

УДК 504.064:576.8

Научная специальность: 2.10.2

EDN NNIEJF

ISSN 1812-5220

© Проблемы анализа риска, 2025

Биогеохимическая технология для управления рисками при очистке загрязненного мазутом побережья Черного моря¹

Васильева Г.К.,
Башкин В.Н.*

Институт физико-химических
и биологических проблем
почвоведения РАН,
142292, Россия,
Московская обл., г. Пущино,
ул. Институтская, д. 2-2

Аннотация

Разработана биогеохимическая технология очистки загрязненного мазутом пескогрунта на побережье Черного моря для снижения рисков загрязнения окружающей среды после крушения танкеров в Керченском проливе в декабре 2024 г. Описан соответствующий технологический регламент, представлены примеры практического использования разработанной технологии.

Ключевые слова: Керченский пролив; разлив мазута; биогеохимическая экстракционная технология; очистка пескогрунта; побережье Черного моря.

Благодарности: авторы выражают благодарность сотрудникам лаборатории физико-химии почв и биогеохимических технологий ИФХИБПП РАН: к.б.н. Е.Р. Стрижаковой, к.б.н. А.В. Ланкину, Л.В. Семенович, к.б.н. Л.И. Ахметову (Институт физиологии и биохимии микроорганизмов РАН) и к.б.н. Л. Херрера (ООО «СМАРТ ОЙЛ ТЕХНОЛОГИИ») за помощь в проведении экспериментов.

Для цитирования: Васильева Г.К., Башкин В.Н. Биогеохимическая технология для управления рисками при очистке загрязненного мазутом побережья Черного моря // Проблемы анализа риска. 2025. Т. 22. № 4. С. 22–32. — EDN NNIEJF.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

¹ Работа выполнена в рамках темы Миннауки РФ: Биогеохимические процессы трансформации минерального и органического вещества в почвах на различных стадиях эволюции биосферы и техносферы – 121041500050-3.

Biogeochemical Technology for Risk Management During Cleaning of the Black Sea Coast Contaminated With Fuel Oil²

**Galina K. Vasilyeva,
Vladimir N. Bashkin*,**

Institute of Physicochemical
and Biological Problems
in Soil Science RAS,
Institutskaya str., 2-2,
Pushchino, Moscow region,
142290, Russia

Abstract

A biogeochemical technology has been developed for cleaning sand ground contaminated with fuel oil on the Black Sea coast following an accidental spill in December 2024. The corresponding technological regulations are described, and examples of the practical use of the developed technology are given.

Keywords: Kerch strait; fuel oil spill; biogeochemical extraction technology; remediation of sand and soil; Black sea coast.

Acknowledgments: the authors express their gratitude to the employees of the Laboratory of Soil Physical Chemistry and Biogeochemical Technologies IFHIBPP RAS: Ph.D. biosciences E.R. Strizhakova, Ph.D. biosciences A.V. Lankin, L.V. Semenovich, Ph.D. biosciences L.I. Akhmetov (Institute of Physiology and Biochemistry of Microorganisms of the Russian Academy of Sciences) and Ph.D. biosciences L. Herrera (LLC "SMART OIL TECHNOLOGY") for assistance in conducting experiments.

For citation: Vasilyeva G.K. Bashkin V.N. Biogeochemical technology for risk management during cleaning of the Black sea coast contaminated with fuel oil // Issues of Risk Analysis. 2025;22(4):22–32. (In Russ.) — EDN NNIEJE.

The authors declare no conflict of interest

Содержание

Введение

1. Ремедиация почв и грунтов, загрязненных нефтью и нефтепродуктами

2. Технологический регламент разработанной биогеохимической технологии очистки песчаного грунта Черноморского побережья после разлива мазута в Керченском проливе

Список источников

² The work was carried out within the framework of the theme of the Ministry of Science of the Russian Federation: Biogeochemical processes of transformation of mineral and organic matter in soils at various stages of the evolution of the biosphere and technosphere – 121041500050-3.

Введение

Загрязнение Мирового океана, прибрежных акваторий и побережья нефтью и нефтепродуктами (НП) происходит регулярно. Ежегодно в Мировой океан попадает от 0,5 до 11 млн тонн нефти и нефтепродуктов. Первый по значимости (около 50%) канал поступления нефти имеет природное происхождение и объясняется в основном ее выходом из трещин и разломов морского дна. Помимо этого, поступление нефти и нефтепродуктов в Мировой океан происходит в результате утечек при подводном бурении (в среднем по две аварии на каждые 1 тыс. скважин ежегодно), а также вследствие аварийных разливов при крушении танкеров и из-за несанкционированных сбросов нефтепродуктов с морских судов. Значительное количество НП попадает в морские воды вместе с речным и канализационным стоками [1].

В настоящее время ежегодно из нормального функционирования выводится 120 млн км² морской поверхности, т.е. 1/6 часть Мирового океана, поскольку одна тонна пролитой нефти способна покрыть поверхности моря на площади около 12 км². По существующим данным, сейчас более 20% поверхности Мирового океана загрязнено нефтью, что сопровождается такими последствиями, как:

- снижение уровня освещенности толщи воды;
- перегрев верхнего слоя;
- снижение газообмена и содержания кислорода в воде;
- накопление в морской воде водорастворимых компонентов нефти, ядовитых для фитопланктона и рыбы, особенно для мальков и икры (для гибели большинства рыб достаточно средней концентрации НП в воде 0,01 мг/л);
- ухудшение качества морепродуктов и рыбы;
- загрязнение поверхности побережья тяжелыми фракциями нефти может отрицательно повлиять на береговую фауну;
- увеличение частоты образования циклонов;
- образование нефтяной пленки на поверхности океана может привести к климатическим изменениям в регионе. Например, образование такой пленки в Индийском океане, где проходило большинство судов после закрытия Суэцкого канала, снизило испарение воды в три раза, что стало причиной засушливого периода в прилегающих районах.

Как следствие, ущерб от нефти на порядок превышает все остальные загрязнения в морях и океанах.

Рассмотрим примеры наиболее значимых аварий, произошедших в последнее время в Мировом океане.

Разлив нефти из танкера компании Eххon Valdez у берегов Аляски произошел 24 марта 1989 г. В воду попало более 38 тыс. тонн нефти. На ликвидацию последствий этой экологической катастрофы было потрачено 2,5 млрд долл.

Авария на танкере «Престиж» у берегов Испании в 2002 г. произошла при его проходе через Бискайский залив. Судно попало в сильный шторм возле берегов Галисии, в корпусе образовалась трещина длиной 35 м, из которой стал вытекать мазут — до 1 тыс. тонн в сутки. Испанские береговые власти отказали судну зайти в ближайшие к месту аварии порты. Была предпринята попытка отбуксировать судно в ближайшие порты Португалии, однако эта страна также запретила вход танкера в свои воды. Аварийное судно было отбуксировано в море, в результате чего корабль раскололся на две части и затонул в 210 км от берега. Останки корабля легли на грунт на глубине около 3,7 тыс. м, а в море вылилось более 77 тыс. тонн мазута. Нефтяное пятно растянулось на тысячи километров вдоль береговой линии, тем самым нанеся огромный урон всей морской и береговой фауне, а также местной рыбной промышленности³.

Разлив нефти стал самым масштабным экологическим бедствием за всю историю Испании и Западной Европы. В результате катастрофы оказались поражены тысячи километров Атлантического побережья Европы. Над ликвидацией последствий аварии работали 300 тыс. добровольцев со всей Европы. Общий ущерб от катастрофы оценивался в 12 млрд долл. Кроме того, у испанских рыбаков, принимавших участие в очистке побережья, наблюдались генетические нарушения и заболевания легких⁴.

Авария танкера «Волгодонск-139» произошла 11 ноября 2007 г. при 6–7 балльном шторме в Керченском проливе, где в общей сложности пострадало 13 судов. При аварии танкера в акваторию вылилось 2 тыс. тонн мазута. Кроме того, затонули три российских сухогруза, на которых находилось около 7 тыс.

³ Выброс нефти из танкера «Престиж» / URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki> (дата обращения: 19.05.2025).

⁴ Там же.

тонн гранулированной серы. Поскольку суда-нефтесборщики при сильном волнении моря работать не могут, то весь мазут пошел ко дну и несколько лет поддерживал повышенный фон содержания НП в воде. Часть мазута была выброшена на берег, загрязнив береговую полосу длиной в десятки км. Этот мазут был собран и вывезен.

Взрыв нефтяной платформы Deepwater Horizon, принадлежавшей компании British Petroleum (BP), произошел 20 апреля 2010 г. в Мексиканском заливе, в 80 км от побережья штата Луизиана, США. Затем эта авария переросла в техногенную катастрофу (сначала локального, затем регионального масштаба) с негативными последствиями для экосистемы региона на десятилетия вперед. В результате взрыва на платформе погибло 11 человек, а в море вылилось в общей сложности более 4 млн баррелей нефти. Из-за гигантских убытков, понесенных в результате происшествия, компания BP была вынуждена продавать активы по всему миру. Суммарный ущерб оценили в 20 млрд долл. с уплатой соответствующего штрафа для возмещения убытков для экологии региона⁵.

Аварийный разлив мазута в Керченском проливе произошел утром 15 декабря 2024 г. из-за крушения двух танкеров, «Волгонефть-212» и «Волгонефть-239», которые перевозили топочный мазут М-100. Причиной аварийной ситуации стало разрушение корпусов танкеров, предназначенных для перевозки грузов в реках и водохранилищах, после их незаконного выхода в открытое море во время пятибалльного шторма. Из-за штормовой погоды не удалось быстро откачать оставшийся в танкерах мазут, в результате чего из 9,2 тыс. тонн перевозимого мазута около 7,7 тыс. тонн оказалось в акватории Азовского и Черного морей, а общая площадь разлива в морской акватории уже в первые месяцы достигла 400 км². При этом, значительные объемы мазута оказались выброшенными на берег, где пропитали прибрежный песок и гальку глубиной до нескольких метров, а в некоторых местах были загрязнены и прибрежные скальные породы. К середине января 2025 г. мазутом было загрязнено около 54 км береговой линии Краснодарского края и 15 км побережья Крыма⁶.

⁵ Разлив нефти на Deepwater Horizon / URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki> (дата обращения: 19.05.2025)

⁶ Разлив мазута в Керченском проливе / URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/> (дата обращения: 05.05.2025)

Из-за сильного загрязнения в акватории Черного моря в общей сложности погибло около 70 дельфинов и пострадали десятки тысяч птиц, из которых более 10 тыс. птиц погибло, несмотря на все усилия волонтеров по их спасению. Значительный ущерб был нанесен придонным организмам — водорослям и моллюскам, которые служат кормовой базой для рыб, таким как черноморские бычки, камбала и кефаль. Через рыбу токсичные вещества могут попадать в организмы морских млекопитающих, птиц и человека. Мазут содержит мощные канцерогены (полициклические ароматические углеводороды), а также может оказывать токсическое действие на разные органы человека, поражая кожу, дыхательную систему, печень и центральную нервную систему.

В период повышения температуры морской воды в весенне-летний сезон отрицательные экологические последствия разлива мазута у побережья Черного моря будут только усиливаться. Это может быть связано с несколькими факторами, обусловленными повышением температуры воды:

- снижение вязкости мазута будет способствовать переходу мазута в жидкую консистенцию, что приведет к образованию водонефтяных эмульсий и их распространению на большие расстояния;
- повышение растворимости в воде ряда компонентов мазута приведет к увеличению концентрации таких опасных поллютантов как бенз(а)пирен и других канцерогенных представителей полициклических ароматических углеводородов;
- активация процессов микробного разложения компонентов мазута (в первую очередь углеводородов нефти) аборигенными микроорганизмами-деструкторами углеводородов, которые, как правило, всегда присутствуют в морской воде.

В наших исследованиях было продемонстрировано накопление в почве промежуточных продуктов микробного разложения углеводородов нефти (алифатические и ароматические спирты, альдегиды, кетоны, кислоты), которые обладают более высокой токсичностью, водорастворимостью и способностью мигрировать по почвенному профилю. И только проведение очистки почв предлагаемым нами методом сорбционной биоремедиации снижает вероятность миграции этих токсичных метаболитов в грунтовые воды, что позволяет ликвидировать последствия аварийных разливов нефти в условиях *in situ*, т.е. непосредственно

на загрязненных участках [2]. По-видимому, в водной среде будут происходить аналогичные процессы накопления токсичных метаболитов. Поэтому с повышением температуры воды в Черном море высока вероятность процессов, приводящих к повышению токсического воздействия воды на морские организмы.

Таким образом, учитывая все отрицательные последствия, разлив мазута в Керченском проливе в декабре 2024 г. был признан самой серьезной экологической катастрофой России с начала XXI века. В конце года был объявлен режим чрезвычайной ситуации (ЧС) федерального уровня⁷. Это потребовало принятия срочных мер для ликвидации отрицательных последствий ЧС.

В настоящее время для снижения рисков загрязнения окружающей среды после аварийного разлива мазута в Керченском проливе необходимо решить такие задачи, как разработка технологий мониторинга и предотвращения распространения мазута в морской акватории, а также поиск способов удаления мазутных линз из толщи воды, с ее поверхности и со дна Черного моря. Необходимо решение проблем контроля за содержанием вредных веществ в воде и грунте как химическими методами анализа, так и методами биотестирования, а также разработка программ для предсказания путей дальнейшего распространения мазута и продуктов его трансформации в акватории Черного моря. За этим процессом можно наблюдать с помощью биотестов, например, с помощью морских двусторчатых моллюсков. Этот метод подробно описан в литературе, он быстрый и удобный, им пользуются, когда необходимо доказать эффективность проведенных мероприятий по очистке морских водных объектов. В настоящее время в некоторых местах акватории Черного моря уже налажена система мониторинга за токсичностью воды в прибрежной зоне, чтобы прогнозировать вероятность их токсического воздействия на морских обитателей и человека.

Одной из важнейших задач на этом этапе является поиск наиболее эффективных технологий очистки от мазута песка, грунта и ракушечника и/или способов непосредственной утилизации загрязненного грунта.

Топочный мазут М-100 представляет собой остаточную фракцию атмосферной перегонки нефти

с температурой кипения выше 350 °С. Он используется как энергетическое топливо, источник сырья для нефтехимии и для производства смазочных масел. Мазут представляет собой густую темно-коричневую маслянистую жидкость с температурой застывания от 10 до 40 °С. В его состав входят высококипящие углеводороды с молекулярной массой 400–1000 а.е.м., которые составляют примерно половину его объема. Остальная часть приходится на нефтяные смолы, асфальтены и другие органические соединения, содержащие S, N, O и металлы (V, Ni, Fe, Mg, Na, Ca)⁸.

При температуре ниже 25 °С мазут обычно приобретает твердую консистенцию, что позволило в течение первых зимне-весенних месяцев провести частичную очистку песка от кусков мазута непосредственно на пляжах Анапы и Крыма путем его просеивания ручным или механизированным способом с помощью вибросита. Основная часть загрязненного грунта была вывезена на специально оборудованный полигон, расположенный в промзоне под Анапой, и частично — на полигон в Ростовской области. В результате было собрано более 165 тыс. тонн загрязненного песка, содержащего до 15–17% мазута, а также ракушечника и гальки, смешанных с кусками мазута. Эти грунты требуют принятия срочных мер для соответствующей очистки с использованием различных подходов.

Цель этой публикации — анализ различных существующих технологий очистки почв и грунтов от нефти и нефтепродуктов, а также предварительное описание разработанной нами безотходной биогеохимической технологии очистки песчаного грунта Черноморского побережья.

1. Ремедиация почв и грунтов, загрязненных нефтью и нефтепродуктами

Одной из важнейших задач современности является поиск наиболее эффективных технологий, обеспечивающих очистку загрязненных компонентов экосистем: почвы, почвогрунта, донных отложений. В наших публикациях описаны соответствующие подходы к разработке таких технологий [2, 3–8]. В работе [9] представлены новые способы и оборудование для очистки и обезвреживания нефтезагрязненных почв.

⁷ Разлив мазута в Керченском проливе / URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/> (дата обращения: 05.05.2025).

⁸ Мазут // Химическая энциклопедия / URL: <https://xumuk.ru/encyklopedia/> (дата обращения: 05.05.2025).

В настоящее время существует большое разнообразие современных методов ремедиации и рекультивации почв и грунтов, загрязненных нефтью и нефтепродуктами. Небиологические методы *ex situ* включают следующие технологии: 1) *термическую десорбцию* нефтепродуктов горячим паром; 2) *сжигание грунта*, насыщенного нефтепродуктами, на специальных установках; 3) *промывку грунта* подогретой водой с добавками реагентов: поверхностно-активных веществ (ПАВ) или углеводородных растворителей.

К новым небиологическим методам, которые можно применять в условиях *in situ*, относятся такие технологии как очистка почвы от нефтепродуктов с помощью *высокочастотного ультразвука*, при котором происходит ионизация и активация молекул, стимулирующих окисление и полимеризацию углеводородов. Также предложен *метод электрохимической обработки* загрязненной почвы путем пропускания через почву электрического тока (погружение электродов в почву непосредственно на загрязненном участке), что способствует перемещению поллютантов по направлению к электродам, где их собирают и изолируют. Одним из эффективных способов *in situ* считается локализация поллютантов путем *обваловки загрязненного участка* или его *огораживания непроницаемым или полупроницаемым барьерами* (механическими, сорбционными, восстановительными, гидрохимическими и т.д.), способствующими связыванию токсичных поллютантов или их трансформации в безвредные соединения. Наибольший положительный эффект от использования этого метода наблюдается при очистке почв, бедных гумусом, с высокой водопроницаемостью, при загрязнении гидрофобными ксенобиотиками, в частности, углеводородами нефти [9].

К биологическим методам очистки относятся методы биоремедиации, которые также можно осуществлять как в условиях *ex situ* (компостирование в буртах или в биореакторах), так и *in situ* (ландфарминг). При этом в грунте создаются условия для активации углеводород-окисляющих микроорганизмов (УОМ), как аборигенных, так и интродуцированных (в виде биопрепаратов на основе выделенных штаммов УОМ или их композиций), за счет оптимизации гидро-термических условий и рН среды, аэрации, внесения источников основных биофильных элементов в виде минеральных или органических удобрений.

В настоящее время разработаны сотни биопрепаратов на основе выделенных микробных штаммов УОМ или их смесей.

В то же время, эффективность биопрепаратов в сильно загрязненной почве невысока. В наших публикациях было показано, что в случае повышенного уровня загрязнения скорость биodeградации углеводородов нефти можно повысить за счет применения сорбционно-биологического метода очистки, основанного на дополнительном внесении оптимальных форм и доз сорбентов, обеспечивающих преимущественно обратимую сорбцию поллютантов, которые остаются доступными для микробного разложения на заключительных стадиях процесса биоремедиации [3–8].

При разработке аналогичных методов с целью очистки пескогрунта на Черноморском побережье после аварийного разлива мазута следует учитывать, что большинство ранее разработанных методов предназначалось для ликвидации последствий разлива нефти или нефтепродуктов на основе средних и легких фракций нефти, в то время как топочный мазут существенно отличается по составу и свойствам его компонентов. Сложный состав мазута, состоящего из тяжелых углеводородов и смолисто-асфальтеновой фракции, резко снижает возможность его микробной деградации в объектах окружающей среды. Кроме того, для очистки пляжных территорий наиболее предпочтительны методы ремедиации в условиях *ex-situ* из-за длительности процессов биodeградации компонентов мазута, а также вследствие повышенного риска вертикальной и/или горизонтальной миграции токсичных компонентов и других поллютантов в случае удаления нефтепродуктов непосредственно на загрязненном участке.

В этом случае для очистки вывезенного на полигоны пескогрунта наиболее перспективно применение комплексных биогеохимических технологий, сочетающих в себе различные подходы. К таким технологиям можно отнести разработанную нами безотходную технологию отмывки загрязненного пескогрунта (включая мелкие частицы ракушечника и гальки) путем его отмывки с помощью водной эмульсии дизельного топлива и последующей откачки разделившейся легкой фракции (раствор мазута в дизельном топливе) с помощью насосов и дальнейшего декантирования водной фракции с очищенного пескогрунта. При необходимости можно провести доочистку песка путем

промывки горячей водой с раствором ПАВ, а также методом биоремедиации.

Дополнительная очистка образовавшейся водной фракции осуществляется в условиях биореактора за счет активации аборигенных микроорганизмов-нефтедеструкторов путем инкубирования при оптимальной температуре и дополнительной аэрации с добавлением основных биофильных элементов (NPK). Доказано, что в природных водах Черного моря, как правило, присутствуют аборигенные углеводород-окисляющие микроорганизмы, накопление которых произошло вследствие многолетнего процесса адаптации микрофлоры в результате регулярного поступления углеводородных соединений, поэтому дополнительного внесения биопрепаратов в этом случае не требуется.

В результате применения такой технологии получают три компонента: 1) мазутно-дизельную фракцию, которую направляют на нефтеперегонное предприятие для разделения на исходные компоненты; 2) малотоксичную водную фракцию и 3) очищенный песок. В наших экспериментах с помощью этой технологии концентрации нефтяных загрязнителей в пескогрунте, доставленном с побережья Анапы, снизились с 5,1–5,5 до 0,1–0,5% (в зависимости от кратности отмывки), а фито- и биотоксичность водной фракции после ее обработки в биореакторе не превышала 10–15%. Полученный таким образом очищенный песок может быть использован для строительных работ, изготовления цементно-бетонных блоков либо в качестве грунта для выращивания декоративных растений.

Аналогичная технология, которая легла в основу описанного метода, ранее была использована на практике компанией ER-PETROEQUADOR при участии к.б.н. Луиса Херрера для ликвидации нефтеразливов и нефтешламовых амбаров в джунглях Амазонского бассейна на территории Эквадора в Южной Америке. В этой стране после ухода американской нефтедобывающей компании TEXACO к 1990 г. было зарегистрировано более 800 мест нефтеразливов, загрязненных выветренной нефтью, и более 1,5 тыс. нефтешламовых амбаров, что оказало резко отрицательное влияние на экологическую ситуацию в стране [10, 11].

В рамках разработки программ по восстановлению природных комплексов бассейна р. Амазонки компанией ER-PETROEQUADOR была разработана технология биоремедиации и рекультивации

нефтезагрязненных грунтов и нефтешламов. Эта комплексная технология состоит из двух этапов. Она основана на отмывке нефтешламов подогретой водой с добавками реагентов и последующей доочистке частично отмытого грунта методом биоремедиации путем его инкубирования в гуртах с добавками биопрепарата БИОЛ: смесь выделенных из загрязненных почв штаммов УОМ и ферментированные в анаэробных условиях листья амазонской крапивы (*Urticaceae*) и пуэрарии (*Pueraria phaseloides*).

В ходе выполнения программы был разработан и внедрен в производство технологический комплекс переработки нефтешламов и нефтезагрязненных почв, включающий их разделение на твердую, жидкую и нефтяную фазы и биологическую доочистку твердой фазы с применением биопрепарата БИОЛ. Практическое внедрение технологического комплекса позволило обезвредить 2,1 тыс. м³ нефтезагрязненных грунтов. Очищенная почва была использована для засыпки ликвидированных нефтешламовых амбаров и для посадки растений на рекультивированных участках.

Отмывка сильно загрязненного нефтешлама (содержание углеводов до 15–22%) на первом этапе проводилась двумя методами: либо (1) с помощью водного раствора поверхностно-активных веществ (ПАВ), либо (2) с помощью эмульсии дизельного топлива. На первом этапе концентрация углеводов в нефтешламах была снижена до 4,0–4,5%, а на следующем этапе, в ходе последующей биоремедиации грунта в буртах, содержание углеводов в твердой фазе через 4,5 мес. снижалось до <0,1%, т.е. ниже допустимого уровня УВН в почвах Эквадора.

Суть этой технологии и ее применение частично описаны в кандидатской диссертации Л. А. Херрера-Альварадо [10], а также в нашей совместной работе [11], хотя данные по первоначальной отмывке нефтешламов с помощью эмульсии дизельного топлива там не приведены. На рисунке 1 показан процесс очистки и вид установки, используемой для отмывки нефтешламов в бассейне р. Амазонки в Эквадоре.

Собранная нефтяная фракция была сдана на нефтепереработку, а вода после доочистки с помощью биопрепарата была отправлена на водоочистные сооружения. Аналогичная технология была применена и для очистки нефтешламов в России в местах нефтедобычи компании Башнефть-Уфанефтехим [10]. Приведенные данные указывают на то, что разработанная



Рис. 1. Применение технологии биоремедиации и рекультивации нефтезагрязненных грунтов и нефтешламов в бассейне реки Амазонки на территории Эквадора [10]

Figure 1. Application of bioremediation and reclamation technology for oil-contaminated soils and oil sludge in the Amazon River basin in Ecuador [10]

технология очистки нефтешламов от тяжелых фракций нефти может быть достаточно эффективна в случае ее применения для очистки песка, загрязненного мазутом.

2. Технологический регламент разработанной биогеохимической технологии очистки песчаного грунта Черноморского побережья после разлива мазута в Керченском проливе

Предлагаемый метод комплексной биогеохимической технологии очистки песка и других грунтов от мазута состоит в:

- 1) отмывке мазута с помощью эмульсии дизельного топлива с последующим откачиванием насосами верхнего слоя в виде раствора мазута в дизельном топливе и его утилизации на нефтеперерабатывающем заводе;
- 2) очистке водной фракции путем активации аборигенных углеводород-окисляющих микроорганизмов при инкубировании в биореакторе с добавками биофильных элементов;
- 3) в использовании отмытого песка для различных строительных и/или агротехнологических целей.

Для применения технологии потребуются установка временного ангара, в котором будет проходить отмывка песка на специальной мобильной установке. Кроме того, потребуются простейшее оборудование в виде больших емкостей, в которых загрязненный пескогрунт перемешивается с дизельной эмульсией,

а после отстаивания верхний слой (раствор мазута в дизельном топливе) откачивается насосами и отправляется на нефтеперегонку. Для отмывки песка потребуется примерно равный объем дизельного топлива и пятикратный объем воды, однако водную фракцию после отделения от песка и мазута можно использовать повторно.

В настоящее время технология отработана на примере образцов песка и грунта, отобранного на Черноморском побережье под Анапой в середине января 2025 г. При этом суммарная концентрация углеводородов и смолисто-асфальтеновой фракции в песке снизилась с 5,1 до 0,1–0,5_{масс.} %. Имеется установка, которая прошла апробацию при проведении работ по очистке территории, загрязненной выветренной нефтью.

Состав работ

На рисунке 2 представлен разработанный технологический процесс очистки песка от мазута. Он включает в себя следующие технологические операции:

1. Отсеивание замазученного песка от кусков мазута на вибросите.
2. Перемешивание замазученного песка/грунта с эмульсией дизельного топлива и откачивание мазутной фракции с поверхности с помощью насосов или декантирование всей жидкой фракции с последующим ее разделением на специальном оборудовании.



Рис. 2. Схематическое изображение биогеохимической технологии очистки загрязненного мазутом грунта для управления экологическими рисками

Figure 2. Scheme of biogeochemical technology for cleaning fuel oil contaminated sandy soil for environmental risk management

3. Повторная обработка песка (от трех до пяти раз в зависимости от исходного уровня загрязнения) до полного осветления верхнего слоя.

4. Утилизация раствора мазута в дизельном топливе на нефтеперерабатывающем предприятии.

5. Очистка водной фракции от следовых количеств дизельного топлива в биореакторе путем активации аборигенных углеводород-окисляющих микроорганизмов с последующей проверкой на фито- биотоксичность и ее техническое использование или сброс в канализационную систему.

6. Проведение химических анализов отмывого песка и его биотестирование на присутствие остаточного количества токсичных соединений. При этом концентрация нефтепродуктов в песке должна быть снижена до уровня не выше 0,1–0,5% в зависимости от дальнейшего использования.

7. Вывоз очищенного песка для различного использования: для получения цементных блоков или грунта для выращивания растений.

Выполнение этих технологических приемов позволяет практически полностью очищать загрязненный мазутом песок с возможностью его использования в строительных работах, утилизировать выделяемую фракцию нефтепродуктов и минимизировать вероятность возникновения экологических рисков при повторных выбросах мазута.

Список источников [References]

1. Коршунова Т. Ю., Логинов О. Н. Нефтяное загрязнение водной среды: особенности, влияние на различные объекты гидросферы, основные методы очистки // Экобиотех. 2019. Т. 2. № 2. С. 157–174
<https://doi.org/10.31163/2618-964X-2019-2-2-157-174> [Korshunova T. Yu., Loginov O. N. Oil pollution of water environment: features, influence on various objects of hydrosphere, main methods for cleaning // Ecobiotech. 2019;2(2):157-174 (In Russ.)
<https://doi.org/10.31163/2618-964X-2019-2-2-157-174>.
2. Vasilyeva G., Kondrashina V., Strijakova E., Ortega-Calvo J. J. Adsorptive bioremediation of soil highly contaminated with crude oil // Science of the Total Environ. 2020;706:135739.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135739>
3. Зиннатшина Л. В., Стрижакова Е. Р., Даньшина А. В., Васильева Г. К. Влияние сорбентов на скорость биоремедиации и свойства почвы, загрязненной смесью нефтепродуктов // Естественные и технические науки. 2018. № 9. С. 24–30
<https://doi.org/10.25633/ETN.2018.09.08> [Zinnatshina L. V., Strizhakova E. R., Danshina A. V., Vasilyeva G. K. Influence of adsorbents on bioremediation rate and properties of soil contaminated with a mixture of petroleum products // Natural and Technical Sciences. 2018;(9):24-30. (In Russ.)
<https://doi.org/10.25633/ETN.2018.09.08>

4. Галиулин Р.В., Галиулина Р.А., Башкин В.Н., Арабский А.К. Управление риском загрязнения подземных вод нефтью // Проблемы анализа риска. 2020. Т. 17. № 3. С. 10–15 <https://doi.org/10.32686/1812-5220-2020-17-3-10-15> [Galiulina R. V., Galiulina R. A., Bashkin V. N., Arabsky A. K. Management by risk of underground waters contamination by oil // Issues of Risk Analysis. 2020;17(3):10-15 (In Russ.) <https://doi.org/10.32686/1812-5220-2020-17-3-10-15>]
5. Васильева Г.К., Стрижакова Е.Р., Филонов А.Е., Мязин В.А. Рекультивация загрязненных почв с помощью сорбционной биоремедиации // Фундаментальные основы биохимических технологий и их применения в охране природы, сельском хозяйстве и медицине. Материалы XII Международной биогеохимической школы. г. Тула – Куликово поле, 16–18 сентября 2021, С. 239–243 [Vasilyeva G. K., Strizhakova E. R., Filonov A. E., Myazin V. A. Reclamation of contaminated soils using sorption bioremediation // Fundamentals of biogeochemical technologies and their application in nature conservation, agriculture and medicine. Proceedings of the XII International Biogeochemical School. Tula – Kulikovo Field, September 16–18, 2021, P. 239–243 (In Russ.)]
6. Vasilyeva G.K., Mikhedova E. E., Zinnatshina L. V., Strizhakova E. R., Akhmetov L. I., Sushkova S. N., Ortega-Calvo J. J. Use of natural sorbents for accelerated bioremediation of grey forest soil contaminated with crude oil // Science of the Total Environment. 2022;850:157952. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157952>
7. Vasilyeva, G.K., Strizhakova, E.R., Ortega-Calvo, J.J. (2024). Remediation of soils polluted by oil industries. In: Ortega-Calvo, J.J., Coulon, F. (eds) Soil Remediation Science and Technology. The Handbook of Environmental Chemistry, vol. 130. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/698_2024_1080
8. Васильева Г.К., Михедова Е.Е., Стрижакова Е.Р., Ахметов Л.И. Разработка метода сорбционной биоремедиации нефтезагрязненных минеральных почв Северо-Западной Сибири на примере подзола иллювиально-железистого. // Biologia et Biotechnologia. 2024. № 1, 3 <https://doi.org/10.61847/pbcras.bbt.2024.1.3> [Vasilyeva G. K., Mikhedova E. E., Strizhakova E. R., Akhmetov L. I. Development of an adsorptive bioremediation method for oil-contaminated mineral soils of North-West Siberia by example of illuvial-ferruginous podzol // Biologia et Biotechnologia. 2024;(1, 3) (In Russ.) <https://doi.org/10.61847/pbcras.bbt.2024.1.3>]
9. Буренин В.В. Новые способы и оборудование для очистки и обезвреживания загрязненной почвы от нефти и нефтепродуктов // Справочник эколога. 2023. № 9. С. 104–116 [Burenin V. V. New methods and equipment for cleaning and neutralizing contaminated soil from oil and oil products // Ecologist's Handbook. 2023(9):104-116 (In Russ.)]
10. Херрера-Альварado Л. А. Разработка комплексной технологии обезвреживания нефтешламов на территории месторождения Ауца – EP PETROECUADOR в Эквадоре. Диссертация на соискания кандидата технических наук. Москва, РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2015, 100 с. [Herrera-Alvarado L. A. Development of a comprehensive technology for the neutralization of oil sludge in the territory of the Auca – EP PETROECUADOR field in Ecuador. Dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences. Moscow, Gubkin Russian State University of Oil and Gas, 2015, 100 p. (In Russ.)]
11. Херрера Л. А., Васильева Г. К. Применение технологии биоремедиации на основе биопрепарата «БИОЛ» для рекультивации нефтезагрязненных почв и нефтешламов с целью снижения рисков загрязнения окружающей среды в бассейне реки Амазонки // Проблемы анализа риска. 2014. Т. 11. № 5. С. 18–25 [Herrera L. A., Vasilyeva G. K. Application of technology for bioremediation based on biopreparation «BIOL» for recultivation of petroleum contaminated soils and sludge to reduce the risk of environmental pollution in the Amazon basin // Issues of Risk Analysis. 2014;11(5):18-25 (In Russ.)]

Сведения об авторах

Васильева Галина Кирилловна: кандидат биологических наук, доцент, ведущий научный сотрудник, Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН
Количество публикаций: более 320
Область научных интересов: методы биоремедиации загрязненных почв
ORCID: 0000-0002-9766-6452
SPIN-код: 7519-3570

Контактная информация:

Адрес: 142292, Московская обл., г. Пущино, ул. Институт-
ская, д. 2-1
gkvasilyeva@rambler.ru

Башкин Владимир Николаевич: доктор биологических
наук, профессор, главный научный сотрудник Федерального
государственного бюджетного учреждения науки Институт
физико-химических и биологических проблем почвоведения
РАН

Количество публикаций: более 400

Область научных интересов: геоэкологические риски, газовая
промышленность, биогеохимия

ResearcherID: J-4621-2018

Scopus Author ID: 7005340339

SPIN-код: 2345-6161

Контактная информация:

Адрес: 142292, Московская обл., г. Пущино, ул. Институт-
ская, д. 2-1

vladimirbashkin@yandex.ru

Статья поступила в редакцию: 28.04.2025

Одобрена после рецензирования: 19.05.2025

Принята к публикации: 26.06.2025

Дата публикации: 29.08.2025

The article was submitted: 28.04.2025

Approved after reviewing: 19.05.2025

Accepted for publication: 26.06.2025

Date of publication: 29.08.2025

**ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ)
представляет вашему
вниманию монографию**



«ЗАДАЧИ В ОБЛАСТИ ГРАЖДАНСКОЙ ОБОРОНЫ И ОПЫТ ИХ РЕШЕНИЯ В ХОДЕ СПЕЦИАЛЬНОЙ ВОЕННОЙ ОПЕРАЦИИ НА УКРАИНЕ»

АНАЛИЗ ОПАСНОСТЕЙ

современных военных конфликтов

Основы организации и порядок выполнения

15 ЗАДАЧ ГРАЖДАНСКОЙ ОБОРОНЫ

УНИКАЛЬНАЯ ПРАКТИКА,

накопленная в ходе специальной военной операции



Печатная версия книги доступна для
приобретения на сайте ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ)
<https://www.vniigochs.ru/services/other/books/>

Монография станет незаменимым помощником для всех специалистов, которые хотят в кратчайший срок освоить не только основы организации гражданской обороны, но и уяснить, что и как нужно делать для защиты людей от военных опасностей, обогатиться практическим опытом, который получен, в том числе, в ходе вооруженного противостояния России со странами коллективного Запада, начавшегося в 2022 году



Книга представляет интерес для:

- научных работников, занимающихся исследованиями в области ГО и защиты от ЧС;
- адъюнктов и аспирантов;
- студентов;
- слушателей, обучающихся по основным и дополнительным профессиональным образовательным программам соответствующих направлений