышение уровня, характерного для условно чистых илов (50 мг/кг), зафиксировано только в пределах Аккумулятивной равнины Панова.

Судя по характеру хроматограмм и значениям маркеров генезиса углеводородов, в донных отложениях исследованного района накапливаются преимущественно аллохтонные гомологи. При этом наличие деградированного нефтяного загрязнения подтверждается преобладанием фитана над пристаном и значениями коэффициента изопреноидности.

Станции отбора проб в соответствии с составом углеводородов в донных отложениях образовали две группы: 1) расположенные вдоль генерального течения Азовского моря; 2) расположенные в акватории Таганрогского залива и Центрального района в пределах Аккумулятивной равнины Панова. Такая группировка станций, вероятно, отражает перемещение загрязняющих веществ, поступающих со стоками р. Дон в Таганрогский залив и аккумулирующихся в центральной части моря.

Публикация подготовлена при финансовой поддержке Минобрнауки России (соглашение № 075-15-2024-528 от 24.04.2024 г. на реализацию КНП по приоритетным направлениям научно-технологического развития).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Том V. Азовское море.* 1991. СПб., Гидрометеоздат: 237 с.
2. Гаргопа Ю.М. 2000. Крупномасштабные изменения гидрометеорологических условий формирования биоресурсов Азовского моря. В кн.: *Основные проблемы рыбного*

*хозяйства и охраны рыбохозяйственных водоемов Азово-Черноморского бассейна. Сборник научных трудов (1998–1999 гг.).* Ростов н/Д, изд-во АЗНИИРХ: 20–27.

3. Болгов М.В., Беляев А.И., Пугачева А.М., Власенко М.В., Шульгин М.В. 2020. Азово-донская водная проблема. *Водные ресурсы.* 47(6): 755–766. doi: 10.31857/S0321059620060036

4. Павленко Л.Ф., Скрыпник Г.В., Клименко Т.Л., Анохина Н.С., Экилик В.С., Севостьянова М.В., Барабашин Т.О. 2018. Многолетняя динамика нефтяного загрязнения среды обитания гидробионтов Азовского моря. *Вопросы рыболовства*. 19(4): 534–544.
5. Павленко Л.Ф., Корпакова И.Г., Елецкий Б.Д., Скрыпник Г.В., Курилов П.И., Вотинова Т.В., Анохина Н.С., Кораблина И.В. 2017. Нефтяные компоненты и тяжелые металлы в выбросах грязевого вулкана «Голубицкий». *Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе*. 6: 29–34.
6. Кленкин А.А., Павленко Л.Ф., Скрыпник Г.В., Корпакова И.Г. 2007. Характеристика нефтяного загрязнения Азовского моря и закономерности его динамики. *Водные ресурсы*. 34(6): 731–736.
7. Зубков М.М., Глумов А.И., Евсюкова И.И. 2006. Состояние минерально-сырьевой базы и прогноз нефтедобычи в Краснодарском крае. В кн.: *Нефть и газ юга России, Черного, Азовского и Каспийского морей*. Геленджик, Южморгеология: 53–57.
8. Вишневецкий В.Ю., Попружный В.М. 2010. Оценка содержания меди в воде и донных отложениях Азовского моря. *Известия ЮФУ. Технические науки*. 9(110): 117–122.
9. ГОСТ 17.1.5.01-80. Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к отбору проб донных отложений водных объектов для анализа на загрязненность (с Изменением N 1, утвержденным в марте 1981 г. (ИУС 6-81)). *Кодекс*. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200012787> (дата обращения: 28.01.2026).
10. *ФР.1.31.2005.01512. Методика выполнения измерений массовой доли нефтепродуктов в пробах почв и донных отложений пресных и морских водных объектов*. 2004. Ростов н/Д, изд-во АЗНИИРХ: 13 с.
11. Soloveva O.V., Tikhonova E. A., Gurov K.I. 2024. Distribution and composition of hydrocarbons in the bottom sediments of Kamyshovaya Bay (Black Sea). *Physical Oceanography*. 31(5): 626–646.
12. *Dutch target and intervention values*. 2000. Available at: [https://support.esdat.net/Environmental%20Standards/dutch/annexs\\_i2000dutch%20environmental%20standards.pdf](https://support.esdat.net/Environmental%20Standards/dutch/annexs_i2000dutch%20environmental%20standards.pdf) (дата обращения: 29.10.2025).
13. Федоров Ю.А., Кузнецов А.Н., Дмитрик Л.Ю., Кузнецова Е.В. 2022. Уровни содержания и распределение нефтепродуктов в компонентах элементарных ландшафтов по мегапрофилю «Восточный Донбасс – побережье Таганрогского залива Азовского моря». *Инженерный вестник Дона*. 10(94): 448–468.
14. Mille G., Asia L., Guiliano M., Malleret L., Doumenq P. 2007. Hydrocarbons in coastal sediments from the Mediterranean Sea (Gulf of Fos area, France). *Marine Pollution Bulletin*. 54(5): 566–575. doi: 10.1016/j.marpolbul.2006.12.009
15. Soloveva O., Tikhonova E., Alyomov S., Mirzoeva N., Skuratovskaya E., Matishov G., Egorov V. 2024. Distribution and genesis of aliphatic hydrocarbons in bottom sediments of coastal water areas of the Crimea (the Black and Azov seas). *Water*. 16(17): 2395. doi: 10.3390/w16172395
16. Al-Shwafi N. 2007. Concentration of petroleum hydrocarbons in sea-water and coastal sediment around Aden City – Yemen. *Al-Azhar Bulletin of Science*. 18(1): 37–51.
17. Al-Hejuje M.M., Hussain N.A., Al-saad H.T. 2015. Total petroleum hydrocarbons (TPHs), n-alkanes and polynuclear aromatic hydrocarbons (PAHs) in water of Shatt Al-Arab River – part 1. *Global Journal of Biology, Agriculture and Health Sciences*. 4(1): 88–94.
18. Yang J., Lei G., Liu C., Wu Y., Hu K., Zhu J., Bao J., Lin W., Jin J. 2023. Characteristics of particulate-bound n-alkanes indicating sources of PM 2.5 in Beijing, China. *Atmospheric Chemistry and Physics*. 23(5): 3015–3029. doi: 10.5194/acp-23-3015-2023
19. Гаретова Л.А., Фишер Н.К., Климин М.А. 2020. Источники органического вещества в донных отложениях эстуариев малых рек бассейна Татарского пролива. *Биология внутренних вод*. 3: 211–221. doi: 10.31857/S0320965220030055
20. Немировская И.А. 2011. Особенности распределения углеводородов в дельте Северной Двины во время половодья. *Геохимия*. 8: 863–874.
21. Немировская И.А., Храмова А.В., Завьялов П.О., Коновалов Б.В. 2023. Содержание и состав углеводородов в воде и осадках прибрежных районов российского сектора Черного моря. *Доклады Российской академии наук. Науки о Земле*. 513(2): 263–270. doi: 10.31857/S2686739723601588

## REFERENCES

1. *Gidrometeorologiya i gidrokimiya morey SSSR. Tom 5. Azovskoe more. [Hydrometeorology and hydrochemistry of the seas of the USSR. Vol. 5. The Sea of Azov]*. 1991. St Petersburg, Gidrometeoizdat: 237 p. (In Russian).
2. Gargopa Yu.M. 2000. [Large-scale changes in hydrometeorological conditions for the formation of bioresources in the Sea of Azov]. In: *Osnovnye problemy rybnogo khozyaystva i okhrany rybokhozyaystvennykh vodoemov Azovo-Chernomorskogo basseyna. Sbornik nauchnykh tudov (1998–1999 gg.)*. [Key issues in fisheries and the protection of fishery waters in the Azov-Black Sea basin. Collection of scientific papers (1998–1999)]. Rostov-on-Don, Azov Research Institute of Fisheries: 20–27. (In Russian).
3. Bolgov M.V., Belyaev A.I., Pugacheva A.M. Vlasenko M.V., Shul'gin M.V. 2020. Azov–Don water problem. *Water Resources*. 47(6): 1065–1076. doi: 10.1134/S0097807820060032
4. Pavlenko L.F., Sкрыпник G.V., Klimenko T.L., Anokhina N.S., Ekylic V.S., Sevostyanova M.V., Barabashin T.O. 2018. [Long-term dynamics of oil pollution of hydrobionts environment in the Azov Sea]. *Fisheries Issues*. 19(4): 534–544. (In Russian).
5. Pavlenko L.F., Korpakova I.G., Eletskiy B.D., Sкрыпник G.V., Kurilov P.I., Votinova T.V., Anokhina N.S. Korablina I.V. 2017. [Oil components and heavy metals in emissions from the “Golubitsky” mud volcano]. *Environmental Protection in Oil and Gas Complex*. 6: 29–34. (In Russian).
6. Klenkin A.A., Pavlenko L.F., Sкрыпник G.V., Korpakova I.G. 2007. Characteristics of oil pollution of the Sea of Azov and regularities in its dynamics. *Water Resources*. 34(6): 693–698. doi: 10.1134/S0097807807060103
7. Zubkov M.M., Gлумov A.I. Evsyukova I.I. 2006. [The state of the mineral resource base and oil production forecast in Krasnodar Region]. In: *Neft' i gaz yuga Rossii, Chernogo, Azovskogo i Kaspiyskogo morey. [Oil and gas of the south of Russia, the Black, Azov and Caspian seas]*. Gelendzhik, Yuzhmorgeologiya: 53–57. (In Russian).

8. Vishnevskiy V.Yu., Popruzhnyy V.M. 2010. [Estimation of the maintenance of copper in water and ground adjournment of Sea of Azov]. *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki*. 9(110): 117–122. (In Russian).
9. [GOST 17.1.5.01-80. Nature protection. Hydrosphere. General requirements for sampling of bottom sediments of water objects for their pollution analysis (with Amendment No. 1, approved in March 1981 (IUS 6-81))]. *Kodeks*. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/1200012787> (accessed 28 January 2026). (In Russian).
10. *FR.1.31.2005.01512. Metodika vypolneniya izmereniy massovoy doli nefteproduktov v probakh pochv i donnykh otlozheniy presnykh i morskikh vodnykh ob'ektov. [Measurement methodology for the mass fraction of petroleum products in soil and bottom sediment samples of fresh and marine water bodies]*. 2004. Rostov-on-Don, Azov Research Institute of Fisheries: 13 p. (In Russian).
11. Soloveva O.V., Tikhonova E. A., Gurov K.I. 2024. Distribution and composition of hydrocarbons in the bottom sediments of Kamyshovaya Bay (Black Sea). *Physical Oceanography*. 31(5): 626–646.
12. *Dutch target and intervention values*. 2000. Available at: [https://support.esdat.net/Environmental%20Standards/dutch/annex\\_i\\_2000dutch%20environmental%20standards.pdf](https://support.esdat.net/Environmental%20Standards/dutch/annex_i_2000dutch%20environmental%20standards.pdf) (accessed 29 October 2025).
13. Fedorov Yu.A., Kuznetsov A.N., Dmitrik L. Yu., Kuznetsova E.V. 2022. [Levels of content and distribution of petroleum products in the components of elementary landscapes along the megaprofile “Eastern Donbass – the coast of the Taganrog Bay of the Sea of Azov”]. *Inzhenernyy vestnik Dona*. 10(94): 448–468. (In Russian).
14. Mille G., Asia L., Guiliano M., Malleret L., Doumenq P. 2007. Hydrocarbons in coastal sediments from the Mediterranean Sea (Gulf of Fos area, France). *Marine Pollution Bulletin*. 54(5): 566–575. doi: 10.1016/j.marpolbul.2006.12.009
15. Soloveva O., Tikhonova E., Alyomov S., Mirzoeva N., Skuratovskaya E., Matishov G., Egorov V. 2024. Distribution and genesis of aliphatic hydrocarbons in bottom sediments of coastal water areas of the Crimea (the Black and Azov seas). *Water*. 16(17): 2395. doi: 10.3390/w16172395
16. Al-Shwafi N. 2007. Concentration of petroleum hydrocarbons in sea-water and coastal sediment around Aden City – Yemen. *Al-Azhar Bulletin of Science*. 18(1): 37–51.
17. Al-Hejuje M.M., Hussain N.A., Al-saad H.T. 2015. Total petroleum hydrocarbons (TPHs), n-alkanes and polynuclear aromatic hydrocarbons (PAHs) in water of Shatt Al-Arab River – part 1. *Global Journal of Biology, Agriculture and Health Sciences*. 4(1): 88–94.
18. Yang J., Lei G., Liu C., Wu Y., Hu K., Zhu J., Bao J., Lin W., Jin J. 2023. Characteristics of particulate-bound n-alkanes indicating sources of PM 2.5 in Beijing, China. *Atmospheric Chemistry and Physics*. 23(5): 3015–3029. doi: 10.5194/acp-23-3015-2023
19. Garetova L.A., Fisher N.K., Klimin M.A. 2020. Sources of organic matter in the bottom sediments of small rivers estuaries in basin of the Tatar Strait. *Inland Water Biology*. 13(2): 111–121. doi: 10.1134/S1995082920020194
20. Nemirovskaya I.A. 2011. Distribution of hydrocarbons in the estuarine area of the Northern Dvina River during seasonal flood. *Geochemistry International*. 49(8): 815–826. doi: 10.1134/S0016702911080052
21. Nemirovskaya I.A., Khramtsova A.V., Zavalov P.O., Kononov B.V. 2023. Content and composition of hydrocarbons in water and sediments in the coastal regions of the Russian sector of the Black Sea. *Doklady Earth Sciences*. 513(2): 1372–1378. doi: 10.1134/S1028334X23602018

Поступила 06.11.2025

Принята 12.12.2025