



Источник фото: <https://oleoscope.com/news/iz-za-proryva-nefteprovoda-v-orenburzhe-pogibli-posevy-podsolnechnika/>

МЕТОДЫ ОЧИСТКИ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ ПО ТРАССАМ НЕФТЕПРОВОДОВ

Принята к публикации 30.05.2025

Опубликована: 16.06.2025

КОРОЛЁВ В.А.

Профессор кафедры инженерной и экологической геологии геологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, д. г.-м. н., г. Москва, Россия
va-korolev@bk.ru

САМАРИН Е.Н.

Профессор кафедры инженерной и экологической геологии геологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, д. г.-м. н., г. Москва, Россия
samarinen@mail.ru

ГРИГОРЬЕВА И.Ю.

Доцент кафедры инженерной и экологической геологии МГУ имени М.В. Ломоносова, к. г.-м. н., г. Москва, г. Москва, Россия
ikagrig@inbox.ru

НИКОЛАЕВА С.К.

Доцент кафедры инженерной и экологической геологии геологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, к. г.-м. н., г. Москва, Россия
nikolaeva sk@gmail.com

ЧЖАН Цз.

Профессор Северо-восточного университета лесного хозяйства, к. г.-м. н., г. Харбин, Китай
zez@nefu.edu.cn

ЧЖАН Ш.

Доцент Северо-восточного университета лесного хозяйства, к. г.-м. н., г. Харбин, Китай
zhangshengrong1988@nefu.edu.cn

АННОТАЦИЯ

В статье рассмотрены современные методы очистки геологической среды от нефтяных загрязнений по трассам нефтяных трубопроводов, в том числе в условиях Сибири и криолитозоны. Приведена рациональная схема очистки грунтов от нефтяных загрязнений. Проанализированные методики можно рассматривать как общие для решения аналогичных проблем не только в России, но и в Китайской Народной Республике. Также необходимо учитывать их при инженерно-экологических изысканиях и исследованиях на загрязненных территориях.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

геологическая среда; методы очистки грунтов; нефтяные загрязнения; трассы нефтепроводов.

ССЫЛКА ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Королёв В.А., Самарин Е.Н., Григорьева И.Ю., Николаева С.К., Чжан Цз., Чжан Ш. Методы очистки геологической среды по трассам магистральных нефтепроводов // ГеоИнфо. 2025. Т. 7. № 1. С. 6–24. DOI:10.58339/2949-0677-2025-7-1-6-24.

METHODS FOR CLEANING GEOLOGICAL ENVIRONMENT ALONG OIL PIPELINES

Accepted for publication 30.05.2025

Published 16.06.2025

KOROLEV V.A.

DSc, professor, Department of Engineering and Ecological Geology, Faculty of Geology, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia
va-korolev@bk.ru

SAMARIN E.N.

DSc, professor, Department of Engineering and Ecological Geology, Faculty of Geology, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia
samarinen@mail.ru

GRIGOR'EVA I.Yu.

PhD, assistant professor, Department of Engineering and Ecological Geology, Faculty of Geology, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia
ikagrig@inbox.ru

NIKOLAEVA S.K.

PhD, assistant professor, Department of Engineering and Ecological Geology, Faculty of Geology, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia
nikolaeva sk@gmail.com

ZHANG J.

PhD, professor, Northeastern Forestry University, Harbin, China
zez@nefu.edu.cn

ZHANG Sh.

PhD, assistant professor, Northeastern Forestry University, Harbin, China
zhangshengrong1988@nefu.edu.cn

ABSTRACT

This article discusses modern methods of cleaning away oil pollution from geological environment along oil pipeline routes, including in the Siberian and cryolithozone conditions. A rational scheme for cleaning grounds off oil pollution is given. The analyzed methods can be considered as general for solving similar problems not only in Russia, but also in the Chinese People's Republic. And they should be taken into account during engineering-environmental surveys and studies in polluted areas, too.

KEYWORDS:

geological environment; ground cleaning methods; oil pollution, oil pipeline routes

FOR CITATION:

Korolev V.A., Samarin E.N., Grigor'eva I.Yu., Nikolaeva S.K., Zhang J., Zhang Sh. Metody ochistki geologicheskoi sredy po trassam nefteprovodov [Methods for cleaning geological environment along oil pipelines] // GeolInfo. 2025. T. 7. № 1. S. 6–24. DOI:10.58339/2949-0677-2025-7-1-6-24 (in Rus.).

ВВЕДЕНИЕ ►

Загрязнение геологической среды нефтью и нефтепродуктами представляет собой серьезную экологическую проблему. Особенно интенсивно это загрязнение происходит в местах добычи, а также транспортировки нефти по трубопроводам. С учетом огромной суммарной протяженности нефтепроводов в России и связанной с этим загрязненностью грунтов нефтью, становятся весьма актуальными вопросы очистки грунтов от нефти и нефтепродуктов. Однако многие из них пока остаются нерешенными, что обусловлено сложностью и комплексностью данной проблемы. В этой связи целью настоящей статьи является анализ существующих способов очистки грунтов вдоль нефтепроводов и обоснование рациональной схемы очистки геологической среды от нефтяных загрязнений.

Анализ проводился на базе изучения фондовых, полевых и лабораторных материалов по нефтяным загрязнениям вдоль нефтепроводов, включая материалы, собранные авторами вдоль трассы участка магистрального нефтепровода Восточная Сибирь – Тихий океан (ВСТО-1) – нефтепровода Сковородино – Мохэ в Амурской области – и его продолжения до города Дацин (КНР), а также на Саянском месторождении (Западная Сибирь). Работы проводились совместно с сотрудниками Северо-восточного университета лесного хозяйства (КНР).

В настоящее время объем поставок по первой очереди ВСТО до станции Сковородино составляет 80 млн тонн нефти в год. Из них в Китай, в Мохэ и Дацин, уходит до 30 млн тонн в год; остальная часть нефти (50 млн тонн) по

второй очереди ВСТО направляется в сторону Тихого океана. Из этого количества на Хабаровский и Комсомольский нефтеперерабатывающие заводы (НПЗ) суммарно поступает 13 млн тонн, оставшиеся 37 млн тонн предназначены для отправки на экспорт. По территории России нефтепровод идет от Сковородино на юг в сторону реки Амур до приграничного поселка Джалинда, где размещен приемо-сдаточный пункт, затем он идет под руслом Амура в КНР и далее – по китайской территории проходит через г. Мохэ и другие 12 городов и округов провинции Хэйлунцзян и автономного района Внутренняя Монголия (АРВМ) до города Дацин, где расположена его конечная нефтеперекачивающая станция «Линъюань».

Работа выполнялась в рамках госбюджетной темы МГУ имени М.В. Ломоно-



Рис. 1. Гибель леса под воздействием «нефтяного озера» на Самотлорском месторождении в Западной Сибири (фото Е.А. Вознесенского, 1999)



Рис. 2. Погибший из-за нефтяного загрязнения лес (сухостой) на Самотлорском месторождении (фото В.С. Королева, 2021)

Таблица 1. Формы нефтяных загрязнений в грунтах

Обозначение формы загрязнения	Особенности нефтяного загрязнения
НП ₁	Легкоподвижные жидкие низкоплотные углеводороды – основная первичная форма (бензины, керосины, дизельные топлива и т.п.)
НП ₂	Слабоподвижные жидкие низкоплотные углеводороды – второстепенная первичная форма (легкие мазуты, масла и т.п.)
НП ₃	Слабоподвижные жидкие высокоплотные углеводороды (с плотностью выше, чем у воды, то есть больше единицы) – второстепенная первичная форма (тяжелые мазуты, масла и т.п.). Форма, производная от НП ₁ и НП ₂
НП ₄	Неподвижные слабвязкие (от текучих до полутвердых) тяжелые формы нефтепродуктов в зоне аэрации. Форма, производная от НП ₂ и НП ₃
НП ₅	Высокоплотные сильновязкие нефтепродукты, малоподвижные (в горизонтах подземных вод). Форма, производная от НП ₃
НП ₆	Водоэмульгированные подвижные нефтепродукты. Форма, производная от НП ₁
НП ₇	Водорастворенные подвижные формы нефтепродуктов. Ароматические углеводороды, производные от всех других форм
НП ₈	Газообразные нефтепродукты. Форма, производная в основном от НП ₁
НП ₉	Неподвижные сорбированные нефтепродукты. Парафины, производные от всех других форм

сова «Эколого-геологические системы: структура, многообразие, систематика и их анализ» (госбюджет, раздел 0110 (для тем по госзаданию), номер 5-4-2021, номер ЦИТИС 121042200089-3) и совместных исследований с Северо-восточным университетом лесного хозяйства (Китайская Народная Республика).

ОСОБЕННОСТИ НЕФТЯНЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ ГРУНТОВ ВДОЛЬ НЕФТЕПРОВОДОВ ►

Основным путем загрязнения почв и подпочвенных грунтов вдоль нефтепроводов и объектов их инфраструктуры являются аварийные разливы нефти, осаждение поллютантов из атмосферы за счет гравитационного и турбулентного оседания, дальнейшей адсорбции загрязняющих веществ подстилающей поверхностью, миграции и накопления углеводородов в почвенном профиле. При этом загрязнителями почвенного покрова являются нефтепродукты, сульфаты, ароматические углеводороды

(бензол, толуол, стирол, альфаметилстирол, ортоксилон, этилбензол, изопропилбензол, бензин, бензапирен), азот аммонийный, металлы и др.

Значительны интенсивность и масштабы загрязнения подземных вод и грунтов в районах нефтедобычи и промысловых нефтепроводов. Весьма негативные экологические последствия имеют многочисленные повреждения промысловых трубопроводов, аварии на магистральных нефтепроводах, потери нефти из резервуаров из-за несовершенства конструкций, что сказывается в первую очередь на состоянии почв, растений и водных объектов (рис. 1, 2).

Большинство нефтепроводов-коллекторов и магистральных трубопроводов прокладывается подземным способом или полуподземным (полузаглубленным) способом с обваловкой, реже – наземным в насыпи. Поэтому нефть из поврежденной трубы может сразу проникать вглубь массива или сначала изливаться на поверхность.

Особенности нефтяного загрязнения массивов различных грунтов обуславливаются:

- 1) строением массива грунтов;
- 2) его гидрогеологическими особенностями;
- 3) типом и составом проникающих углеводородов;
- 4) их возрастом (длительностью загрязнения);
- 5) конструкцией и состоянием трубопровода.

В зависимости от этих особенностей в массивах формируются различные углеводородные загрязнения. В силу разной подвижности, испаряемости и процессов «старения» нефти в грунтах нефтяные загрязнения могут быть представлены разными формами, среди которых выделяют как минимум **девять категорий** [1] (таблица 1):

Со временем углеводородные загрязнения в грунте видоизменяются из-за процессов испарения легких фракций, процессов окисления нефтепродуктов,

Таблица 2. Классификация уровней загрязнения грунтов нефтепродуктами (по [1])

Уровень загрязнения	Общее содержание нефтепродуктов	
	г/кг	%
Фоновый	<0,5	<0,05
Низкий	0,5–1	0,05–0,1
Умеренный	1–5	0,1–0,5
Средний	5–10	0,5–1
Высокий	10–50	1–5
Очень высокий	>50	>5

Таблица 3. Способность разных грунтов сорбировать нефтепродукты (по [2])

Грунт	Коэффициент фильтрации для воды, м/сут	Количество сорбированных нефтепродуктов, л/м³
Крупный гравий, валуны	10 ²	-
От гравия до крупнозернистого песка	10 ² –10 ¹	8
Песок от крупно- до среднезернистого	10 ¹ –10 ⁰	15
Песок от средне- до мелкозернистого	10 ⁰ –10 ⁻¹	25
От глинистого песка до глины	10 ⁻¹ –10 ⁻³	40

Таблица 4. Показатели загрязненности земель нефтью до начала рекультивационных мероприятий (по [3])

Группа ландшафтно-геохимических районов	Степень загрязнения	Содержание остаточной нефти, мг/кг	Степень отмирания растительности в следующем вегетационном периоде	
			травянистой	древесной, %
Мерзлотно-тундрово-таежные	умеренная	от <5000 до 100000	неполное	<50
		>10000	полное	>50
Таежно-лесные	умеренная	<30000	неполное	<75
		>30000	полное	>75
Степные	умеренная	<6	неполное	<75
	сильная	>6	полное	>75

процессов частичного гидролиза и пр. Этот процесс трансформации загрязнений во времени называют процессом «старения нефти». В итоге чем старше нефтяное загрязнение, тем сложнее его удалить, так как в нем остаются самые устойчивые фракции нефтепродуктов, находящиеся в неподвижном состоянии. Указанные формы необходимо учитывать при обосновании схем очистки грунтов.

Количество нефтяных загрязнений в грунтах может быть различным (таблица 2), зависящим от многих факторов, в том числе от сорбционной способности грунтов (таблица 3). С учетом особенностей различных ландшафтов, их степень загрязнения нефтью и нефтепродуктами может оцениваться с помощью таблицы 4.

Нефтяные вещества сорбируются грунтами, включая почвы, преимущественно еще в жидкой фазе, причем в

основном за счет сорбции полярных компонентов (нафтеновых кислот, смол, асфальтенов). Способность углеводородов сорбироваться грунтами понижается в последовательности: олефины > ароматические углеводороды > циклопарафины > парафины.

Загрязнение грунтов нефтью вне и в пределах криолитозоны имеет различия и особенности, рассматриваемые ниже.

ОСОБЕННОСТИ НЕФТЯНЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ ГРУНТОВ В КРИОЛИТОЗОНЕ ▶

Нефтяное загрязнение грунтов в криолитозоне имеет свои специфические особенности, обусловленные наличием в них льда и незамерзшей воды, возможностью фазовых переходов при изменении термодинамических условий среды, изменением альбедо и теплофизических свойств и др. Они были изучены на ряде объектов как в России [4,

5], так и за рубежом [6, 7]. Установлено, что при нефтяном загрязнении грунтов в криолитозоне происходит существенное изменение тепло- и массообменных свойств грунтов как в сезонно-талом слое, так и в верхней части многолетне-мерзлой толщи [8]. Это может сказываться на активизации различных экзогенных геодинамических процессов.

Находящийся в мерзлых грунтах лед является препятствием для проникновения в них жидких, газообразных и твердых углеводородных загрязнителей. Однако лед нельзя рассматривать как абсолютно непроницаемую для них среду. Хорошо известно, что он имеет «ажурную пористую» структуру с многочисленными пустотами, что, с одной стороны, делает его легче воды, а с другой – придает некоторую проницаемость. Именно эти пустоты и могут бытьместилищем для различных загрязнителей и «миграционными каналами»,

Таблица 5. Классификация методов очистки грунтов от нефтяных загрязнений (составил В.А. Королев)

Способы воздействия		Методы локализации очагов загрязнений	Методы очистки путем	
Класс	Подкласс		Удаления углеводородов	Дегградации углеводородов
Физическое	Механическое	Механические экраны	Экскавация грунта	-
	Гидродинамическое	Инъекционные экраны	Откачка	-
	Аэродинамическое	-	Вакуумирование, вакуумные сборщики	-
	Термическое	-	Термоосмос	Термодеструкция, сжигание
	Электрическое	Электрокинетические барьеры (экраны)	Электроосмос	Электродеструкция
Физико-химическое	Сорбция	Сорбционное связывание, сорбционные экраны	-	Сорбционная детоксикация
Химическое	-	Химическое капсулирование	-	Известкование
Биологическое	Активизация аборигенных микробов	Рыхление, вспашка, внесение чистых почв и удобрений	-	-
	Внесение культур	Внесение биопрепаратов	-	-
		Фитостабилизация	Фитоэкстракция	Фитодегградация, фитостабилизация
Комплексное	Электрическое и биологическое	-	Электробио-очистка	Электробио-деградация

по которым возможно их перемещение путем диффузии. Распространению углеводородных загрязнений в мерзлых грунтах способствует и наличие в них незамерзшей воды. Чем больше в мерзлом грунте незамерзшей воды, тем в целом выше его коэффициент фильтрации в мерзлом состоянии при прочих равных условиях. Наибольшее количество незамерзшей воды при отрицательных температурах содержится в высокодисперсных глинистых грунтах.

Г.В. Ананьевой с сотрудниками [4] были в полевых условиях изучены особенности загрязнения нефтью четвертичных суглинков, оторфованных в верхней части. Мощность слоя сезонного оттаивания составляла около 1,2 м. На опытных площадках в криолитозоне заливали нефть и измеряли время ее просачивания и скорость впитывания в грунт, а затем через различные промежутки времени (дни, месяцы, годы) проводили опробование грунтов в сезонном слое (СТС) и верхних горизонтов многолетнемерзлых пород (ММП) для выявления характера распределения нефтяного загрязнения в исследуемой толще. Было установлено, что в первые минуты после налива скорости впитывания нефти достигали 1–2 см/мин, со временем они падали, а через 30 мин – не превышали 0,15 см/мин. Максималь-

ное содержание нефтепродуктов наблюдалось в самых верхних горизонтах: от 1–3 до 10 г/кг. Это в целом было меньше на один порядок, чем в предыдущий год опробования на аналогичной глубине. Общий характер нефтяного загрязнения также оказался аналогичным [4]. Повышение содержания нефти в грунтах наблюдается в верхних оторфованных горизонтах, супесях, а также в суглинке с включениями обломочного материала. На границе с ММП часто наблюдается некоторое увеличение концентрации нефти, свидетельствующее о том, что граница сезонного оттаивания является определенным барьером, однако в мерзлых горизонтах также фиксируются нефтепродукты. Хотя их концентрация там оказывается на порядок меньше, есть основания говорить о переносе и рассеивании нефтяного загрязнения в собственно мерзлых породах.

Ю.А. Нефедьевой [9] была выявлена роль трансформации нефтяного загрязнения в изменении свойств грунтов слоев сезонного оттаивания и промерзания, а также оценено изменение глубины сезонного оттаивания и сезонного промерзания в различных геокриологических условиях. Было установлено, что время трансформации и условия загрязнения грунтов определяют количественные и качественные изменения

нефти. При единичных разливах с увеличением длительности трансформации нефти в диапазоне от 3 до 5 лет степень нефтяного загрязнения в исследуемых грунтах уменьшается в 2–4 раза.

Нефтяное загрязнение оказывает наибольшее влияние на глубину сезонного протаивания (промерзания) переходного типа, наименьшее на – длительно устойчивый тип глубин сезонного оттаивания и сезонного промерзания. Уменьшение альбедо при нефтяном загрязнении приводит к увеличению глубины сезонного оттаивания и уменьшению глубины сезонного промерзания дисперсных грунтов, оказывая большее влияние на мерзлые грунты. Уменьшение коэффициента теплопроводности при нефтяном загрязнении приводит к уменьшению мощности слоев сезонного оттаивания и сезонного промерзания, оказывая наибольшее влияние на промерзающие породы из-за более интенсивных процессов трансформации нефти в них. В песках влияние нефтяного загрязнения больше, чем в суглинках, ввиду меньшего изменения теплопроводных свойств при загрязнении нефтью [9].

МЕТОДЫ ОЧИСТКИ ГРУНТОВ ОТ НЕФТЯНЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ ►

Очистка грунтов от нефтяных загрязнений представляет непростую за-



Рис. 3. Срезка слоев торфа с высоковязкой забитумизированной нефтью с помощью экскаватора (фото В.С. Королева)



Рис. 4. «Доработка» срезки нефтезагрязненного торфа ручным способом (фото В.С. Королева)

дачу. В настоящее время разработано множество способов очистки грунтов от нефтяных загрязнений, которые отражаются в различных классификациях. Согласно работе В.А. Королева [10] их можно разделить на три группы (таблица 5):

- 1) методы локализации очагов загрязнений;
- 2) методы очистки путем удаления (извлечения) нефтепродуктов;
- 3) методы очистки путем деградации (деструкции, разрушения) нефтяных загрязнений.

ОЧИСТКА ГРУНТОВ ОТ ПОВЕРХНОСТНЫХ РАЗЛИВОВ НЕФТИ ►

Для очистки грунтов от поверхностных разливов нефти и нефтепродуктов применяются [11, 12]:

- 1) механическая экскавация загрязненного грунта;
- 2) вакуумная сборка нефти.

Механические методы удаления нефтяных загрязнений являются простейшими и наиболее универсальными методами очистки массивов от этих загрязнений, однако, в сущности, они являются лишь перенесением загрязнителя из массива в другое место, или предварительным (вспомогательным) этапом для других способов очистки. В настоящее время широко распространено простое механическое удаление – экскавация с помощью различных технических средств загрязненного объема пород. Для этого используется различная землеройная и дорожно-строительная техника: экскаваторы, бульдозеры, грейдеры, скреперы, фрезы и т.п.

Реализация механической очистки идет поэтапно и начинается с сооружения подъездных путей к очищаемому участку или на его территории благода-

ря прокладке насыпных и лежневых дорог. Затем приступают к удалению погибшего леса. Данный вид работ относится к техническому этапу рекультивационных работ и включает в себя уборку погибшего из-за нефтяного загрязнения леса и корчевание пней. Эти операции сопровождаются разделкой древесины и транспортировкой ее к местам дальнейшего складирования. Основные требования заключаются в недопущении повторного загрязнения и расширения площади загрязненной территории.

Механический сбор нефти и нефтепродуктов можно разделить на две части:

- 1) удаление высоковязкой забитумизированной нефти;
- 2) очистка территории и водной поверхности от разливов жидкой нефти с применением механических способов. Суммарно эти работы проводятся от нескольких недель до нескольких месяцев в зависимости от объема загрязнений.

Проведение работ по откачке жидкой нефти при наличии затвердевших зон невозможно, поскольку битум не подвергается вакуумированию. Поэтому сначала проводят очистку территорий от забитумизированных слоев с применением *механических способов* удаления загрязнений [13]. Данный этап также является наиболее дорогостоящим и занимает порядка 70–80% от общих затрат (выплат средств подрядчику) на проведение работ по рекультивации. Достижение цели, то есть полного отсутствия слоев высоковязкой забитумизированной нефти на территории участка, возможно при ручных или механизированных работах по снятию слоя высоковязкой «забитумизированной» нефти с минимальным включением неотделяемой части почвы, грунта, торфа и растительных остатков. Механическая очистка (экскавация) заклю-

чается в *срезке* нефтезагрязненного торфа экскаваторами (рис. 3), так как это самый быстрый и эффективный метод. Ручная срезка или так называемые «доработки» необходимы и возможны только в отдельных точках (рис. 4), в которых ранее уже была проведена срезка экскаватором.

При проведении работ по срезке нефтезагрязненного торфа также необходимо исключать возможности вторичного загрязнения во временных местах складирования. Этого можно достичь путем предварительного создания гидроизоляционного слоя. Однако главная проблема заключается не в этом. Нефтезагрязненный с забитумизированной нефтью торф вывозят на самосвалах на специальные полигоны, где впоследствии утилизируют. При этом безвозвратно теряются огромные объемы геологического торфяного ресурса. Однако важно учитывать следующее: чтобы избежать отрицательного воздействия на окружающую среду при термической утилизации забитумизированной нефти с торфом, должны использоваться технологии, прописанные в ИТС 9-2015 [14] или ИТС 15-2016 [15].

Наряду с механической срезкой нефтезагрязненного торфа на данном этапе проводится и сбор плавающей нефти на поверхности водоемов. Данный этап проводится с помощью *откачки насосами или вакуумными сборщиками нефти* на территории, которую предварительно ограничивают по площади досками и бонами от дальнейшего растекания по водной поверхности (рис. 5). Откачанная нефть затем загружается в специальные машины и отвозится на полигоны для утилизации. Результат проведенных работ обычно очень нагляден (рис. 6). Тем не менее во время



Рис. 5. Откачка жидкой нефти с водной поверхности. Видно боновое заграждение (фото В.С. Королева)



Рис. 6. Разница между частью водоема, где была произведена откачка жидкой нефти (слева) и местом, где еще не была выполнена очистка (справа) (фото В.С. Королева)



Рис. 7. Пример «радужной» пленки, которая допустима как остаточный элемент после проведения работ по рекультивации (фото В.С. Королева, 2021 г.)



Рис. 8. Вакуумный нефтесборщик АКН-10 [12]

проведения работ необходимо также исключать вторичное загрязнение.

Однако данная методика все же допускает наличие некоторого количества углеводородов на поверхности воды. Из-за технической невозможности стопроцентной очистки, например, в Стандарте АО «Самотлорнефтегаз» № СЗ.14-19 указано, что после проведения работ допускается наличие «радужной» оболочки (рис. 7), представляющей собой очень тонкую пленку плавающих углеводородов. Это обстоятельство требует разработки дополнительных способов очистки воды даже от тонкой «радужной» пленки.

Важным этапом при использовании целого ряда химических, физико-химических и биологических методов очистки от нефтяных загрязнений является *механическое перемешивание (запашка)*, как показано ниже. Запашка представляет собой предварительный этап перед промывкой нефтезагрязненных и засоленных грунтов с целью рассоления, механическое перемешивание используется и в процессе промывки.

Этот способ заключается в глубоком перепахивании поверхностного слоя почвы или иных грунтов. В результате загрязнители, находящиеся в поверхностном слое, перемешиваются с более глубокими слоями и равномерно распределяются в пахотном горизонте. Этот способ применим при наличии нефтяных загрязнений небольшой концентрации лишь в поверхностном горизонте и отсутствии их в нижележащих слоях. Концентрация загрязнений в пахотном слое после запашки не должна превышать допустимую для растений, а гумусовый горизонт должен быть достаточно мощным.

Для ликвидации поверхностных разливов нефти применяют *вакуумные сборщики* различных типов (рис. 8). Они представляют собой передвижные установки, снабженные устройством захвата нефти (поплавочного типа или иные), вакуумным насосом и цистерной для сбора нефти.

Для сбора нефти с водной поверхности используются *скиммерные установки* разных конструкций, мощности и

производительности: от небольших ручных скиммеров (рис. 9, а) до крупных стационарных или плавающих высокопроизводительных скиммеров (рис. 9, б) используемых для ликвидации крупных аварийных разливов нефти на водных акваториях – морских, речных или озерных (водохранилищ).

ОЧИСТКА ГРУНТОВ ОТ ГЛУБИННЫХ НЕФТЯНЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ ►

Удалять нефтяные загрязнения на глубине от поверхности земли значительно сложнее. Для этого применяют различные специальные методы: гидродинамические, электрокинетические и др.

Гидродинамические методы очистки от нефтяных загрязнений используются в виде дренажа, откачки, шунтирования, фильтрования и т.п., но в любом случае их удаление происходит с фильтрующим потоком жидкости. Гидродинамическое воздействие эффективно сочетается с другими методами очистки.

Наиболее простые гидродинамические методы реализуются с помощью



Рис. 9. Ручной щеточный скиммер-нефтеборщик «СОР» (а) и плавающий скиммер-катамаран КН-1 (б) [12]

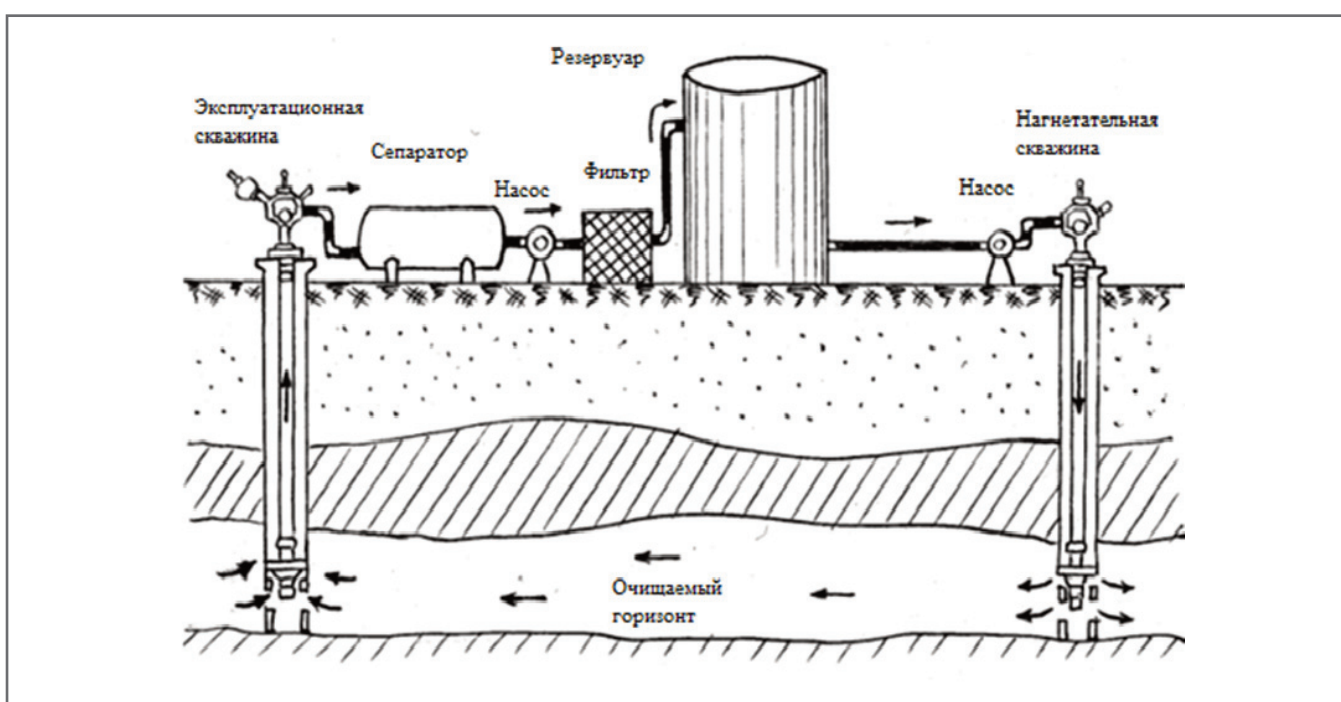


Рис. 10. Схема замкнутого цикла очистки водоносного горизонта от нефтяных загрязнений методом откачки в промывном режиме [12]

различных систем *дренажа*. Например, для удаления нефтяных линз применяется горизонтальный дренаж.

Широко известным методом удаления нефтяного загрязнения вместе с водой является *откачка*. Она может применяться самостоятельно и в сочетании с другими методами для всех типов загрязняющих веществ (включая нефть и иные углеводороды), содержащихся в подземных водах. Откачка проводится с помощью специально оборудованных скважин или иглофильтровых установок, в том числе в промывном режиме (рис. 10).

Наиболее эффективным при извлечении нефтепродуктов является метод совместной откачки. При использовании этого метода скважина оборуду-

ется двумя насосами, нижний из которых является понижающим (откачивающим воду), а верхний – извлекающим (откачивающим нефтепродукты). Создаваемая нижним насосом воронка депрессии позволяет увеличить приток нефтепродукта к скважине и повысить эффективность очистных работ. Другим способом повышения эффективности извлечения нефтепродуктов является использование для обсыпки зафильтрованного пространства скважин смеси гравия и олеофильного материала (фторопласта) в соотношении 1:1.

Существенным преимуществом откачки при удалении монолитного нефтяного загрязнения (крупных линз, техногенных нефтяных залежей) является возможность последующего использо-

вания извлеченных нефтепродуктов. В России были разработаны стационарные, передвижные и самоходные установки, позволяющие откачивать нефть и нефтепродукты из техногенных залежей без существенного понижения уровней грунтовых вод. При очистке грунтов и подземных вод от мощного загрязнения нефтью и нефтепродуктами за счет откачки при благоприятных гидрогеологических условиях реально можно извлечь около 30% содержащего в массиве загрязнения.

Для очистки подземных вод от углеводородов может применяться также следующая комбинированная схема: бурят систему скважин, где из внутренней скважины ведется откачка, а во внешние поступают инъекции воздуха

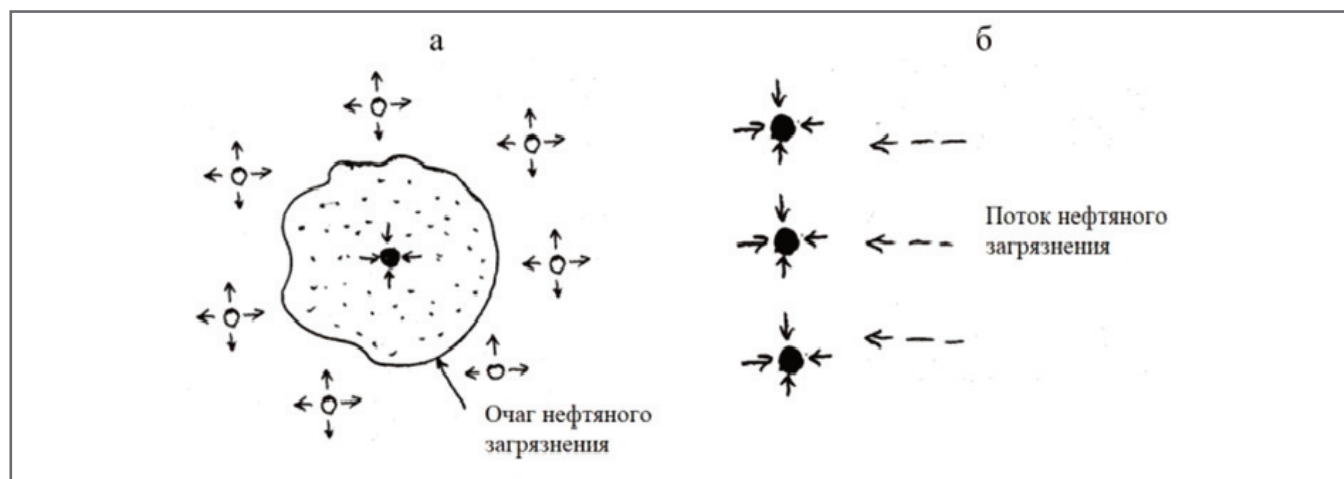


Рис. 11. Варианты применения откачки нефтяных загрязнений (план): а – локализация и удаление очага загрязнения системой нагнетательных скважин; б – перехват нефтяного потока системой скважин [12]

(рис. 11). Комплексная очистка территории от загрязнения нефтепродуктами осуществляется с помощью откачки воды из горизонтальных скважин, последующая очистка воды проводится с помощью химических реагентов.

Общим недостатком откачки является сильное нарушение обводненности массива, что изменяет гидродинамический режим территории и свойства пород, слагающих массив.

Вакуумное удаление нефтяных загрязнений применяется довольно широко для извлечения из грунтов летучих газообразных токсикантов (например, из свалок твердых бытовых отходов), а также для ликвидации поверхностных разливов нефти и иных жидких токсикантов [10, 12]

Термическое удаление нефтяных загрязнений основано на процессе *термоосмоса*. Этот метод применим лишь для массивов дисперсных или тонкопористых скальных грунтов, в которых возможен этот процесс. Термоосмос представляет собой движение жидкости в тонкопористой среде под действием градиента температуры. Данный процесс был всесторонне исследован Б.В. Дерягиным, который установил, что в основе термоосмоса лежит отличие удельной энтальпии жидкости на поверхности раздела фаз, в тонких порах (капиллярах) и в объеме. При наличии вдоль оси капилляра градиента температуры возникает движение жидкости – термоосмос. Скорость термоосмотического потока пропорциональна перепаду температуры на концах капилляра. Если в поровом растворе в массиве грунта содержатся нефть или иные жидкие углеводороды в виде эмульсии или в парогазовой фазе, то при наличии температурного градиента

в разных частях массива они будут двигаться вместе с термоосмотическим потоком жидкости (или газа) от области с более высокой температурой к области с более низкой температурой. При термоосмосе в не полностью водонасыщенных грунтах передвижение в порах воды или загрязнителя может осуществляться как в жидкой, так и в газовой фазе, то есть за счет термоосмоса могут удаляться и летучие углеводороды – легкие фракции.

Электрокинетические методы основаны на применении поля постоянного электрического тока [16]. Под действием приложенной разности напряжений в межэлектродном пространстве массива (между анодом и катодом) возникает электроосмотический поток воды от анода к катоду, вместе с которым в этом же направлении передвигается нефть или иные жидкие углеводороды (в том числе эмульгированные), увлекаемые силами вязкого трения [10]. Этот метод применим для очистки от нефти различных дисперсных грунтов – глинистых, суглинистых, супесчаных, торфяных, илистых, а также почв.

Наряду с удалением нефти и нефтепродуктов из грунтов электрокинетические методы позволяют бороться одновременно и с засолением грунтов, которое часто возникает в местах добычи и транспортировки нефти. Общая схема реализации электрокинетической очистки водонасыщенных глинистых грунтов от нефти и солей электроосмотическим методом показана на рисунке 12. Скважины, служащие анодом и катодом, имеют специальную конструкцию и позволяют одновременно с электроосмотическим фильтратом извлекать содержащиеся в нем загрязнители.

Для борьбы с нефтяными загрязнениями этот метод стал применяться относительно недавно. В конце 1990-х годов В.А. Королевым и М.А. Некрасовой [17] впервые было обнаружено, что в водонефтенасыщенных глинистых грунтах под действием постоянного электрического тока наблюдается диспергация и перемещение жидких углеводородов с электроосмотическим фильтратом преимущественно в катодном направлении. Специфичность электроосмоса в таких системах обусловлена в основном степенью подвижности границы раздела двух несмешивающихся или слабосмешивающихся жидкостей относительно их свободного объема. Вероятно, в этом случае под действием постоянного электрического тока и наличия двойного электрического слоя (ДЭС) на межфазной границе «нефть – вода» в поровом пространстве грунта происходит перемещение ионов ДЭС в одной из жидкостей и вовлечение в течение макрослоев соседней жидкости вследствие вязкого трения.

Характер и интенсивность проявления этих процессов во многом определяются рядом факторов: свойствами грунта, соотношением «вода/нефть», химическим составом порового раствора, его концентрацией и т.д. Существенное влияние на процесс электрохимической миграции нефти оказывает взаимное расположение нефти и воды в структуре порового пространства грунта. Эффект электрохимической миграции нефти проявляется лишь в том случае, если она находится в виде капель в центре пор и со всех сторон окружена водой. Если же нефть находится непосредственно на межфазной границе с минеральной подложкой, а вода – в центре поры, то система ток не прово-

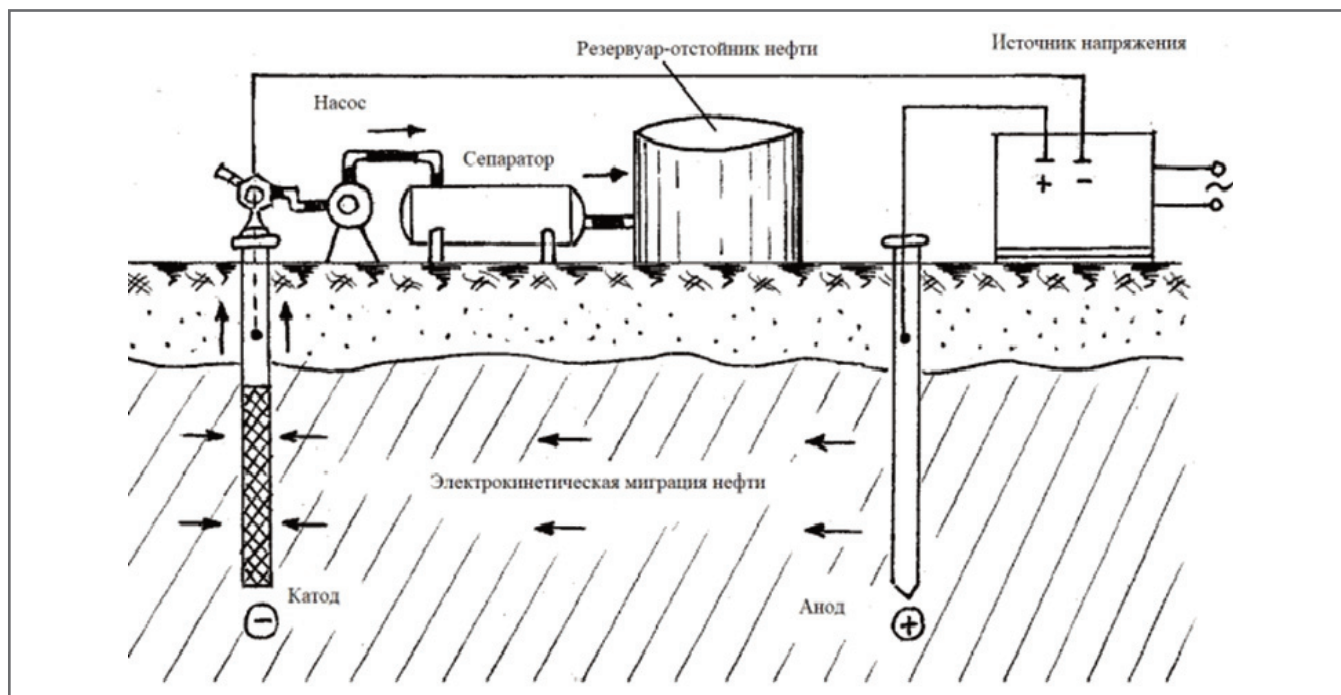


Рис. 12. Общая схема электрокинетической очистки грунта от нефтяных загрязнений [10]

дит и электрохимическая миграция не возникает. По результатам экспериментов были получены зависимости, отражающие влияние этих факторов на интенсивность электрохимической миграции жидких углеводородов в дисперсных грунтах [10, 12]. Также было установлено, что в ходе электрохимической очистки грунта от нефтяных загрязнений существенно меняется pH вдоль оси образца по направлению от анода к катоду. В анодной зоне величина pH снижается до единицы, а в катодной – повышается до 12.

Такое существенное изменение pH среды не может не сказаться на миграционной способности жидких углеводородных загрязнителей и их отдельных компонентов в электрическом поле вследствие того, что нефть, нефтяные загрязнители, машинное масло и другие жидкие углеводороды в той или иной степени растворимы в щелочах. Вследствие этого их миграционная подвижность в щелочной среде вблизи катода в поле постоянного тока существенно увеличивается – в этой зоне углеводороды перемещаются частично в растворенной форме, что облегчает процесс очистки грунта от них.

В целом на эффективность электрокинетической очистки грунтов от нефтяных загрязнений влияет множество различных факторов, изученных нами. Во-первых, эффективность очистки зависит от химико-минерального состава нефтезагрязненных грунтов: с увеличением содержания в грунте глинистых

минералов и снижением количества в них водорастворимых солей эффективность очистки возрастает. Во-вторых, на эффективность очистки влияет гранулометрический состав нефтезагрязненного грунта: чем выше его дисперсность, тем выше эффективность очистки, поскольку с ростом дисперсности возрастает влияние двойного электрического слоя на электроосмос. В-третьих, на эффективность очистки влияют различные физико-химические факторы, обуславливающие физико-химическую активность нефтезагрязненного грунта. Результаты наших исследований показали, что снижение физико-химической активности, оцениваемой числом пластичности (I_p), показателями гидрофильности (K_h) и коллоидной активности (K_a), приводит к уменьшению интенсивности электрохимической миграции и, как следствие, к снижению степени электрокинетической очистки почв от углеводородов. Это обусловлено зависимостью толщины диффузной части ДЭС от физико-химической активности катионов ДЭС, оцениваемой перечисленными показателями. Косвенно эти показатели определяют скорость электроосмотической миграции и ее вклад в суммарный процесс электрохимического массопереноса. В-четвертых, выявлено, что на эффективность очистки грунтов от нефти влияет ее исходное содержание в грунте. Проведенные исследования по изучению влияния соотношений «вода/нефть» на степень очистки почв показали, что с ростом соотношения от

1:0,2 до 1:0,8 степень очистки увеличивается, а при дальнейшем увеличении доли нефти в почве – уменьшается. В-пятых, эффективность электрокинетической очистки нефтезагрязненных грунтов, включая почвы, зависит от pH порового раствора. Выше уже отмечалось, что в щелочной среде происходит частичное растворение нефти и нефтепродуктов, что способствует их удалению с электроосмотическим потоком. В-шестых, на эффективность электрокинетической очистки грунтов (включая почвы) от нефти влияет «возраст» нефтяного загрязнения: свежие загрязнения удаляются более эффективно, чем старые. Это объясняется процессами «старения» нефти, которые обусловлены постепенным испарением из нее легких летучих фракций, которые являются самыми мобильными. Со временем при старении в нефти остаются самые консервативные тяжелые фракции, которые хуже всего удаляются под влиянием электроосмоса.

Для промышленной реализации этой методики на рабочей территории размещается система анодов и катодов. С учетом незначительной глубины загрязнения, она состоит из блоков металлических анодных (А) и катодных (К) электродов (рис. 13, а), расположенных по секциям, которые задавливаются с поверхности, а затем соединяются друг с другом в единую сеть (рис. 13, б). Длина электродов – до 50–60 см, то есть она соответствует глубине проникновения в торф нефти. Расстояние между электро-

дами должно быть от 1,5 до 2 м, расстояние между рядами – до 2 м. Для катодных фильтров электроосмотических электродов применяются специальные пластмассовые трубы с дренажными отверстиями. Они соединяются гибкими шлангами. Откачиваемый электроосмотический фильтрат с углеводородным токсикантом собирается в сепараторе, затем проходит через систему фильтров.

Все это дополнительное оборудование, включая управляющий компьютер, насосы, сепараторы, фильтры и др., размещается в специальном контейнере, который временно устанавливается на очищаемой территории (рис. 14). Контейнер подключается к источнику электричества. Внутри контейнера располагаются насосы, система электропитания, система компьютерного контроля, сепараторы, системы водоочистки и др. (рис. 15). Работы в зависимости от площади участка занимают 15–60 дней, в результате уровень загрязнения уменьшается до 10–15%.

Химические методы очистки грунтов от нефтяных загрязнений основаны на применении различных химических реагентов, вступающих с углеводородами в химические реакции, в результате которых нефть и нефтепродукты теряют свою токсичность (происходит их химическая деструкция).

Среди химических методов деструкции углеводородов наиболее широко применяется *известкование*, для которого разработаны различные промышленные технологии, используемые при рекультивации территорий, загрязненных нефтью и нефтепродуктами.

При известковании нефтезагрязненных грунтов (включая почвы) обрабатывается поверхность грунта негашеной

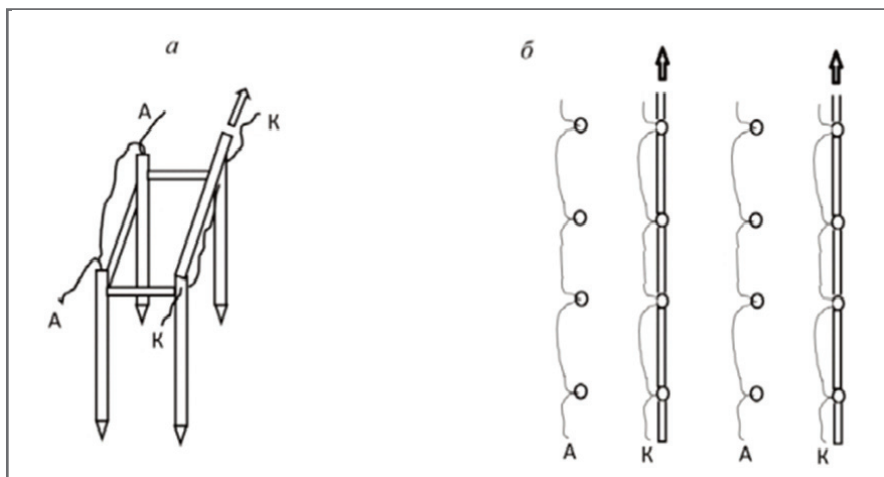


Рис. 13. Схема одной секции (а) и секционного размещения (б, план) электродов для электрокинетической очистки грунтов от нефтяных загрязнений [12]



Рис. 14. Общий вид контейнера с электрокинетическим оборудованием для очистки грунтов от нефтепродуктов на городской территории (фото В.А. Королева)

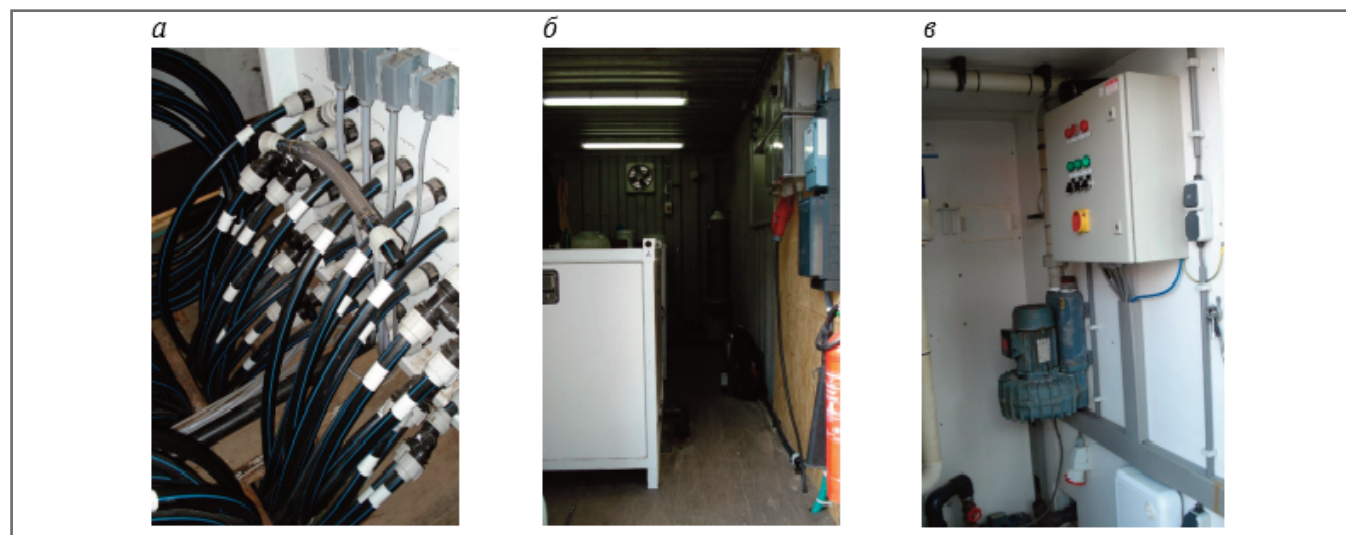


Рис. 15. Внутреннее оборудование контейнера: а – подводящие электрические кабели и шланги; б – общий вид помещения, в – система электрического питания (фото В.А. Королева)

Таблица 6. Классификация сорбентов, используемых при очистке грунтов от углеводородных загрязнений [19]

1. Сорбенты по исходному сырью					
неорганические		органические			
Из естественных минералов	Из искусственных неорганических	органоминеральные	Из каустобиолитов	из природного сырья растительного и животного происхождения и отходов их переработки	синтетические
пески, глины и т.п.	перлит, керамзит, силикагель и т.п.	сапропель, сланцы, нефтешламы	торф, уголь, графит и т.п.	мох, листва, кора, опилки, сено, солома, шелуха от переработки зерновых, макулатура	полипропилен, полиуретан, тефлон, фенол-формальдегидные пенопласты
2. Сорбенты по дисперсности					
дисперсные			формованные		
мелкодисперсные	крупнодисперсные	волокнистые	прессованные	-	
порошки	крошка, гранулы хлопья	Тканые и нетканые материалы	плиты	сорбирующие боны, подушки, маты с оболочкой из пронизаемого материала	
3. Сорбенты по характеру смачивания					
гидрофильные		безразличного смачивания		гидрофобные	
статический угол смачивания материала сорбента водой меньше 90°		статический угол смачивания материала сорбента водой примерно равен 90°		статический угол смачивания материала сорбента водой больше 90°	
4. Сорбенты по плавучести					
высокой плавучести (более 72 ч)		ограниченной плавучести (3–72 ч)		Неплавучие (до 3 ч)	
5. Сорбенты по пористой структуре					
непористые	крупнопористые	мезопористые	мелкопористые	гетеропористые	
-	Радиус кривизны пор более 200 нм	Радиус кривизны пор 1,5–200 им	Радиус кривизны пор менее 1,5 им	радиус кривизны пор меняется в широком диапазоне	

известью (0,5–5% от количества занесенного нефтепродукта). Известь за счет адгезии хорошо взаимодействует с нефтями и битумами, в результате чего образуется твердый продукт, который удерживает нефтепродукты в виде комплексных соединений. При нефтяном загрязнении в грунте снижается количество поглощенного кальция и магния, а внесение извести улучшает агрохимические свойства почв и ускоряет разложение метано-нафтенных структур.

Для известкования применяются различные горные породы – мел, мергель, молотый известняк, доломитовую муку и др. Наряду с этим в последнее время для известкования грунтов стали широко применяться известьсодержащие отходы свеклосахарного производства.

Известкование применяется и в комбинации с другими методами, в частности с биологическими. При этом необходимо также вносить минеральные удобрения для увеличения активности природной микрофлоры [18].

Физико-химические методы очистки грунтов от нефти и нефтепродук-

тов основаны на различных физико-химических процессах, происходящих на границах фаз грунта, – адсорбции, ионном обмене и др.

Среди физико-химических методов локализации нефти и нефтепродуктов наиболее широко применяются *сорбционные методы*. Эти методы применимы в основном для борьбы с плавающей нефтью на акваториях, а также с поверхностными разливами нефти. Классификация сорбентов, применяемых для очистки грунтов от нефти, показана в таблице 6.

В качестве сорбентов применяются различные искусственные и природные материалы: модифицированный торф, активированный уголь и отходы его производства, гидролизные лигнин и бурый уголь, брусит, известь, высокодисперсные грунты (глинистые, торфяные, цеолиты и др.), мох, а также древесные опилки, сечка пшеницы и камыша, каучуковая и кокосовая крошка, отходы шерстяной промышленности, базальтовое волокно, сорбенты на основе пенополистирола, по-

липропилена, поролон, синтепона и многое другое.

При оценке эффективности сорбентов обычно руководствуются тремя критериями – нефтеемкостью, влагоемкостью и плавучестью. Оценка эффективности может быть определена согласно ТУ 214-10942238-03-95 [20].

В России и других странах выпускается много промышленных искусственных сорбентов нефтепродуктов («Профсорб», «Профсорб-Ультра», Spill-Sorb, GO, «С-ВЕРАД», «АКВА-ВЕРАД», «Нью-Сорб», «Пирсорб», «Экосорб», «ЛАРН» и многие другие).

Среди сорбентов различают:

- 1) рассыпные (органические, неорганические и синтетические);
- 2) заключенные в оболочку (в сетчатые материалы);
- 3) сплошные (синтетические, в основном полипропилен);
- 4) волокнистые (на основе полипропилена).

Сорбенты очень эффективны при аварийной очистке от нефти. В таких случаях используют торф, органиче-

ский сапропель, молодые бурые угли. Получают сорбенты также из коры, жмыха, смолы. Все они подвергаются гидрофобизации.

Достоинством метода является повсеместное распространение природных сорбентов и возможность последующего извлечения из них собранных нефтепродуктов [21–23].

Биологическая очистка грунтов от нефтяных загрязнений основана на способности самовосстановления экосистем за счет естественных биоценозов, способности многих организмов разлагать (путем биодеструкции) или аккумулировать в своей биомассе углеводороды [10]. Механизм самовосстановления экосистемы после нефтяного загрязнения достаточно сложен. Процесс естественного самоочищения почвы под влиянием природной микрофлоры является длительным (более 10–25 лет) и зависит от физико-химических свойств почвы и нефти. Сокращение этого периода достигается путем применения системы биологической рекультивации, включающей в себя комплекс агротехнических мер рыхления, известкование, внесение сорбентов и удобрений, то есть механические и химические способы.

Методы микробиодеградации нефтяных загрязнителей основаны на деструкции токсичных загрязняющих компонентов различными видами микроорганизмов. Эффект достигается за счет:

- 1) либо активизации аборигенной микрофлоры;
- 2) либо внесения в грунт определенных культур микроорганизмов, а также всевозможных комплексных препаратов и методов.

Методы очистки грунтов активизацией микрофлоры основаны на активизации микрофлоры, уже существующей (аборигенной) в почве или ином грунте. В результате этой активизации микроорганизмы начинают активно поглощать загрязнитель и вызывать его деструкцию. Методы активизации аборигенной микрофлоры направлены на создание оптимальной среды для развития определенных групп микроорганизмов, разлагающих нефтяной загрязнитель. Эти методы могут быть использованы везде, где естественный микробиоценоз сохранил жизнеспособность и достаточное видовое разнообразие. Очистка за счет активизации микрофлоры является медленным, но очень эффективным процессом.

Простейшими способами активизации микрофлоры являются механические способы. Рыхление снижает дефицит кислорода и разрушает гидрофобную пленку поверхностных нефтяных компонентов, тем самым реально ускоряя физико-химическую и микробиологическую деструкцию нефти. Возможно также выделение из загрязненной среды микроорганизмов – деструкторов нефти и наращивание их биомассы в лабораторных условиях с последующим внесением в почву. Кроме того, можно увеличить численность микроорганизмов в природных условиях, используя замкнутую систему циркуляции воды, содержащей кислород и питательные вещества, необходимые для их жизнедеятельности, и проветривания почвы по вентиляционным каналам. Широко применяется внесение готовых биопрепаратов, содержащих углеводородпоглощающие микроорганизмы, не имеющие отношения к микробной биоте загрязненного участка. Но в настоящий момент нет доступных методов отслеживания процесса взаимодействия вносимых микроорганизмов с естественной микрофлорой.

Для удаления из массивов грунтов летучих углеводородов через горизонтальные скважины вместе с воздухом подается газообразная питательная смесь. Другим вариантом этого метода является разбрызгивание микрокапель питательного раствора. Высокую эффективность имеет активизация углеводородокисляющих микроорганизмов за счет закачки в грунты химически активных пен благодаря их комплексному воздействию: улучшению условий дыхания, оптимизации баланса питательных веществ, а также увеличению подвижности и доступности водонерастворимых органических загрязнений.

Активизация биодegradации в нефтесеконгрязненных почвах и грунтовых водах достигается за счет внесения минеральных удобрений [24]. Однако необходимо отметить, что реакция микроорганизмов сильно варьирует в зависимости как от конкретного загрязнителя, так и от свойств добавки. Был опыт закачки в загрязненный нефтью грунт обогащенных нитратами (до 0,5 г/л) сточных вод для активизации биодegradации. При этом концентрация алифатических соединений снизилась с 1,5 до 0,5 мг/л, ароматических – с 5,0 до 0,5 мг/л. При внесении азота в дозе 600 кг/га степень degradation нефтяных углеводородов в целинных почвах возрасала в среднем на 45% [24]. Моче-

вина и мочеина, покрытая серой, ускоряют биодegradацию нефти с 14,8 до 58,6% за 21 сутки, что применяется на железнодорожных магистралях и на дренированных песчаных почвах. В серых лесных почвах наиболее эффективно биодegradацию ускоряет комплекс азотных, фосфорных, калийных удобрений и перегноя [24]. Для активизации микрофлоры с целью очистки от хлорсодержащих растворителей также применяются добавки в воду азота, кислорода и метана.

Одним из методов, обеспечивающих диспергацию нефти и вследствие этого улучшающих ее контакт с микроорганизмами, является внесение поверхностно-активных веществ (ПАВ). Моющие вещества вымывают мазут из почвы вместе с водой и влияют на активность микроорганизмов, но повышение концентрации ПАВ до 5% вызывает угнетение микрофлоры.

Эмульгатор нефти ЭПН-5 стимулировал численность спорообразующих грибов и бактерий при дозе 20–40%, а увеличение дозы до 60–100% приводило к их угнетению. С целью активизации биодegradации нефти в почве применяются также ПАВ-С1, неонол АФ-14, ПАВ ОП-10, полиакрилонитрил.

Хлористый калий улучшает экстракцию нефти из почвенных агрегатов в раствор.

Сочетание применения ПАВ с внесением минеральных удобрений, особенно аммонийных форм азота и фосфора, ускоряет биодegradацию нефти [24].

При поверхностном нефтяном загрязнении можно использовать препарат «Фаерзайн», содержащий ферменты, активизирующие микрофлору. Мощность слоя обработки без выемки грунта – 30–40 см, срок очистки – около 4 недель. Препарат вносится с помощью брандспойга из машины, желательна также обработка грунта рыхлением. Используют «Фаерзайн» и для очистки вод и донных осадков.

Активное влияние на биодegradацию нефти в почвах оказывают сточные воды ферм, однако в каждом конкретном случае должно быть дано экологическое обоснование.

Ускоряют биодegradацию нефти также целлюлозосодержащие отходы – солома, опилки. Эффективным является внесение опилок со стимуляторами разложения нефти [24].

В результате исследования способности почв к самоочищению установлено, что тяжелые фракции нефтепродуктов в почве являются стойкими и

мало подвергаются деструктивным изменениям.

Методы очистки грунтов внесением культур микрофлоры применяются в тех случаях, когда необходимая аборигенная микрофлора отсутствует. Они могут использоваться при массивном и аварийном нефтяном загрязнении, в сложных условиях, при отсутствии развитого естественного биоценоза.

Часто для борьбы с нефтяными загрязнениями применяют комплексные биопрепараты, которые содержат не только целый набор культур, но и питательные вещества. В последнее время именно разработка искусственных биопрепаратов – деструкторов углеводородов получила во всем мире широкое распространение.

Нефтезагрязненные почвы и иные грунты обрабатывают такими микробными сообществами, как *Acinetobacter sp.*, *Alcaligenes sp.*, *Pseudomonas sp.*, одновременно вносят растворы фосфорных и аммонийных солей. Нефть на поверхности почвы уничтожают *Actinomyces elegans* и *Geotrichum marinum* [24]. Использование *Actinebacter sp.* дает 80%-ный эффект очистки от ароматических соединений по истечении пяти недель. Для деструкции нефти выделены штаммы галотолерантных и галофильных археобактерий. В условиях относительно высоких температур можно использовать *Bacillus thermoleovorans*. Бактерии *Streptomyces albiaxialis* разлагают углеводороды нефти при содержании соли до 30%, эффективность при оптимальной температуре 28–30 °C достигает 50%. Деградацию ароматических углеводородов осуществляют некоторые виды *Mycobacterium*, а также вид *Pseudomonas alcaligenes*, который разлагает и галоуглеводороды.

Биодегradация нефтяных загрязнений применяется в комплексе с другими методами борьбы с углеводородными загрязнителями.

В сложных случаях наиболее эффективна очистка комплексными биопрепаратами. При нефтяном загрязнении они используются наиболее широко. Рабочие растворы биопрепаратов готовят на месте на специальных станциях (рис. 16).

Сроки проведения технического этапа рекультивации определяются органами, предоставившими землю и давшими разрешение на проведение работ, связанных с нарушением почвенного покрова, на основе соответствующих проектных материалов и календарных



Рис. 16. Блок для приготовления рабочих растворов биопрепаратов (источник фото: www.newchemistry.ru)

Таблица 7. Сроки проведения работ по ликвидации последствий разлива нефтепродуктов и время начала технического этапа рекультивации [25]

Время загрязнения в текущем году	Окончание технического этапа
Осень – зима	Первая весна через год после загрязнения
Весна – лето	Весна следующего года

планов. Время окончания технического этапа зависит от времени загрязнения. Ориентировочно его можно прогнозировать по таблице 7.

Биологический этап осуществляется после полного завершения технического этапа по восстановлению плодородного слоя почвы в соответствии с ГОСТ 17.5.3.06-85 [26] и в комплексе с механическими методами. При проведении данного этапа должны быть учтены требования к рекультивации земель по направлениям их использования.

На сильно загрязненных участках для ускорения процесса биодегradации нефтепродуктов могут вноситься биологические препараты, по которым есть разрешения государственных служб (таблица 8). Использовать препараты следует согласно инструкции по их применению и по технологии, согласованной с местными органами Федерального агентства кадастра объектов недвижимости. Необходимым условием для успешной переработки нефти и нефтепродуктов нефтеокисляющими бактериями является величина активной реакции (рН) почвы – рН должен быть не меньше 6.5.

Количество новых биопрепаратов растет с каждым годом. Так суспензия, содержащая *Pseudomonas*, *Nocardia*, *Flavobacterium* и *Candida*, практически полностью очищает от нефти верхние 20 см почвы за 7 лет. Смесь *Candida*

matlosa, ВКМУ-1506, *Pseudomonas sp.* и бактерии № 15 в питательной среде также разлагает нефтяное загрязнение. Можно использовать препарат Noggies предназначенный для разложения в почве мазута, дизельного топлива, бензина, керосина, различных фенолов и формальдегидов.

Препарат Hydrobas за пять дней снижает загрязнение на 60%, однако массив нужно держать постоянно увлажненным. Биопены фирмы Biodetox проникают на глубину 30–40 см, разлагая керосин, бензин, натуральные масла. Готовые биопены хранятся очень долго. Внесение в почву отходов дрожжевого производства в 2–10 раз увеличивает разложение нефти. То же установлено и для молочной сыворотки. Также используется активный ил и белково-витаминный концентрат – особо обработанная масса дрожжей родов *Candida*, *Rhodotoruba*.

Эффективным является применение *Candida guilliermondii* с целлюлозоразрушающим субстратом [24]. Биопрепарат с сочетанием дрожжей и актинобактерий за 4 дня снижает на 40–60% содержание гексадекана, парафинов, сырой нефти в воде с соленостью до 12 г/л.

Препарат «Родер» используется для очистки вод (в дозе 0,1 кг/м²), а также почв и других грунтов (в дозе 1 кг/м²) от 0,1–0,5% нефтяного загрязнения. В России для очистки почв от нефти

Таблица 8. Сводная таблица показателей биопрепаратов [27]

Показатель	Биопрепарат		
	«Путидойл»	«Деворойл»	«Биоприн» («Олеворин»)
Исходный материал	Природный штамм «Псевдомонас путида»	Микроорганизмы	Штамм «Олеворум»
Вид	Порошок	Порошок	Порошок
Среда нефтеокисления	Вода, почва	Вода, почва	Вода, почва
Максимальное содержание нефти и нефтепродуктов в воде (г/л)	20	н/о	н/о
Срок хранения (мес.)	12	н/о	12
Удобрение	«Нитроаммофос»	«Диаммофос»	«Диаммофос», «аммофос»
Рабочие температуры, °С)	от +10 до +40	от +10 до +40	от +1 до +35
Продолжительность обработки (дней)	24	н/о	24
Разработчик	ЗапсибНИГНИ, г. Тюмень	НПП «Биотехинвест», г. Москва	ВНИИсинтезбелок, г. Санкт-Петербург



Рис. 17. Проведение работ по мульчированию торфом с использованием экскаваторов (фото В.С. Королева)



Рис. 18. Внесение на поверхность торфа гумата натрия (фото В.С. Королева)

также применяются «Деворойл», «Дестройл», «Биоприн» («Олеварин»), «Путидойл», «Универсал», «Суперкомпост ПИКСА», «Охримин» и другие биопрепараты [10].

Биологическая рекультивация в промышленных масштабах обычно является заключительной стадией восстановления нефтезагрязненных грунтов, поскольку большинство микроорганизмов, применяемых для очистки, не может «справиться» с большой концентрацией нефти и нефтепродуктов.

Согласно разным нормативным документам (например, по положению АО «Самотлорнефтегаз» № ПЗ.15-10 [28]) к данному виду работ относятся:

- 1) агротехническая обработка участка, мульчирование участка торфом;
- 2) агрохимическая обработка участка жидкими и сыпучими препаратами;
- 3) работы по фитомелиорации.

Необходимые требования, проводимые операции, а также объемы выполняемых работ излагаются в плане производства работ (ППР) для конкретного участка. Работы могут длиться несколько месяцев. Вначале происходит агротехническая обработка участка. Данный рекультивационный процесс включает в себя фрезерование, дискование, вспашку или рыхление ручным или механизированным способом верхней части почвы, подпочвенного грунта, торфяной залежи на глубину не менее 30 см. Задача – перемешать обнажившийся после срезки торфяной слой, чтобы уменьшить или рассредоточить концентрацию содержания нефтепродуктов. Данные виды работ также относятся к механическим способам очистки [10].

Основным видом работ на этом этапе является мульчирование торфом. На место срезанных нефтезагрязненных

торфяных пластов помещается привезенный на самосвалах чистый торф (или чистая почва). Поверх перекопанных ранее слоев осуществляется разбрасывание торфа ручным или механизированным способом с созданием равномерного слоя, имеющего толщину согласно проекту рекультивации или ППР (в местах, установленных проектом рекультивации или ППР) (рис. 17). Одной из важнейших задач на данной стадии является планировка территории.

Агрохимическая обработка участка жидкими и сыпучими препаратами (например, гуматом натрия) проводится с целью повышения плодородия, насыщения грунтов питательными компонентами для биоты (рис. 18) и сыпучими препаратами для повышения pH среды (рис. 19).

Например, среди жидких препаратов на Самотлорском месторождении для рекультивационных работ чаще всего



Рис. 19. Внесение доломитовой муки на поверхность торфа (фото В.С. Королева)



Рис. 20. Работы по фитомелиорации – посев семян ручным способом (фото В.С. Королева)



Рис. 21. Вид зоны участка работ до (а) и после (б) фитомелиорации (фото В.С. Королева)

используют гумат натрия (в концентрации 20%). Среди сыпучих реагентов используется доломитовая мука, селитра аммиачная, нитроаммофоска и нитроазофоска. Внесение всех этих реагентов также способствует активизации аборигенной микрофлоры – существующие в торфе микроорганизмы начинают активно размножаться, а метанотрофные и нефтетрофные бактерии начинают разлагать углеводороды. Таким образом на этой стадии также начинается и микробиологическая очистка.

Использование сыпучих препаратов необходимо, потому что под воздействием нефти изменяются свойства торфа и иных загрязняемых грунтов. Происходит утяжеление грунта в результате заполнения порового пространства торфа нефтью, изменяется гранулометрический состав, нарушается водно-воздушный режим вследствие вытеснения порового воздуха нефтью. Также, отмечается процесс закупоривания порового пространства, что влияет на изменение гидрофизических характеристик торфа,

происходит снижение значений влагоемкости, водонепроницаемости. И, как следствие, возникает анаэробизм, который вызывает образование органических кислот и снижение pH. Поскольку многим растениям некомфортно существовать в кислой среде, то рекультивация включает в себя стадию восстановления уровня pH.

Конечный процесс на этапе биологической рекультивации – работы по *фитомелиорации*. Данный вид производственной стадии включает в себя посев обработанной смеси семян с использованием специальной техники или ручную с одновременным внесением удобрений и заделку семян в почву механизированным или ручным способом (при необходимости) (рис. 20).

Для борьбы с нефтяными загрязнениями используются следующие направления *фиторемедиации* [24]:

1) *фитоэкстракция* – поглощение, транслокация и аккумуляция нефтяного загрязнителя в растении (для рекультивации окружающей среды этим мето-

дом применяют растения-гипераккумуляторы;

2) *фитостабилизация* – перевод нефтяных веществ из растворимой формы в нерастворимую в корневой зоне растений;

3) *фитодегградация* – «внутреннее» разрушение нефтяных поллютантов растениями при участии растительных ферментов.

Наиболее распространенными культурами при фитомелиорации нефтезагрязненных грунтов, например на Самолтлорском месторождении, являются семена овса, ржи и смеси многолетних трав. Основная проблема заключается в том, что многие травы не приспособлены к данным климатическим условиям (хотя их выбор с учетом климата регламентирован правилами). Тем не менее результат работ по фитомелиорации наглядно виден уже в течение 1–2 недель в зависимости от погодных условий (рис. 21).

Заключительный этап фитомелиорации состоит в уборке территории. Во вре-

мя данного производственного процесса разбираются постеленные и проложенные ранее насыпные и лежневые дороги.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ►

В результате приведенного анализа можно сделать следующие выводы.

1. Очистка геологической среды от нефтяных загрязнений вдоль трасс нефтепроводов представляет собой актуальную и сложную проблему.

2. Изложенное в статье показывает, что из имеющихся сейчас в арсенале способов очистки грунтов от нефтяных загрязнений вдоль трасс нефтепроводов *ни один не является универсальным*. В этой связи весьма актуальны разработка и применение *комплексных методов* очистки от нефтяных загрязнений, позволяющих добиться наилучших результатов.

3. Методы очистки грунтов от углеводородных загрязнений должны учи-

тывать различные формы нахождения в грунтах нефтяных загрязнений и их «возраст».

4. Важнейшим региональным фактором, который необходимо учитывать при очистке грунтов от углеводородных загрязнений, является наличие или отсутствие многолетнемерзлых грунтов. Методы очистки внутри и вне криолитозоны существенно различаются. **и**

Исследование выполнено в рамках государственного задания МГУ имени М.В.Ломоносова. Работа выполнена с использованием оборудования, приобретенного за счет средств Программы развития Московского университета.

The study was conducted under the state assignment of Lomonosov Moscow University. This work was supported in part by M.V.Lomonosov Moscow State University Program of Development. The authors acknowledge (partial) support from M.V.Lomonosov Moscow State University Program of Development).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ ►

1. Гольдберг В.М. и др. Техногенное загрязнение природных вод углеводородами и его экологические последствия. М., 2001. 322 с.
2. Гольдберг В.М., Газда С. Гидрогеологические основы охраны подземных вод от загрязнения. М.: Недра, 1984. 262 с.
3. Лодоло А., Гречищева Н.Ю., Мещеряков С.В. и др. Технологии восстановления почв, загрязненных нефтью и нефтепродуктами. М.: РЭФИА, НИА-Природа, 2003. 258 с.
4. Ананьева Г.В., Дроздов Д.С., Инстанес А., Чувилин Е.М. Нефтяное загрязнение слоя сезонного оттаивания и верхних горизонтов многолетнемерзлых пород на опытной площадке «Мыс Болванский» в устье р. Печора // Криосфера Земли. 2003. Т. VII. № 1. С. 49–59.
5. Ершов Э.Д., Чувилин Е.М., Смирнова О.Г., Налетова Н.С. Экспериментальные исследования взаимодействия нефти с криогенными породами // Материалы Первой конференции геокриологов России. М., 1996. Книга 2. С. 298–320.
6. Biggar K.W. The effects of petroleum spills on permafrost // Proc. of conf. at the Royal Military College of Canada “Hydrocarbon Remediation in Cold and Arctic Climates”, Kingston, Ontario. Kingston: Federal Government Printer, 1995. P. 2–11.
7. Biggar KW., Haidar S., Nahir M., Jarrett P.M. Site investigations of fuel spill migration into permafrost // J. Cold Regions Eng. 1998. Vol. 12. № 2. P. 84–104.
8. Гречищев С.Е. Вечная мерзлота и загрязнение территорий // Криосфера Земли. 2003. Т. VII. № 1. С. 89–90.
9. Нефедьева Ю.А. Роль трансформации нефтяного загрязнения в изменении свойств грунтов слоев сезонного оттаивания и сезонного промерзания: автореф. дисс. ... к. г.-м. н. М.: геологический факультет МГУ, 2010. 24 с.
10. Королев В.А. Очистка грунтов от загрязнений. М.: МАИК «Наука/Интерпериодика», 2001. 365 с.
11. Артемов А.В. Современные технологии очистки от нефтяных загрязнений // Нефть. Газ. Промышленность. 2004. № 5. С. 24.
12. Королев В.А. Очистка и восстановление геологической среды: учебное пособие для вузов. М.: ООО «Сампринт», 2019. 430 с.
13. Королев В.А. Мониторинг геологических, литотехнических и эколого-геологических систем: учебное пособие (2-е изд.). М.: КДУ, 2015. 416 с.
14. ИТС 9-2015. Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям. Обезвреживание отходов термическим способом (сжигание отходов). М.: Бюро НДТ, 2015. 258 с.
15. ИТС 15-2016. Утилизация и обезвреживание отходов (кроме обезвреживания термическим способом (сжигания отходов)). М.: Бюро НДТ, 2016. 208 с.
16. Королев В.А. Теория электроповерхностных явлений в грунтах и их применение (изд. 2-е, перераб. и доп.). Москва: КДУ, 2023. 498 с.
17. Королев В.А., Некрасова М.А. Очистка глинистых грунтов от углеводородных загрязнений с помощью электрического тока // Труды Международной научно-практ. конференции «Инженерно-геологическое обеспечение недропользования и охраны окружающей среды». Пермь: ПГУ, 1997. С. 70–72.
18. Обобрин А.А., Калачникова И.Г., Масливец Т.А. и др. Нефтяное загрязнение почвы и способы рекультивации // Влияние промышленных предприятий на окружающую среду. М.: Наука, 1987. С. 284–291.
19. Аренс В.Ж. и др. Очистка окружающей среды от углеводородных загрязнений. М.: Интербук, 1999. 373 с.
20. ТУ 214-10942238-03-95. Оценка эффективности сорбента. М.: Стандартиформ, 1995. 16 с.

21. Гридин О.М. О нефтяных разливах и спасательных сорбентах // Нефть и бизнес. 1996. № 5. С. 10.
22. Гридин О.М. Как выбирать нефтяные сорбенты // Экология и промышленность России. 1999. № 9. С. 18–20.
23. Каменщиков Ф.А., Богомольный Е.И. Нефтяные сорбенты. Москва – Ижевск: Институт компьютерных исследований. 2003. 268 с.
24. Киреева Н.А. Микробиологические процессы в нефтезагрязненных почвах. Уфа: Башк. гос. ун-т, 1994. 172 с.
25. РД 39-00147105-006-97. Инструкция по рекультивации земель, нарушенных и загрязненных при аварийном и капитальном ремонте магистральных нефтепроводов. М.: Транснефть, 1997. 22 с.
26. ГОСТ 17.5.3.06-85. Охрана природы. Земли. Требования к определению норм снятия плодородного слоя почвы при производстве земляных работ. М.: Изд-во стандартов, 2002. 4 с.
27. РД 153-39.4-074-01. Инструкция по ликвидации аварий и повреждений на подводных переходах магистральных нефтепродуктопроводов. М.: Минэнерго, 2001. 70 с.
28. Стандарт АО «Самотлорнефтегаз» № ПЗ-05 С-0223 ЮЛ-413 «Нормативы качества рекультивации земель, загрязненных нефтью и нефтепродуктами». Нижневартовск, 2018. 84 с.

REFERENCES ►

1. Gol'dberg V.M. i dr. Tekhnogennoe zagryaznenie prirodnykh vod uglevodorodami i ego ehkologicheskie posledstviya [Man-made pollution of natural waters with hydrocarbons and its environmental consequences]. M., 2001. 322 s. (in Rus.).
2. Gol'dberg V.M., Gazda S. Gidrogeologicheskie osnovy okhrany podzemnykh vod ot zagryazneniya [Hydrogeological foundations for protecting groundwater against pollution]. M.: Nedra, 1984. 262 s. (in Rus.).
3. Lodolo A., Grechishcheva N.YU., Meshcheryakov S.V. i dr. Tekhnologii vosstanovleniya pochv, zagryaznennykh nef'tyu i nefteproduktami [Technologies for restoring soils contaminated with oil and oil products]. M.: REHFIA, NIA-Priroda, 2003. 258 s. (in Rus.).
4. Anan'eva G.V., Drozdov D.S., Instanes A., Chuvilin E.M. Neft'yanoe zagryaznenie sloya sezonnogo ottaivaniya i verkhnikh gorizontov mnogoletnemerzlykh porod na opytnoi ploshchadke «Mys Bolvanski» v ust'e r. Pechora [Oil pollution of the seasonal thawing layer and upper horizons of permafrost rocks at the Mys Bolvansky experimental site at the mouth of the Pechora River] // Kriosfera Zemli. 2003. T. VII. № 1. S. 49–59. (in Rus.).
5. Ershov Eh.D., Chuvilin E.M., Smirnova O.G., Naletova N.S. Ehksperimental'nye issledovaniya vzaimodeistviya nef'ti s kriogennymi porodami [Experimental studies of interacting oil with cryogenic rocks] // Materialy Pervoi konferentsii geokriologov Rossii. M., 1996. Kniga 2. S. 298–320. (in Rus.).
6. Biggar K.W. The effects of petroleum spills on permafrost // Proc. of conf. at the Royal Military College of Canada “Hydrocarbon Remediation in Cold and Arctic Climates”, Kingston, Ontario. Kingston: Federal Government Printer, 1995. P. 2–11.
7. Biggar K.W., Haidar S., Nahir M., Jarrett R.M. Site investigations of fuel spill migration into permafrost // J. Cold Regions Eng. 1998. Vol. 12. № 2. P. 84–104.
8. Grechishchev S.E. Vechnaya merzlota i zagryaznenie territorii [Permafrost and pollution of territories] // Kriosfera Zemli. 2003. T. VII. № 1. S. 89–90 (in Rus.).
9. Nefed'eva Yu.A. Rol' transformatsii neft'yanogo zagryazneniya v izmenenii svoystv gruntov sloev sezonnogo ottaivaniya i sezonnogo promerzaniya: avtoref. diss. ... k. g.-m. n. [The role of oil pollution transformation in changing soil properties in the seasonal thawing and seasonal freezing layers: author's abstract of PhD thesis (Geology and Mineralogy)]. M.: geologicheskii fakul'tet MGU, 2010. 24 s. (in Rus.).
10. Korolev V.A. Ochistka gruntov ot zagryaznenii [Cleaning away pollution from soils]. M.: MAIK “Nauka/Interperiodika”, 2001. 365 s. (in Rus.).
11. Artemov A.V. Sovremennyye tekhnologii ochistki ot neft'nykh zagryaznenii [Modern technologies for cleaning away oil pollution] // Neft'. Gaz. Promyshlennost'. 2004. № 5. S. 24 (in Rus.).
12. Korolev V.A. Ochistka i vosstanovlenie geologicheskoi sredy: uchebnoe posobie dlya vuzov [Cleaning and restoration of the geological environment: a textbook for institutes of higher education]. M.: ООО «SamprinT», 2019. 430 s. (in Rus.).
13. Korolev V.A. Monitoring geologicheskikh, litotekhnicheskikh i ehkologo-geologicheskikh sistem: uchebnoe posobie (2-e izd.) [Monitoring of geological, lithotechnical and ecological-geological systems: a textbook (2nd ed.)]. M.: KDU, 2015. 416 s. (in Rus.).
14. ITS 9-2015. Informatsionno-tekhnicheskii spravochnik po nailuchshim dostupnym tekhnologiyam. Obezvrezhivanie otkhodov termicheskim sposobom (szhiganiye otkhodov) [ITS 9-2015. Information-technical reference book on the best available technologies. Thermal waste disposal (waste incineration)]. M.: Byuro NDT, 2015. 258 s. (in Rus.).
15. ITS 15-2016. Utilizatsiya i obezvrezhivaniye otkhodov (krome obezvrezhivaniya termicheskim sposobom (szhiganiye otkhodov)) [ITS 15-2016. Waste disposal and neutralization (besides thermal neutralization (waste incineration))]. M.: Byuro NDT, 2016. 208 s. (in Rus.).
16. Korolev V.A. Teoriya ehlektropoverkhnostnykh yavlenii v gruntakh i ikh primeneniye (izd. 2-e, pererab. i dop.) [Theory of electrosurface phenomena in soils and application of them (2nd ed., revised and enlarged)]. Moskva: KDU, 2023. 498 s. (in Rus.).
17. Korolev V.A., Nekrasova M.A. Ochistka glinistykh gruntov ot uglevodorodnykh zagryaznenii s pomoshch'yu ehlektricheskogo toka [Cleaning hydrocarbon pollution away from clay soils using electric current] // Trudy Mezhdunarodnoi nauchno-prakt. konferentsii «Inzhenerno-geologicheskoe obespecheniye nedropol'zovaniya i okhrany okruzhayushchei sredy». Perm': PGU, 1997. S. 70–72. (in Rus.).

18. Obobrin A.A., Kalachnikova I.G., Maslivets T.A. i dr. Neftyanoe zagryaznenie pochvy i sposoby rekul'tivatsii [Oil pollution of soils and methods of reclamation] // Vliyanie promyshlennykh predpriyatii na okruzhayushchuyu sredu. M.: Nauka, 1987. S. 284–291 (in Rus.).
19. Arens V.ZH. i dr. Ochistka okruzhayushchei sredy ot uglevodorodnykh zagryaznenii [Cleaning hydrocarbon pollution away from the environment]. M.: Interbuk, 1999. 373 s. (in Rus.).
20. TU 214-10942238-03-95. Otsenka ehffektivnosti sorbenta [TU 214-10942238-03-95. Assessment of sorbent efficiency]. M.: Standartinform, 1995. 16 s.
21. Gridin O.M. O neftnyakh razlivakh i spasatel'nykh sorbentakh [On oil spills and rescue sorbents] // Neft' i biznes. 1996. № 5. S. 10 (in Rus.).
22. Gridin O.M. Kak vybirat' neftnyanye sorbenty [How to choose oil sorbents] // Ehkologiya i promyshlennost' Rossii. 1999. № 9. S. 18–20 (in Rus.).
23. Kamenshchikov F.A., Bogomol'nyi E.I. Neftnyanye sorbenty [Oil sorbents]. Moskva – Izhevsk: Institut komp'yuternykh issledovaniy. 2003. 268 s. (in Rus.).
24. Kireeva N.A. Mikrobiologicheskie protsessy v neftezagryaznennykh pochvakh [Microbiological processes in oil-polluted soils]. Ufa: Bashk. gos. un-t, 1994. 172 s. (in Rus.).
25. RD 39-00147105-006-97. Instruktsiya po rekul'tivatsii zemel', narushennykh i zagryaznennykh pri avariinom i kapital'nom remonte magistral'nykh nefteprovodov [RD 39-00147105-006-97. Instructions for the reclamation of lands disturbed and contaminated due to emergency and major repairs of main oil pipelines]. M.: Transneft', 1997. 22 s. (in Rus.).
26. GOST 17.5.3.06-85. Okhrana prirody. Zemli. Trebovaniya k opredeleniyu norm snyatiya plodorodnogo sloya pochvy pri proizvodstve zemlyanykh rabot [GOST 17.5.3.06-85. Nature conservation. Lands. Requirements for determining the standards for removing the fertile soil layer by excavation work]. M.: Izd-vo standartov, 2002. 4 s. (in Rus.).
27. RD 153-39.4-074-01. Instruktsiya po likvidatsii avarii i povrezhdenii na podvodnykh perekhodakh magistral'nykh nefteproduktoprovodov [RD 153-39.4-074-01. Instructions for the elimination of accidents and damage at underwater crossings of main oil pipelines]. M.: Minehnergo, 2001. 70 s. (in Rus.).
28. Standart AO "Samotlorneftegaz" № PZ-05 S-0223 YUL-413 "Normativy kachestva rekul'tivatsii zemel', zagryaznennykh neft'yu i nefteproduktami" [Standard of JSC "Samotlorneftegaz" № PZ-05 S-0223 YUL-413 "Quality standards for the reclamation of lands polluted with oil and oil products"]. Nizhnevartovsk, 2018. 84 s. (in Rus.).



Telegram-канал журнала

Независимый электронный журнал
ГеоИнфо

- Новости
- Статьи
- Обсуждения

<https://t.me/geoinfonews>