

Углеводороды в воде и взвешенном веществе прибрежных акваторий Крыма и Краснодарского края после разлива мазута в декабре 2024 года

Е. А. Тихонова *, О. В. Соловьёва, О. А. Миронов,
С. В. Алёмов, Ю. С. Клычёва (Ткаченко), Г. В. Фролкин

ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН»,
Севастополь, Россия

* e-mail: tikhonova_ea@ibss-ras.ru

Аннотация

В результате разлива мазута с танкеров «Волгонефть-212» и «Волгонефть-239» в Керченском проливе 15 декабря 2024 г. подверглось загрязнению побережье Крыма и Краснодарского края. Цель работы состоит в исследовании углеводородного загрязнения воды и взвешенного вещества прибрежных акваторий Керченского полуострова и Краснодарского края, подвергшихся выбросам мазута с декабря 2024 г. по январь 2025 г. Хотя в первые дни после аварии танкеров (16–18 декабря) содержание углеводородов в воде на 70 % станций превышало ПДК ($0.05 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$), состав н-алканов и значения маркеров указывают, что основными источниками обнаруженных углеводородов в воде и взвешенном веществе исследуемой акватории были природные источники. Отмечены признаки наличия деградированных нефтепродуктов, что свидетельствует о хроническом нефтяном загрязнении акватории. В период выбросов нефтепродуктов (январь 2025 г.) средние концентрации углеводородов в воде побережья Керченского полуострова и Краснодарского края не превышали ПДК. Содержание углеводородов во взвеси исследуемого района, колебавшееся в диапазоне $13\text{--}67 \text{ мкг} \cdot \text{л}^{-1}$, можно характеризовать как высокое. Распределение и состав н-алканов во взвешенном веществе в январе 2025 г. указывают на вероятное нефтяное загрязнение. Анализ маркеров генезиса углеводородов подтверждает данный вывод. Таким образом, мазут, поступивший к январю 2025 г. в результате аварии, не вызвал повышения концентрации углеводородов в воде. Признаки нефтяного загрязнения в январе 2025 г. зафиксированы только во взвешенном веществе в морской воде. С учетом того, что разлив мазута оказал определенное влияние на отдельные компоненты прибрежной экосистемы, необходимы дальнейшие исследования в данном направлении для оценки долговременного воздействия углеводородов на компоненты экосистемы акваторий.

Ключевые слова: прибрежная акватория, разлив мазута, углеводороды нефти, загрязнение нефтепродуктами, морская вода, взвешенное вещество, Черное море

© Тихонова Е. А., Соловьёва О. В., Миронов О. А., Алёмов С. В.,
Клычёва (Ткаченко) Ю. С., Фролкин Г. В., 2026



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

Благодарности: работа выполнена в рамках госзадания ФИЦ ИнБЮМ по теме «Состояние морской среды и ее способность к самоочищению в прибрежных районах Крымского полуострова и Краснодарского края после разлива нефтепродуктов в декабре 2024 г.» (FNNZ-2026-0016).

Для цитирования: Тихонова Е. А., Соловьёва О. В., Миронов О. А., Алёмов С. В. и др. Углеводороды в воде и взвешенном веществе прибрежных акваторий Крыма и Краснодарского края после разлива мазута в декабре 2024 года // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2026. № 1. С. 52–72. EDN KOVTFI.

Hydrocarbons in the Water and Suspended Matter of the Coastal Water Areas of Crimea and Krasnodar Krai after the Fuel Oil Spill in December 2024

**E. A. Tikhonova *, O. V. Soloveva, O. A. Mironov,
S. V. Alyomov, Yu. S. Klycheva (Tkachenko), G. V. Frolkin**

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

** e-mail: tikhonova_ea@ibss-ras.ru*

Abstract

As a result of the fuel oil spill from *Volgoneft-212* and *Volgoneft-239* tankers in the Kerch Strait on 15 December 2024, the coast of Crimea and the Krasnodar Krai was polluted. The aim of the work is to study hydrocarbon pollution of water and suspended matter in the coastal waters of the Kerch Peninsula and Krasnodar Krai affected by fuel oil emissions from December 2024 to January 2025. Although in the first days after the tanker accident (16–18 December 2024) the hydrocarbon content in the water exceeded the MPC ($0.05 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$) at 70% of the stations, the n-alkanes composition and marker values indicated that the main sources of hydrocarbons in the water and suspended matter of the study water area were natural sources. Signs of degraded petroleum products were noted, indicating chronic oil pollution of the water area. During the oil product emissions (January 2025), average hydrocarbon concentrations in the coastal waters of the Kerch Peninsula and Krasnodar Krai did not exceed MPC. The hydrocarbon content in suspended matter in the study area ranged from 13 to $67 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$, which can be characterised as high. The distribution and composition of n-alkanes in suspended matter in January 2025 indicated probable oil pollution. An analysis of hydrocarbon genesis markers confirmed this conclusion. Thus, the fuel oil pollution that arrived by January 2025 did not cause an increase in hydrocarbon concentrations in the water. In January 2025, evidence of oil pollution was detected only in suspended matter in seawater. Given that the fuel oil spill had a certain impact on individual components of the coastal ecosystem, further studies are needed to assess the long-term impact of hydrocarbons on the ecosystem of these waters.

Keywords: coastal waters, fuel oil spill, petroleum hydrocarbons, petroleum pollution, seawater, suspended matter, Black Sea

Acknowledgments: This work was carried out within the framework of the state assignment on the topic “The state of the marine environment and its capacity for self-purification in the coastal areas of the Crimean Peninsula and Krasnodar Krai after the oil spill in December 2024” (FNNZ-2026-0016).

For citation: Tikhonova, E.A., Soloveva, O.V., Mironov, O.A., Alyomov, S.V., Klycheva (Tkachenko), Yu.S. and Frolkin, G.V., 2026. Hydrocarbons in the Water and Suspended Matter of the Coastal Water Areas of Crimea and Krasnodar Krai after the Fuel Oil Spill in December 2024. *Ecological Safety of Coastal and Shelf Zones of Sea*, (1), pp. 52–72.

Введение

Керченский пролив представляет собой ключевой транспортный маршрут, связывающий порты Азовского моря, а также бассейны р. Дон и Волга с Черным и Средиземным морями. В его акватории функционируют Керченский морской порт и порт Кавказ, основной грузооборот которых приходится на нефтеналивные грузы [1, 2]. По данным Ассоциации морских торговых портов, в декабре 2024 г. доли нефти и нефтепродуктов составляли 30.2 и 20.3 % от общего объема перевалки соответственно ¹⁾. В связи с тем, что в последние годы Керченский пролив стал одной из основных транспортных артерий российского нефтяного экспорта ²⁾, существенно возрастает риск возникновения аварийных ситуаций.

Во время шторма 15 декабря 2024 г. в Керченском проливе произошла авария двух нефтяных танкеров «Волгонефть-212» и «Волгонефть-239». В результате разлома корпусов перевозимый мазут частично попал в акваторию Черного моря. Утечка мазута вызвала серьезные последствия. В Анапе и нескольких населенных пунктах Темрюкского района Краснодарского края 17 декабря был введен режим чрезвычайной ситуации, который 26 декабря был повышен до федерального уровня. К середине января мазутом было загрязнено не менее 54 км береговой линии Краснодарского края (от поселка Веселовка Темрюкского района до станицы Благовещенской рядом с Анапой) и 15 км побережья Крыма (включая район Керчи, Феодосии, Судака, Алушты, Севастополя).

Объем утечки мазута в результате аварии в настоящее время не установлен. Однако, по предварительным оценкам, он превышает объем утечки при аналогичной катастрофе, произошедшей в Керченском проливе в ноябре 2007 г. после крушения танкера «Волгонефть-139», в результате которого в акваторию попало около 1.3 тыс. т мазута [3–5]. Данные инциденты не только наносят вред экосистеме пролива, но и поднимают важные вопросы о безопасности морских перевозок, ответственности компаний и необходимости строгого контроля за соблюдением экологических норм.

Актуальность проблемы нефтяного загрязнения трудно переоценить. Органические вещества, содержащиеся в нефтепродуктах, оказывают разрушительное воздействие на морскую флору и фауну, нанося непоправимый вред живым организмам и экосистемам. Разливы нефтепродуктов негативно влияют на биохимические процессы в водоемах, что может привести к долгосрочным последствиям, включая потерю биоразнообразия и ухудшение качества воды [6].

Ключевым индикатором уровня загрязнения и его источников выступают углеводороды (УВ) в воде и взвешенном веществе. Анализ этих УВ позволяет оперативно оценить масштаб загрязнения и траекторию его распространения. С учетом учащения разливов нефти в мире необходимо исследовать последствия подобных катастроф и разрабатывать стратегии предотвращения и минимизации ущерба. В статье мы рассмотрим состояние отдельных компонентов

¹⁾ URL: <https://www.morport.com/rus/news/gruzooborot-morskih-portov-rosszayanvar-dekabr-2024-goda> (дата обращения: 13.05.2025).

²⁾ Энергетический бюллетень. Аналитический центр при Правительстве РФ, 2016. Вып. 36 : Развитие транспортировки нефти. 10 с. URL: <https://ac.gov.ru/files/publication/a/9072.pdf> (дата обращения: 12.02.2026).

прибрежной экосистемы пострадавших акваторий, обусловленное разливом мазута в Керченском проливе в декабре 2024 г.

Целью работы является оценка состояния воды и взвешенного вещества в прибрежных акваториях Керченского п-ова и Краснодарского края, подвергшихся загрязнению мазутом с декабря 2024 г. по январь 2025 г.

В соответствии с целью сформулированы следующие задачи:

1) исследование содержания и состава УВ, а также выявление наиболее вероятных источников поступления УВ в воду и взвешенное вещество у побережья Керченского п-ова и Краснодарского края сразу после аварии (16–18 декабря 2024 г.) и через месяц после нее (20–23 января 2025 г.) для получения исходных данных о загрязнении исследуемого побережья и показателей, соответствующих периоду интенсивных выбросов нефтепродуктов;

2) оценка изменения исследуемых параметров в результате поступления в акваторию мазута после аварии.

Материал и методы

Пробы воды с поверхностного горизонта отбирали в ходе двух экспедиций, проведенных 16–18 декабря 2024 г. (непосредственно после аварии) и 20–23 января 2025 г. (рис. 1). Пробы морской воды 16–18 декабря 2024 г. отбирали на 10 станциях. Поскольку через месяц после аварии танкеров выбросы мазута на побережье продолжались, сетка станций была дополнена районами, где, по данным из СМИ, волонтерами были зафиксированы выбросы (рис. 1).

Пробоподготовка для определения УВ в воде. В делительную воронку вносили пробу воды, 20 мл н-гексана и встряхивали смесь в течение 10 мин. После расслоения воды и н-гексана воду сливали обратно в емкость, а гексановый экстракт – в колбу для концентрирования через химическую воронку, заполненную свежeproкаленным сульфатом натрия на подложке из ваты. Пробы воды повторно экстрагировали в течение 10 мин в делительной воронке с добавлением 15 мл н-гексана. После разделения слоев воды и н-гексана водный слой отбрасывали, гексановые экстракты объединяли. Емкость и делительную воронку ополаскивали 2–3 мл н-гексана и присоединяли к экстракту. Полученный экстракт пропускали через стеклянную колонку, заполненную оксидом алюминия, и концентрировали до объема 1 мл.

Пробоподготовка для определения УВ во взвеси. Мембранные нитроцеллюлозные фильтры 0.45 мкм взвешивали на аналитических весах ВЛР-200, затем через фильтрационную установку пропускали 1 л воды. Полученную на фильтрах взвесь высушивали в естественных условиях. Анализ для определения УВ основывался на извлечении УВ из собранной на фильтрах взвеси щелочным раствором этилового спирта с переводением анализируемого ингредиента в гексан и удалении мешающих соединений сорбцией на оксиде алюминия. Полученный экстракт концентрировали до объема 1 мл.

Определение УВ и n-алканов. Аликвотную часть сконцентрированного экстракта (1 мкл) вводили микрошприцем в нагретый до 250 °С испаритель газового хроматографа «Кристалл 5000.2» с пламенно-ионизационным детектором. Разделение УВ осуществляли на капиллярной колонке TR-1MS



Рис. 1. Расположение станций отбора проб у побережья Керченского п-ова и Краснодарского края, декабрь 2024 г. и январь 2025 г. На врезке положение района исследования (выделено красным прямоугольником)

Fig. 1. Location of sampling stations off the coast of the Kerch Peninsula and Краснодар Krai, December 2024 and January 2025. The inset shows the study area (red box)

длиной 30 м, диаметром 0.32 мм и толщиной неподвижной фазы 0.25 мкм (*Thermo Scientific*). Температура колонки программировалась от 70 до 280 °С (скорость подъема температуры 8 °С/мин). Поток газа-носителя (азот) в колонке – 2.5 мл/мин без деления потока. Температура детектора 320 °С.

Количественное определение суммарного содержания УВ проводили путем абсолютной калибровки пламенно-ионизационным детектором смесью УВ, которую готовили гравиметрическим методом, с содержанием УВ в диапазоне 0.02–5.0 мг/л. В качестве смеси УВ использовали стандартный образец *ASTM D2887 Reference Gas Oil (SUPELCO, США)*. Общее содержание УВ определяли по сумме площадей пиков n-алканов. Для обработки результатов использовали программное обеспечение «Хроматэк Аналитик 3.0», метод абсолютной калибровки и процентной нормализации.

Н-алканы идентифицировали по стандартному образцу смеси парафиновых углеводородов в гексане с массовой концентрацией каждого компонента 200 мкг/мл, пристан (*Pr*) и фитан (*Ph*) – по образцу с концентрацией 100 мкг/мл в гексане (фирма *SUPELCO, США*).

Идентификация генезиса УВ. Генезис УВ определяли на основании характера хроматограмм, распределения n-алканов, а также биогеохимических маркеров (табл. 1).

Статистический анализ данных. Различие средних двух выборок определяли на основании блочных диаграмм (*Microsoft Excel*) с ограничителями выбросов, показывающих распределение данных по квартилям с выделением медианы и выбросов.

Т а б л и ц а 1. Диагностические молекулярные соотношения и их типичные значения
T a b l e 1. Diagnostic molecular ratios and their typical values

Диагностический индекс (расчетная формула) / Diagnostic index (calculation formula)	Значение / Value	Интерпретация типичных значений / Typical value interpretation
$LWH/HWH = \frac{\sum(C_{11} - C_{21})}{\sum(C_{22} - C_{35})}$	> 1	Нефтяное происхождение / Oil origin
	< 1	Терригенное происхождение, высшая растительность / Terrigenous, higher plant
$CPI_2 = (1/2) \{ (C_{25} + C_{27} + C_{29} + C_{31} + C_{33} + C_{35}) / (C_{24} + C_{26} + C_{28} + C_{30} + C_{32} + C_{34}) + (C_{25} + C_{27} + C_{29} + C_{31} + C_{33} + C_{35}) / (C_{26} + C_{28} + C_{30} + C_{32} + C_{34}) \}$	~ 1	Большая доля УВ нефтяного происхождения / Large portion of petroleum hydrocarbons
	< 1	Преимущественно биогенное происхождение / Mainly biogenic origin
	> 1	Биогенное влияние на состав углеводородов терригенного органического вещества / Biogenic, influence on hydrocarbon composition of terrigenous organic matter
$Ki = (Pr + Ph) / (n-C_{17} + C_{18})$	$0.8 \leq Ki \leq 1.5$	Наличие нефти средней степени деградации / Presence of moderately degraded oil
	$0.3 \leq Ki \leq 0.8$	Наличие слабо деградированной нефти / Presence of mildly degraded oil
	$Ki \leq 0.3$	Наличие свежей нефти / Presence of fresh oil
Pr/Ph	< 1	Наличие в донных отложениях нефти / Presence of oil in bottom sediments

Окончание таблицы 1 / Table 1 concluded

Диагностический индекс (расчетная формула) / Diagnostic index (calculation formula)	Значение / Value	Интерпретация типичных значений / Typical value interpretation
$P_{aq} = (C_{23} + C_{25}) / (C_{23} + C_{25} + C_{29} + C_{31})$	0.1	Следы терригенной деградированной растительности / Traces of terrigenous degraded plants
	$0.1 < P_{aq} < 0.4$	Свежие макрофиты / Fresh macrophytes
	$0.4 < P_{aq} < 1.0$	Водные макрофиты / Water macrophytes
$TAR = (C_{27} + C_{29} + C_{31}) / (C_{15} + C_{17} + C_{19})$	Высокий TAR / High TAR	Преобладание терригенного материала / Prevalence of terrigenous material
$ACL = [25C_{25} + 27C_{27} + 29C_{29} + 31C_{31} + 33C_{33}] / [C_{25} + C_{27} + C_{29} + C_{31} + C_{33}]$	Пониженная ACL / Lowered ACL	Нефтяные выбросы / Oil emissions

Станции пробоотбора в зависимости от содержания УВ и состава алканов на них группировали с помощью древовидной кластеризации с использованием евклидова расстояния как меры. Для статистической обработки данных использовался программный пакет *Statistica 12*.

Результаты и обсуждение

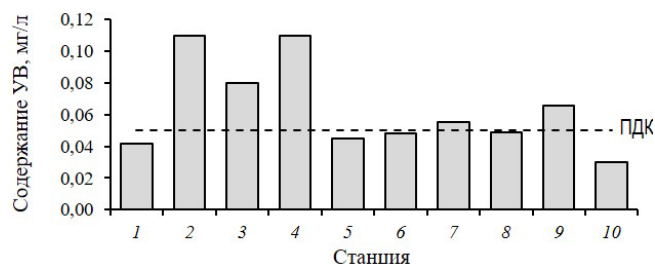
Результаты экспедиции на побережье Керченского п-ова и Краснодарского края, декабрь 2024 г. (после аварии)

Морская вода. Содержание УВ в воде колебалось от 0.029 до 0.103 мг·л⁻¹ (рис. 2), составляя в среднем по побережью 0.061 мг·л⁻¹. В 70 % проб зафиксировано превышение ПДК (0.05 мг·л⁻¹). На ст. 8, где непосредственно перед пробоотбором были зафиксированы выбросы нефтепродуктов на побережье, содержание УВ в воде не превышало ПДК и составляло 0.048 мг·л⁻¹. Доля н-алканов в УВ была типичной для морской воды и колебалась от 0.31 до 0.48 при среднем 0.37.

Изоалкан *Pr* отсутствовал или зафиксирован в низких концентрациях (порядка 10⁻⁴ мг·л⁻¹). *Ph* зафиксирован в концентрациях порядка 10⁻³ мг·л⁻¹.

Данные показатели характеризуют отсутствие признаков недавнего поступления нефтяных УВ [7].

Распределение н-алканов в целом имело бимодальный характер (рис. 3). Первый максимум приходился на нечетные C₁₇ и C₁₉, характеризующие развитие фитосообщества [8]. Вторая группа максимумов находилась в диапазоне



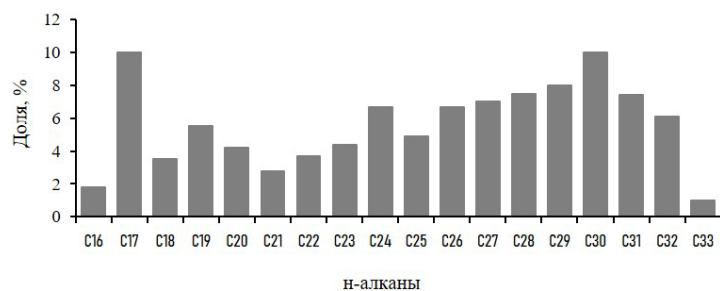
Р и с . 2. Содержание углеводородов (УВ) в воде побережья Керченского п-ова и Краснодарского края, декабрь 2024 г. (после аварии)

F i g . 2. Hydrocarbons content in the water off the coast of the Kerch Peninsula and Krasnodar Krai, December 2024 (after the accident)

C₂₄–C₃₂ и включала в себя как четные бактериального генезиса [9], так и нечетные аллохтонные [10] соединения. Такое распределение n-алканов свидетельствует об активных бактериальных процессах трансформации и поступлении органических веществ с суши, характерном для прибрежных районов [7].

Следует отметить, что на отдельных станциях, расположенных в акватории Керчи (ст. 2, 3, 9) и станицы Тамань (ст. 7), доля C₁₇ была снижена. Вероятно, это обусловлено, с одной стороны, антропогенным загрязнением, угнетающим развитие зеленых микроводорослей [11], с другой – быстрой биотрансформацией данного гомолога [12]. На активность микробного сообщества может указывать высокое содержание четного гомолога C₃₀ на большей части указанных станций [7].

Для уточнения источников поступления УВ в воду исследуемой акватории были рассчитаны так называемые биогеохимические маркеры (табл. 2).



Р и с . 3. Среднее распределение n-алканов в воде побережья Керченского п-ова и Краснодарского края, декабрь 2024 г. (после аварии)

F i g . 3. Average distribution of n-alkanes in the water off the coast of the Kerch Peninsula and Krasnodar Krai, December 2024 (after the accident)

Т а б л и ц а 2. Значения маркеров генезиса УВ в воде побережья Керченского п-ова и Краснодарского края, декабрь 2024 г. (после аварии)

Table 2. Values of hydrocarbons genesis markers in the water off the coast of Kerch Peninsula and Krasnodar Krai, December 2024 (after the accident)

Номер станции / Station number	Маркер / Marker					
	P_{aq}	TAR	ACL	LWH/HWH	$C_{17}+C_{19}+C_{21}/n\text{-алканы} / C_{17}+C_{19}+C_{21}/n\text{-alkanes}$	CPI_2
1	0.4	1.3	28	0.6	0.2	1.3
2	0.5	1.4	28	0.4	0.2	0.7
3	0.1	3.0	30	0.3	0.1	1.1
4	0.4	6.1	28	0.1	0.1	0.4
5	0.5	0.4	27	0.9	0.4	0.9
6	0.4	1.6	28	0.3	0.2	0.9
7	0.5	1.0	28	0.3	0.2	0.6
8	0.4	1.3	28	0.4	0.2	0.8
9	0.2	4.8	29	0.1	0.1	1.1
10	0.3	1.0	28	0.4	0.3	1.1
Среднее / Average	0.4	2.2	28	0.4	0.2	0.9

Основной маркер диагностики нефтяного загрязнения CPI_2 имел значения, характерные для присутствия нефтепродуктов (≈ 1), на ст. 3, 5, 6, 8, 9 и 10. Это может быть связано с хроническим нефтяным загрязнением Азово-Черноморского побережья. Однако характер хроматограмм и низкое содержание изопреноидных алканов свидетельствуют о преобладании биогенного фона. Если нефтяное загрязнение и присутствует, что характерно для данного района [11], то оно носит не аварийный, а хронический характер и является трансформированным.

Еще одним признаком свежего поступления нефтепродуктов может быть повышенное соотношение LWH/HWH (> 1). Это соотношение составляло в среднем 0.4 и ни на одной из станций не достигало единицы, что подтверждает отсутствие свежих нефтяных поступлений. Повышенной долей низкомолекулярных гомологов выделялись ст. 1 (0.6) и ст. 5 (0.9). Однако эти значения обусловлены высоким содержанием C_{17} и C_{19} и, следовательно, связаны с природными процессами первичной продукции [13]. На повышенное содержание автохтонных соединений на ст. 5 и 10 также указывает отношение содержания данных соединений к общему количеству n-алканов в воде.

Значения индекса влажности P_{aq} соответствовали наличию следов как свежей, так и разложившейся водной растительности, что характерно для прибрежных районов [14].

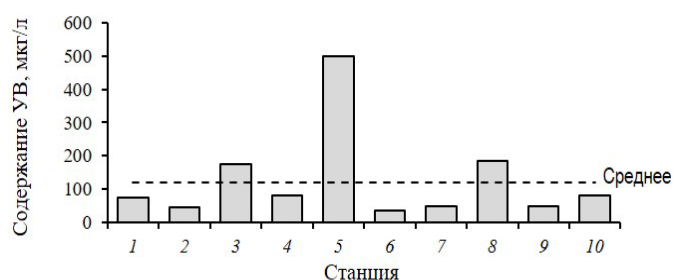
Значение маркера TAR в среднем составляло 2.2, что свидетельствует о преобладании терригенных органических веществ. На ст. 5, 7 и 10 этот

показатель имел пониженные значения, что говорит о невысокой доле аллохтонного вещества. С учетом состава н-алканов на данных станциях такие значения, вероятно, формируются вследствие высокой доли в составе н-алканов автохтонных соединений (C₁₇, C₁₉). Две из трех станций с пониженным содержанием аллохтонного вещества находятся в акватории Азовского моря, одна – в акватории Керченского пролива. Особенности распределения н-алканов могут определяться своеобразием продукционных процессов Азовского моря.

Кластеризация станций на основании состава алканов в воде позволяет выделить в отдельный кластер ст. 2–4 и 9. На этих станциях содержание УВ превышало ПДК для рыбохозяйственных водоемов. Все станции расположены в акватории, прилегающей к Керченскому п-ову. Это акватория, подвергающаяся существенной антропогенной нагрузке [15] в результате функционирования города и активного судоходства в проливе.

Таким образом, содержание УВ в воде исследуемой акватории превышает ПДК в результате совместного действия природных и антропогенных факторов. Основными источниками поступления УВ были первичная и бактериальная продукция, а также аллохтонное вещество. Нефтяное загрязнение присутствует в трансформированном виде. Данный факт, вероятно, свидетельствует о постоянном поступлении загрязняющих веществ в акваторию и высокой скорости их биотрансформации. Подобное явление в акватории Керченского пролива наблюдалось и ранее, когда, несмотря на постоянное загрязнение акватории, признаки свежего нефтяного загрязнения в воде отсутствовали ввиду его активной биодеструкции [16].

Взвешенное вещество. Содержание УВ во взвешенном веществе колебалось от 31 до 495 мкг·л⁻¹ (рис. 4), в среднем оно составляло 121 мкг·л⁻¹. Отмеченные концентрации оцениваются как высокие [16]. Повышенные относительно среднего значения зафиксированы на ст. 3, 5, 8. Станции 3 и 5 находились



Р и с . 4. Содержание углеводородов (УВ) во взвешенном веществе побережья Керченского п-ова и Краснодарского края, декабрь 2024 г. (после аварии)

Fig. 4. Content of hydrocarbons in the suspended matter off the coast of the Kerch Peninsula and Krasnodar Krai, December 2024 (after the accident)

в акватории Керченского пролива. На ст. 8, расположенной в районе пос. Веселовка (Краснодарский край), в период пробоотбора происходил выброс нефтепродуктов на берег, при этом море штормило, что могло привести к взмучиванию прибрежных наносов и эмульгированию плавающего мазута.

Доля н-алканов в составе УВ была в диапазоне 0.22–0.42, среднее 0.31. Средние показатели были несколько превышены на ст. 6, 7, 9, что является признаком интенсивного поступления данного класса соединений во взвешенное вещество.

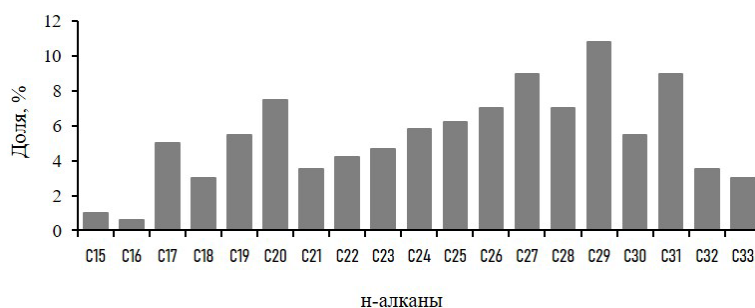
В составе н-алканов взвеси зафиксированы соединения C_{15} – C_{33} (рис. 5), при этом распределение н-алканов было бимодальным. В первом максимуме выделялись C_{17} и C_{19} фитопланктонного происхождения [8]. Второй максимум был в диапазоне C_{24} – C_{31} , в него попадали как бактериальные четные пики, так и C_{25} , присутствие которого ассоциировано с наличием водных макрофитов [17]. В данной группе пиков особенно выделялись аллохтонные C_{27} , C_{29} и C_{31} , поступающие с берега [7].

Зафиксировано достаточно высокое содержание *Pr* и *Ph*, концентрация которых была того же порядка величины, что и индивидуальных н-алканов, что является одним из признаков нефтяного загрязнения [7].

Значения маркера P_{aq} (табл. 3) свидетельствуют о наличии следов водных макрофитов во взвешенном веществе [14].

Маркер *TAR* в среднем составлял 3.2, что обусловлено преобладанием терригенных органических веществ. Однако на ст. 1 его значение было ниже единицы, что типично для преобладания автохтонных соединений. На этой станции также отмечен повышенный P_{aq} (0.5), характеризующий поступление УВ от макрофитов, и увеличенная доля н-алканов автохтонного происхождения (0.3).

Средняя длина углеводородной цепи была достаточно высокой (в среднем 30) и колебалась от 29 до 31. Данный факт указывает на повышенную долю высокомолекулярных соединений и малую долю низкомолекулярных н-алканов – индикаторов свежего нефтяного загрязнения [18].



Р и с . 5 . Среднее распределение н-алканов во взвешенном веществе побережья Керченского п-ова и Краснодарского края, декабрь 2024 г. (после аварии)

F i g . 5 . Average distribution of n-alkanes in the suspended matter off the coast of the Kerch Peninsula and Krasnodar Krai, December 2024 (after the accident)

Таблица 3. Значения маркеров генезиса углеводородов во взвешенном веществе побережья Керченского п-ова и Краснодарского края, декабрь 2024 г. (после аварии)
 Table 3. Values of markers of hydrocarbons genesis in suspended matter off the coast of the Kerch Peninsula and Krasnodar Krai, December 2024 (after the accident)

Номер станции / Station number	Маркер / Marker							
	P_{aq}	TAR	ACL	LWH/HWH	$C_{17}+C_{19}+C_{21}/$ н-алканы / $C_{17}+C_{19}+C_{21}/$ n-alkanes	CPI_2	Pr/Ph	K_i
1	0.5	0.7	30	0.7	0.3	1.4	0.3	1.1
2	0.4	1.9	31	0.3	0.2	1.2	0.3	1.3
3	0.4	3.2	29	0.4	0.1	1.5	0.2	1.9
4	0.3	4.2	29	0.3	0.1	1.5	0.2	2.0
5	0.2	4.7	30	0.2	0.1	1.1	0.1	1.5
6	0.2	4.5	30	0.2	0.1	1.9	0.3	1.1
7	0.4	3.9	31	0.2	0.1	1.4	0.1	0.8
8	0.3	2.2	30	0.6	0.2	1.8	0.1	1.8
9	0.4	4.0	31	0.2	0.1	1.3	–	–
10	0.4	2.4	30	0.3	0.2	1.6	0.2	1.6
Среднее / Average	0.4	3.2	30	0.4	0.2	1.5	0.2	1.4

На большей части станций преобладали высокомолекулярные соединения. Исключение составили ст. 1 ($LWH/HWH = 0.7$) из-за высокого содержания автохтонных C_{15} , C_{17} фитопланктонного происхождения [10] и C_{20} бактериального генезиса [19] и ст. 8 ($LWH/HWH = 0.6$) из-за высокого содержания C_{19} фитопланктонного происхождения [7] и C_{20} – бактериального. Доля соединений фитопланктонного происхождения на этих станциях также была повышенной и составляла 0.3 и 0.2 соответственно при среднем значении 0.2. Следовательно, в данных районах зафиксированы признаки активного развития фитопланктонного и бактериального сообществ.

Значения отношения Pr/Ph указывают нефтяное загрязнение во взвешенном веществе. При этом значение коэффициента изопреноидности ($K_i = 0.8...2.0$) соответствует наличию нефтепродуктов средней и высокой степени деградации.

Основной маркер нефтяного загрязнения CPI_2 имел значения в диапазоне 1.1–1.9, что свойственно взвешенному веществу. Несколько повышенные значения на ст. 6 и 8 связаны с высоким содержанием аллохтонных н-алканов в составе УВ взвешенного вещества на этих станциях.

По результатам кластерного анализа состав алканов существенно отличался от остальных станций на ст. 1, где была повышена доля низкомолекулярных н-алканов, начиная с C_{15} . На прочих станциях углеводородный фон был достаточно однородным.

Результаты экспедиции на побережье Керченского п-ова и Краснодарского края, январь 2025 г.

Морская вода. Содержание УВ в воде (рис. 6) колебалось от 0.012 до 0.097 мг·л⁻¹ при среднем уровне 0.035 мг·л⁻¹. Превышения ПДК были зафиксированы на двух станциях – 12 (1.3 ПДК) и 16 (2 ПДК). На остальных участках санитарные нормы для рыбохозяйственных водоемов превышены не были.

Содержание УВ в воде на станциях, в районе которых был зафиксирован мазут, и на станциях, где он отсутствовал, достоверно не различалось.

Доля н-алканов от УВ колебалась в диапазоне 0.26–0.54, в среднем 0.41. Повышенное значение (0.54) отмечено на ст. 5, что свидетельствует о свежем поступлении н-алканов в данном районе. Пониженное значение (0.26) наблюдалось на ст. 16, что, вероятнее всего, свидетельствует об активной трансформации н-алканов.

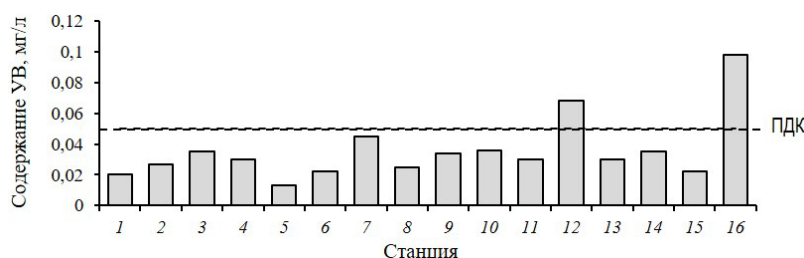
В исследуемой акватории идентифицированы н-алканы от C₁₇ до C₃₃, причем соединения C₁₇–C₃₁ были почти повсеместно, а C₃₂–C₃₃ – только в отдельных пробах. Распределение н-алканов было бимодальным (рис. 7) с первым максимумом, соответствующим C₁₇ – н-алкану фитопланктонного происхождения (в среднем его доля составляла 16 %), и вторым максимумом, соответствующим C₂₉ аллохтонной природы (16 %). Данный характер распределения указывает на преобладание природных путей поступления УВ в прибрежные воды.

На ст. 12, где отмечены максимумы в диапазоне C₂₉–C₃₂ (11–21 %), распределение н-алканов в высокомолекулярной области может соответствовать наличию трансформированных нефтепродуктов, а также активному развитию отдельных компонентов микробного сообщества. На остальных станциях распределение н-алканов соответствует среднему по исследуемой акватории.

Изопреноидные алканы *Pr* (10⁻⁵ мг·л⁻¹) и *Ph* (10⁻³ мг·л⁻¹) зафиксированы в низких концентрациях, что соответствует природному содержанию.

Значения маркера *P_{aq}* (табл. 4) указывают на наличие следов макрофитов, однако на ст. 12 его пониженное значение обусловлено существенным вкладом наземной деградированной растительности.

Значение маркера *TAR* в целом указывает на небольшое преобладание терригенных н-алканов. На ст. 5, 6 и 9 значения *TAR* были меньше единицы, что



Р и с . 6 . Содержание углеводородов (УВ) в воде Керченского п-ова и Краснодарского края, январь 2025 г.

F i g . 6 . Content of hydrocarbons in the water off the coast of the Kerch Peninsula and Krasnodar Krai, January 2025

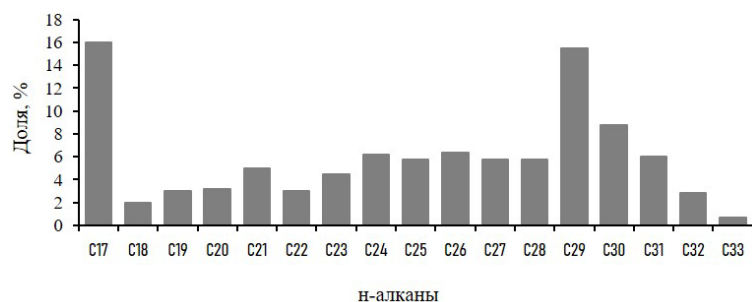


Рис. 7. Среднее распределение н-алканов в воде побережья Керченского п-ова и Краснодарского края, январь 2025 г.

Fig. 7. Average distribution of n-alkanes in the water off the coast of the Kerch Peninsula and Krasnodar Krai, January 2025

Таблица 4. Значения маркеров генезиса углеводородов в воде побережья Керченского п-ова и Краснодарского края, январь 2025 г.

Table 4. Values of markers of hydrocarbons genesis in the water off the coast of the Kerch Peninsula and Krasnodar Krai, January 2025

Номер станции / Station number	Маркер / Marker					
	P_{aq}	TAR	ACL	LWH/HWH	$C_{17}+C_{19}+C_{21}/\text{н-алканы} / C_{17}+C_{19}+C_{21}/\text{n-alkanes}$	CPI_2
1	0.4	1.1	28	0.5	0.2	1.1
2	0.2	1.7	29	0.3	0.2	0.8
3	0.2	1.6	29	0.3	0.2	0.9
4	0.3	1.5	28	0.4	0.2	1.4
5	0.3	0.8	28	0.8	0.4	1.6
6	0.7	0.3	27	0.6	0.4	0.5
7	0.3	1.4	28	0.3	0.2	1.2
8	0.4	1.6	28	0.5	0.3	1.5
9	0.4	0.9	28	0.7	0.4	1.8
10	0.3	1.8	28	0.4	0.2	1.7
11	0.3	1.6	28	0.6	0.3	2.6
12	0.1	5.5	30	0.1	0.1	1.3
13	0.3	3.5	29	0.2	0.1	1.7
14	0.4	1.5	28	0.4	0.2	1.4
15	0.3	1.9	28	0.3	0.2	2.0
16	0.4	2.3	28	0.3	0.1	1.0
Среднее / Average	0.3	1.8	28	0.4	0.2	1.4

указывает на большую долю автохтонных компонентов. На ст. 12 TAR был максимальным (5.5) и свидетельствовал о существенной роли аллохтонного вещества.

Средняя длина углеводородной цепи (*ACL*) составляла 28, изменяясь от 27 до 30. В декабре этот показатель был выше и составлял 30. Снижение *ACL* может быть следствием поступления нефтепродуктов в воду.

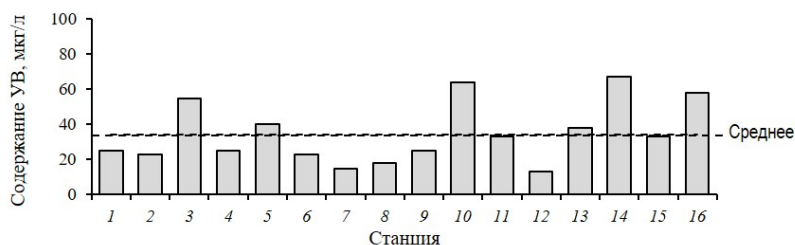
Среднее соотношение *LWH/HWH* было 0.4 (0.1–0.7). Пониженные значения этого показателя, характерные для преобладания терригенного вещества, зафиксированы на ст. 12 (0.1) и ст. 13 (0.2). В целом данный показатель был достаточно высоким, что свидетельствует о повышенном содержании низкомолекулярных *n*-алканов.

Доля автохтонных *n*-алканов была невысокой (в среднем 0.2), что аналогично данным, полученным в декабре 2024 г.

Маркер *CPI*₂ в среднем составлял 1.4, изменяясь в диапазоне от 0.5 до 2.6. Большая часть значений соответствовала биогенной природе УВ. На ст. 1 (1.1), 3 (0.9) и 16 (1.0) значения индекса нечетности были характерными для нефтяного загрязнения. Однако характер распределения *n*-алканов указывает на преимущественно биогенную природу УВ.

Таким образом, на основании состава алканов можно судить о преимущественно природных источниках поступления УВ, по большей части автохтонных и аллохтонных. Кластеризация станций на основании состава алканов не позволила выявить какие-либо группировки, что указывает на достаточно однородный состав алканов в исследуемой акватории.

Взвешенное вещество. Содержание УВ во взвеси исследуемого района колебалось в диапазоне 13–67 мкг·л⁻¹, в среднем 34 мкг·л⁻¹ (рис. 8). Отмечено снижение среднего относительно декабрьских значений, что связано с отсутствием резкого превышения среднего (в 5–10 раз) на отдельных станциях, отмеченного в декабре 2024 г. В целом подобное содержание УВ во взвешенном веществе можно характеризовать как высокое [16]. Концентрация УВ во взвеси в районах, где фиксировали выбросы нефтепродуктов в прибрежной полосе и где выбросы отсутствовали, не имела достоверных различий.



Р и с . 8 . Содержание углеводородов (УВ) во взвешенном веществе побережья Керченского п-ова и Краснодарского края, январь 2025 г.

F i g . 8 . Content of hydrocarbons in the suspended matter off the coast of the Kerch Peninsula and Krasnodar Krai, January 2025

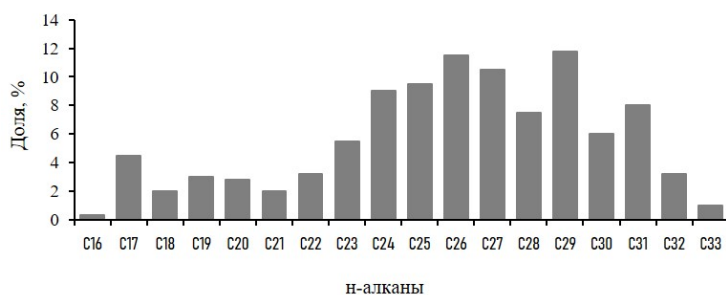
Доля н-алканов в УВ составляла 0.25–0.57, в среднем 0.44. На отдельных станциях она была несколько завышенной. Эти показатели свидетельствуют о свежем поступлении н-алканов.

В составе идентифицированных н-алканов присутствовали гомологи C₁₆–C₃₃. Причем C₁₆ и C₃₃ зафиксированы на отдельных станциях (ст. 14–16), а на остальных присутствовали C₁₇–C₃₂. Незначительная доля фитопланктонного C₁₇ (в среднем 5 %) (рис. 9) свидетельствует о невысоком вкладе фитопланктона в формирование УВ взвешенного вещества. Максимумы находились в высокомолекулярной части спектра н-алканов. Основные (> 10 %) приходились на аллохтонные C₂₇, C₂₉ [7] и бактериальный C₂₆ [17].

При этом зафиксировано достаточно высокое содержание изопреноидных алканов *Pr* и *Ph*, что может указывать на нефтяное загрязнение. Характер распределения н-алканов, а также высокое содержание *Pr* и *Ph* может указывать на присутствие трансформированного нефтяного загрязнения во взвешенном веществе. Следовательно, экосистема побережья благодаря процессам самоочищения справляется с поступающими в нее нефтепродуктами. Подобное явление описано для данного района и ранее [16].

Относительно декабрьских данных снизилась доля фитопланктонных н-алканов во взвеси, что указывает на сокращение фитопланктонной продукции, являющейся основным источником низкомолекулярных нечетных н-алканов. Снижение продукции могло проходить как в рамках годовой динамики развития фитопланктона [20], так и в результате угнетающего воздействия нефти на его вегетацию [21]. Другой причиной снижения доли фитопланктонных пиков может быть интенсивная трансформация соответствующих гомологов микросообществом, об активности которого свидетельствуют высокие доли гомологов C₂₄, C₂₆, C₂₈ [7].

Индекс влажности P_{aq} колебался от 0.5 до 0.8, в среднем 0.7 (табл. 5). Достаточно высокий показатель свидетельствует о наличии следов трансформированных макрофитов на всех станциях пробоотбора. Данные значения согласуются с высоким содержанием C₂₅, который ассоциируется с макрофитами,



Р и с . 9 . Среднее распределение н-алканов во взвешенном веществе побережья Керченского пролива и Краснодарского края, январь 2025 г.

F i g . 9 . Average distribution of n-alkanes in the suspended matter off the coast of the Kerch Peninsula and Krasnodar Krai, January 2025

Т а б л и ц а 5. Значения маркеров генезиса углеводородов во взвешенном веществе побережья Керченского п-ова и Краснодарского края в январе 2025 г.

T a b l e 5. Values of markers of hydrocarbons genesis in the suspended matter off the coast of the Kerch Peninsula and Krasnodar Krai, in January 2025

Номер станции / Station number	Маркер / Marker							
	P_{aq}	TAR	ACL	LWH/HWH	$C_{17}+C_{19}+C_{21}/$ н-алканы / $C_{17}+C_{19}+C_{21}/$ n-alkanes	CPI_2	Pr/Ph	K_i
1	0.5	2.9	28	0.2	0.1	0.4	0.7	1.0
2	0.5	5.0	28	0.2	0.1	0.7	2.1	0.6
3	0.7	4.9	27	0.2	0.1	0.7	0.6	0.8
4	0.7	5.2	27	0.2	0.1	0.8	0.2	0.8
5	0.7	4.2	27	0.3	0.1	0.9	1.6	0.3
6	0.7	1.5	27	0.5	0.1	0.7	0.5	1.0
7	0.6	8.8	27	0.2	0.1	0.8	0.1	1.3
8	0.8	3.6	27	0.3	0.1	0.8	0.2	0.6
9	0.7	8.5	27	0.2	0	0.8	0.1	1.8
10	0.6	6.0	27	0.2	0.1	0.9	0.4	1.6
11	0.8	7.6	27	0.1	0	0.9	0.3	1.2
12	0.7	10.4	27	0.2	0	0.9	0.1	1.1
13	0.8	8.7	26	0.1	0	1.2	0.4	1.1
14	0.8	10.5	26	0.1	0	1	0.2	1.3
15	0.5	3.0	28	0.4	0.1	0.7	2.3	1.9
16	0.7	2.8	27	0.1	0.1	0.8	1.6	0.4
Среднее / Average	0.7	5.8	27	0.2	0.1	0.8	0.7	1.1

а также указывают на активное развитие бактериального сообщества (C_{24} , C_{26} , C_{28}) [7], способствующего трансформации органического вещества.

Индекс терригенности TAR был в диапазоне 1.5–10.5, среднее 5.8, что соответствует умеренному и сильному преобладанию терригенного вещества во взвеси. Длина углеводородной цепи колебалась от 26 до 28 со средним значением 27. Пониженные значения (26) были на ст. 13 и 14, находящихся в районе массового выброса нефтепродуктов на берег. Это может указывать на поступление нефтепродуктов во взвешенное вещество.

В целом в составе смеси преобладали высокомолекулярные н-алканы ($LWH/HWH = 0.1...0.5$). Доля фитопланктонных гомологов была понижена и не превышала 0.1.

Маркер CPI_2 нефтяного генезиса УВ имел невысокие значения – от 0.4 до 1.2 (среднее 0.8). Для взвешенного вещества это несколько заниженные показатели. На большей части станций, за исключением ст. 1, его значения могут указывать на нефтяное загрязнение.

Сильное преобладание *Pr* над *Ph* на станциях 4, 7–9, 11, 12 и 14 может свидетельствовать о нефтяном загрязнении. Коэффициент изопреноидности имел разброс значений от 0.3 до 1.9 (среднее 1.1). Такие показатели характеризуют наличие нефти различной степени деградации (от слабо деградированной до деградированной). Средние показатели демонстрируют, что в целом нефть была средней степени трансформации. На ст. 5 значение коэффициента изопреноидности соответствовало наличию свежей нефти. На этой же станции отмечено преобладание *Pr* над *Ph*, что характерно для присутствия органического вещества терригенного происхождения. На ст. 2–4, 8 и 16 значение маркера соответствовало наличию деградированных нефтепродуктов. Большая часть из указанных станций расположена на побережье Керченского пролива. Хроническое нефтяное загрязнение данного района отмечалось и ранее [11, 16].

Таким образом, маркеры указывают на преобладание в составе УВ аллохтонных соединений, а также на вероятное нефтяное загрязнение. В январе нефтяное загрязнение во взвешенном веществе было деградировано в меньшей степени, чем в декабре 2024 г., что может указывать на его более активное поступление.

Кластерный анализ показал достаточно плотную группировку станций, при этом выделялась только ст. 15, где была отмечена пониженная доля гомологов C_{24} – C_{28} , имеющих преимущественно бактериальную природу. Таким образом, состав УВ на станциях, где были отмечены выбросы, и на станциях, где выбросы не фиксировали, различался несущественно. Это значит, что локализация вероятного источника нефтяного загрязнения взвешенного вещества не связана с выбросами мазута на побережье.

В январе 2025 г. в составе углеводородов увеличилась доля *n*-алканов, хотя общая концентрация УВ во взвешенном веществе оставалась на уровне декабря 2024 г. Изменился и состав *n*-алканов: снизилась доля автохтонных соединений, при этом распределение и состав алканов указывают на вероятное нефтяное загрязнение. Анализ маркеров генезиса УВ подтверждает данный вывод.

Заключение

За исключением ст. 8, пробы, отобранные в декабре 2024 г., были взяты в акваториях, еще не затронутых загрязнением в результате аварийного разлива нефтепродуктов. Это позволило получить данные об исходном состоянии исследуемой акватории до ее загрязнения мазутом.

В декабре 2024 г. содержание УВ в воде акватории Керченского п-ова и Краснодарского края в 70 % проб превышало ПДК ($0.05 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$). Основными источниками поступления УВ в воду были первичная и бактериальная продукция, а также аллохтонное вещество. Нефтяное загрязнение присутствовало в трансформированном виде. С учетом состава *n*-алканов и значений маркеров основными источниками формирования УВ во взвешенном веществе исследуемой акватории в декабре 2024 г. были фитопланктонная и бактериальная продукция, а также поступление аллохтонных соединений. Отмечены признаки деградированного нефтяного загрязнения, что свидетельствует о хроническом нефтяном загрязнении акватории. Таким образом, исследованный участок побережья подвергался хроническому нефтяному загрязнению, которое более выражено в составе взвешенного вещества, чем в воде.

В январе 2025 г. происходили массовые выбросы нефтепродуктов в прибрежную зону. Исходя из средних концентраций, не превышающих ПДК, можно заключить, что вода побережья Керченского п-ова и Краснодарского края не была загрязнена УВ. Состав УВ в воде исследованной акватории определялся преимущественно природными факторами: автохтонной продукцией, поступлением аллохтонных соединений и бактериальной деструкцией органического вещества. Следовательно, разливы мазута на момент исследования (январь 2025 г.) не оказали негативного влияния на степень углеводородного загрязнения воды. В январе 2025 г. во взвешенном веществе при сопоставимой с декабрьской 2024 г. концентрации УВ изменился состав УВ: выросла доля n-алканов и снизилась доля автохтонных соединений. Распределение и состав алканов указывают на нефтяное загрязнение, анализ маркеров генезиса УВ подтверждает данный вывод.

Поскольку разлив мазута оказал влияние на отдельные компоненты прибрежной экосистемы, необходимы дальнейшие исследования в данном направлении для оценки долговременного воздействия УВ на экосистему акваторий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Иванов А. Ю., Кучейко А. А., Филимонова Н. А., Кучейко А. Ю. и др.* Пространственно-временное распределение пленочных загрязнений в Черном и Каспийском морях по данным космической радиолокации: сравнительный анализ // Исследование Земли из космоса. 2017. № 2. С. 13–25. EDN YTLTZV.
2. *Тихонова Е. А., Бурдиян Н. В., Соловьева О. В., Дорошенко Ю. В.* Химические и микробиологические показатели донных отложений Керченского пролива после аварии судна «Волгонепфть-139» // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2015. № 4. С. 12–16. EDN TRHZAN.
3. Керченская авария: последствия для водных экосистем / под ред. И. Г. Корпаковой, С. А. Агапова. Ростов н/Д : ФГУП АзНИИРХ, 2008. 229 с. EDN LLWDZY.
4. *Матишов Г. Г., Бердников С. В., Савицкий Р. М.* Экосистемный мониторинг и оценка воздействия разливов нефтепродуктов в Керченском проливе. Аварии судов в ноябре 2007 г. Ростов-на-Дону : Южный научный центр РАН, 2008. 80 с. EDN VYSDJT.
5. *Кузнецов А. Н., Федоров Ю. А., Заграничный К. А.* О результатах трехлетнего мониторинга разлива мазута в Керченском проливе // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки. 2011. № 4. С. 90–95. EDN OETZLB.
6. Санитарно-биологические исследования прибрежных акваторий юго-западного Крыма в начале XXI века / под ред. О. Г. Миронова, С. В. Алёмова. Симферополь : ИТ «АРИАЛ», 2018. 276 с. EDN YTQSUP. <https://doi.org/10.21072/978-5-907118-89-8>
7. *Немировская И. А.* Нефть в океане (загрязнение и природные потоки). Москва : Научный мир, 2013. 432 с. EDN YMMLMD.
8. *Ташлыкова Н. А., Куклин А. П., Базарова Б. Б.* Первичная продукция фитопланктона, эпифитных водорослей и высших водных растений в протоках дельты реки Селенги // Вестник КрасГАУ. 2009. № 9. С. 106–112. EDN KYFJHT.

9. *Bieger T., Abrajano T. A., Hellou J.* Generation of biogenic hydrocarbons during a spring bloom in Newfoundland coastal (NW Atlantic) waters // *Organic Geochemistry*. 1997. Vol. 26, iss. 3–4. P. 207–218. [https://doi.org/10.1016/S0146-6380\(96\)00159-3](https://doi.org/10.1016/S0146-6380(96)00159-3)
10. *Немировская И. А.* Распределение и происхождение углеводородов на трансарктическом разрезе через моря Сибири // *Океанология*. 2021. Т. 61, № 2. С. 209–219. EDN SIQDEG. <https://doi.org/10.31857/S0030157421020155>
11. *Тихонова Е. А., Бурдиян Н. В., Соловьёва О. В.* Химико-микробиологическая характеристика вод и донных отложений Керченского пролива и прилегающих акваторий // *Морской биологический журнал*. 2017. Т. 2, № 3. С. 75–85. EDN ZQKYWR. <https://doi.org/10.21072/mbj.2017.02.3.07>
12. *Yañez-Arancibia A., Day J.* Ecological characterization of Terminos Lagoon. A tropical lagoon-estuarine system in the Southern Gulf of Mexico // *Oceanologica Acta*. 1982. Vol. 5, iss. 4. P. 431–440.
13. *Wang X.-C., Sun S., Ma H.-Q., Liu Y.* Sources and distribution of aliphatic and polycyclic aromatic hydrocarbons in sediments of Jiaozhou Bay, Qingdao, China // *Marine Pollution Bulletin*. 2005. Vol. 52, iss. 2. P. 129–138. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2005.08.010>
14. *Ficken K. J., Li B., Swain D. L., Eglinton G.* An n-alkane proxy for the sedimentary input of submerged/floating freshwater aquatic macrophytes // *Organic Geochemistry*. 2000. Vol. 31, iss. 7–8. P. 745–749. [https://doi.org/10.1016/S0146-6380\(00\)00081-4](https://doi.org/10.1016/S0146-6380(00)00081-4)
15. *Сапожников В. В., Аржанова Н. В., Лапина Н. М., Агатова А. И. и др.* Комплексные экологические исследования Керченского пролива и Таманского залива после катастрофы танкера с мазутом (2007–2010 гг.) // *Труды ВНИРО*. 2013. Т. 150. С. 65–77. EDN TFSJPD.
16. *Немировская И. А., Хаустов А. П., Редина М. М.* Распределение и генезис углеводородов в воде и осадках акватории Керченского пролива // *Геохимия*. 2022. Т. 67, № 1. С. 47–56. EDN EYSVPS. <https://doi.org/10.31857/S0016752522010095>
17. *Mead R., Xu Yu., Chong J., Jaffé R.* Sediment and soil organic matter source assessment as revealed by the molecular distribution and carbon isotopic composition of n-alkanes // *Organic Geochemistry*. 2005. Vol. 36, iss. 3. P. 363–370. <https://doi.org/10.1016/j.orggeochem.2004.10.003>
18. *Simoneit B. R. T., Pisani O., Ekpo B. O., Fubara E. P. et al.* Lipid biomarker analysis of suspended particulate matter from the Great Kwa River, SE Nigeria: origins and environmental implications of biogenic and Anthropogenic organic compounds // *Aquatic Geochemistry*. 2017. Vol. 23, iss. 2. P. 89–108. <http://doi.org/10.1007/s10498-017-9311-0>
19. *Yunker M. B., Macdonald R. W., Ross P. S., Johannessen S. C. et al.* Alkane and PAH Provenance and potential bioavailability in coastal marine sediments subject to a gradient of anthropogenic sources in British Columbia, Canada // *Organic Geochemistry*. 2015. Vol. 89–90. P. 80–116. <https://doi.org/10.1016/j.orggeochem.2015.10.002>
20. *Ясакова О. Н., Макаревич П. Р.* Современное состояние фитопланктона северо-восточной части Черного моря / под ред. акад. Г. Г. Матишова. Ростов н/Д : Изд-во ЮНЦ РАН, 2023. 232 с.
21. *Кустенко Н. Г., Имнадзе Н. О.* Влияние нефти и азота на фитопланктон восточного побережья Черного моря // *Экология моря*. 1988. Т. 29. С. 73–77. EDN YICEJH.

Поступила 19.09.2025 г.; одобрена после рецензирования 06.10.2025 г.; принята к публикации 18.12.2025 г.; опубликована 31.03.2026 г.

Об авторах:

Тихонова Елена Андреевна, ведущий научный сотрудник, ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН» (299011, Россия, г. Севастополь, пр. Нахимова, д. 2), кандидат биологических наук, **ORCID ID: 0000-0002-9137-087X**, **Scopus Author ID: 57208495804**, **ResearcherID: X-8524-2019**, **SPIN-код: 3786-7334**, *tikhonova_ea@ibss-ras.ru*

Соловьева Ольга Викторовна, ведущий научный сотрудник, ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН» (299011, Россия, г. Севастополь, пр. Нахимова, д. 2), кандидат биологических наук, **ORCID ID: 0000-0002-1283-4593**, **Scopus Author ID: 57416802600**, **ResearcherID: X-4793-2019**, **SPIN-код: 3114-7955**, *soloviova@ibss-ras.ru*

Мионов Олег Андреевич, старший научный сотрудник, ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН» (299011, Россия, г. Севастополь, пр. Нахимова, д. 2), кандидат биологических наук, **Scopus Author ID: 56227568700**, **ResearcherID: AVH-9273-2020**, **SPIN-код: 6010-2682**, *mironov_oa@ibss-ras.ru*

Алемов Сергей Викторович, ведущий научный сотрудник, ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН» (299011, Россия, г. Севастополь, пр. Нахимова, д. 2), кандидат биологических наук, **ORCID ID: 0000-0002-3374-0027**, **Scopus Author ID: 24070027300**, **ResearcherID: AAN-8188-2020**, **SPIN-код: 3372-5637**, *numa_63@mail.ru*

Клычева (Ткаченко) Юлия Сергеевна, младший научный сотрудник, ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН» (299011, Россия, г. Севастополь, пр. Нахимова, д. 2), **ORCID ID: 0009-0001-1752-1043**, **Scopus Author ID: 1220495**, **SPIN-код: 9716-311**, *tkachenko_90@ibss-ras.ru*

Фролкин Георгий Витальевич, младший научный сотрудник, ФГБНУ «Научно-исследовательский центр пресноводной и солоноватоводной гидробиологии» филиал ФИЦ ИнБЮМ (299011, Россия, г. Севастополь, пр. Нахимова, д. 2), **ORCID ID: 0009-0002-2260-5230**, **ResearcherID: NIU-5117-2025**, **SPIN-код: 7263-8645**, *freak1k@yandex.ru*

Заявленный вклад авторов:

Тихонова Елена Андреевна – постановка целей и задач комплексного исследования, написание рукописи

Соловьева Ольга Викторовна – участие в экспедиционных работах, анализ полученных результатов по углеводородному составу исследуемых компонентов экосистемы, расчет диагностических индексов, обсуждение результатов, написание статьи

Мионов Олег Андреевич – отбор проб воды, фильтрация воды для получения взвешенного вещества

Алемов Сергей Виктор – отбор проб, участие в пробоподготовке и коррекции текста статьи

Клычева (Ткаченко) Юлия Сергеевна – пробоподготовка проб воды, для определения в ней качественного и количественного состава углеводов, написание и оформление статьи

Фролкин Георгий Витальевич – отбор проб воды, пробоподготовка

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.