

Научная статья

УДК 628.196; DOI: 10.61260/1998-8990-2026-2-244-256

ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СПОСОБОВ ЛИКВИДАЦИИ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПОСЛЕДСТВИЙ РАЗЛИВА НЕФТЕПРОДУКТОВ

Гавкалюк Богдан Васильевич;

Савчук Олег Николаевич;

✉Пьянусов Александр Викторович.

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия

✉a.pyanusev@igps.ru

Аннотация. В статье на основе анализа экологических катастроф на территории и акватории России в течение последних пяти лет представлены данные по причинам их возникновения, масштабам последствий загрязнения среды обитания людей, материальному ущербу, а также длительности ликвидации последствий. На основе анализа существующих методов и способов ликвидации разливов нефтепродуктов вскрыты проблемы в организации и осуществлении мер по ликвидации последствий разлива нефтепродуктов на почве и морских акваториях. Предложены пути совершенствования мер по локализации и ликвидации последствий разливов:

- совершенствование механических методов путем создания новых типов сорбентов;
- совершенствование мониторинга и прогнозирования таких аварий; повышению оперативной готовности сил и средств МЧС России к предупреждению и ликвидации загрязнения акваторий путем применения современных маломерных судов, оснащенных эффективными средствами локализации и сбора нефтепродуктов, а также совершенствование тактики их применения;
- совершенствование химических и физико-химических методов очистки и локализации загрязнений; разработка перспективных мер по восстановлению экосистем после разливов нефти.

Ключевые слова: экологическая катастрофа, нефтепродукты, локализация нефтяных пятен, мониторинг и прогнозирование последствий экологических чрезвычайных ситуаций, ликвидация последствий загрязнения нефтепродуктами

Для цитирования: Гавкалюк Б.В., Савчук О.Н., Пьянусов А.В. Проблемы и пути совершенствования способов ликвидации экологических последствий разлива нефтепродуктов // Проблемы управления рисками в техносфере. 2026. № 2 (78). С. 244–256. DOI: 10.61260/1998-8990-2026-2-244-256

Scientific article

PROBLEMS AND WAYS TO IMPROVE THE METHODS OF ELIMINATING THE ENVIRONMENTAL CONSEQUENCES OF OIL SPILLS

Gavkalyuk Bogdan V.;

Savchuk Oleg N.;

✉ Pyanusev Alexander V.

Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia

✉ a.pyanusev@igps.ru

Abstract. Based on the analysis of environmental disasters in the territory and waters of Russia over the past five years, the article presents data on the causes of their occurrence, the scale of the consequences of human habitat pollution, material damage, and the duration of the aftermath. Based on the analysis of existing methods and methods for eliminating oil product spills, problems in the organization and implementation of measures to eliminate the consequences of oil product spills on soil and marine areas have been revealed. Ways to improve measures to localize and eliminate the consequences of the spill are proposed: to improve mechanical methods by creating new types of sorbents, to improve monitoring and forecasting of such accidents, to increase the operational readiness of the forces and means of EMERCOM of Russia in order to prevent and eliminate pollution of the water area through the use of modern small vessels equipped with more effective means of protecting oil spills and collecting in ports where tankers are moored, tactics of their use, improvement of chemical and physico-chemical methods for cleaning and localization of pollution, promising measures to restore ecosystems after oil spills.

Keywords: environmental disaster, petroleum products, localization of oil spills, monitoring and forecasting the consequences of environmental emergencies, elimination of the consequences of pollution by petroleum products

For citation: Gavkalyuk B.V., Savchuk O.N., Pyanusev A.V. Problems and ways to improve the methods of eliminating the environmental consequences of oil spills // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2026. № 2 (78). P. 244–256. DOI: 10.61260/1998-8990-2026-2-244-256

Введение

Аварии на объектах нефтегазового комплекса приводят к экологическим чрезвычайным ситуациям (ЧС), наносящим значительный ущерб экосистемам и требующим значительных ресурсов и технических средств для их ликвидации. Одной из самых сложных экологических проблем является разлив нефти и нефтепродуктов из-за физико-химических свойств нефти, которая содержит как тяжелые, так и летучие углеводороды [1].

По данным различных исследований, ежегодно в акватории мирового океана оказывается от 1,3 до 1,8 млн т нефти и нефтепродуктов. Значительная часть этих выбросов связана с авариями танкеров, нефтяных платформ и трубопроводов. Разливы нефти оказывают разрушительное воздействие на морскую флору и фауну. В табл. 1 представлен анализ крупных инцидентов разлива нефти в России с 2020 по 2024 г. [2]^{1,2}.

¹ Фадеева А., Бурмистрова С., Подобедова Л. ЧС с разливом дизеля в Норильске. Что важно знать // РБК. 2020. 4 июня. URL: https://www.rbc.ru/business/04/06/2020/5ed7b3a19a79470f8a58995b?utm_source=chatgpt.com (дата обращения: 15.01.2026)

² Шаталова Л., Бардин Д. Разлив нефти в ХМАО. URL: <https://neft.media> (дата обращения: 15.01.2026).

Таблица 1

Анализ крупных инцидентов разлива нефти в России с 2020 по 2024 год

Авария	Место происшествия	Причины происшествия	Последствия	Материальный ущерб	Длительность ликвидации аварии
Разлив дизельного топлива в г. Норильске (май 2020 г.)	г. Норильск, ТЭЦ-3; р. Амбарная и Далдыкан; о. Пясино	Разгерметизация резервуара из-за проседания свайного основания (таяние вечной мерзлоты)	Загрязнение водоёмов; угроза экосистеме Северного Ледовитого океана	«Норникель» выплатил штраф в размере 146,2 млрд руб. за нанесённый экологии вред	Работы по очистке и реабилитации загрязнённых земель завершились к концу 2023 г.
Разлив нефти в Республике Коми (май 2021 г.)	Ошское месторождение; вблизи р. Колва	Разгерметизация трубопровода, по которому транспортировалась нефть	В результате аварии в почву попало около 100 т нефтепродуктов, из которых приблизительно 9 т достигли р. Колва. Загрязнённая территория охватила около 1,3 га. Разлив нефти привёл к загрязнению водных ресурсов и почвы, что негативно сказалось на местной экосистеме	Более 374 млн руб.	Работы по очистке и реабилитации загрязнённых земель завершились к июлю 2022 г.
Разлив нефтепродуктов в г. Новороссийске (февраль 2024 г.)	Инцидент произошёл в акватории морского порта Новороссийск, у причала № 5 Восточного пирса ПАО «Новороссийский морской торговый порт» (НМТП).	Разлив произошёл из-за утечки нефтепродуктов с борта судна Hai Jin Jiang под флагом Панамы	Загрязнение акватории Черного моря на площади 300 м ² . Оперативные меры позволили предотвратить дальнейшее распространение нефтепродуктов	Росприроднадзор оценил ущерб окружающей среде более чем в 450 млн руб.	Спасатели Азово-Черноморского филиала Морспасслужбы завершили операцию по ликвидации разлива, собрав и передав на утилизацию около 40 т нефтепродуктов

					Точные сроки завершения работ не указаны, но оперативные меры позволили быстро локализовать и устранить последствия аварии
Крушение танкеров в Керченском проливе (15 декабря 2024 г.)	Путь, соединяющий Чёрное и Азовское море; Краснодарский край	В результате сильного шторма танкеры, «Волгонефть-212» и «Волгонефть-239», потерпели крушение	В море вылилось около 3 700 т мазута, что привело к загрязнению более 50 км побережья Чёрного моря, включая районы Анапы и Темрюкского района Краснодарского края. Пострадали местные экосистемы; зафиксирована гибель более 200 птиц и около 70 дельфинов	Материальный ущерб с учетом объема разлива и масштабов ликвидационных работ оценивается в 85 млрд руб.	Ликвидация последствий продолжается по сей день

В современных условиях проблема загрязнения окружающей среды является актуальной и требует повышенного внимания со стороны государственной власти, бизнеса и общества. В случаях техногенных, природных ЧС или террористических актов, приведших к масштабным экологическим катастрофам, наиболее сложным и затратным является процесс ликвидации последствий и восстановление экосистем при разливах нефтепродуктов на акваториях (табл. 1). Одной из проблем эффективной ликвидации последствий разливов нефти является разработка и поиск методов по их локализации и оперативной полной ликвидации последствий. Поэтому оперативная ликвидация разливов нефти требует четкой координации различных служб, использования современных технологий и учета множества факторов таких экологических аварий.

Целью работы является анализ существующих методов и способов ликвидации разливов нефтепродуктов на акваториях и выработка путей по их совершенствованию.

Анализ существующих методов и способов ликвидации разливов нефтепродуктов на акваториях

Загрязнение морских акваторий в случаях с авариями танкеров вследствие техногенных, природных ЧС или террористических актов может привести к длительному процессу их ликвидации. Наибольший урон приносят загрязнения нефтеналивных танкеров вблизи прибрежных территорий. Неслучайно террористические акты на танкерах, перевозящих нефтепродукты и опасные химические вещества, осуществлялись в портах или вблизи прибрежных территорий. Только в период 2025 г. было совершено около пяти таких террористических актов (табл. 2). К счастью, они не привели к разгерметизации танков. Результаты расчета возможных последствий разливов нефтепродуктов на морских акваториях с учетом полного истечения содержимого танков по формуле (1) согласно [3] представлены в табл. 2.

$$S=10^{53}\sqrt[3]{V^4}, \quad (1)$$

где S – площадь разлива нефтепродуктов на акватории, км²; V – объем содержимого нефтепродуктов танкера, м³; ρ – удельная плотность перевозимого нефтепродукта 0,94 т/м³.

Таблица 2

Возможные экологические происшествия с проливом нефтепродуктов, которые могли произойти при подрыве танкеров в 2025 г.

Происшествия	Место происшествия	Причины происшествия	Возможные последствия с учетом полного истечения, км ²
15.01.2025 на танкере Seacharm	порт Джейхан Турция	Взрыв на танкере с дедеветом 112,8 тыс. т	Аварийный разлив на акватории 383
Начало февраля 2025 г. на танкере-химовозе Grace Ferrum	порт Триполи Ливия	Взрыв на танкере с дедеветом 50 тыс. т	Аварийный разлив на акватории 208,3
09.02.2025 г. на танкере Koala	порт Усть-Луга Россия	Три взрыва на танкере с дедеветом 164,5 тыс. т	Аварийный разлив на акватории 508,75
15.02.2025 г. на танкере Seajewel	порт Савонна Италия	Взрыв на танкере с дедеветом 108,9 тыс. т	Аварийный разлив на акватории 373,4
27.06.2025 г. на танкере Vilamoura	порт Эз Зуэтина в заливе Сидра Ливия	Взрыв на танкере с дедеветом 158,6 тыс. т	Аварийный разлив на акватории 495

Расчет возможного аварийного разлива осуществлялся согласно [4] Правилам о принимаемых максимально расчетных объемах крупномасштабных разливов танкеров с 50 % его содержимым, принятых с 1 января 2021 г. В работе [4] автор рассчитал частоту крупномасштабных разливов таких танкеров, равную $1,2 \cdot 10^{-5}$ год⁻¹. Однако, как показали последние события, с учетом участвовавших и роста возможных террористических актов было принято решение на Черном море не загружать иностранные нефтеналивные танкеры.

Как видно из табл. 2, такого рода террористические акты могут привести к масштабным катастрофическим экологическим последствиям, успешная ликвидация последствий которых будет зависеть от принятых своевременных и выбранных эффективных способов и средств очистки акватории от нефтепродуктов. При этом затраты на ликвидацию разливов могут достигать миллиардов рублей (табл. 1). Однако из-за недостаточного финансирования и сложностей с оценкой ущерба не всегда удается устранить последствия в полном объеме.

В настоящее время используются несколько основных методов очистки водных и наземных экосистем от нефти:

- механический (боны, скиммеры, сорбенты) – самый распространенный, но малоэффективный при больших разливах и сложных погодных условиях;
- химический (диспергенты, растворители, коагулянты), который позволяет быстрее разлагать нефть, но может быть токсичен для окружающей среды;
- биологический (использование нефтеокисляющих бактерий), который является наиболее экологичным способом, но требует времени и благоприятных условий для создания микрофлоры;
- физико-химический (термическое обезвреживание, флотация, электрокоагуляция), который может быть эффективным, но требует больших затрат энергии и специализированного оборудования.

Выбор метода ликвидации последствий зависит от характеристик разлива, условий окружающей среды и доступных технологий. Однако отсутствие единого алгоритма и нормативов по выбору методов приводит к задержкам и неэффективности работ [5, 6].

Одной из проблем ликвидации последствий при аварийных разливах является локализация нефтяного пятна, чтобы оно не распространилось на большие пространства и прибрежные территории. Однако этому могут способствовать:

- сложные погодные условия (сильный ветер, волны, ледовая обстановка);
- нехватка специализированного оборудования (например, недостаточное количество боновых заграждений в регионах);
- запоздалая реакция аварийных служб, что приводит к попаданию нефти в экосистему;
- недостаточная подготовленность персонала и несовершенство регламентов по локализации разливов;
- в условиях Арктики, где замерзшая нефть смешивается со льдом, традиционные методы локализации практически не работают, требуются специальные технологии [7].

При оценке эффективности проводимых мероприятий по ликвидации разлива нефтепродуктов существует также ряд проблем [3, 8]:

- наличие разных методов оценки эффективности, что затрудняет объективное сравнение;
- долгосрочные последствия разливов (некоторые загрязнения обнаруживаются спустя годы);
- отсутствие единой системы мониторинга ликвидационных работ;
- специфические условия ликвидации разливов в разных климатических и географических зонах, которые требуют индивидуального подхода;
- в Арктике наличие низких температур, ледовый покров, сложная транспортная доступность;

- в прибрежных районах это высокая динамика водных масс, сложность локализации нефтяных пятен;

- на суше (в лесах, болотах) это трудности с доступом техники, необходимость восстановления почв.

Например, в Грозненском районе Чечни нефтяные загрязнения накапливались десятилетиями, что привело к формированию глубоких нефтяных слоев в почве, требующих особых технологий очистки.

В связи с этим необходима разработка научно обоснованных критериев оценки успешности мероприятий, включающих не только количественные, но и качественные показатели.

Чтобы минимизировать вероятность аварийных разливов, необходимо заранее анализировать потенциальные риски. Однако при оценке рисков существует сложности в их достоверном определении:

- недостаток данных по прошлым разливам, что затрудняет прогнозирование;
- несовершенство технологий контроля за состоянием нефтепроводов и платформ;
- проблемы с контролем безопасности на малых и старых нефтяных объектах.

Методы ликвидации разливов нефти

Современные методы ликвидации разливов нефти можно разделить на несколько основных категорий: механические, химические, физико-химические и биологические. Каждый из них применяется в зависимости от условий аварии, типа загрязнённой поверхности (вода, почва, лёд) и масштаба разлива.

1. Механические методы включают традиционные и наиболее безопасные способы очистки, основанные на физическом удалении нефти с водной поверхности либо земли:

- боновые заграждения – это плавающие барьеры, которые локализуют пятно и предотвращают его дальнейшее распространение;

- скиммеры – средства, предназначенные для сбора нефти с водной поверхности. Современные модели используют вакуумные, адсорбционные или центрифужные технологии;

- сорбенты – материалы, обладающие впитывающим свойствами. Применяются либо в виде порошков, либо в виде матов, лент или гранул. Современные средства очистки, как правило, включают наноструктурированные сорбенты, которые повышают результативность очистки поверхностей;

- применяемые гидродинамические технологии – подразумевают использование волн, струй воды и беспилотные подводные средства для сбора нефти [9].

2. Химические методы очистки включают использование разработанных реагентов, которые форсируют процесс разложения или сбор нефти. Это, как правило:

- диспергенты – вещества, разрушающие нефтяную плёнку на мелкие фракции, ускоряя её биодеградацию. Возможно применение в условиях сильного волнения водных поверхностей, но могут быть токсичны по своему характеру;

- гелеобразователи – превращают нефть в состояние геля, что облегчает её последующий сбор;

- окислители и катализаторы ускорения распада нефтепродуктов, но требующие строгого контроля их применения, чтобы не нанести вред экосистеме.

3. Физико-химические методы, направленные на изменение молекулярных свойств нефти, для облегчения её последующего удаления:

- электрокоагуляция – способ использования электрического тока для агрегации нефтяных частиц и их последующего удаления;

- флотация – пропускание специально создаваемых воздушных пузырьков через загрязнённую среду для перенаправления нефтяных частиц на поверхность;

- криогенные методы – это замораживание нефтяных фракций для их последующего механического удаления с поверхности;
- применение плазменных технологий очистки – способ уничтожения нефтепродуктов с помощью плазменных потоков с высокой температурой горения.

4. Биологические методы являются более экологичными, основанными на генной инженерии, для разложения нефти природными микроорганизмами:

- метод биоразложения нефти бактериями с применением нефтедеструкторов (штаммов бактерий, грибов и водорослей), позволяющих ускорить распад углеводов;
- метод фиторемедиации – использование растений, способных поглощать и эффективно перерабатывать продукты загрязнения окружающей среды;
- интеграция решений энзимных технологий на основе применения ферментов, разлагающих нефть до безопасных соединений [10, 11].

Современные методы снижения негативных последствий разливов нефти потенциально развиваются в направлении повышения эффективности их применения, снижения токсичности воздействия на окружающую среду и создании комплекса высокотехнологических средств для очистки. Выбор наиболее эффективного метода зависит от конкретных обстоятельств произошедшей ЧС.

Так, например, при ЧС с разливом дизельного топлива вблизи г. Норильска в 2020 г., которая стала одной из крупнейших экологических катастроф в Арктике, ликвидация последствий этой экологической трагедии потребовала значительных материальных затрат, привлекаемых ресурсов и времени на её устранение [12–14]. В ходе ликвидации последствий применялся комбинированный подход к ликвидации загрязнения, включавший в себя несколько основных направлений выполняемых работ:

- установка боновых заграждений для локализации распространения разлива по водной поверхности. Их установка позволила предотвратить дальнейшее загрязнение водоёмов;
- механический сбор топлива с использованием вакуумных насосов и скimmers;
- применение различного рода сорбентов для впитывания остатков топлива с поверхности воды и почвы;
- применение специальных устройств для откачки загрязнённого грунта. Значительные объёмы почвы были извлечены и вывезены на специальные полигоны для очистки и последующей утилизации;
- некоторая часть собранного дизеля сжигалась на месте, чтобы минимизировать его попадание в экосистему;
- применения метода биоремедиации – использование соответствующих микроорганизмов для естественного разложения остатков топлива в почве.

Поэтому на современном этапе проведения аварийно-спасательных работ, при небольших утечках нефтепродуктов, самым эффективными будут считаться инновационно-технические методы, когда природоохранные технологии применяются комбинированно в зависимости от конкретных условий протекания ЧС.

Пути совершенствования методов ликвидации аварийных разливов нефти

Совершенствование методов ликвидации аварийных разливов нефтепродуктов направлено на повышение эффективности подходов к восстановлению экосистем, снижение негативного воздействия на окружающую среду и адаптацию выполняемых аварийных работ к сложным климатическим условиям, что позволяет эффективно минимизировать ущерб природе и быстрее устранять последствия ЧС.

Основные пути развития включают инновационные технологии, улучшение существующих методов и разработку комплексных стратегий:

1. Совершенствование механических методов путем создания новых типов сорбентов:

- наноструктурированные материалы, такие как графеновые губки, аэрогели, модифицированные цеолиты, обладающие высокой сорбционной способностью, которые могут использоваться многократно;

– биосорбенты на основе природных материалов (целлюлоза, хитозан, водоросли), которые делают процесс более экологичным.

2. Автоматизация и роботизация мер по ликвидации последствий:

– использование автономных роботов-скиммеров для сбора нефти с поверхности воды.
– применение дронов для мониторинга и локализации разливов в труднодоступных районах [15].

3. Совершенствование химических и физико-химических методов:

– экотоксичные диспергенты заменяются на биоразлагаемые аналоги, снижающие вред окружающей среде;

– комбинированные реагенты: соединения, сочетающие свойства диспергентов и сорбентов, обеспечивают более эффективную очистку;

– плазменные технологии: позволяют разрушать нефть без применения химикатов, сжигая её при высоких температурах;

– криогенные технологии: замораживание нефтяных пятен на льду с последующим механическим удалением;

– электромагнитные методы: разработка систем, использующих магнитные наночастицы для связывания и удаления нефти;

– лазерные и ультразвуковые методы – исследования в области разрушения нефтяных пятен без использования химии [16, 17].

4. Развитие биологических технологий ликвидации последствий разливов нефти:

– создание генетически модифицированных микроорганизмов, ускоряющих процесс биодegradации углеводородов;

– фиторемедиация – использование растений, способных поглощать и перерабатывать нефтепродукты (например, масличные культуры, способные извлекать углеводороды из почвы);

– биоферменты и катализаторы, ускоряющие естественное разложение нефти.

5. Совершенствование методов прогнозирования разливов нефтепродуктов:

– использование искусственного интеллекта и машинное обучение для анализа и прогнозирования распространения нефтяных пятен;

– спутниковый мониторинг в реальном времени для оперативного обнаружения разливов.

6. В целях оперативного реагирования по ликвидации последствий нефтяных разливов целесообразно:

– совершенствовать строительство маломерных судов, оснащенных более эффективными средствами ограждения нефтяных пятен и сбора;

– увеличить количество маломерных судов МЧС России, оснащенных более эффективными средствами ограждения нефтяных пятен и сбора, в портах, где швартуются танкеры;

– практиковать преждевременную встречу и эскорт маломерными судами танкеров при подходе к причалам;

– в условиях специальной военной операции предусматривать защиту танкеров от применения воздушных и морских беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) террористов.

7. При оценке эффективности проводимых мероприятий по ликвидации разлива нефтепродуктов необходима разработка научно обоснованных критериев оценки успешности мероприятий, включающих не только количественные, но и качественные показатели.

8. Восстановление экосистем после разливов нефти является сложным и длительным процессом, требующим комплексного подхода. Российские ученые предлагают различные методы и стратегии для эффективной реабилитации пострадавших территорий.

Так, например, биологи Тюменского государственного университета (ТюмГУ) провели 25-летние наблюдения за восстановлением лугового биоценоза после аварийного разлива нефти, произошедшего в декабре 1994 г. при порыве магистрального нефтепровода Усть-Балык – Альметьевск. В результате разлива нефть загрязнила более трех гектаров территории с концентрацией свыше 60 % в почве, что считается сильным загрязнением. В 1995 г. были проведены комплексные рекультивационные работы: откачка нефти, внесение чистой плодородной почвы, удобрений и посев трав. Наблюдения показали, что только через 25 лет после рекультивации флора и фауна практически полностью восстановились, хотя процессы естественного заболачивания продолжаются.

Поэтому в целях повышения эффективности технологий ликвидации последствий разливов нефтепродуктов в настоящее время ведутся работы по поиску способов и средств оперативной очистки акваторий от загрязнений и восстановления экосистем.

В качестве примера можно привести разработку экологически безопасного реагента для окружающей среды при удалении пятен нефтяных разливов. Этот реагент, представляющий собой композицию фосфолипидов и изобутанола, имеет способность за весьма непродолжительное время, уменьшить площадь нефтяного разлива на 89–93 % при внешней температуре от 0 °С до 22 °С. Благодаря своей высокой эффективности и экологичности, этот реагент может стать одним из наиболее эффективных инструментов для очистки водных поверхностей от нефтяных загрязнений.

При проведении работ по восстановлению морских экосистем в вышеперечисленных случаях в морских акваториях целесообразно применение следующих мер:

- механический сбор нефтепродуктов соответствующими средствами: удаление основной массы загрязнений с поверхности воды и береговой линии;
- активное применение сорбентов: использование материалов, позволяющих поглощать остатки нефти для предотвращения дальнейшего распространения загрязнения;
- проведение биоремедиации: введение микроорганизмов, способных эффективно разлагать нефтепродукты, для последующего ускорения естественных процессов очистки;
- использование фиторемедиации: посадка специальных растений, которые позволяют восстановить загрязненные природные ресурсы.

Эти методы направлены на минимизацию ущерба и ускорение восстановления экосистем, однако их эффективность зависит от конкретных условий и масштабов загрязнения.

Заключение

В целом практика ликвидации последствий крупномасштабных экологических ЧС с разливом нефтепродуктов показала о необходимости комплексного подхода, включающего как традиционные методы очистки, так и современные биотехнологии для эффективного восстановления экосистем после разливов нефти [17]. В условиях использования террористами морских беспилотников для разрушения танков танкеров требуется поиск новых подходов и способов ликвидации последствий. Анализ таких крупных аварий показал невозможность оперативной локализации и ликвидации последствий ЧС [18].

Так, например, авария танкера «Eххон Valdez» у берегов Аляски 24 марта 1989 г., повлекшая за собой разлив 37 тыс. т сырой нефти, привела к загрязнению 1 200 миль морского побережья, локализовать разлив не удалось. Гибель танкера «Эрика» у западного побережья Франции 2 декабря 1999 г. привела к разливу 20 тыс. т мазута. Локализация разлива не была произведена, было загрязнено более 400 км пляжей Франции и Испании. Ликвидация последствий разлива мазута при авариях в Керченском проливе двух танкеров 15 декабря 2024 г. продолжается и сегодня.

Список источников

1. Соромотин А.В. Аварийные разливы нефти и нефтепродуктов. Ликвидация последствий разливов // *International Agricultural Journal*. 2021. Vol. 64. № 1. P. 69–74. DOI: 10.24412/2588-0209-2021-10278
2. Киракосян Д.В., Молчанова Я.П. Анализ первых последствий нефтяного разлива в Норильске // *Успехи в химии и химической технологии*. 2021. Т. 35. № 2 (237). С. 43–46.
3. Методы оценки параметров разлива нефти и процессов его контролируемого горения в ледовых условиях Арктической зоны Российской Федерации / А.А. Долгов [и др.]. М.: ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2023. 84 с.
4. Моценко С.В. Научные основы организации работ по предупреждению и ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов в море с судов и объектов транспортной инфраструктуры: дис. ... д-ра техн. наук. Владивосток: Дальневосточный федеральный университет, 2023. 300 с.
5. Ракитин М.С. Проблема ликвидации разливов нефти // *Журнал «Academy»* Архангельск. 2017. № 4 (19). С. 25–27.
6. Авдеев И.В. Основные методы ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов на нефтеперерабатывающих предприятиях // *Вестник науки*. 2023. № 11 (68). С. 395–398.
7. Бухтеева А.А., Морозов А.В., Мокоучина Т.В. Современные и перспективные методы ликвидации разливов нефти на акваториях Российской Федерации // *Проблемы разработки, эксплуатации и обслуживания объектов добычи и транспорта углеводородов: материалы IX Всерос. науч.-техн. конф. с междунар. участием*. Омск: Омский государственный технический университет, 2022. С. 212–216.
8. Васильева Ж.В., Васеха М.В., Тюляев В.С. Оценка эффективности сорбентов для реагирования на аварийные разливы нефти в арктической акватории // *Записки Горного института*. 2023. Т. 261. С. 401–411. DOI: 10.31897/PMI.2023.38
9. Белолипецкий А.А., Цыганков П.Ю., Меньшутина Н.В. Гидрофобизированные аэрогели на основе волокон полиэтилентерефталата для сорбции нефти // *Успехи в химии и химической технологии*. 2020. Т. 34. № 11 (234). С. 78–80.
10. Федорова Н.А. Анализ методов ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов // *Вестник науки*. 2023. Т. 2. № 12 (69). С. 1097–1101.
11. Dispersants as an oil spill clean-up technique in the marine environment: A review / M. Adebajo [и др.] // *Heliyon*. 2022. Vol. 8. № 9. P. e10698. DOI: 10.1016/j.heliyon.2022.e10698
12. Emerging bio-dispersant and bioremediation technologies as environmentally friendly management responses toward marine oil spill: A comprehensive review / S. Musa [et al.] // *Journal of Environmental Management*. 2022. Vol. 321. P. 115800. DOI: 10.1016/j.jenvman.2022.115800
13. Гляднецова Ю.С., Немировская И.А. Аварийный разлив дизельного топлива в Норильске // *Природа*. 2022. № 3. С. 27–38. DOI: 10.7868/S0032874X22030036
14. Гидрохимические показатели качества воды Норило-Пясинской озерно-речной системы после разлива дизельного топлива на ТЭЦ-3 г. Норильска в 2020 г. / Д.М. Безматерных [и др.] // *Сибирский экологический журнал*. 2021. Т. 28. № 4. С. 408–422. DOI: 10.15372/SEJ20210402
15. Observations of meadow biocenosis after reclamation of oil contamination in the southern taiga subzone of Tyumen Region / M. Kazantseva [et al.] // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2022. Vol. 1076. P. 012012. DOI: 10.1088/1755-1315/1076/1/012012
16. Ледяев К.А. Как дроны и беспилотники спасают экосистемы от разлива нефти // *Тенденции развития науки и образования*. 2023. № 102. Ч. 4. С. 118–121. DOI: 10.18411/trnio-10-2023-214
17. Елизарьева Е.Н., Лозов А.В. Совершенствование методов локализации и ликвидации аварийных разливов нефти и нефтепродуктов на объектах нефтеперерабатывающего комплекса // *Актуальные исследования*. 2025. № 18 (253). С. 74–79.
18. Khan M.Yu., Islam M.S., Rahman M.M. Bio-based sorbents for marine oil spill response: Advances in modification, circularity and waste valorization // *Resources*. 2025. Vol. 14. № 9. Article 140. DOI: 10.3390/resources14090140

References

1. Soromotin A.V. Avarijnye razlivy nefi i nefteproduktov. Likvidaciya posledstvij razlivov // *International Agricultural Journal*. 2021. Vol. 64. № 1. P. 69–74. DOI: 10.24412/2588-0209-2021-10278
2. Kirakosyan D.V., Molchanova Ya.P. Analiz pervyh posledstvij neftyanogo razliva v Noril'ske // *Uspekhi v himii i himicheskoy tekhnologii*. 2021. T. 35. № 2 (237). S. 43–46.
3. Metody ocenki parametrov razliva nefi i processov ego kontroliruemogo goreniya v ledovyh usloviyah Arkticheskoy zony Rossijskoj Federacii / A.A. Dolgov [i dr.]. M.: FGBU VNII GOCHS (FC), 2023. 84 s.
4. Mocenko S.V. Nauchnye osnovy organizacii rabot po preduprezhdeniyu i likvidacii razlivov nefi i nefteproduktov v more s sudov i ob"ektov transportnoj infrastruktury: dis. ... d-ra tekhn. nauk. Vladivostok: Dal'nevostochnyj federal'nyj universitet, 2023. 300 s.
5. Rakitin M.S. Problema likvidacii razlivov nefi // *Zhurnal «Academy» Arhangel'sk*. 2017. № 4 (19). S. 25–27.
6. Avdeev I.V. Osnovnye metody likvidacii razlivov nefi i nefteproduktov na neftepererabatyvayushchih predpriyatiyah // *Vestnik nauki*. 2023. № 11 (68). S. 395–398.
7. Buhteeva A.A., Morozov A.V., Mokochunina T.V. Sovremennye i perspektivnye metody likvidacii razlivov nefi na akvatoriyah Rossijskoj Federacii // *Problemy razrabotki, ekspluatatsii i obsluzhivaniya ob"ektov dobychi i transporta uglevodorodov: materialy IX Vseros. nauc.-tekhn. konf. s mezhdunar. uchastiem*. Omsk: Omskij gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet, 2022. S. 212–216.
8. Vasil'eva Zh.V., Vasekha M.V., Tyulyaev V.S. Ocenka effektivnosti sorbentov dlya reagirovaniya na avarijnye razlivy nefi v arkticheskoy akvatorii // *Zapiski Gornogo instituta*. 2023. T. 261. S. 401–411. DOI: 10.31897/PMI.2023.38
9. Belolipecij A.A., Cygankov P.Yu., Men'shutina N.V. Gidrofobizirovannye aerogeli na osnove volokon polietilentereftalata dlya sorbcii nefi // *Uspekhi v himii i himicheskoy tekhnologii*. 2020. T. 34. № 11 (234). S. 78–80.
10. Fedorova N.A. Analiz metodov likvidacii razlivov nefi i nefteproduktov // *Vestnik nauki*. 2023. T. 2. № 12 (69). S. 1097–1101.
11. Dispersants as an oil spill clean-up technique in the marine environment: A review / M. Adebajo [i dr.] // *Heliyon*. 2022. Vol. 8. № 9. P. e10698. DOI: 10.1016/j.heliyon.2022.e10698
12. Emerging bio-dispersant and bioremediation technologies as environmentally friendly management responses toward marine oil spill: A comprehensive review / S. Musa [et al.] // *Journal of Environmental Management*. 2022. Vol. 321. P. 115800. DOI: 10.1016/j.jenvman.2022.115800
13. Glyaznecova Yu.S., Nemirovskaya I.A. Avarijnyj razliv dizel'nogo topliva v Noril'ske // *Priroda*. 2022. № 3. S. 27–38. DOI: 10.7868/S0032874X22030036
14. Gidrohimicheskie pokazateli kachestva vody Norilo-Pyasinskoj ozerno-rechnoj sistemy posle razliva dizel'nogo topliva na TEC-3 g. Noril'ska v 2020 g. / D.M. Bezmaternyh [i dr.] // *Sibirskij ekologicheskij zhurnal*. 2021. T. 28. № 4. S. 408–422. DOI: 10.15372/SEJ20210402
15. Observations of meadow biocenosis after reclamation of oil contamination in the southern taiga subzone of Tyumen Region / M. Kazantseva [et al.] // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2022. Vol. 1076. P. 012012. DOI: 10.1088/1755-1315/1076/1/012012
16. Ledyayev K.A. Kak drony i bespilotniki spasayut ekosistemy ot razliva nefi // *Tendencii razvitiya nauki i obrazovaniya*. 2023. № 102. Ch. 4. S. 118–121. DOI: 10.18411/trnio-10-2023-214
17. Elizar'eva E.N., Lozov A.V. Sovershenstvovanie metodov lokalizacii i likvidacii avarijnyh razlivov nefi i nefteproduktov na ob"ektah neftepererabatyvayushchego kompleksa // *Aktual'nye issledovaniya*. 2025. № 18 (253). S. 74–79.
18. Khan M.Yu., Islam M.S., Rahman M.M. Bio-based sorbents for marine oil spill response: Advances in modification, circularity and waste valorization // *Resources*. 2025. Vol. 14. № 9. Article 140. DOI: 10.3390/resources14090140

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 11.04.2026; одобрена после рецензирования: 17.05.2026;
принята к публикации: 20.05.2026

The information about article:

The article was submitted to the editorial office: 11.04.2026; approved after review: 17.05.2026;
accepted for publication: 20.05.2026

Сведения об авторах:

Гавкалюк Богдан Васильевич, начальник Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России, (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), доктор технических наук, профессор, e-mail: rector@igps.ru, SPIN-код: 6390-5867

Савчук Олег Николаевич, профессор кафедры экологии и обеспечения безопасности жизнедеятельности (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), кандидат технических наук, профессор, e-mail: oleg-savcuk@mail.ru, SPIN-код: 5156-1928

Пьянусов Александр Викторович, заведующий кафедрой экологии и обеспечения безопасности жизнедеятельности (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), кандидат военных наук, доцент, e-mail: a.pyanusev@igps.ru, SPIN-код: 3449-7469

Information about the authors:

Gavkalyuk Bogdan V., head of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), doctor of technical sciences, professor, e-mail: rector@igps.ru, SPIN: 6390-5867

Savchuk Oleg N., professor of the department of ecology and life safety of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), candidate of technical sciences, professor, e-mail: oleg-savcuk@mail.ru, SPIN: 5156-1928

Pyanusev Alexander V., head of the department of ecology and life safety of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), candidate of military sciences, associate professor, e-mail: a.pyanusev@igps.ru, SPIN: 3449-7469