

**Распространение мазутного загрязнения в Черном море
после аварии на судах «Волгонефть» в декабре 2024 года
по данным контактных, спутниковых измерений
и расчетов системы *FOTS*
Морского гидрофизического института РАН**

**А. А. Кубряков^{1,✉}, А. А. Георга-Копулос¹, С. В. Станичный¹,
А. Л. Холод¹, А. В. Клещенко², В. В. Кулыгин², О. С. Пузина¹,
А. И. Мизюк¹**

¹ Морской гидрофизический институт РАН, Севастополь, Россия

² Южный научный центр Российской академии наук, Ростов-на-Дону, Россия

✉ arskubr@yandex.ru

Поступила в редакцию 05.08.2025; одобрена после рецензирования 02.09.2025;
принята к публикации 10.09.2025.

Аннотация

Цель. Исследованы хронология и масштабы распространения мазутного загрязнения после крушения танкеров «Волгонефть-212» и «Волгонефть-239» в Керченском проливе 15 декабря 2024 г., проведена оценка экологических последствий и верификация системы прогнозирования переноса нефтяных загрязнений.

Методы и результаты. Для моделирования распространения загрязнений использовались созданная на основе лагранжева подхода в Морском гидрофизическом институте РАН система *FOTS* (*Floating Object Tracking System*), данные численной модели циркуляции Черного моря *NEMO* и метеорологических полей *GFS* (*Global Forecast System*). Верификация расчетов проводилась по спутниковым снимкам *Sentinel-1*, *Landsat-8* и контактными наблюдениям служб. В результате аварии в море попало 2500–3000 т мазута М-100, было загрязнено более 700 км береговой линии от Евпатории до Анапы. Активная фаза распространения загрязнения длилась 25 дней. Выявлено пять типов береговых загрязнений, включая погребенные мазутные пластины на глубине 12–35 см общей массой 25,3 т. Подводные мазутные скопления создают источники вторичного загрязнения в районе Керченского пролива и Анапы.

Выводы. Система *FOTS* продемонстрировала хорошую точность прогнозирования, своевременно предсказав районы загрязнения пляжей Анапы, Керчи, Севастополя и Евпатории. Верификация результатов на основе спутниковых данных и контактных наблюдений подтвердила качество модели на временных масштабах более 25 дней. Результаты моделирования позволили построить детальную картину пространственно-временного распределения мазутного загрязнения в акватории Черного моря. Показано, что большая часть загрязнений распространялась над глубоководной частью Черного моря, где глубины превышают 500 м. Специфические свойства мазута М-100 обусловили исключительно длительный период активного распространения и формирование источников вторичного загрязнения, требующих постоянного мониторинга экосистемы. Опыт работ по ликвидации аварии показал высокую эффективность системы *FOTS* при минимизации последствий катастрофы и необходимость создания подобных региональных систем прогнозирования для других регионов России.

Ключевые слова: Волгонефть, нефтяные загрязнения, разлив мазута, спутниковый мониторинг, моделирование траекторий, динамика распространения, Черное море, Керченский пролив

Благодарности: 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).

Для цитирования: Распространение мазутного загрязнения в Черном море после аварии на судах «Волгонефть» в декабре 2024 года по данным контактных, спутниковых измерений и расчетов системы FOTS Морского гидрофизического института РАН / А. А. Кубряков [и др.] // Морской гидрофизический журнал. 2025. Т. 41, № 6. С. 767–787. EDN XWXESN.

Original article

Spread of Oil Pollution in the Black Sea after the Accidents at the “Volgoneft” Tankers in December 2024 Based on Numerical Simulations using the Model FOTS MHI, as well as Satellite and In-Situ Measurement Data

A. A. Kubryakov^{1, ✉}, A. A. Georga-Kopoulos¹, S. V. Stanichny¹,
A. L. Kholod¹, A. V. Kleshchenkov², V. V. Kulygin², O. S. Puzina¹,
A. I. Mizyuk¹

¹ Marine Hydrophysical Institute, Russian Academy of Sciences, Sevastopol, Russia

² Southern Research Center, Russian Academy of Sciences, Rostov-on-Don, Russia
✉ arskubr@yandex.ru

Abstract

Purpose. The purpose of the work is to investigate the chronology and extent of spread of fuel oil pollution that followed sinking of the “Volgoneft-212” and “Volgoneft-239” tankers in the Kerch Strait on December 15, 2024, to assess the environmental impacts, and to verify a system for forecasting oil pollution transport.

Methods and Results. Modeling the spread of pollutants included FOTS (Floating Object Tracking System) developed based on the Lagrangian approach in Marine Hydrophysical Institute, RAS, and the data both of numerical model of the Black Sea circulation NEMO and GFS (Global Forecast System) meteorological fields. The calculations were verified using the Sentinel-1 and Landsat-8 satellite images and *in-situ* observations. The accident has resulted in the spill of 2500–3000 tons of M-100 fuel oil into the sea, and over 700 km of coastline from Yevpatoriya to Anapa were polluted. The active phase of pollution spread lasted 25 days. Five types of coastal pollution were identified including the fuel oil layers (total mass is 25.3 tons) buried at the 12–35 cm depths. The underwater fuel oil accumulations form the sources of secondary pollution in the Kerch Strait and Anapa areas.

Conclusions. FOTS demonstrated good forecasting accuracy having promptly identified the areas of beach contaminations in Anapa, Kerch, Sevastopol, and Yevpatoriya. Verification of the results based on satellite data and *in-situ* observations, has confirmed the model quality and efficiency on the time scales exceeding 25 days. The modeling results made it possible to construct a detailed picture of the spatial-temporal distribution of fuel oil pollution in the Black Sea. It is shown that most of the pollution spread over the deep part of the Black Sea where depths exceeded 500 m. The specific features of M100 fuel oil have conditioned the exceptionally long period of active spread and formation of secondary pollution sources which require constant monitoring of ecosystem. The experience of the accident response has demonstrated the importance of applying FOTS to minimize the disaster consequences, as well as the necessity of developing similar regional forecasting systems for other regions of Russia.

Keywords: Volgoneft, oil pollution, fuel oil spill, satellite monitoring, trajectory modeling, propagation dynamics, Black Sea, Kerch Strait

Acknowledgements: The publication was financially supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (Agreement No. 075-15-2024-528 of 24.04.2024 on the implementation of a large-scale research project within the priority areas of scientific and technological development).

For citation: Kubryakov, A.A., Georga-Kopoulos, A.A., Stanichny, S.V., Kholod, A.L., Kleshchenkov, A.V., Kulygin, V.V., Puzina, O.S. and Mizyuk, A.I., 2025. Spread of Oil Pollution in the Black Sea after the Accidents at the “Volgoneft” Tankers in December 2024 Based on Numerical Simulations using the Model FOTS MHI, as well as Satellite and In-Situ Measurement Data. *Physical Oceanography*, 32(6), pp. 788-806.

Введение

15 декабря 2024 г. в результате экстремальных погодных условий в Керченском проливе произошла крупнейшая в Азово-Черноморском регионе авария с участием нефтеналивных судов. Южный шторм со скоростью ветра более 15 м/с и высотой волн до 3 м привел к разрушению двух танкеров класса «река-море» – «Волgoneftь-212» и «Волgoneftь-239». Каждое из судов перевозило более 4300 т мазута М-100, что привело к масштабному экологическому бедствию в акватории Черного моря. Из-за действия штормовых волн оба судна разломались пополам (рис. 1, а), в море попало около 2500–3000 т мазута [1, 2]. Затонувшие обломки судов явились долговременными источниками мазутного загрязнения, создав условия для непрерывного поступления нефтепродуктов в морскую среду.

Специфические свойства мазута марки М-100 определили тяжелый характер катастрофы. Мазут слабо подвержен процессам выветривания (испарению и диспергированию), характеризуется высоким содержанием серы 0,5–3,5 % и плотностью 0,89–1 г/см³ при 20 °С, которая близка к плотности морской воды. Эти свойства определяют поведение мазута: он длительное время способен оставаться в морской среде без изменения массы, частично погружаясь на дно при взаимодействии со взвесью, а частично оставаясь во взвешенном состоянии в водной толще [3]. При низких значениях температуры воды в зимний сезон мазут застывает, образуя плотные смолоподобные конгломераты, которые могут длительное время сохраняться в морской среде [4].

Подобная катастрофа в этом районе произошла 11 ноября 2007 г. Тогда в результате крушения танкера «Волgoneftь-139» в акваторию попало от 1300 до 2000 т мазута. Первичные последствия аварии наиболее ярко проявились в массовой гибели гидробионтов, особенно морских птиц [5]. Тяжелые фракции мазута осели на дно, подавляя бентосные сообщества. Долгосрочные экологические последствия аварии проявлялись на протяжении многих лет: мазут продолжал выделять токсичные вещества, а исследования показали накопление нефтяных углеводородов в тканях морских организмов [6–8].

Однако, в отличие от катастрофы 2007 г., когда большая часть нефтепродуктов попала в ограниченную акваторию Керченского пролива [7], особенности изменчивости течений в 2024 г. привели к распространению мазута на гораздо более обширные территории побережья, что существенно усложнило ликвидацию последствий аварии. После катастрофы мазутные загрязнения наблюдались в различных районах побережья от Евпатории до Анапы, т. е. затронули более 700 км береговой линии. Особенно сильно пострадала [4, 9] уникальная экосистема природного парка «Анапская пересыпь» – крупнейшая

аккумулятивная береговая форма в пределах российского сектора Черноморского побережья Кавказа от Таманского п-ова до м. Анапского [10]. Оперативные работы по оценке последствий катастрофы в этом регионе в первые дни после аварии проведены Южным научным центром (ЮНЦ) РАН.

Для оперативной ликвидации последствий нефтяных разливов специалистами МЧС и Морспасслужбы был крайне востребован оперативный прогноз направлений перемещения мазута. Для этой цели использовалась созданная в Морском гидрофизическом институте (МГИ) РАН система прогноза переноса нефтяных загрязнений *FOTS* (*Floating Object Tracking System*) и данные системы контроля состояния Азово-Черноморского региона, основанные на работе оперативных моделей динамики моря. Результаты прогноза показали высокое качество расчетов, подтвержденное путем сопоставления со спутниковыми снимками и данными контактных наблюдений за состоянием пляжей и прибрежной зоны, предоставленными МЧС России и Морспасслужбой.

Целью работы является исследование хронологии распространения мазутного загрязнения после аварии на судах «Волгонефть» в Керченском проливе 15 декабря 2024 г. на основе использования системы прогнозирования переноса нефтяных загрязнений *FOTS*, ее верификация и оценка экологических последствий.

В первой части настоящей работы описана хронология распространения мазута после аварии на судах «Волгонефть» в декабре 2024 г. и представлены ареалы загрязнения Черного моря, выявленные на основе данных моделирования и спутниковых измерений. Во второй части работы представлена комплексная оценка экологических последствий аварийного разлива мазута по результатам натурных экспедиционных исследований на Анапской пересыпи, проведенных ЮНЦ РАН, а также результаты спутниковых наблюдений вторичных загрязнений.

Данные и методы

Экспедиционные исследования ЮНЦ РАН проводились 22–24 января 2025 г. под руководством академика Г. Г. Матишова. Обследован участок побережья протяженностью более 80 км от м. Панагия до центрального пляжа Анапы. Заложено 27 шурфов с документированием стратиграфии отложений и фиксации мазутных прослоев. На контрольных площадках площадью 1 м² проводился количественный учет фрагментов мазута размером 3–20 мм. Для оценки загрязненности воздуха испарениями мазута при температуре 10 °С отбирались пробы через адсорбирующие трубки с последующим анализом методом газовой пиролитической хроматографии (пиро-ГХ-МС) при 250 °С. Подводные исследования проводились с использованием телеуправляемого аппарата *Chasing M2*.

Для моделирования распространения нефтяного загрязнения использовалась специализированная система *FOTS*, разработанная для задач прогнозирования траекторий распространения и трансформации нефтепродуктов в морской среде [11, 12]. Модель основана на лагранжевом подходе к описанию движения нефтяных частиц и включает описание физико-химических процессов трансформации нефтепродуктов, таких как испарение, растекание нефтяной пленки и ее эмульгирование.

Качество моделирования распространения нефтяных загрязнений критически зависит от точности воспроизведения полей течений и учета атмосферного воздействия. Поля скорости морских течений определялись на основе данных Экспериментального центра морских прогнозов Азово-Черноморского региона МГИ РАН [13]. Использовалась численная модель циркуляции Азово-Черноморского бассейна *NEMO* с ассимиляцией спутниковых данных об уровне моря и температуре его поверхности с разрешением 5 км [14].

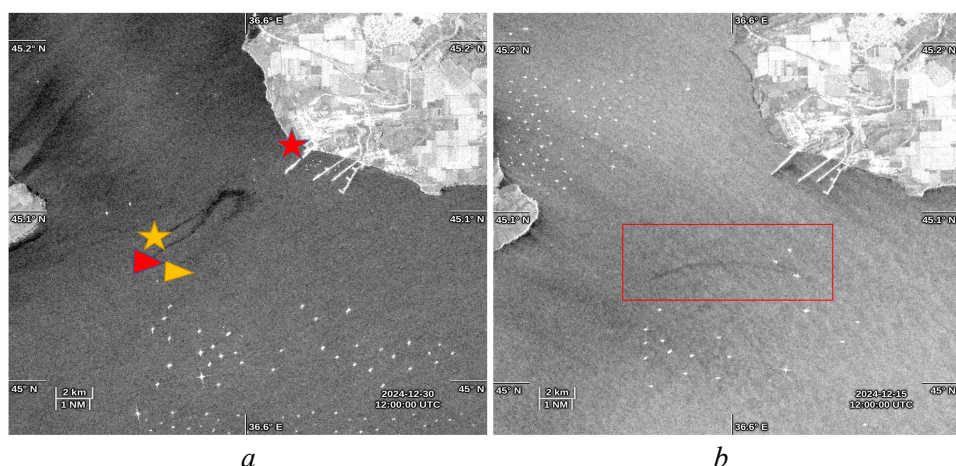
Для расчетов скорости и направления ветра использовались данные глобальной модели *NCEP GFS (Global Forecast System)* с временным разрешением 3 ч и пространственным – $0,25^\circ$. Дрейфовая компонента течений определялась на основе параметризации работы [15], полученной на основе анализа многолетнего массива дрейтерных наблюдений. В системе *FOTS* усваивались данные о скорости дрейфовых течений на поверхности и данные моделирования на верхнем горизонте, суперпозиция которых определяла перенос загрязнений в верхнем слое.

Для верификации результатов расчета использовались спутниковые радиолокационные изображения *Sentinel-1*, оптические снимки *Landsat-8*, данные береговых наблюдений и отчеты аварийно-спасательных служб. Данные наблюдений включали результаты визуального обследования берегов и морской поверхности, отбора проб воды и донных осадков, а также фотодокументирования состояния пляжей и прибрежной зоны, предоставленные МЧС России и Морспасслужбой и находящиеся в открытом доступе. Данные указанных служб позволяли оценить фактическое воздействие загрязнения на береговые экосистемы и время прихода загрязнений, достигших побережья.

Результаты и обсуждение

Причиной аварии (рис. 1, а) послужил южный шторм со скоростями ветра более 15 м/с и вызванные им волны длиной более 20 м и высотой до 2,5–3,0 м, что превышало допустимые значения для танкеров класса «река-море» (рис. 2, а). В результате танкер «Волгонефть-212» разломился пополам в районе 5-го и 6-го грузовых танков, после чего обе части затонули к югу от Керченского пролива на глубинах 15–20 м. Судно «Волгонефть-239» разрушилось в районе 3-го и 4-го танков, однако капитану удалось отогнать кормовую часть на мель в районе порта Тамань, в то время как носовая часть с четырьмя танками затонула в районе якорной стоянки (рис. 1, а).

Затонувшие обломки судов явились долговременными источниками непрерывного поступления нефтепродуктов в морскую среду и причиной мазутного загрязнения. По оценкам Министерства транспорта Российской Федерации, в море попало 2500–3000 т мазута [1].

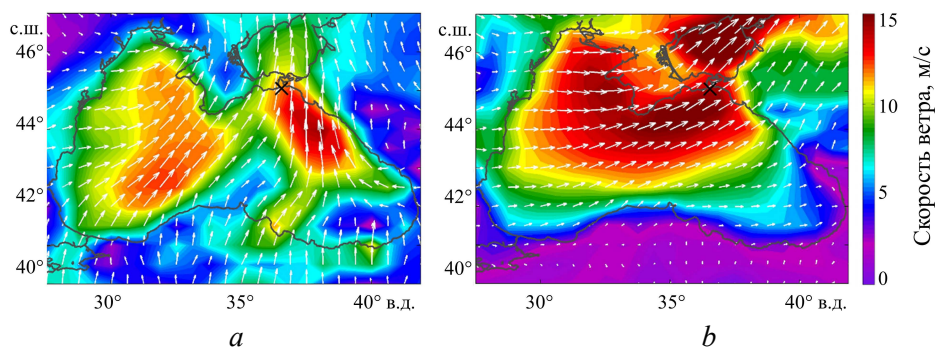


Р и с. 1. Положение обломков танкеров «Волgoneftь-212» (желтый цвет) и «Волgoneftь-239» (красный цвет) на радиолокационном снимке *Sentinel-1* за 30 декабря 2024 г., звездочкой обозначено положение кормы, треугольником – носа танкера (а); нефтяной slick (выделен красным прямоугольником) в районе места крушения в первые дни аварии 18 декабря 2024 г. (b)

F i g. 1. Location of the fragments of “Volgoneft-212” (yellow) and “Volgoneft-239” (red) tankers in the Sentinel-1 radar image for December 30, 2024; asterisk indicates the positions of tanker stern, and triangle – its bow (a); oil slick (highlighted in red rectangle) in the accident area during the first days after it (December 18, 2024) (b)

Черноморское побережье Краснодарского края

После крушения танкеров 16–17 декабря ветер сменил свое направление на западное (рис. 2, b), а 18 декабря на юго-западное. При этом скорости ветра во время шторма 16–17 декабря превышали 20 м/с. В результате в районе аварии возникла область интенсивных западных дрейфовых течений, которые переносили мазут в сторону Краснодарского края.

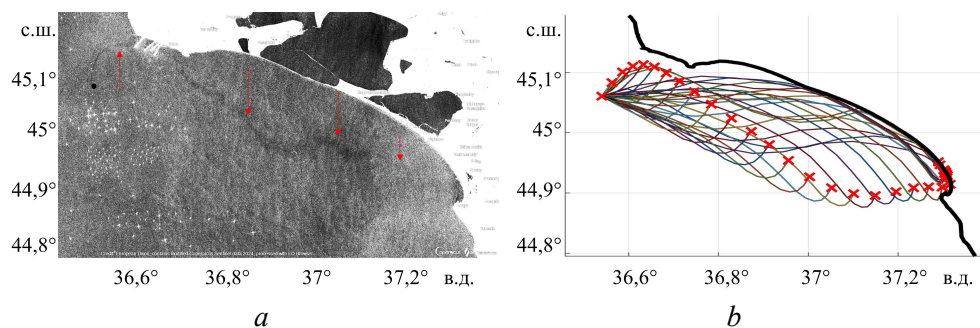


Р и с. 2. Скорость ветра, по данным *GFS* за 15 декабря 2024 г. 06:00 UTC (a) и 16 декабря 2024 г. 18:00 UTC (b)

F i g. 2. Wind speed based on the *GFS* data for December 15, 2024, 06:00 UTC (a) and December 16, 2024, 18:00 UTC (b)

Этот перенос хорошо наблюдался на спутниковых изображениях *Sentinel-1* от 18 декабря 2024 г. в виде вытянутого пятна, распространяющегося в восточном направлении от кормы «Волgoneftь-212» (см. рис. 1, b).

Интенсивность радиолокационного сигнала в районе пятна была значительно ниже, чем в окружающих водах. Слик хорошо виден, несмотря на ветер, что указывает на присутствие плотной нефтяной пленки. К 19 декабря длина нефтяного шлейфа достигла примерно 60 км (рис. 3, *a*). Первоначально компактное пятно разлива трансформировалось в протяженную струю, которая расширялась по мере удаления от источника под действием перемешивания и растекания и занимала все большую площадь. На снимке видно, что мазутный слик первоначально двигался по направлению к порту Тамань, но, по данным спасательных служб, не достиг побережья и переместился на юго-восток в сторону Анапы.



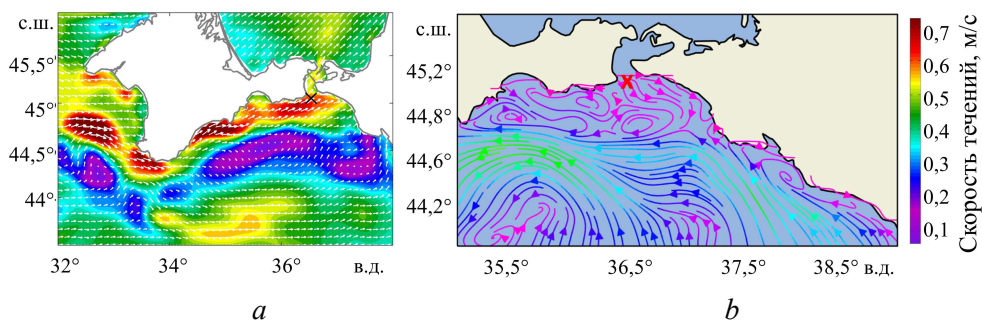
Р и с. 3. Распространение мазута в сторону Анапы после аварии на снимке *Sentinel-1* за 19 декабря 2024 г., стрелками показано направление смещения струи со временем по данным модели (*a*); прогнозный расчет распространения мазута 15–19 декабря 2024 г., по результатам численного моделирования с использованием системы *FOTS*: красными крестиками обозначено положение слика по данным моделирования на момент спутникового снимка, линиями – пути распространения мазута в предшествующие снимку моменты времени (*b*)

F i g. 3. Spread of fuel oil towards Anapa after the accident in the *Sentinel-1* image for December 19, 2024, arrows show the direction of jet displacement over time based on the model data (*a*); forecast calculation of fuel oil spread in December 15–19, 2024 based on the numerical modeling results and using the *FOTS* data, red crosses indicate the slick location based on modeling data at the time of satellite image, lines – the paths of fuel oil spread at the previous points in time (*b*)

На рис. 3, *b* изображены результаты численного моделирования положения мазутной струи на дату спутникового снимка. Положение слика, рассчитанное по данным моделирования, хорошо совпало со спутниковыми данными. Результаты модели показали, что в первые дни после аварии мазут распространялся из непрерывного источника, находящегося в районе кормы «Волгонефть-212». При этом положение нефтяной струи постоянно смещалось из-за смены преобладающих ветров. В предшествующие снимку моменты времени эта струя находилась несколько севернее, что привело к поступлению мазута на побережье первоначально в пос. Благовещенское, далее в пос. Витязево, а после непосредственно в Анапу.

Как упоминалось выше, основной причиной наблюдаемого переноса мазута являлось действие дрейфовых течений со скоростью 0,5–0,6 м/с, вызванных интенсивными ветрами западного направления (рис. 4, *a*). Геострофические течения в момент аварии также способствовали переносу нефти на запад. Согласно данным моделирования и спутниковой альтиметрии [9], в середине декабря к югу от пролива в Черном море располагался Керченский антицик-

лон. Этот вихрь переносил загрязнения на своей северной периферии со скоростями 0,10–0,15 м/с (рис. 4, *b*). Отметим, что такие скорости течения наблюдались почти по всей толще воды до дна, поэтому в придонных слоях вод преобладающий перенос также был направлен на восток.



Р и с. 4. Скорость течений на поверхности моря 16 декабря 2024 г. на основе расчета комплекса *FOTS* (*a*) и на горизонте 10 м, по данным модели *NEMO* (красным крестиком обозначено место аварии) (*b*)

F i g. 4. Current speeds on the sea surface based on the *FOTS* calculations (*a*), and at the 10 m horizon based on the *NEMO* model data (the accident site is marked with a red cross) (*b*) on December 16, 2024



Р и с. 5. Уборка мазута волонтерами в Анапе [9, с. 48] (*a*); мазут на побережье Керченского п-ова ¹ (*b*); скалы Фиолента в Севастополе в мазуте ² (*c*)

F i g. 5. Volunteers cleaning up fuel oil in Anapa [9, p. 48] (*a*); fuel oil on the Kerch Peninsula coast ¹ (*b*); Fiolent rocks in Sevastopol covered with fuel oil ² (*c*)

¹ URL: <https://crimea-news.com/society/2024/12/22/1549629.html> (дата обращения: 07.11.2025).

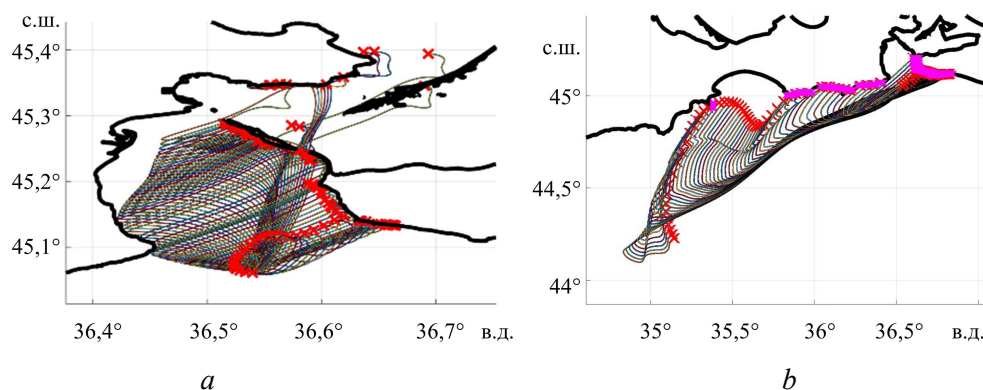
² URL: <https://smartik.ru/kerch/post/225312996> (дата обращения: 07.11.2025).

Информация о восточном направлении переноса пятна и об угрозе Краснодарскому краю, полученная по оперативным расчетам МГИ РАН 17 декабря, была передана соответствующим службам. Прогноз модельных расчетов о распространении загрязнения на участке побережья от пос. Витязево до Анапы подтвердился: 18–19 декабря значительные объемы мазута стали поступать на берег (рис. 5, *a*), что привело к масштабному загрязнению береговой линии Анапской пересыпи [9].

Для очистки пляжей в Анапе, по официальным данным, вывезено более 170 000 т мазутно-песчаной смеси, очистка пляжей в Анапе продолжалась до середины 2025 г. Подробно некоторые экологические последствия этой крупнейшей катастрофы для Анапы описаны в монографии ЮНЦ РАН [9].

Керченский полуостров

19–21 декабря ветер поменял свое направление на южное, в результате чего мазут начал движение в северном направлении (рис. 6, *a*). Корма судна «Волгонефть-212» продолжала оставаться основным источником загрязнений. Результаты моделирования предсказали проникновение загрязнений в акваторию Керченского пролива. Согласно расчетам, большая часть мазута должна была попасть на побережье Тузлы и в район порта Тамань. Однако информации из открытых источников о загрязнении в этих районах не поступало. Часть мазута попала в Тузлинскую промоину справа от о. Тузла и через нее на север пролива. Действительно, через шесть дней после аварии, 21 декабря, береговые наблюдения подтвердили нефтяное загрязнение в районе Керчи (см. рис. 5, *b*).



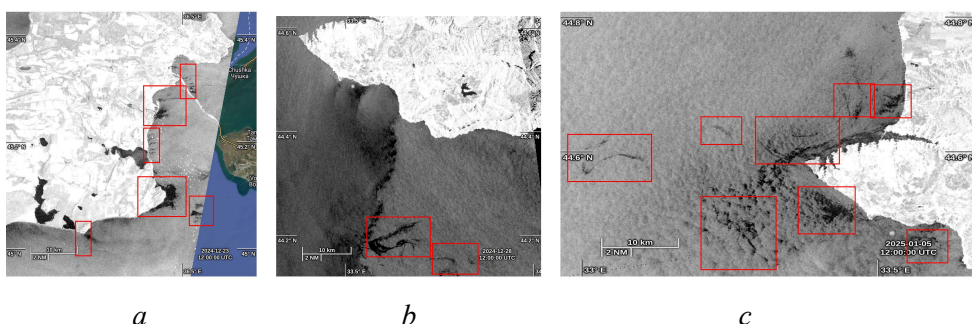
Р и с. 6. Результаты численного моделирования района затонувшей кормы «Волгонефть-212» 19–24 декабря 2024 г. (*a*), с 26 декабря 2024 г. по 3 января 2025 г.: фиолетовыми крестиками обозначена зона мазутного загрязнения вдоль берега, красными крестиками – финальное положение частиц мазута, линиями – пути их перемещения (*b*)

F i g. 6. Results of numerical modeling the area of the “Volgoneft-212” sunken stern from December 19–24, 2024 (*a*) to December 26, 2024 – January 3, 2025. Purple crosses indicate the area of oil pollution along the coast, red dots – the final position of oil particles, and lines are their movement paths (*b*)

Мазутные пятна зафиксированы в воде и на берегу в районе порта Крым и крепости Ени-Кале. Оперативный прогноз системы *FOTS* своевременно предсказал поступление нефти на берег в районе порта Крым, что позволило

МЧС сосредоточить необходимую группировку сил для ликвидации последствий загрязнения берега.

Изменение направления ветра на восточное 23–25 декабря привело к перемещению загрязнений на запад. В результате мазут, который находился в Керченском проливе, был прибит к западному берегу пролива. Его пятна хорошо видны на снимке *Sentinel-1* за 23 декабря (рис. 7, *a*). Как видно, вдоль всего западного побережья Керчи наблюдаются вытянутые в зональном направлении слики. Наибольшую площадь нефтяные пятна занимали в районе м. Такиль, что подтвердилось и наблюдениями морской спасательной службы. Частично нефтяные пятна распространялись и к югу от Керченского п-ова (см. рис. 6, *b*), в результате чего загрязнения затронули прибрежную часть заповедника от м. Опук до м. Такиль и побережья Феодосии, где зафиксированы очаговые выбросы мазута.



Р и с. 7. Спутниковые снимки *Sentinel-1* Керченского пролива за 23 декабря 2024 г. (*a*), района к югу от м. Сарыч 29 декабря 2024 г. (*b*), близ Севастополя 5 января 2024 г. (*c*). Красными прямоугольниками обозначено положение нефтяных сликов

Fig. 7. Images of the Kerch Strait on December 23, 2024 (*a*), the areas south of Cape Sarych on December 29, 2024 (*b*), and nearby Sevastopol on January 5, 2024 (*c*) taken by the *Sentinel-1* satellite. Red rectangles show the positions of oil slicks

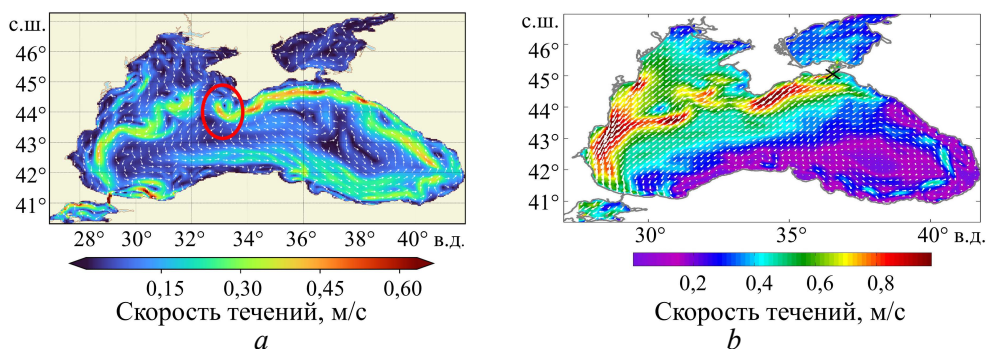
Город Севастополь

25–26 декабря над Керченским проливом возникли характерные для этого периода времени интенсивные северо-восточные ветры со скоростью до 10–15 м/с. Такое направление ветра способствовало переносу мазута от берега в открытое море и считалось благоприятным, поскольку предполагалось, что в глубоководной части Черноморского бассейна мазут осядет в глубинный сероводородный слой, где будет переработан бактериями, и прибрежная часть больше не пострадает.

Однако 4 января 2025 г. поступили сообщения о присутствии мазутных загрязнений в западной части Черного моря, на побережье в районе Балаклавы (Севастополь), на расстоянии более 300 км от источника. Снимок *Sentinel-1* за 29 декабря 2024 г. позволил идентифицировать область мазутного загрязнения к югу от м. Сарыч, которое в итоге попало на берег в районе Западного Крыма (рис. 7, *b*). Пятно мазута имело форму запятой размером 12 × 10 км. На снимке пятно находилось на границе ветрового фронта, поэтому видна была только восточная часть загрязнения, попавшая в зону штиля. За период с начала действия восточных ветров (23 декабря) до даты снимка (29 декабря) это пятно

переместилось более чем на 280 км, т. е. оценка скорости его распространения превысила 60 см/с. Спутниковый снимок данных *Sentinel-1* за 5 января 2024 г. подтвердил присутствие характерных для нефтяного загрязнения радиолокационных сигнатур к югу от м. Херсонес, свидетельствующих о массовых загрязнениях в данном районе (рис 7, с).

Численное моделирование, выполненное с использованием модельного комплекса *NEMO*, выявило физические механизмы, обеспечившие столь быстрый перенос загрязнения на такое большое расстояние. Ключевую роль сыграла интенсификация северо-восточных ветров с 23 по 25 декабря. Эти ветры вызывают значительное увеличение экмановской накачки над бассейном из-за сильного циклонического сдвига на их южной периферии [16], что приводит к усилению крупномасштабной циклонической циркуляции бассейна. В результате скорость Основного Черноморского течения в районе южного побережья Крыма выросла от 0,2–0,3 м/с до 0,5–0,6 м/с (рис. 8, а), что в сочетании с ветровым дрейфом юго-западного направления обеспечило суммарную скорость переноса загрязнений до 0,7–0,9 м/с (рис. 8, б).



Р и с. 8. Карты течений на поверхности без учета дрейфовой скорости течений за 4 января 2025 г. (а) (красным овалом обозначено положение Севастопольского антициклона) и с ее учетом (б)

F i g. 8. Maps of surface currents with no account for drift velocity of currents (a) (red oval indicates the Sevastopol anticyclone position) and with due account for it (b) for January 4, 2025

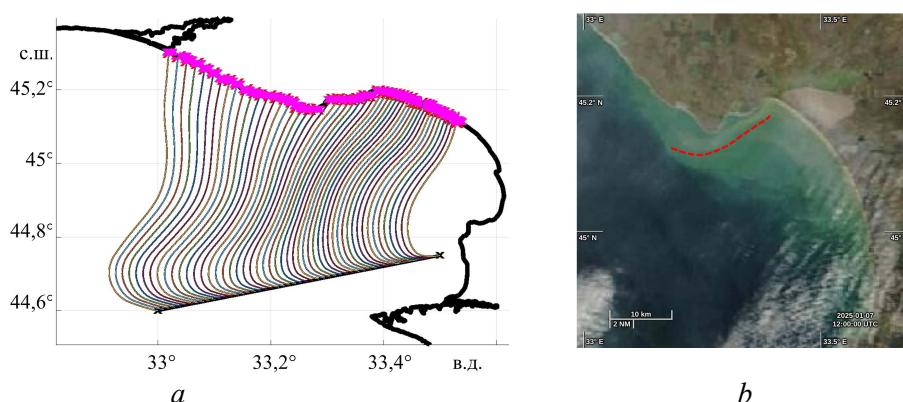
Вблизи юго-западной оконечности Крыма мазут был вовлечен в орбитальное движение Севастопольского антициклона [17, 18], который способствовал переносу мазута 1–5 января в сторону Севастополя (рис. 8, а). Кроме этого, юго-западные ветры 1–3 января также вызвали смещение мазутного загрязнения из зоны континентального склона к берегу.

Это привело к значительному загрязнению мазутом береговой зоны Севастополя, в том числе районов Фиолента, Балаклавы, Парка Победы, которое было особенно сильным на западном берегу у пос. Кача, где наблюдалось несколько повторных выбросов мазута. Воздействие на береговую зону Фиолента характеризовалось загрязнением скалистых участков побережья (см. рис. 5, с), что существенно отличалось от ситуации на песчаных пляжах Анапы. Мазут образовывал характерные полосы и пятна на поверхности скал в зоне заплеска волн, создавая специфические проблемы для проведения

очистных работ. Результаты лабораторных исследований, проведенные Роспотребнадзором, подтвердили идентичность состава мазута с перевозимым на танкерах «Волгонефть».

Западное побережье Крыма

С 6 января 2025 г. в районе западного побережья Крыма начинают дуть южные ветры. Прогнозные расчеты предсказали поступление мазута в район Евпатории, что и было зафиксировано береговыми службами 9 января 2025 г. Однако большая часть загрязнений попала на побережье к западу от города, что было связано с возникновением мощной вдольбереговой струи шириной 1–2 км к югу от Евпатории. Такое вдольбереговое течение, часто возникающее в этом районе под действием юго-западных ветров [19], выступило в роли фронтального барьера, защитившего город (рис. 9). В результате большая часть мазута попала на западную часть побережья города и в район Окуневки, где были зафиксированы массовые загрязнения пляжа сгустками мазута. Своевременная передача прогнозных данных МГИ РАН службам МЧС за 2–3 дня позволила заблаговременно подготовить силы и средства для ликвидации загрязнений.

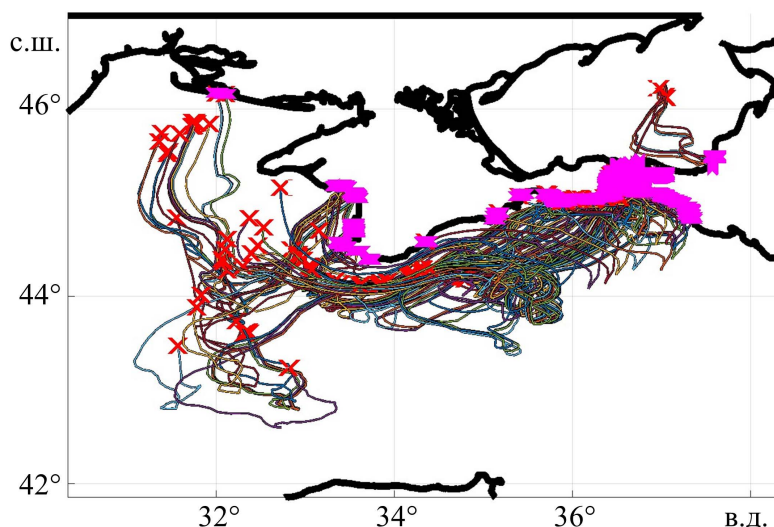


Р и с. 9. Результаты численного прогноза дрейфа нефтяных пятен из района обнаружения на снимке *Sentinel-1* (см. рис. 7, c) за 5–9 января 2025 г.: фиолетовыми крестиками обозначена зона мазутного загрязнения вдоль берега, черная прямая линия показывает исходное положение мазутного загрязнения (a); вдольбереговая струя у берега Евпатории, выступившая динамичной защитой западной части города, на снимке *MODIS* от 7 января 2025 г. (отмечена красной линией) (b)

F i g. 9. Results of the numerical forecast of oil slick drifts from the detection area in the *Sentinel-1* image for January 5–9, 2025 (see Fig. 7, c), purple crosses show the fuel oil pollution zone along the coast; black strait line indicates the initial position of fuel oil pollution (a); the coastal stream off the Yevpatoriya coast which acted as a dynamic defense for the city western part in the *MODIS* image for January 7, 2025 (marked with a red dashed line) (b)

Общая характеристика ареалов загрязнения

Общая траектория распространения мазута, полученная по результатам численного моделирования из района затонувшей кормы «Волгонефть» с 15 декабря 2024 г. по 29 января 2025 г. показана на рис. 10. Отметим, что траектория распространения мазута огибает Крым, почти не затрагивая курорты на южном берегу, которые в этих условиях пострадали менее всего.



Р и с. 10. Общая траектория распространения мазута, полученная по результатам численного моделирования, из района затонувшей кормы «Волгонефть» с 15 декабря 2024 г. по 29 января 2025 г.: фиолетовыми крестиками обозначена зона мазутного загрязнения вдоль берега, красными крестиками – финальное положение частиц мазута, линиями – пути перемещения

F i g. 10. Overall trajectory of fuel oil spread resulted from numerical modeling the area of the “Vologoneft” sunken stern from December 15, 2024 to January 29, 2025. Purple crosses indicate the area of oil pollution along the coast, red dots – the final position of oil particles, and lines are their movement paths

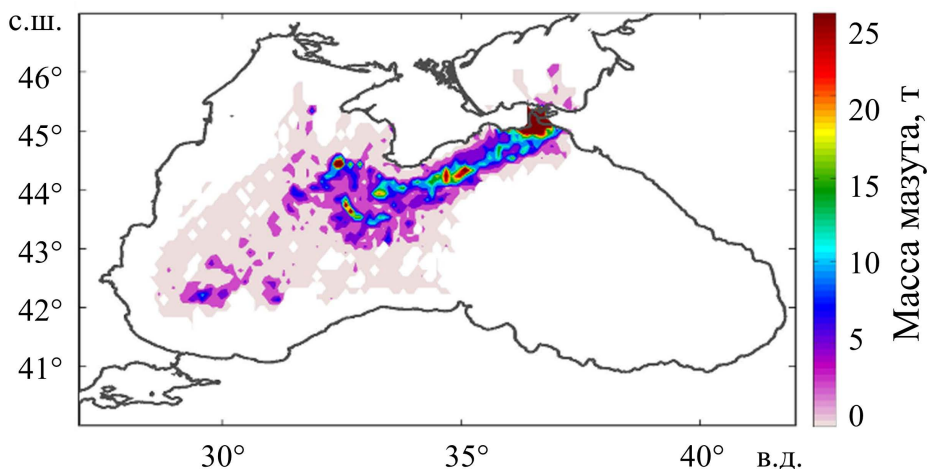
Несмотря на то что основная часть загрязнения перемещалась южнее полуострова, в некоторых его районах, по свидетельству очевидцев, зафиксированы незначительные очаговые загрязнения (в районах Гаспры, Фороса, Судака), вызванные, по данным моделирования, воздействием южных ветров.

Общая продолжительность активной фазы распространения загрязнений составила более 25 дней, что существенно превышает типичные временные масштабы для большинства случаев нефтяных загрязнений. Данный факт отражает специфические свойства мазута М-100, характеризующегося замедленными процессами выветривания. В результате катастрофа на судах «Волгонефть» в декабре 2024 г. привела к обширному загрязнению береговой линии протяженностью более 700 км.

Использованная система позволила своевременно предсказать распространение загрязнения в основные курортные районы (Анапа, Керчь, Севастополь, Евпатория) на длительный период более 25 дней, что говорит о высоком качестве использованных моделей и методов моделирования. В течение месяца мазут не подвергся значительному выветриванию и сохранял активность, что обусловило его распространение и загрязнение пляжей даже на расстоянии свыше 300 км от источника. После 10 января данные моделирования показывают дальнейшее смещение загрязнений на юго-запад в открытое море под действием преобладающих северо-восточных ветров, что могло привести к распространению загрязнений в юго-восточную или южную часть моря к середине февраля 2025 г.

Кроме этого, согласно результатам моделирования, мазут в западной части моря частично перемещался на север и мог попасть на побережье Херсонской области в районе Железного порта 29–31 января. Однако сигналов о его распространении в эти районы побережья не поступало. По-видимому, основная доля мазута к этому времени уже выветрилась, попала на берег или опустилась в глубинные слои моря.

Результаты моделирования позволили построить детальную картину пространственно-временного распределения мазутного загрязнения в акватории Азово-Черноморского бассейна (рис. 11).



Р и с. 11. Суммарная оценка массы мазута, прошедшего через каждую ячейку сетки (5×5 км), по данным моделирования

F i g. 11. Simulation-derived total estimate of fuel oil mass that passed through each cell of a grid (5×5 km)

Для количественной оценки распределения загрязнений акватория разделена на регулярную сетку квадратов размером 5×5 км, в каждом из которых рассчитывался объем нефти, прошедшей через данную область в течение всего периода моделирования. Считалось, что общее количество вылитой нефти составляет приблизительно 3000 т. В связи с неопределенностью в оценке временной динамики поступления мазута из источника сценарий расчета предполагал экспоненциальное убывание интенсивности источника, отражающее постепенное истощение запасов мазута в поврежденных емкостях и естественную герметизацию повреждений.

Результаты моделирования показали, что большая часть загрязнений распространялась над глубоководной частью Черного моря, где глубины превышают 500 м. Данное обстоятельство имеет важное экологическое значение, поскольку глубоководная часть Черного моря ниже 150–200 м характеризуется анаэробными условиями с высоким содержанием сероводорода. В таких условиях осевший на дно мазут может подвергаться анаэробной биодegradации специализированными бактериальными сообществами, что снижает долговременное экологическое воздействие загрязнения.

Наиболее критическая ситуация наблюдалась в мелководных прибрежных зонах, где глубины не превышают 50–100 м. Взаимодействие взвеси с мазутом приводит к росту его плотности и опусканию на дно. В таких условиях осевший мазут может длительное время сохраняться в донных отложениях, создавая потенциал для вторичного загрязнения при изменении гидродинамических условий или температурного режима. Особенно высокие концентрации донных загрязнений могут находиться в районах Анапы и Керченского пролива, где сочетание мелководных условий и интенсивного гидродинамического воздействия способствует взмучиванию донных отложений.

Вторичные загрязнения в районе аварии

Крупной проблемой при ликвидации последствий аварии является проникновение мазута в грунт и в донные осадки. Одной из первых работ по оценке загрязненности береговой зоны пляжей и морского дна стали экспедиционные работы ЮНЦ РАН под руководством академика Г. Г. Матишова. С 22 по 24 января 2025 г. проведено комплексное обследование последствий мазутного загрязнения на побережье Анапской пересыпи. Исследования охватили участок протяженностью более 80 км от м. Панагия до центрального пляжа города Анапы (рис. 12).

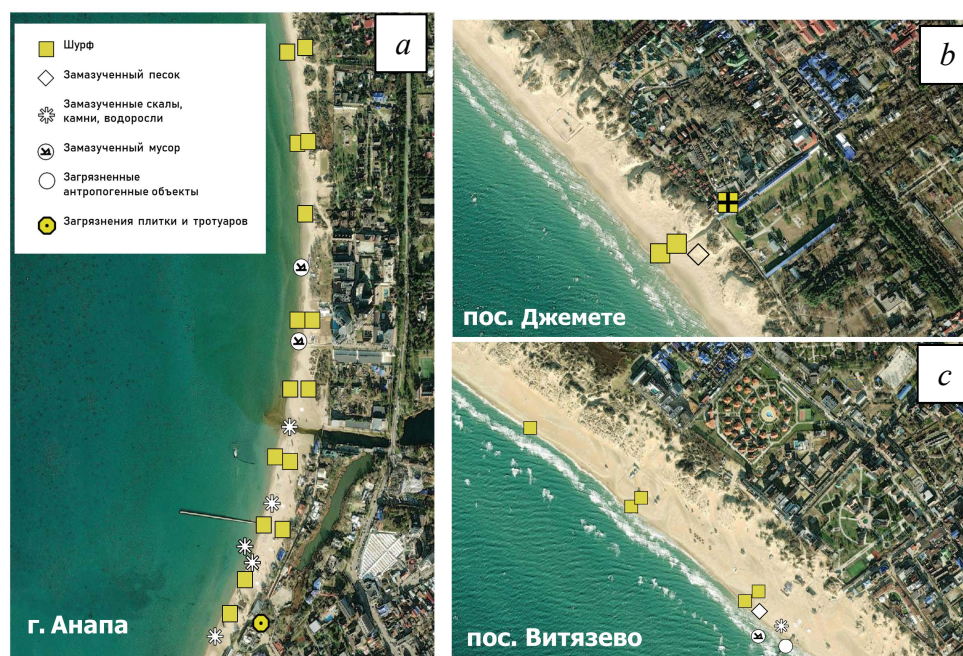


Рис. 12. Экспедиционный мониторинг ЮНЦ РАН последствий аварийного разлива нефтепродуктов (22–24 января 2025 г.) на центральном пляже Анапы (а), на пляжах в пос. Джемете (b) и пос. Витязево (с) [9, с. 36–37]

Fig. 12. Expeditionary monitoring of the consequences of emergency oil spill (January 22–24, 2025) performed by SSC RAS at the central beach in Anapa (a), and at the beaches in villages Dzhemet (b) and Vityazevo (c) [9, p. 36–37]

В ходе экспедиции заложено 27 шурфов с документированием стратиграфии отложений и фиксацией мазутных прослоев. Установлено, что фрагменты мазута не только присутствуют на поверхности пляжа, но и встречаются в береговых отложениях на глубине 12–35 см на расстоянии до 20 м от уреза воды. Формирование погребенных мазутных пластов произошло на стадии угасания штормового волнения, когда декабрьские штормовые волны высотой 4–6 м и созданные ими вдольбереговые потоки наносов захоронили мазут под слоем песка 15–50 см.

По результатам обследования выявлено пять основных типов мазутного загрязнения береговой зоны:

1) погребенное загрязнение в виде отдельных линз и пластов мазута мощностью 1–2 см на глубинах 12–35 см, сформировавшееся при его захоронении штормовыми волнами под слоем песчаных наносов;

2) загрязнение в виде мазутно-песчаных агрегатов размером от 3 до 20 мм, которые перемещались под действием гидродинамических и эоловых факторов и покрыли поверхность пляжей, вдольбереговых валов и дюн. Площадь распространения таких агрегатов составляет 3–4 % от общей обследованной территории;

3) загрязнение нефтепродуктами, проникшими в грунтовые воды, что привело к транзиту загрязнения в нижележащие горизонты. Это загрязнение определяется по характерному резкому запаху даже при отсутствии видимых следов мазута на поверхности грунта;

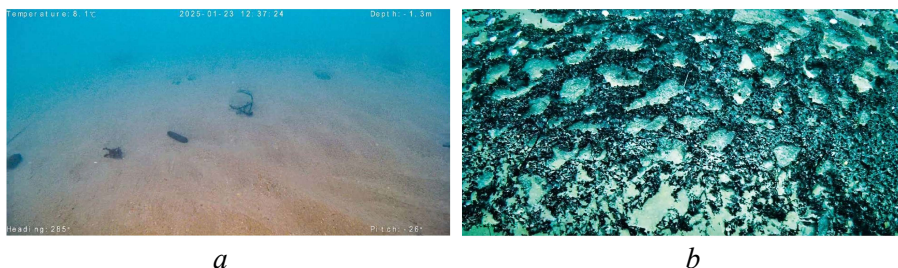
4) загрязнение морской растительности и антропогенных объектов: мазут обнаружен на водорослях, раковинах моллюсков, фрагментах такелажа и различном морском мусоре. Опоры причалов в районе городского пляжа Анапы и пос. Витязево оказались полностью покрыты толстым слоем мазута;

5) мелкодисперсное загрязнение, частично гранулированное до размеров песчаных фракций менее 3 мм, находящееся в толще пляжных отложений.

Количественная оценка загрязнения проводилась на контрольных участках площадью 1 м² путем сплошного сбора включений мазута размером 3–20 мм. Установлено, что содержание фрагментов мазута на поверхности варьирует от 15 до 50 г/м² в зависимости от локации участка. Общая масса мелкой россыпи мазута на исследованной полосе берега площадью 2,1 км² оценивается в 83,1 т, включая 57,8 т на поверхности и 25,3 т в погребенном состоянии на глубине 12–15 см.

Особую озабоченность вызывает загрязнение уникальных песчаных дюн Анапской пересыпи, имеющих статус особо охраняемой природной территории. На дюнах обнаружены россыпи мазутных фрагментов размером 3–20 мм, которые накапливаются преимущественно у основания дюн, обращенного к морю. В условиях сильных сухих ветров, характерных для данного региона в теплый период года, эти загрязнения будут перемещаться от подножия и наветренного склона вверх и далее на тыльную сторону дюн, распространяя загрязнение вглубь территории.

Подводные исследования прибрежного шельфа, проведенные с использованием телеуправляемого аппарата *Chasing M2*, выявили мазутные загрязнения на морском дне (рис. 13).

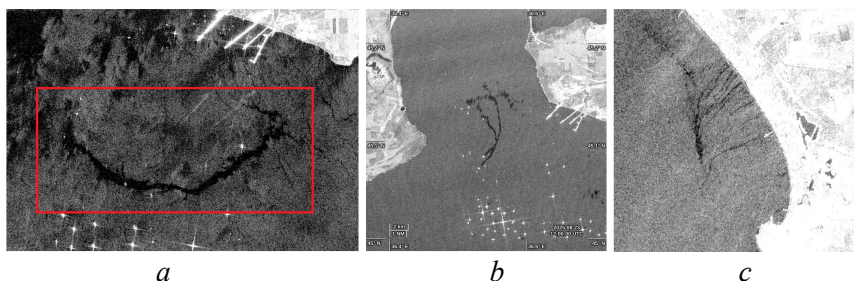


Р и с. 13. Мазутно-песчаные фрагменты длиной 4–6 см на расстоянии 5 м от уреза воды на глубине 0,8 м, зафиксированные подводным дроном в ходе экспедиции ЮНЦ РАН [9, с. 88] (a); скопления мазута 3 февраля 2025 г. в районе пляжей у пос. Верхнее Джемете ³ (b)

F i g. 13. Fuel oil-sand fragments of 4–6 cm length recorded at the 5 m distance from the water line and at the 0.8 m depth by an underwater drone during the expedition of SSC RAS [9, p. 88] (a); fuel oil accumulations in the areas of village Verkhnee Dzhemete ³ on February 3, 2025 (b)

На участке акватории у станицы Благовещенской на расстоянии 2,5–4 м от уреза воды на глубинах до 0,9 м зафиксированы мазутно-песчаные фрагменты (окатыши) длиной 4–6 см, перемещающиеся по донной поверхности, а также прикрепленные к грунту обрывки мелкоячеистой сети, пропитанные мазутом. Группой дайверов под руководством Александра Величко ³ у пос. Верхнее Джемете обнаружена мазутная гряда длиной 100–150 м и толщиной 5–20 см на расстоянии 300–350 м от берега на глубине 2,5 м, местами перекрытая песчаными отложениями. Результаты химических исследований, проведенных группой ИО РАН 1–2 марта 2025 г. [4], также подтвердили большую концентрацию алифатических углеводородов и полициклических ароматических углеводородов в осадках и морской воде вблизи Анапы.

Важным аспектом долговременного воздействия катастрофы является способность осевшего мазута к повторному подъему при изменении термодинамических условий. Как уже отмечалось, мазут М-100 характеризуется выраженной температурной зависимостью плотности, при нагревании его плотность может снижаться до значений, близких к плотности морской воды, что создает условия для всплытия донных загрязнений.



Р и с. 14. Снимки *Sentinel-1*, демонстрирующие появление вторичных загрязнений в районах Керченского пролива за 24 апреля (красным прямоугольником выделено положение слика) (a) и 23 августа 2025 г. (b), побережья Анапы за 14 апреля 2025 г. (c)

F i g. 14. Sentinel-1 images showing the appearance of secondary pollution in the areas of Kerch Strait on April 24 (the slick location is highlighted with red rectangle) (a) and August 23, 2025(b), as well as the Anapa coast on April 14, 2025 (c)

³ URL: <https://t.me/anapakiteteam/1222> (дата обращения: 07.11.2025).

Действительно, данные радиолокационных наблюдений начиная с апреля 2025 г. фиксируют появление характерных для мазутного загрязнения сигнатур в Керченском проливе, в районе первоначального источника загрязнения и в прибрежных зонах Анапы (рис. 14).

В зоне нахождения кормы «Волгофь-212» такие сигнатуры фиксируются почти каждый день в маловетренную погоду (рис. 14, *a, b*), что свидетельствует о наличии постоянного вторичного источника загрязнений. Вблизи Анапы вторичные загрязнения встречаются эпизодически. В этих случаях они отмечаются чаще всего на кромке шельфа, на глубине 20–30 м (рис. 14, *c*). Обнаружение зон захоронения мазута на дне важно, так как эти районы являются вероятным источником вторичных загрязнений.

Одной из важных причин осаждения мазута является его адсорбция на частицах взвеси, поступающих в толщу вод из-за взмучивания донных осадков. Взмучивание наиболее эффективно в мелководных областях, поэтому граница шельфа является естественной зоной контакта мазута и взвеси. Именно здесь, вероятно, и происходило основное осаждение мазута. В период его распространения в сторону берега Анапы действовали интенсивные ветры западного и южного направлений, способствующие эрозии берегов и взмучиванию взвешенного вещества. На рис. 15 представлено оптическое изображение *MODIS* за 18 декабря 2024 г. в момент, предшествующий аварии.



Рис. 15. Взвесь на оптическом снимке *MODIS* за 18 декабря 2024 г. Красной линией обозначена зона контакта морских вод с водами с высокой концентрацией взвешенного вещества у берега

Fig. 15. Suspended matter in the *MODIS* optical image for December 18, 2024. Red line indicates the contact zone between the sea waters and those with high concentration of suspended matter near the coast

Вблизи Анапы наблюдаются значительные концентрации взвешенного вещества (красная линия), которое выступало своеобразным буфером для проникновения мазута на берег Анапы и способствовало захоронению мазута в донные осадки. Для волн длиной 20–30 м резкий рост его концентрации из-за взмучивания соответствует положению изобат 10–15 м, где, по-видимому, и происходил наиболее резкий процесс осаждения мазута. В настоящий момент МГИ РАН ведет работы по моделированию перемещения донных осадков, загрязненных мазутом, в данном районе.

Заключение

Масштаб последствий катастрофы 2024 г. превысил масштабы всех предыдущих случаев антропогенного нефтяного загрязнения в российском секторе Черного моря. Авария привела к загрязнению более 700 км береговой линии и к поступлению в морскую среду 2500–3000 т мазута марки М-100. Впервые для условий Азово-Черноморского бассейна задокументирован случай дальнего переноса мазута на расстояние свыше 300 км. Установленная продолжительность активной фазы распространения мазутного загрязнения (более 25 дней) существенно превышает известные временные масштабы аналогичных инцидентов и обусловлена замедленными процессами выветривания данного сорта мазута.

Численный комплекс, включающий модель динамики Азово-Черноморского бассейна Экспериментального центра морских прогнозов МГИ РАН и систему переноса нефтяных загрязнений *FOTS*, продемонстрировал высокую точность прогнозирования распространения нефтяных загрязнений. Было успешно предсказано время и место поступления мазута на побережья Анапы, Керчи, Севастополя и Евпатории. Верификация результатов на основе спутниковых данных и контактных наблюдений подтвердила качество модели на временных масштабах более 25 дней, что позволило своевременно предупредить аварийно-спасательные службы и сосредоточить силы в прогнозируемых районах загрязнения, сэкономив средства на ликвидацию последствий катастрофы.

Выявлено пять основных типов мазутного загрязнения береговой зоны, включая погребенное загрязнение на глубинах 12–35 см, формирующее долговременные источники вторичного загрязнения общей массой 25,3 т на исследованной территории. Обнаружены подводные мазутные скопления на прибрежном шельфе, создающие постоянные источники вторичного загрязнения и представляющие угрозу для донных биоценозов. Обнаружение подводных мазутных аккумуляций и регистрация вторичных поверхностных загрязнений в весенне-летний период 2025 г. подтверждают гипотезу о формировании долговременных источников загрязнения с циклическим характером воздействия на морские экосистемы. Температурная зависимость плотности мазута М-100 создает предпосылки для сезонной реактивации донных загрязнений при летнем прогреве водных масс, что подтверждается спутниковыми измерениями.

Полученные результаты имеют важное значение для совершенствования систем мониторинга и прогнозирования распространения нефтяных загрязнений в морской среде, а также для разработки более эффективных методов ликвидации последствий аварийных разливов тяжелых нефтепродуктов. Долговременный характер выявленных источников вторичного загрязнения требует организации постоянного мониторинга состояния морской среды и береговых экосистем в зоне воздействия катастрофы.

Декларация об использовании искусственного интеллекта (ИИ)

Для поддержки целостности изложения информации в статье авторы использовали LLM DeepSeek (версия V3.2). Модель использовалась только для стилистической поддержки текста рукописи, не для генерации данных или их интерпретации. Текст, отредактированный с применением ИИ, был критически проанализирован, переработан и верифицирован всеми авторами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лаврова О. Ю., Лупян Е. А., Костяной А. Г. Спутниковый мониторинг мазутного разлива в районе Керченского пролива 15 декабря 2024 г.: предварительные результаты // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2025. Т. 22, № 1. С. 327–335. EDN ITPALB. <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2025-22-1-327-335>
2. Лаврова О. Ю., Лупян Е. А., Костяной А. Г. Последствия аварий танкеров в черноморском керченском предпроливье 15 декабря 2024 г.: комплексный анализ спутниковых и метеорологических данных // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2025. Т. 22, № 2. С. 282–299. EDN WQJKUT. <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2025-22-2-282-299>
3. Патин С. А. Экологические проблемы освоения нефтегазовых ресурсов морского шельфа. Москва : Изд-во ВНИРО, 1997. 349 с.
4. Трансформация мазута в Черном море через два с половиной месяца после аварии танкеров / И. А. Немировская [и др.] // Доклады Академии наук. Науки о Земле. 2025. Т. 520, № 2. С. 49–55. EDN MBVFAB. <https://doi.org/10.31857/S2686739725080064>
5. 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 : Изд-во ЮНЦ РАН, 2008. 80 с. EDN VYSDJT.
6. Клеценков А.В., Шишкалов И.Ю., Коришун А.М. Типизация загрязнения побережья Таманского полуострова нефтепродуктами в результате аварии судов в Керченском проливе в ноябре 2007 г. // Вестник Южного научного центра РАН. 2008. Т. 4, № 4. С. 46–51.
7. Спутниковый мониторинг последствий катастрофического разлива нефтепродуктов в Керченском проливе / О. Ю. Лаврова [и др.] // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2009. Вып. 6, т. 1. С. 409–420. EDN LVLSKK.
8. Матишов Г. Г., Инжебейкин Ю. И., Савицкий Р. М. Воздействие на среду и биоту аварийного разлива нефтепродуктов в Керченском проливе в ноябре 2007 г. // Водные ресурсы. 2013. Т. 40, № 3. С. 259–273. EDN PYSKPH. <https://doi.org/10.7868/S0321059613020041>
9. Аварии и последствия танкерной перевозки мазута (Керченский пролив – 2007 г., Анапа – 2024 г.) / Г. Г. Матишов [и др.]. Ростов-на-Дону : Изд-во ЮНЦ РАН, 2025. 152 с.
10. Крыленко В. В. Динамика морского берега Анапской пересыпи // Океанология. 2015. Т. 55, № 5. С. 821–828. EDN UIMGRL. <https://doi.org/10.7868/S0030157415050081>
11. Моделирование растекания нефти в задаче радиолокационной многоугловой диагностики загрязнений морской поверхности / А. Я. Матвеев [и др.] // Исследование Земли из космоса. 2016. № 1–2. С. 213–224. EDN VTOVQX. <https://doi.org/10.7868/S0205961416010097>
12. Применение Лагранжевых методов для исследования динамических процессов и транспорта плавающих объектов в океане / А. А. Кубряков [и др.] // Информационные технологии в дистанционном зондировании Земли – RORSE 2018. Москва : ИКИ РАН, 2019. Р. 9–16. <https://doi.org/10.21046/rorse2018.9>
13. Прототип отечественной системы непрерывного анализа и прогноза полей Мирового океана, Арктического и Азово-Черноморского бассейнов / Г. К. Коротаев [и др.] // Морские информационно-управляющие системы. 2020. № 1(17). С. 40–47. URL: http://oceanplatform.ru/wp-content/uploads/2020/08/journal_07_2020.pdf (дата обращения: 07.11.2025).
14. Mizyuk A. I., Korotaev G. K. Black Sea intrapycnocline lenses according to the results of a numerical simulation of basin circulation // Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics. 2020. Vol. 56, no. 1. P. 92–100. EDN PVCCMN. <https://doi.org/10.1134/S0001433820010107>
15. Stanichny S. V., Kubryakov A. A., Soloviev D. M. Parameterization of surface wind-driven currents in the Black Sea using drifters, wind, and altimetry data // Ocean Dynamics. 2016. Vol. 66, no. 1. P. 1–10. EDN WPPSMR. <https://doi.org/10.1007/s10236-015-0901-3>
16. Kubryakov A. A., Zatsepin A. G. Stanichny S. V. Anomalous summer-autumn phytoplankton bloom in 2015 in the Black Sea caused by several strong wind events // Journal of Marine Systems. 2019. Vol. 194. P. 11–24. EDN JQAROH. <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2019.02.004>

17. Anticyclonic eddies in the northwestern Black Sea / A. I. Ginzburg [et al.] // Journal of Marine Systems. 2002. Vol. 32, no. 1–3. P. 91–106. EDN LHLMP. [https://doi.org/10.1016/S0924-7963\(02\)00035-0](https://doi.org/10.1016/S0924-7963(02)00035-0)
18. Kubryakov A. A., Mizyuk A. I., Stanichny S. V. Stationarity and separation of the Sevastopol eddies in the Black Sea: The role of eddy-topographic interaction and submesoscale dynamics // Journal of Marine Systems. 2024. Vol. 241. 103911. EDN IPPIGO. <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2023.103911>
19. Распределение взвешенного вещества у западного побережья Крыма при воздействии сильных ветров различных направлений / А. А. Алескерова [и др.] // Исследование Земли из космоса. 2019. № 2. С. 74–88. EDN ZIPMWT. <https://doi.org/10.31857/S0205-96142019274-88>

Об авторах:

Кубряков Арсений Александрович, заместитель директора по научной работе, ФГБУН ФИЦ МГИ (Россия, 299011, г. Севастополь, ул. Капитанская, д. 2), доктор физико-математических наук, **SPIN-код: 4371-8879, Scopus Author ID: 37072750100, WoS ResearcherID: F-8921-2014, ORCID ID: 0000-0003-3561-5913**, arskubr@yandex.ru

Георга-Копулос Антон Александрович, заместитель директора по административно-правовой работе, ФГБУН ФИЦ МГИ (Россия, 299011, г. Севастополь, ул. Капитанская, д. 2), кандидат юридических наук, **SPIN-код: 2701-4367**, apr@mhi-ras.ru

Станичный Сергей Владимирович, старший научный сотрудник, заведующий отделом дистанционных методов исследований, ФГБУН ФИЦ МГИ (Россия, 299011, г. Севастополь, ул. Капитанская, д. 2), кандидат физико-математических наук, **SPIN-код: 8146-9454, Scopus Author ID: 6602344280, WoS ResearcherID: F-8915-2014, ORCID ID: 0000-0002-1033-5678**, sstanichny@mail.ru

Холод Антон Леонидович, научный сотрудник, отдел динамики океанических процессов, лаборатория численного моделирования динамики физических и биогеохимических процессов в морских средах, лаборатория морских прогнозов, ФГБУН ФИЦ МГИ (Россия, 299011, г. Севастополь, ул. Капитанская, д. 2), кандидат технических наук, **SPIN-код: 3978-3077, Scopus Author ID: 55632951600, WoS ResearcherID: ABA-3482-2020, ORCID ID: 0000-0003-4694-8406**, antonholod@mail.ru

Клещенков Алексей Владимирович, ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией гидрологии и гидрохимии, помощник директора по экспедиционным исследованиям, ЮНЦ РАН (Россия, 344006, г. Ростов-на-Дону, пр. Чехова, 41), кандидат географических наук, **SPIN-код: 3552-0913, Scopus Author ID: 57016697100, WoS ResearcherID: E-6619-2014, ORCID ID: 0000-0002-7976-6951**, geo@ssc-ras.ru

Кулыгин Валерий Валерьевич, ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией информационных технологий и математического моделирования, ЮНЦ РАН (Россия, 344006, г. Ростов-на-Дону, пр. Чехова, 41), кандидат технических наук, **SPIN-код: 3657-5016, Scopus Author ID: 24399335100, WoS ResearcherID: I-3194-2013, ORCID ID: 0000-0001-9748-6497**, kulygin@ssc-ras.ru

Пузина Оксана Сергеевна, младший научный сотрудник, отдел динамики океанических процессов, лаборатория численного моделирования динамики физических и биогеохимических процессов в морских средах, ФГБУН ФИЦ МГИ (Россия, 299011, г. Севастополь, ул. Капитанская, д. 2), **SPIN-код: 2207-4617, Scopus Author ID: 57205120208, WoS ResearcherID: J-9662-2018, ORCID ID: 0000-0002-1637-4475**, oksana_puzina@mail.ru

Мизюк Артем Игоревич, ведущий научный сотрудник, отдел динамики океанических процессов, заведующий лабораторией численного моделирования динамики физических и биогеохимических процессов в морских средах, ФГБУН ФИЦ МГИ (Россия, 299011, г. Севастополь, ул. Капитанская, д. 2), кандидат физико-математических наук, **SPIN-код: 8285-8260, Scopus Author ID: 36446217200, WoS ResearcherID: C-6125-2016, ORCID ID: 0000-0003-4885-354X**, artem.mizyuk@gmail.com