Санкт-Петербургский государственный университет

**Адельфинская Екатерина Андреевна**

**Выпускная квалификационная работа**

**Повышение эффективности рекультивации нефтезагрязненных земель для районов Крайнего Севера**

Уровень образования: бакалавриат

Направление 05.03.06 «Экология и природопользование»

Основная образовательная программа СВ.5024.2015 «Экология и природопользование»

Профиль «Экология и недропользование»

Научный руководитель:

доцент кафедры экологической

геологии, канд. геол.-мин. наук,

Беляев А.М.

Рецензент:

старший сотрудник лаборатории

экологии микроорганизмов

«ИППЭС КНЦ РАН», канд. биол. наук,

Мязин В.А.

Санкт Петербург

2019

Оглавление

[Введение 2](#_Toc9537225)

[1. Физико-географический очерк района исследования 5](#_Toc9537226)

[1.1 Геологическое строение 5](#_Toc9537227)

[1.2 Гидрография 7](#_Toc9537228)

[1.3 Климат 8](#_Toc9537229)

[1.4 Почвенный покров 9](#_Toc9537230)

[1.5 Растительный и животный миры 11](#_Toc9537231)

[2. Причины и последствия разливов нефтепродуктов в северных регионах РФ 13](#_Toc9537232)

[2.1 Основные этапы трансформации нефти в почвенном покрове 19](#_Toc9537233)

[3. Краткий обзор природоохранного законодательства в сфере контроля над нефтегазовой отраслью 26](#_Toc9537234)

[4. Рекультивация нефтезагрязненных земель с помощью торфа 32](#_Toc9537235)

[5. Фактический материал и методы исследования 38](#_Toc9537236)

[5.1 Составление плана рекультивации 48](#_Toc9537237)

[6. Заключение 54](#_Toc9537238)

[Приложения 56](#_Toc9537239)

[**Список использованной литературы** 59](#_Toc9537240)

# 

# Введение

Территория Российской Федерации располагается в нескольких климатических зонах. С точки зрения протекания экологических процессов наиболее интересным регионом является Крайний Север и природно-климатическая зона тундры-лесотундры, которая занимает более 13% площади территории России. Вследствие особого температурного режима и режима осадков многие естественные процессы в ней ослаблены и замедлены. В их число входит, например, способность почв восстанавливаться самостоятельно после повреждений, возникших в результате интенсивных антропогенных нагрузок.

Одним из наиболее вредоносных и опасных является, безусловно, техногенная деятельность, вызывающая порой необратимые негативные изменения состояния природной среды. В Мурманской области к таковым относится наиболее развитое горнодобывающее производство. Однако, встречаются и другие источники воздействия, которые приносят порой еще больший ущерб, но лишь на небольших участках, подверженных воздействию в основном локальных стационарных источников. К таковым относится загрязнение почв тундры нефтью и нефтепродуктами.

Исследуемая площадка расположена в северо-западном районе Кольского полуострова в непосредственной близости от норвежской границы, в нескольких км от границ территории государственного природного заповедника «Пасвик». Мурманская область не является нефтедобывающим или нефтеперерабатывающим регионом, несмотря на это, определенное негативное влияние нефтепродуктов прослеживается и в этом регионе. К источникам загрязнений относятся нефтебазы и другие объекты топливно-энергетического комплекса, крупные промышленные предприятия, которые имеют в своей структуре автотранспортные подразделения и АЗС. Помимо перечисленных объектов, определенную долю в загрязнение вносят бывшие объекты Министерства обороны РФ – некоторые участки были заняты военными базами, после демобилизации которых образовались местные разливы нефтепродуктов и горюче-смазочных материалов. Это происходило в основном в результате нарушения целостности контейнеров для хранения таковых и неграмотного вывода техники. Отказ от оперативного проведения работ по рекультивации способствовал возникновению площадного загрязнения на местах прежнего нахождения таких объектов. На данный момент такие территории не используются и находятся в неблагоприятном состоянии. Нефтепродукты мигрировали от источника загрязнения, что привело к увеличению площади его распространения, проникновению токсичных веществ вглубь почвенного профиля, угнетению растительных сообществ вплоть до полного их уничтожения на отдельных участках. Именно к таким неблагоприятным объектам относится и исследуемый участок.

Отметим, что помимо нефтяного загрязнения неблагоприятное влияние оказывает комбинат Печенганикель, который является источником выброса тяжелых металлов в рассматриваемом регионе.

В связи с неблагоприятными климатическими особенностями, низкой скоростью естественных биологических процессов, высоким уровнем загрязнения и деградацией почвенного и растительного покровов на объекте исследований появляется острая необходимость скорейшего восстановления нарушенной экосистемы до такого уровня, чтобы было возможно ее самостоятельное функционирование без поддерживающего влияния «извне».

*Цель работы:* целью данной работы является исследование повышения эффективности рекультивации нефтезагрязненных земель на биологическом этапе с применением модифицированного удобрением торфа и составление плана рекультивации загрязненного участка.

*Задачи:*

* Отбор проб по регулярной сетке на исследуемой площадке;
* Пробоподготовка почв и торфа;
* Количественный анализ содержания нефтепродуктов в образцах почв;
* Проведение микробиологического этапа рекультивации путем добавления натурального сорбента – активированного удобрением торфа;
* Оценка динамики уровня фитотоксичности по показателям всхожести тестовой культуры (щавель) в загрязненных и очищенных образцах почв;
* Проведение второго этапа лабораторных анализов – оценка содержания нефтепродуктов в очищенных пробах.

*Актуальность работы:* почвы северных регионов имеют ограниченный потенциал к самоочищению и самовосстановлению, так как аборигенные микроорганизмы из-за климатических особенностей региона являются малоактивными. Тяжелые нефтепродукты не испаряются с поверхности и не разлагаются микроорганизмами-деструкторами со скоростью, достаточной для поддержания стабильного состояния экосистемы. Вследствие чего спустя и 15 лет после возникновения загрязнения рассматриваемый участок относится к нарушенным территориям с пониженной биопродуктивностью.

Более того, для исследуемого региона отсутствуют установленные государственные нормативы содержание нефтепродуктов в почве, на которые можно было бы ориентироваться при оценке качества рекультивации территорий, расположенных в Мурманской области. Также не существует норм внесения минеральных удобрений в торф и самого торфа на загрязненные площадки при использовании данного органического субстрата на биологическом этапе рекультивации нефтезагрязненных земель.

Все перечисленные аспекты усложняют составление проекта рекультивации площадки и требуют в первую очередь подготовки теоретической базы для успешного осуществления рекультивации на местности.

# Физико-географический очерк района исследования

Объект исследования расположен в северо-западной части Кольского полуострова, в 271 км от Мурманска и в 80 км от г. Никель, с являющимся градообразующим горно-металлургического комбината «Печенганикель». С точки зрения административного деления территория принадлежит Печенегскому району Мурманской области. В нескольких километрах от исследуемой площадки расположен государственный природный заповедник «Пасвик».

## 1.1 Геологическое строение

С точки зрения геологического строения Кольский полуостров принадлежит северо-восточной части Балтийского кристаллического щита, который складывают мощные толщи архея и протерозоя. Архей представлен сильно метаморфизованными и интенсивно дислоцированными гнейсами и гранитами. Протерозойские отложения включают в себя кварциты, кристаллические сланцы, песчаники, мраморы, частично гнейсы, переслаивающиеся с зеленокаменными породами (Глазов, 2014). В четвертичный период территория подвергалась экзарационной деятельности ледников, что наложило отпечаток в виде осложнения геологической структуры кристаллического щита ледниковыми формами рельефа и перекрытия кристаллических пород архейского возраста четвертичными отложениями мощностью от 0,1 до 10 м (Физическая география РФ и СССР).

Формирование Кольского полуострова происходило преимущественно в условиях устойчивых поднятий кристаллических пород сплошного распространения в континентальных условиях.

На северо-западе Кольского полуострова преобладает среднегорный и низкогорный рельеф, а горные массивы разделяют низменности (Евдокимова, Мязин, 2015). В целом рельеф является сильно расчлененным – денудационные поверхности разбиты разломами и приподняты. Четвертичный период в этом районе характеризуется экзарационной деятельностью ледника, движение которого в основном совпадало с направлением тектонических структур. Таким образом образовались такие формы рельефа как моренные гряды, озы, зандровые равнины, бараньи лбы, фьорды на северо-западе Кольского полуострова и др. Подъем территории наблюдался и после абляции ледника. Образование сбросов привело к появлению отрицательных форм рельефа, развитию гидрографической сети, в том числе и озерных котловин.

Область исследования принадлежит карельской складчатости в состав которой входят переработанные архейские складчатые сооружения. Территория подвергалась процессам денудации и тектонической активности, что способствовало образованию соответствующих форм рельефа: денудационно-тектонических, структурно-денудационных и денудационных. Вследствие этих процессов образовывались характерные формы рельефа к числу которых можно отнести обширные поверхности выравнивания, плосковерхие горные массивы, холмогорья, невысокие гряды, низменные цокольные равнины.

Территория на которой находится исследуемая площадка так же принадлежит геологической структуре Балтийского щита, а именно его северной окраине. Помимо древних пород докембрия тут присутствуют отложения нижнего палеозоя. Наблюдаются зоны глубинных разломов, что находит свое отражение в расчленениях рельефа.

Более подробное геологическое строение района исследование будет рассмотрено на примере государственного природного заповедника Пасвик. На юге заповедника распространены метаморфизованные архейские кислые породы, например, граниты и гнейсы. Остальная часть территории сформирована метаморфизованными магматическими породами, преимущественно основного и ультраосновного состава – габбро, андезитами (ФГБУ «Пасвик», 2019). На севере заповедника преобладают различные сланцы, а в центральной части находится возвышенность, сложенная интрузивными породами каскамского комплекса.

Отметим, что и в этой зоне присутствуют следы ледниковой деятельности. На равнинах они представлены четвертичными отложения различной мощности и состава, в основном моренными – смесью грубообломочного материала, песка, супеси и щебня. Ледниковые формы рельефа, помимо озерных котловин, представлены останцовыми возвышенностями, ваннами выпахивания, бараньими лбами и др. На крутых склонах останцовых возвышенностей и денудационных гряд на поверхность выходят коренные породы, которые сглажены вследствие движения ледника. Также на кристаллических породах фиксируются зеркала скольжения.

Еще одной особенностью, отразившейся на рельефе местности стало образование в познеледниковый и послеледниковый периоды морского залива в долине реки Паз. Берега реки сложены морскими супесями, суглинками и глинами, на плоских участках сформировались морские долины, что указывает на трансгрессию моря (ФГБУ «Пасвик», 2019). Море не затронуло некоторые останцы и островные горы высотой порядка 300 метром над уровнем моря. В более поздние периоды стали формироваться и биогенные отложения, в том числе торфы мощностью до 3-х метров.

Таким образом основными процессами, сформировавшими современный облик территории, является денудация и экзарационная деятельность ледника. Рельеф района исследования образован ледниковыми отложениями четвертичного периода и представлен моренными холмами и грядами. Отрицательные форы рельефа между этими структурами представлены заболоченной местностью и болотами.

Наивысшими точками исследуемой территории являются г. Каскама (351 м), г. Калкупя (357 м н.у.м.), и Кораблекк (386 м). Для них характерна высотная поясность.

Полезные ископаемые региона представлены апатитами, медно-никелевыми рудами, железными, алюминиевыми, строительным камнем (гранит, мрамор).

## 1.2 Гидрография

В целом, территория Кольского полуострова характеризуется густой речной сетью, большим количеством озер ледникового, ледниково-тектонического и тектонического происхождения. Самое крупное озеро Кольского полуострова – Имандра, площадью 846 км2. Озера связаны друг с другом в сложную гидрографическую сеть реками. Наиболее протяженными являются р. Поной (410 км), р. Иоканьга (197 км), р. Воронья (155 км) (Глазов, 2014). Питание рек в основном снеговое и дождевое, соответственно максимальный уровень воды в реках наблюдается в весенне-летний период. Однако высоких перепадов между уровнем воды в половодье и в межень не наблюдается благодаря регуляции стока многочисленными озерами.

Благодаря высокому гидроэнергетическому потенциалу на многих реках функционируют ГЭС. Перепад высот исток-устье 119 м и крупные незамерзающие пороги обусловили строительство целого каскада ГЭС, а озера стали выполнять роль водохранилищ. Важную роль в транспортном сообщении играет Беломорско-Балтийский канал, также судоходство развито на крупных озерах.

В районе проведения исследования находится река Паз, которая по совместительству является главной водной артерией региона, где располагается заповедник «Пасвик». Истоком реки является финское озеро Инари, устье реки располагается в Норвегии (впадает в Врангер-фьорд, Баренцево море) (ФГБУ «Пасвик», 2019). Более того, сама долина Паза является территорией по которой проходит границы трех государств: России, Финляндии и Норвегии.

Как уже отмечалось выше, на Кольском полуострове преобладают сложные озерно-речные системы. Река Паз не является исключением – она имеет немалое количество крупных заливов и расширений русла, которые носят названия озер Хеюхенъярви, Воуватусъярви, Боссояврре, Сальмиярви. Расширения соединены многочисленными порогами и перекатами, а площадь водосборного бассейна составляет более 20 тыс. км2 (ФГБУ «Пасвик», 2019). Питание реки преимущественно снеговое и дождевое, что обуславливает весеннее половодье и зимнюю межень. Ледовый покров на реке устанавливается в октябре-ноябре, ледоход происходит в мае. Отмечена также высокая заболоченность местности – болота занимают четверть территории заповедника.

На территории самого заповедника находится 25 озер в основном ледникового происхождения. Озера, в большинстве своем, мелководны. Однако наиболее крупное озеро, отличающее также значительными глубинами – Каскамаярви, имеет ледниково-тектоническое происхождение (ФГБУ «Пасвик», 2019).

## 1.3 Климат

Климат региона формируется под воздействием вод Атлантического океана, а именно Нордкапского течения. Это обуславливает повышенную влажность и мягкость климата по сравнению с территориями России, находящихся на тех же широтах, но восточнее. Над регионом господствует муссонный перенос воздушных масс, определяющий сезонную смену направления ветра, значительное количество атмосферных осадков и низкую испаряемость (Кузьменкова, 2010). Последний фактор в совокупности с особенностями рельефа – близким залеганием кристаллических водоупорных пород архей-протерозойского фундамента, способствует избытку влаги в почвенном покрове и активизации процессов заболачивания как в отрицательных формах рельефа, так и на равнинных участках, где затруднен сток.

Сезонность в основном проявляется за счет влияния арктических холодных воздушных масс и недостатка солнечной радиации особенно во время полярной ночи, которая длится 36 суток (для Мурманска). Циклоническая деятельность преобладает в зимний и летний периоды, что придает климату черты морского, а повышенная облачность в такие периоды снижает инсоляцию. Преобладание циклонической погоды зимой обусловливает высокую относительную влажность (около 80%), большую пасмурность, частые снегопады, периодический подъем температуры до 5°С. Похолодание вызывается вторжением антициклона и связанных с ним холодных воздушных масс из центральных районов Арктики.

Север Кольского полуострова лежит в субарктическом поясе, остальная территория в умеренном. Средние температуры зимой -8˚C -13˚C (более низкие характерны для центральных районов полуострова), но абсолютный минимум в отдельных пунктах зафиксирован ниже -50˚C (Глазов, 2014). Снежный покров устанавливает в октябре и сходит в мае-июне в зависимости от широты местности и положения в рельефе. Его мощность достигает 50-70 см на равнинных участках и до 1 м в горах. Летом на Кольском полуострове полярный день. Средние температуры в теплый сезон для севера полуострова составляют +8˚C на севере Кольского полуострова и до … на юге, зафиксирован абсолютный максимум +33˚C. Лето дождливое (500-700 мм в год, в горах до 1000 мм) и влажное (коэффициент увлажнения k>1).

На климат Печенегского района Мурманской области основное влияние также оказывают Атлантика и Нордкапское течение. Это отражается в мягкой зиме, прохладном лете. Для этого района, как и для остального Кольского полуострова характерна высокая влажность воздуха и большое количество осадков. Территория заповедника относится к атлантико-арктической области субарктического и умеренного поясов. Отличительной особенностью погоды считается высокая повторяемость циклонов зимой и антициклонов летом (ФГБУ «Пасвик», 2019). Полярная ночь наступает в декабре и длится до середины января; полярный день характерен для июня-июля. Зимой часто наблюдается северное сияние.

В целом, южная часть территории заповедника отличается более низкими зимними (-13 -14 °С) и более высокими летними (+14 °С) температурами. В зимний период выпадает несколько больше осадков на севере заповедника, чем на юге, однако высота снежного покрова больше именно в южной части. Максимум же осадков приходится на летний период, а минимум на осенний (сентябрь).При вторжении арктических воздушных масс в любой из летних месяцев, кроме июля, возможны заморозки на почве, первые же осенние заморозки приходятся на конец августа. Средняя продолжительность безморозного периода в долине реки Паз составляет 97 дней (ФБГУ «Пасвик», 2019).

Преобладающим направлением ветра является северное и северо-восточное летом и южное и юго-западное зимой. Среднегодовая скорость ветра на севере заповедника 3,7 м/с, на юге 1,7 м/с.

## 1.4 Почвенный покров

Почвообразующими породами являются в основном моренные отложения Валдайского оледенения, каменисто-щебнистый и песчаный грунты. Почвенный покров маломощный и сравнительно молодой, а на выступах коренных пород или крутых склонах вовсе отсутствует (Глазов, 2014).

Климатические особенности региона, такие как пониженные температуры летнего сезона в сочетании с избытком влаги способствуют замедленному протеканию процессов деструкции органического вещества и, соответственно, ослабленную гумификацию. Это приводит к накоплению неразложившихся растительных остатков в отрицательных формах рельефа, росту мощности почвенного покрова и появлению торфяного горизонта, образуются торфяные или торфяно-подзолистые почвы, а при постоянном избыточном увлажнении развиваются торфяно-глеевые и торфяно-болотные почвы. Таким образом, при увеличении увлажнения возрастает мощность почвенного профиля и содержание органического вещества в подстилке и иллювиальном горизонте и там, где поверхность ниже или менее расчленена, распространены подзолы иллювиально-гумусовые в сочетании с болотными почвами (Глазов, 2014). Каменисто-щебнистый субстрат и большое атмосферное увлажнение создают благоприятные условия для промывного режима почв и при не застойном режиме увлажнения возможно образование грубого гумуса. Промывной режим почв (с точки зрения положения в рельефе он преобладает на возвышенностях), залегающих на рыхлых и каменистых отложениях, способствует образованию подзолов (илювиально-гумусовых, илювиально-железисто гумусовых и др.), характеризующихся кислой реакцией и слабой насыщенностью верхних горизонтов основаниями. На крайнем севере преобладают тундрово-глеевые почвы.

Влажный климат и близкое залегание кристаллических пород, являющихся водоупором, создают условия для переувлажнения и заболачивания не только небольшого понижения, но и ровных поверхностей с затрудненным стоком. Малые тепловые ресурсы в сочетании с высокой влажностью обусловливают медленную гумификацию и минерализацию растительных остатков. Например, в восточной части Кольского полуострова распространены мерзлотно-торфяно-болотные почвы. В целом, довольно много органического вещества накапливается в виде торфянистых горизонтов, а на лучше дренированных участках в виде грубого гумуса, а в лесотундре возможно развитие многогумусовых подзолов небольшой мощности как в иллювиальном, так и в подзолистом горизонтах.

Говоря о природно-климатической зоне тундры, в которой находится исследуемый объект, стоит отметить, что почвенные процессы там не отличаются активным протеканием и наиболее распространены подбуры, оподзоленные подбуры, примитивные оторфованные щебнисто-галечниковые почвы. Почвы залегают на песчаных и супесчаных, грубозернистых, завалуненных моренных и водно-ледниковых отложениях и характеризуются промывным режимом увлажнения. Из-за сильно расчлененного рельефа и неоднородности состава отложений четвертичного периода почвенный покров не отличается единообразием. Преобладающие типы почв – северо-таежные подзолистые почвы – иллювиально-железистые подзолы, с неглубоким почвенным профилем – 20-50 см (ФГБУ «Пасвик», 2019), в отрицательных формах рельефа отмечаются торфяно-подзолистые, более распространены торфянисто-болотные почвы. Их формирование обусловлено также близким залеганием грунтовых вод. В долине реки Паз, по берегам встречаются дерновые почвы с размытым почвенным профилем и глинистым механическим составом.

## 1.5 Растительный и животный миры

Территория исследования располагается за полярным кругом, что характеризуется в данном регионе тундровой и лесотундровой природными климатическими зонами. Из-за непродолжительного вегетационного периода растительные сообщества характеризуются наличием березовых редколесий и криволесий лесотундры с чередованием кустарниковой и мохово-лишайниковой тундры. По долинам рек здесь растут березовые и елово-березовые леса с травяным покровом. На побережье Кольского полуострова господствует тундровая растительность: мхи и лишайники покрывают до 25-50% поверхности. Характерны так же вороника, брусника, толокнянка, морошка, карликовая береза и сизая ива. На болотах – типичная болотная растительность. В горах Кольского полуострова присутствуют высотная поясность, так до 300-500 м растут сосново-елово-березовые леса, а выше лесотундры и тундры (Глазов, 2014). Вершины гор заняты каменными россыпями.

Более 50% площади заповедника занимают леса с лесообразующей породой северной формой сосны обыкновенной – сосной Фриза (P. friesiana Wichura (P. lapponica (Fries ex C. Hartm.) Holmb.)) (ФГБУ «Пасвик», 2019). Главной особенностью лесов является низкий бонитет и редкостойность.

В долине реки Паз растут моховые (зеленомошники, долгомошники, сфагновые, травяные и кустарничковые) и лишайниковые (беломошники) сосняки. Чуть менее распространены лишайниково-зеленомошные и зеленомошно-кустарничковые сосновые леса. Кустарничковый ярус в них представлен брусникой и черникой, иногда багульником и голубикой. Среди мхов господствуют различные виды родов Pleurozium и Hylocomium. Сосняки сфагновые отличаются сильной разреженностью, угнетенностью, и встречаются в понижениях рельефа, между моренными холмами, на морских равнинах, словом там, где почвы подстилаются суглинками. Такие леса занимают до 30% лесопокрытой площади заповедника. В напочвенном покрове обычны кустарничково-сфагновые ассоциации, береза карликовая, багульник болотный, пушицы (ФГБУ «Пасвик», 2019). Сосняки лишайниковые менее распространены, встречаются на возвышенных элементах рельефа, где поочвообразующими породами являются коренные породы или грубовалунная морена. В таких лесах почти нет подроста и подлеска, древостои сильно разрежены, в напочвенном покрове преобладают лишайники, покрытие которых достигает 45-85%.

Мелколиственные леса также отмечены в исследуемом регионе. Они образованы северной формой березы пушистой (Betula pubescens Erhr.) – березой субарктической (B. subarctica N. I. Orlova), и занимают до 10% от всех лесов заповедника (ФГБУ «Пасвик», 2019). Первичные березняки с развитым травяно-кустарничковым ярусом встречаются по берегам рек и ручьев, а на возвышенных участках речных террас встречаются березняки-зеленомошники – брусничный, вороничный, чернично-вороничный, с подлеском, состоящих из рябины и ив. Вторичные березовые леса приурочены к участкам вырубок или зарастающих территорий бывшего сельскохозяйственного назначения. Также в заповеднике встречается осина (Populus tremula L.), однако она не является лесообразующей породой.

Высотная поясность склонов и вершинах гор характеризуется сменой сосняков кустарничково-зеленомошных и лишайниковых у подножия на смешанные березово-сосновыми древостоями. На высоте около 200 м над у.м. они переходят в березовое криволесье.

В связи с тем, что четверть территории заповедника занята болотами, то характерной для данного региона является типичная болотная растительность: олиготрофные (верховые) болота с растительностью, представленной сосной и сфагнумом, кустарничками и пушицей в напочвенном покрове; мезотрофные (переходные) болота с более однородным покровом осок и сфагнума; эутрофные (низинные) болота характеризуются разнообразием травянистых форм (ФГБУ «Пасвик», 2019). Существуют и луговые растительные сообщества (разнотравно-злаковые), который имеют вторичное происхождение.

Отметим, что в долине реки Паз сосняки выходят к границе тайги и являются самыми северными хвойными лесами в Европе.

Фауназаповедника представлена в основном таежными видами. Общее количество млекопитающих составляет 29 видов, из них значительную долю составляют грызуны. Типичны белка обыкновенная, заяц-беляк, горностай, лесная куница, лисица обыкновенная, лось, бурый медведь. У водоемов нередко встречается ондатра). Встречается также северный олень (одомашненная форма). В заповеднике «Пасвик» зарегистрировано 229 видов птиц (например, дятел, болотная сова, кулик), а в водоемах около 12 видов рыб, в том числе форель, щука и окунь.

# Причины и последствия разливов нефтепродуктов в северных регионах РФ

Несмотря на то, что Россия является одной из ведущих стран по добыче, запасам и экспорту нефти, проблемы в этой отрасли пропорциональны масштабам добычи полезного ископаемого.

Нефтегазовая промышленность составляет основу экономики России. Как известно – ни одна стадия нефтепроизводства не является безотходной. Чем больший объем работ выполняется, тем интенсивнее образуются нефтегенные потоки, сильнее их отрицательное влияние на окружающую среду. Согласно статистическим данным, ежегодный уровень добычи углеводородного сырья в мире – порядка 3 млрд. тонн, из которых 50 млн. тонн приходится на утечки сырья, то есть не доходит до потребителя, а оказывается поллютантом наземных и водных экосистем. Официальные данные показывают более низкий уровень потери нефтепродуктов – около 27 млн. тонн в год, из которых порядка 9 млн. тонн аккумулируются на суше, 16 млн. тонн, представляющих преимущественно легкие фракции, поступают в атмосферу и со временем также депонируются в почвах и гидросфере (Чупров, 2016). Так, для территории РФ, потери нефти достигают 5% от объема добычи, учитывая, что утечки происходят как на стадии добычи и транспортировки, так и при переработке. Отметим, что зафиксированы случаи занижения объемов разлитой нефти и нефтепродуктов, а иногда и скрытия самих фактов разливов с целью недопущения проведения расследований по данным событиям и уменьшения штрафных санкций на предприятиях. При этом, из-за безграмотных действий при локализации и устранению разливов нефти затраты на ликвидацию их последствий многократно увеличиваются из-за необходимости последующей рекультивации гораздо больших по площади территорий.

Если оперировать официальными данными, предоставленными Росстатом (Охрана окружающей…, 2014) на период за 2013 год общая площадь нарушенных земель в Российской Федерации составила 723320 га, из которых были рекультивированы только 74651 га (10,3%). При этом вследствие утечки при транзите нефти, газа, продуктов переработки нефти было нарушено 920 га, из которых были рекультивированы только 141 га (15,3%).

В целом, косвенное воздействие проявляется на всех ступенях многоуровневой инфраструктуры нефтяной отрасли: при бурении скважин, прокладке трубопроводов, на объектах хранения, переработки и реализации товара. Этапы, включающие разведку, добычу и транспортировку сырой нефти в большей степени влияют на состояние окружающей среды, нежели этапы переработки нефти, хранения и реализации нефти и нефтепродуктов. Отставание в разработке теоретических и технических основ экологически безопасного ведения работ, которые отвечали бы требованиям набирающей популярность экологически чистой малоотходной ресурсосберегающей и природосберегающей технологии нефтедобычи, является основной причиной напряженной экологической обстановки в районах разработки и эксплуатации месторождений нефти.

Наиболее подверженными проблеме нефтяного загрязнения, безусловно, являются те регионы, где основу экономики составляет нефтедобывающая и нефтеперерабатывающая промышленность. В России к таковым можно отнести Тюменскую область, республику Татарстан, республику Башкортостан, Ханты-Мансийский автономный округ – ЮГРА и др. Осложнена ситуация в северных районах – республика Коми, Ямало-Ненецкий автономный округ, – климатические особенности данных территорий делают практически невозможным самовосстановление земель, загрязненных нефтью и нефтепродуктами и требуют тщательного подбора и оперативного применения методик рекультивации.

На разных стадиях нефтепроизводства преобладают разные факторы негативного воздействия. Например, радиус влияния одной буровой скважины на окружающую среду при отсутствии аварийных ситуаций составляет около двух километров, и может достигать больших площадей в том числе вследствие изменения гидрогеологических условий и механического нарушения геологической структуры участка добычи. Около 70% объемов буровых работ приходится на территории с неблагополучными климатическими условиями и малоустойчивыми к антропогенному воздействию почвенно-ландшафтных комплексов, возможность биоценозов такой зоны самоочищаться и самовосстанавливаться является минимальной. Опасность представляют и плохо законсервированные отработанные скважины, которые могут стать центром распространения вторичных нефтегенных потоков. Основными технологическими отходами являются буровой шлам, который представляет собой дисперсную систему из воды и частиц горной породы из скважины; замазученный грунт и прочие твердые бытовые отходы.

К основным загрязняющим веществам относятся и буровые растворы, которые представляют собой сложную многокомпонентную дисперсную систему суспензионных, эмульсионных и аэрированных жидкостей, применяемых для смазки и промывки скважин в процессе бурения (Торегалиев, 2015). Они, в свою очередь различаются по вязкости, весу, плотности и другим характеристикам и готовятся в соответствии с параметрами определенной скважины. Варьировать параметры буровых растворов позволяют химические реагенты (крахмал, сернокислый алюминий или железо и др.), добавление которых отражается на изменении перечисленных выше свойств. Таким образом, отработанные буровые растворы – это сложная полидисперсная система, состоящая из жидкой фазы (вода, нефть, дизельное топливо) и твердой фазы (глина, частицы кварца и известняка, другие нерастворимые минералы). В состав этой системы входят химические реагенты: утяжелители (барит, оксиды железа), понизители водоотдачи, пептизаторы, структурообразователи, коагуляторы, в том числе кислоты (соляная, уксусная, плавиковая), используемые для обработки забоя скважины, и метанол, применяемый для предотвращения гидратообразования. Объемы буровых растворов при проходке глубоких добычных скважин достигают нескольких тысяч кубометров (Торегалиев, 2015). Наибольшую опасность представляет собой накопление таких опасных и токсичных соединений в депонирующих средах.

К поллютантам относятся и высокоминерализованные воды, которые закачиваются в нефтеносные пласты для поддержания внутрипластового давления и вытеснения самой нефти. В их молекулярный состав входят значительное количество солей органических кислот, органические вещества (фенолы, эфиры, бензолы) и токсичные элементы (бор, литий, бром). Содержащиеся в пластовых водах токсиканты, в том числе и теоретически безвредный хлорид кальция, при высоких концентрациях угнетают растительный покров, способствую деградации почвы. Загрязнения такими продуктами может носить как локальный, так и региональный характер (совокупность локальных источников обуславливает площадной характер загрязнения). При сочетании определенных условий – связи водоносных горизонтов, угла наклона водоносных пластов, пористости и водопроницаемости вмещающих пород и большом объеме выброса загрязнение может распространятся на площади до десятков километров, вызывая скрытое геолого-гидрологическое загрязнение пресных вод.

Помимо попутных веществ нефтедобычи и нефтепроизводства, механического техногенного воздействия (бурение скважины, прокладка трубопроводов), выбросов в атмосферу (углеводороды, углекислый газ, сажа с сорбированными на ней ПАУ) и в водные объекты (соли, сернистые соединения) загрязняющих веществ, теплового воздействия нефтеперерабатывающих заводов, часто происходят аварийные разливы нефти, которые усиливают и концентрируют негативное влияние на отдельных локальных участках. Аварийные утечки в наземных экосистемах, прежде всего, оказывают влияние на почвенный покров. Это отражается в изменении морфологических, физических, агрохимических свойств почвы и зависит от интенсивности и скорости миграции поллютанта по почвенному профилю. Миграция по почве сопровождается распределением нефти по генетическим горизонтам, ее растворением, вымыванием, консервацией на геохимических барьерах, сорбцией мелкодисперсными фракциями (Чупров, 2016).

Основными причинами возникновения аварий на этапе добычи является нарушение факторов трех групп: горно-геологических, которые подразумевают правильный выбор конструкции скважины, подходящий для конкретной территории, режим и способ бурения с применением оптимального оборудования; технико-технологических, под которыми понимается грамотный подбор буровых растворов, соответствующих необходимым требованиям свойств и параметров, а также оперативное регулирование их использования; организационных — включают в себя постоянный технологический и геофизический контроль состояния скважины с применением соответствующих методов прогнозирования (Подавалов, 2010). При несоблюдении норм и правил работы в районе буровой скважины, халатности и низкой квалификации производителей буровых работ возникают разливы, которые приводят к дальнейшему впитыванию и распространению с грунтовыми водами бурового раствора, осыпям и обвалам стенок скважины. Причиной последних может послужить и плохая изученность вскрываемых пород во время разработки скважинного разреза.

Возможны и прорывы скважин в результате которых возникает фонтанирующие выбросы нефтепродуктов и пластовых вод, что приводит к разрушению скважины, утрате бурового оборудования, потерям самого сырья, разлив которого приводит к негативным последствиям: разрушению гумифицированных слоев почвы, повышению токсичности подземных и поверхностных вод при их близости к месту аварии, гибели растительности, а при возгорании фонтана или взрыве газов, сопутствующих выбросу, увеличиваются концентрации сернистых и азотистых соединений, которые при накоплении в будущем приводят к образованию кислотных осадков и смога. В целом, такой процесс загрязнения можно разделить на три этапа: образование поверхностного ареола загрязнения и незначительное проникновение компонентов отходов в грунтовую среду, вторая стадия — это вертикальная инфильтрация жидких компонентов, а третья — боковая миграция элементов с грунтовыми водами.

Что касается стадии транспортировки, то основной объем перевозок приходится на трубопроводные транспорт – 48%, суммарная длина нефтепроводов составляет 400 тысяч км. Он считается наиболее экономически выгодным и безвредным с точки зрения воздействия. Однако, обращаясь к истории, выясняется, что большая часть нефтяной инфраструктуры России была построена и введена в эксплуатацию в середине-конце ХХ-го века. Таким образом, срок их использования около тридцати лет, а отдельных участков еще больше (Подавалов, 2010). Безаварийным сроком использования таких систем является период до 30 лет с учетом внедрения современных технологий. По истечению срока безопасной эксплуатации усиливается коррозия металла труб, может возникать их разгерметизация, учащается возникновение других механических повреждений, в том числе и вследствие снижения устойчивости вмещающего грунта (табл. 1). Безусловно, порой, на снижение срока использования таких систем влияют и условия ландшафта местности: заболоченная местность, болото, низина, территория куста, грунт, траншея, дорога, берег водоема и подводные переходы. Так, по статистике, в Западной Сибири в 60% случаев аварии происходят на нефтепроводах, проложенных на болотах и в 26,8% – на заболоченной местности, что объясняется повышенной коррозийной активностью почв в данных условиях; в 5,5% – при водных переходах, вследствие коррозии металла труб под действием солей и кислот, растворенных в воде (Торегалиев, 2015). Во время периода эксплуатации трубопроводного транспорта часто игнорируется необходимость замены участков с повышенной аварийностью: ежегодно ремонтируется, а не заменяется около 20% трубопроводов. Таким образом, любой разлив нефти и нефтепродуктов, может перерасти в чрезвычайную ситуацию техногенного характера, нанося экологический ущерб окружающей среде, а также ущерб экономике региона. Однако, стоит отметить, что одновременно с расширением сети магистральных трубопроводов наблюдается и тенденция к развитию технической оснащенности данных систем. Например, широкое внедрение получила периодическая очистка нефтепроводов и безрезервуарный метод приема и сдачи нефти (Владимиров, 2011).

Таблица 2.1. Факторы аварийности магистральных нефтепроводов на суше (Подавалов Ю.А., 2010)

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| № п/п | Группа факторов риска | Доля, % |
| 1 | Внешние антропогенные воздействия | 20 |
| 2 | Внутренняя коррозия | 20 |
| 3 | Качество производства труб и оборудования | 15 |
| 4 | Качество строительно-монтажных работ | 15 |
| 5 | Природные воздействия | 10 |
| 6 | Эксплуатационные факторы | 6 |
| 7 | Качество и сроки испытания | 5 |
| 8 | Конструктивно-технологические факторы | 5 |
| 9 | Подземная коррозия | 2 |
| 10 | Атмосферная коррозия | 2 |

Экологический ущерб приносится не только при аварийных ситуациях на нефтепроводе, но и при подготовительных работах (расчистка территории, транспортировка к месту назначения строительных материалов) и его прокладке. Происходит активизация эрозионных процессов, русловые деформации рек, просадка грунтов из-за вырубок леса. В зонах распространения многолетнемерзлых пород ситуация осложняется тем, что во время весенне-летнего периода активизируются процессы оттаивания верхних слоев почвенного покрова, понижается устойчивость грунта, возникают временные водные потоки. Чрезвычайные ситуации природного характера (склоновые, термокарстовые, эрозионные процессы) или климатические особенности мест добычи полезных ископаемых создают дополнительный повод для аварийных ситуаций.

На стадии переработки валовый выброс вредных веществ от источников отдельного предприятия составляет 20-90 тысяч тонн в год (Владимиров, 2011). Основными причинами аварий на предприятиях переработки нефти и нефтехимических предприятиях являются износ основных производственных фондов, низкая квалификация кадров, нарушения технологии производства. К основными источникам загрязнения природной среды на нефтебазах и складах нефтепродуктов относятся испарение нефтепродуктов при приеме, выдаче и хранении нефтепродуктов; аварийные проливы при выполнении технологических операций; нарушение герметичности резервуаров и трубопроводных коммуникаций, в том числе из-за коррозии; выход из нормального режима эксплуатации технических средств обеспечения; нарушение правил эксплуатации технических средств и технологического оборудования; образование неутилизированных отходов. В качестве примера стоит привести нефтешламы. В их состав входят органическая (нефтепродукты, присадки и ПАВ), минеральная части (карбонаты кальция, магния, гидроксиды кальция, алюминия, железа) и вода (Одинцова, 2010). Именно они являются наиболее частыми загрязнителями на нефтеперерабатывающих заводах и объектах хранения отходов нефтепроизводства.

В целом, нефть и нефтепродукты нарушают экологическое состояние почвенных покровов и деформируют структуру биоценозов. От подобных аварий страдает не только животный и растительный мир, но и некоторые отрасли экономики. В случае, если разлив нефти происходит в водоеме с пресной водой, негативные последствия испытывает на себе и местное население, и сельское хозяйство. В целом, экологические последствия разливов нефти носят трудно учитываемый характер, так как они нарушают естественные процессы и взаимосвязи между компонентами экосистем, накапливаясь в биомассе, и существенно изменяют условия обитания живых организмов. Влияние разливов нефти на беспозвоночные организмы может длиться от недели до 10 лет. Это зависит от вида нефти, условий, в которых произошел разлив (природно-климатических, сезонных) и объема утечки.

Обобщая все вышесказанное, можно отметить, что загрязнители нефтедобывающего комплекса состоят как из органических (нефть, нефтепродукты, бензол, толуол и др.), так и неорганическим (минеральные соли) соединений. Накопление поллютантов способствует возникновению токсичного эффекта не только почвенного покрова, но и поверхностных и подземных вод, приповерхностных слоев атмосферы. Также отмечено загрязнение почвы тяжелыми металлами, сопутствующими нефтезагрязнению – медью, цинком и свинцом.

Ущерб от крупномасштабных разливов нефти подсчитать сложно – он зависит от сочетания многих факторов. В зависимости от типа разлитых нефтепродуктов, состояния пострадавшей экосистемы, погоды, скорости течений, состояния отраслей местного рыболовства и туризма экологический и материальный ущерб варьируются в широких пределах.

## 2.1 Основные этапы трансформации нефти в почвенном покрове

Согласно статистическим данным, на ликвидацию последствий тратится гораздо больше средств, чем на задачи предупреждения и своевременного реагирования (Подавалов, 2010). Ведь нефть, оказываясь в почве и грунте, вызывает коренные изменения. Нефть из анаэробной обстановки попадает в аэрируемую среду поликомпонентного состава, где ее разложение идет крайне медленно. Трансформация естественных ландшафтов за счет гибели почвенно-растительного покрова, механические нарушения поверхности, гидродинамические изменения природной среды способствуют развитию эрозии и общей деградации экосистемы. Идет дальнейшее распространение нефти вглубь под действием гравитационных сил и горизонтальное распространение под действием поверхностных и капиллярных сил. Скорость такого передвижения зависит от свойств самой нефти (вязкость, вес) и от свойств вмещающих пород (пористость, механический состав). Из-за депонирования токсичных соединений и угнетения микробного сообщества становится невозможным образования гумуса, что приводит к потере одного из важнейших свойств – плодородие. Обитающие в почве бактерии, беспозвоночные микроорганизмы и животные, редуценты не способны обеспечивать гомеостаз системы из-за интоксикации легкими фракциями нефти. Глобальным проявлением деградации почв является опустынивание, а в зоне вокруг нефтеперерабатывающих заводов наблюдается зона техногенного опустынивания.

В зимний период интенсивным адсорбентом является снежный покров, именно он накапливает в себе токсичные вещества. В период снеготаяния отмечается загрязнение верхнего слоя почв соединениями, которые аккумулировались в снеге за зимний период. Химический анализ снеговой воды выявил в ее составе соединения кальция, кадмия, свинца, нитраты и повышенное содержание взвешенных веществ.

Часть нефти уносится стоковыми водами, часть испаряется, загрязняя приземный слой воздуха. Наиболее опасен из них 3,4 бенз(а)пирен. Повышение его содержания в окружающей среде влечет за собой тяжелые экологические последствия. Опасные для живых организмов количества 3,4 бенз(а)пирена присутствуют в почвах нефтедобывающих районах России в ранние сроки после загрязнения.

Помимо естественных факторов немаловажен и состав поллютанта. Так, например, согласно предыдущим исследованиям, где анализировалась способность таких нефтепродуктов, как бензин и керосин разлагаться под действием микроорганизмов деструкторов, было выявлено, что керосин, в состав которого входят более длинные углеводородные цепочки менее подвержен естественному разложению, чем бензин. Также, бензин легче испаряется с поверхности почвенного покрова, что уменьшает затраты экосистемы на работу по его деструкции (Адельфинская, 2018).

Таким образом, степень негативного влияния нефтяных углеводородов на окружающую среду зависит, в основном, от природно-климатических факторов. Например, благодаря высоким среднегодовым температурам и инсоляции разложение углеводородных соединений идет быстрее в тропической климатической зоне. В условиях крайнего севера, где представлены зоны северной тайги, тундры и арктических пустынь, естественная деструкция поллютанта существенно снижена вследствие низкой активности микроорганизмов-деструкторов, недостатка питательных веществ в почвенных горизонтах, малой продолжительности светового дня, пониженных среднегодовых температур, приближенных к 0оС (Mohn, 2000). Помимо перечисленных, к лимитирующим факторам самоочищения относятся механический состав почвы, ее тип, доступность кислорода, воды и питательных веществ, рН среды. Так, например, при рекультивации кислых почв рекомендуется проводить известкование. Это связано с тем, что нефтепродукты лучше разлагаются микроорганизмами в среде, близкой к нейтральной.

Степень нарушенности почвенного покрова можно оценить не только по деградации растительных сообществ, но и по изменению морфологических свойств почвы. В основном такие изменения следуют из нарушений воздушного и водного обмена между почвенными горизонтами, а также почвы и приземного слоя атмосферы, например, за счет образования битуминозной корки. Нефть создает гидрофобную пленку на поверхности почвенных зерен, они могут слипаться, укрупняя тем самым структуру и еще более осложняя доступ кислорода и воды в нижние горизонты. Затруднение обменных процессов обуславливает изменение физико-химических и агрохимических параметров. Уменьшается насыщенность почв основаниями, снижается содержание подвижных форм биогенных элементов (Р, К), нарушается микроэлементного состав (Mn, Zn, Mo, Co, Cu) и способность к обмену катионов (Чупров, 2016). Таким образом, исходные окислительные условия в почвах меняются на окислительно-восстановительные и восстановительные, увеличивается соотношение между углеродом и азотом, что приводит к изменению азотного режима почв, нарушает корневое питание растений.

Обобщая вышесказанное, можно выделить три группы факторов, которые являются определяющими как для механизмов трансформации и скорости разложения углеводородных поллютантов, так и для выбора схемы рекультивации разлива. Это многокомпонентный состава нефти, в котором происходят постоянные динамические изменения, обусловленные вторым фактором – неоднородностью состава и полиструктурностью экосистемы, регулирующийся процессами гомеостаза. находящегося в процессе постоянного изменения. Нельзя оставить без внимания и непостоянность внешних факторов, в первую очередь природно-климатических.

Восстановление фитоценозов без проведения работ по рекультивации в условиях Крайнего Севера может занять более 30 лет. Таким образом, понимание протекания процессов трансформации и деструкции в определенных природно-климатических условиях и при определенной степени техногенной нагрузки необходимо для эффективного осуществления комплекса мер по рекультивации нарушенных территорий.

Рассмотрим этапы трансформации нефти в экосистемах (Краткий обзор…, 2011-2019):

1. Физико-химическое и частично микробиологическое разрушение алифатических углеводородов. К таким процессам относится выветривание, испарение легких фракций, рассеивание поллютанта по почвенному профилю, его растворение, вымывание, окисление и др. Этот период является наиболее активным, концентрация нефти и нефтепродуктов может быть снижена в два раза. Отметим, что сюда относится и окисление нефти, которое меняет в первую очередь структура входящих в нее соединений. В основном этот процесс протекает под воздействием видимого и ультрафиолетового спектров света. По некоторым данным эффект деструкции сырой нефти в результате воздействия солнечной радиации оценивается в 36%.
2. Микробиологическое разрушение низкомолекулярных структур разных классов, новообразование смолистых веществ. К микроорганизмам деструкторам относятся простейшие, водоросли, дрожжевые и плесневые грибы и др., которые употребляют углеводороды в качестве источника энергии. Более того, в загрязненных средах они могут наращивать численность популяции (могут составлять до 100% жизнеспособных микроорганизмов) в течении полугода после поступления загрязнителя в окружающую среду за счет увеличения питательных веществ в виде нефтяных углеводородов, однако, это не выражается в появлении устойчивости к поллютанту, но способствует возникновению еще большего дефицита азота и фосфора. Более того, большинство ПАУ устойчиво к микробному воздействию и разлагается в основном под действием фотохимических реакций.
3. Трансформация высокомолекулярных соединений — смол, асфальтенов, полициклических углеводородов.

В целом, окисление нефти в под воздействием природных факторов – это изменение химического состава (в количественном отношении) и некоторых физических свойств нефти под влиянием кислорода.[[1]](#footnote-1) Соответственно, легкие фракции нефти испаряются с поверхности при субаэральном окислении (Juhasz, 2000). Происходит увеличение плотности и удельной вязкости оставшихся соединений, растет содержание смолисто-асфальтеновых компонентов и кислот, что приводит к образованию битумов и битуминозных корок. Если нефть, попавшая в почву, малосмолистая метановая и нафтеновая, то образуется кир – смесь загустевшей нефти с песчаным и глинистым материалом.[[2]](#footnote-2)

Анаэробное окисление протекает под действием микроорганизмов, которые используют углеводородные соединения в качестве продуктов питания. Оно отличается меньшей активностью и протекает в тех случаях, когда объемы нефти велики и она мигрирует по почвенному профилю внизу, туда, где кислород не является основным агентом реакции разложения, а выступает в качестве катализатора. Таким образом, микроорганизмы разлагают более устойчивые остаточные соединения, с образованием мальты – густой и вязкой нефти, состоящей не менее, чем на треть из смолисто-асфальтеновых веществ. В связи с данной особенностью, наиболее сложные и тяжелые соединения разлагаются либо на последних стадиях процесса деструкции, либо просто остаются в почве.

Стоит помнить, что реакция микроорганизмов на загрязнение индивидуальна. В том числе, упомянутая выше тенденция к возрастанию микробной популяции будет наблюдаться в том случае, если аборигенное сообщество обладает достаточной врожденной устойчивостью к поллютанту, а также при достаточной инсоляции и высоких среднегодовых температурах (Краткий обзор…, 2011-2019). В северных регионах попадание нефтяных углеводородов, в особенности в больших объемах не приведет к возрастанию численности микроорганизмов, но будет способствовать их угнетению.

Более того существуют бактерии способные полностью разлагать определенные углеводороды и лишь частично другие. Наиболее доступны воздействию микроорганизмов алифатические углеводороды нормального строения, за ними следуют циклоалканы, алкилированные циклоалканы, арены. Конечными продуктами почвенного метаболизма при разложении нефти могут являться углекислота, кислородные соединения (спирты, кислоты, альдегиды, кетоны), которые частично входят в почвенный гумус, частично растворяются в воде и удаляются из почвенного профиля; твердые корочки высокоминеральных компонентов нефти (нефтепродуктов) на поверхности почвы (Краткий обзор…, 2009-2019).

Соответственно, при изучении механизмов трансформации нефти в почвенном покрове необходимо учитывать разные характеристики ее составных частей: содержание легкой фракции (начало кипения 200 °С), метановых углеводородов (включая твердые парафины), циклических углеводородов, смол и асфальтенов, сернистых соединений. К наиболее подвижным составляющим относятся простые по своему молекулярному строению метановые, нафтеновые и ароматические углеводороды. Помимо способности к миграции они являются основой легкой фракции нефти (алканы до С11), которая активно испаряется в первые часы после разлива (20-40 %) и быстрее всего перерабатывается аборигенными микроорганизмами. Однако, метановые углеводороды легкой фракции, находясь в почвах, все же оказывают наркотическое и токсическое действие на живые организмы. Особенно быстро действуют нормальные алканы с короткой углеводородной цепью. Благодаря таким свойствам составляющие легкой фракции нефти хорошо растворяются в воде, легко проникают в клетки организмов через мембраны организма (Гриценко, 1997). Отметим, что их вредоносное воздействие ослабляется в присутствии нетоксичного углеводорода, уменьшающего общую растворимость алканов. Из чего следует вывод о том, что органические сорбенты, например, используемый в данной работе торф, способствует детоксикации подобных соединений благодаря большому объему природных углеводородов.

Алканы с более длинными углеводородными цепочками (от С18 до С35) – парафины – в твердом виде не токсичны, но находясь в таком агрегатном состоянии они делают нефть менее подвижной. Это, в свою очередь, обуславливает понижение пористости почв, что препятствует переносу кислорода и молекул воды, тем самым ускоряя деградации почвенных горизонтов.

С уменьшением содержания легкой фракции возрастает токсичность ароматических соединений, относительное содержание которых увеличивается. В концентрации всего 1% в воде ароматические углеводороды убивают все водные растения; нефть, содержащая 38% ароматических углеводородов, значительно угнетает рост высших растений (Гриценко, 1997). Более того, подобные соединения труднее поддаются разложению.

Смолисто-асфальтеновые вещества представляют собой сложную смесь высокомолекулярных соединений смешанных структур, содержащих азот, серу (в том числе в виде сульфидов), кислород. Также они содержат основную часть микроэлементов нефти, в том числе почти все металлы, в том числе и особо токсичные, относящиеся к группе тяжелых. Наибольшее содержанием смол и асфальтенов наблюдается в тяжелых нефтях. Подобно высокомолекулярным предельным углеводородам такие соединения сорбируются в основном в верхнем, гумусовом горизонте, иногда прочно цементируя его. За счет своей гидрофобности они ускоряют гибель растительного покрова – при обволакивании корней поступление влаги прекращается.

Соответственно, в обобщенном виде можно выделить 3 этапа трансформации нефти в почве:

1. Свежее загрязнение, когда геохимические особенности соединений в составе нефти не поменялись кардинально, окисляются лишь легкие углеводороды, идентификационными маркерами являются ненасыщенные алканы, алифатические и ароматические окиси, спирты и простые эфиры.
2. «Зрелое» загрязнение, когда снижается количество метанонафтеновой составляющая, а содержание смолисто-асфальтеновой увеличивается на 27-30%, в стабильном состоянии находится нафтеноароматическая фракция. В качестве характерных для этой фазы соединений можно привести сложные эфиры.
3. На завершающем этапе ведущим становится содержание смолисто-асфальтеновых веществ. Идентификаторами являются ПАУ, основной из которых бенз(а)пирен, сложные алифатические и ароматические эфиры

Следует отметить, что, как показывает опыт эксплуатации резервуарного парка, основная часть всех потерь нефтепродуктов (до 75%) приходится на испарение, то есть за счет выбросов в атмосферу, в то время как потери на аварийные проливы и утечки составляют до 25% (Подавалов, 2010). Особую опасность, при попадании в атмосферу в большом количестве, представляют огнеопасные и взрывоопасные вещества, которые могут воспламеняться со взрывом.

Многие их упомянутых выше веществ малодоступны микроорганизмам-деструкторам и обычно остаются в почвах в виде особого органо-минерального комплекса. Напомним, что оптимальной температурой для разложения нефти и нефтепродуктов в почве считается 20-37°С. В почвах, расположенных в аридных зонах с повышенной среднегодовой температурой, интенсивность самоочищения загрязненных почв значительно выше, чем в почвах, расположенных в гумидных зонах с относительно низкими среднегодовыми температурами. Таким образом, в условиях Крайнего Севера, где среднегодовая температура значительно ниже благоприятной для быстрой деструкции нефти, процесс разложения сложных углеводородных соединений может затянуться на десятки лет (Braddock, 1997).

# Краткий обзор природоохранного законодательства в сфере контроля над нефтегазовой отраслью

Природоохранное законодательство направлено на регулирование и стабилизацию отношений в системе общество-природа, которые возникают в результате хозяйственной деятельности. Оно является необходимым для поддержания рационального природопользования и минимизации ущерба, наносимого окружающей среде.

Нефтяная промышленность является важной компонентой в сфере охраны окружающей среды. Нефть – это сложное, комплексное, токсичное углеводородное соединение, примесями которого могут быть сернистые и азотистые соединения. Входящий в ее состав бенз(а)пирен является канцерогеном и относится к соединениям первого класса опасности. Также к канцерогенам относятся предельные ароматические углероды, входящие в ее состав. По некоторым данным сырая и окисленная нефть, пепел, образовавшийся при ее сжигании, и асфальтоподобные остатки обладают мутагенным действием (Торегалиев, 2015). В ходе разложения нефти в естественной среде образуются промежуточные соединения, токсичность которых не изучена, так как таковые не учитываются при разработке ОДК и ПДК. Таким образом, в основном контролируются общие моменты и ступени нефтепроизводства – обеспечение необходимых мер по созданию безопасной технологии нефтепереработке, требования к рекультивации загрязненных земель и т.д.

Рассмотрим основные документы, контролирующие рациональное природопользование и охрану окружающей среды в сфере нефтегазовой отрасли.

Согласно статье 46 7-ФЗ «Об охране окружающей среды» при «размещении, проектировании, строительстве, реконструкции, вводе в эксплуатацию и эксплуатации объектов нефтегазодобывающих производств, объектов переработки, транспортировки, хранения и реализации нефти, газа и продуктов их переработки должны предусматриваться эффективные меры по очистке и обезвреживанию отходов производства и сбора нефтяного (попутного) газа и минерализованной воды, рекультивации нарушенных и загрязненных земель, снижению негативного воздействия на окружающую среду, а также по возмещению вреда окружающей среде, причиненного в процессе строительства и эксплуатации указанных объектов» (ФЗ «Об охране…», 2002). Отметим, что на данный момент на рассмотрение внесен новый законопроект, который уточняет пробелы предыдущей редакции. Например, в правках значится, что предупреждения и ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов, при некоторых дополнительных условиях, утверждается организацией, осуществляющей на территориях добычу, переработку, транспортировку, хранение и реализацию нефти и нефтепродуктов. Правила организации мероприятий по предупреждению и ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов на территориях, критерии определения объектов, предназначенных для добычи, переработки, транспортировки, хранения и реализации нефти и нефтепродуктов определяются правительством РФ.

Согласно статье 77 7-ФЗ «Об охране окружающей среды», юридические и физические лица, причинившие вред окружающей среде в результате ее загрязнения либо другого вредного воздействия, нарушающего структурную целостность экосистемы и приводя ее к деградации, обязаны возместить его в полном объеме в соответствии с законодательством. В статье 78 того же закона прописано, что определение размера вреда окружающей среде, причиненного нарушением законодательства, осуществляется исходя из фактических затрат на восстановление нарушенного состояния окружающей среды, с учетом понесенных убытков, в том числе упущенной выгоды, а также в соответствии с проектами по рекультивации и восстановлению затронутого негативным воздействием природного комплекса.

Также, существует постановление правительства РФ «О порядке организации мероприятий по предупреждению и ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов на территории Российской Федерации». В нем прописано несколько важнейших аспектов, согласно которым организации, имеющие опасные производственные объекты, обязаны (Постановление «О порядке...», 2002):

* создавать собственные формирования (подразделения) для ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов, проводить аттестацию указанных формирований в соответствии с законодательством Российской Федерации, оснащать их специальными техническими средствами или заключать договоры с профессиональными аварийно-спасательными формированиями (службами), выполняющими работы по ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов, имеющими соответствующие лицензии и (или) аттестованными в установленном порядке;
* немедленно оповещать в установленном порядке соответствующие органы государственной власти и органы местного самоуправления о фактах разливов нефти и нефтепродуктов и организовывать работу по их локализации и ликвидации;
* иметь резервы финансовых средств и материально-технических ресурсов для локализации и ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов;
* обучать работников способам защиты и действиям в чрезвычайных ситуациях, связанных с разливами нефти и нефтепродуктов;
* содержать в исправном состоянии технологическое оборудование, заблаговременно проводить инженерно-технические мероприятия, направленные на предотвращение возможных разливов нефти и нефтепродуктов и (или) снижение масштабов опасности их последствий;
* принимать меры по охране жизни и здоровья работников в случае разлива нефти и нефтепродуктов;
* создавать и поддерживать в готовности системы обнаружения разливов нефти и нефтепродуктов, а также системы связи и оповещения.

В данном документе упоминается и важность прогнозирования последствий разливов нефти и обусловленных ими чрезвычайных ситуаций. Отмечено, что «прогнозирование осуществляется относительно последствий максимально возможных разливов нефти и нефтепродуктов на основании оценки риска с учетом неблагоприятных гидрометеорологических условий, времени года, суток, рельефа местности, экологических особенностей и характера использования территорий (акваторий)» (Постановление «О порядке…», 2002). Постановление также обязывает планировать действия по ликвидации разливов нефти нефтепродуктов. Итоговое остаточное содержание поллютанта в окружающей среде необходимо снижать до такого уровня, который соответствует природно-климатическим особенностям территории, целевому назначению и виду использования земель и др. Мероприятия по ликвидации разлива считаются завершенными, если выполнены следующие условия:

* прекращен сброс нефти и нефтепродуктов;
* нефть и нефтепродукты собраны до максимального уровня, обусловленного техническими характеристиками используемых средств;
* собранная нефть и нефтепродукты размещены для последующей утилизации таким образом, что вторичное загрязнение производственных объектов и объектов окружающей природной среды исключено.

Соответственно, возникает вопрос, о том какие концентрации нефти и нефтепродуктов будут являться максимально допустимыми и как определяется надежность проведенных работ по рекультивации.

Существует документ (ГОСТ Р 57447-2017), который предлагает наилучшие доступные технологии рекультивации земель, загрязненных нефтью и нефтепродуктами, в том числе и в соответствии с нормами, предписанными Европейским Пагаментом и Совета ЕС "Об экологической ответственности в отношении предупреждения и ликвидации вреда окружающей среде". Отметим, что этот ГОСТ введен впервые. Рассмотрим его основные положения.

В соответствие с уже упомянутым постановлением правительства РФ «О порядке организации мероприятий по предупреждению и ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов на территории Российской Федерации» (Постановление «О порядке..», 2002), работы по ликвидации последствий разливов нефти и нефтепродуктов, реабилитации загрязненных территорий и водных объектов могут считаться завершенными при достижении допустимого уровня остаточного содержания нефти и нефтепродуктов (или продуктов их трансформации) в почвах и грунтах, донных отложениях водных объектов, при котором:

* исключается возможность поступления нефти и нефтепродуктов (или продуктов их трансформации) в сопредельные среды и на сопредельные территории;
* допускается использование земельных участков по их основному целевому назначению (с возможными ограничениями) или вводится режим консервации, обеспечивающий достижение санитарно-гигиенических нормативов содержания в почве нефти и нефтепродуктов (или продуктов их трансформации) или иных установленных в соответствии с законодательством Российской Федерации нормативов в процессе самовосстановления почвы (без проведения дополнительных специальных ресурсоемких мероприятий);
* обеспечивается возможность целевого использования водных объектов без введения ограничений.

Для реализации прописанных выше норм и правил на практике Министерство природных ресурсов РФ утвердило «Временные рекомендации по разработке и введению в действие нормативов допустимого остаточного содержания нефти и продуктов её трансформации в почвах после проведения рекультивационных и иных восстановительных работ» (Приказ «Об утверждении…», 2002). В соответствие с данными рекомендациями под допустимым остаточным содержанием нефти в почвах (ДОСНП) понимается определенное по аттестованным в установленном порядке методикам содержание в почвах нефти и продуктов ее трансформации после проведения рекультивационных и иных восстановительных работ. При этом не должно оказываться негативного воздействия на граничные среды (водную, воздушную) и не должны происходить необратимые изменения гомеостаза почвенных комплексов.

Главным преимуществом ДОСНП является то, что они приняты в соответствии с особенностями природы тех или иных субъектов и учитывают типы и даже подтипы почв, которые подверглись загрязнению. Таким образом, в отличие от ПДК по нефтепродуктам, создается возможность учитывать уникальные особенности почвы вплоть до гранулометрического состава, строения почвенного профиля, категории земель, а также с учетом химических особенностей нефти и нефтепродуктов на разных стадиях загрязнения. Однако, подобные нормативы приняты далеко не во всех регионах РФ. В настоящее время они установлены в Ханты-Мансийском автономном округе, Республике Коми, Республике Татарстан, Ненецком автономном округе, Сахалинской области, Чувашской Республике, Ставропольском крае. Такая узкая распространенность не позволяет грамотно и комплексно реализовывать проекты рекультивации в других субъектах, например, в интересующей нас Мурманской области. Но, в документе особо отмечается, что в случае отсутствия региональных нормативов ДОСНП контроль загрязненности почвенных территорий может быть проведен посредством сравнения с фоновыми концентрациями нефтепродуктов. Проблема же отсутствия нормативов может быть решена местными властями, так как соответствии с Федеральным законом от 10.02.2002 г. № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды» могут утверждаться органами государственной власти субъектов РФ.

Как уже отмечалось, в настоящее время нормативов ДОСНП для Мурманской области не существует, так как регион не является нефтеперерабатывающим или нефтедобывающим. Однако, такие нормативы существуют для распространенных там типов почв (иллювиально-железистых подзолов и подбуров), но на примере Сахалинской области, для которой допустимый уровень остаточного содержания нефтепродуктов составляет 4000 мг/кг в А горизонтах и 1000 мг/кг в В горизонтах. Согласно порядку определения размера ущерба от загрязнения земель химическими веществами, предельно допустимая концентрация в почве нефти и нефтепродуктов составляет 1000 мг/кг. К низкому уровню загрязнения относятся почвы с содержанием нефти и нефтепродуктов от 1000 до 2000 мг/кг; к среднему от 2000 до 3000 мг/кг; к высокому от 3000 до 5000 мг/кг; к очень высокому от 5000 мг/кг. Так же данным документом нормируется содержание в почве отдельных органических соединений, входящих в состав нефти и нефтепродуктов, например, циклогексана, фенола, бензола, а также сернистых и азотистых соединений.

Согласно ГОСТ 17.4.2.01-81 нефть и нефтепродукты входят в перечень показателей санитарного состояния почв. Их содержание в обязательном порядке учитывается как показатель санитарного состояния почв в зоне населенных пунктов, зонах санитарной охраны источников водоснабжения и транспортных земель; при наличии источника загрязнения обязателен их учет в курортных зонах и зонах отдыха, санитарно-защитных зонах предприятий, сельскохозяйственных и лесных угодий

При расчете ДОСПН важно учитывать фоновые содержания нефти и нефтепродуктов в исследуемой зоне. В качестве примера подобного нормирования можно привести классификацию уровней загрязнения нефтепродуктами почвогрунтов (табл.3.2.).

Таблица 3.2. Классификация уровней органического загрязнения почвогрунтов (Пиковский Ю.И, 2003)

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Уровень загрязнения | Содержание НП | | Содержание битумоидов | |
| г/кг | % вес | г/кг | % вес |
| Фоновый | до 0,1-0,5 | до 0,01-0,05 | 0,4 | 0,04 |
| Низкий (слабый) | 0,5-1,0 | 0,05-0,1 | 10,0-25,0 | 1,0-2,5 |
| Умеренный | 1,0-5,0 | 0,1-0,5 |  |  |
| Средний | 5,0-10,0 | 0,5-1,0 | 25,0-37,0 | 2,5-3,7 |
| Высокий | 10,0-50,0 | 1,0-5,0 | более 37,0 | более 3,7 |
| Очень высокий | более 50,0 | более 5,0 |  |  |

Несмотря на существующую законодательную базу, контролирующую на бумаге сферу нефтепроизводства, существуют некоторые пробелы, которые следует устранить для повышения эффективности процесса рекультивации нефтезагрязненных земель, в том числе разрабатывать и утверждать на федеральном уровне методики по рекультивации и стандарты оценивания степени их эффективности. Безусловно, существует руководящий документ «Методические указания по биологической рекультивации земель, нарушенных при сборе, подготовке и транспорте нефти» (РД 39-30-925-83), однако он носит лишь рекомендательный характер и не всегда предписанные в нем требования исполняются природопользователями. Хотя таковые должны быть заинтересованы в возмещении нанесенного вреда в первую очередь, ведь большие площади нефтезагрязненных земель, помимо токсикологического воздействия на окружающую среду снижают и экономическую эффективность нефтегазовой промышленности, так как возникает необходимость отчуждения территории, выплаты штрафов за нерациональное их использование, затраты на многостадийную рекультивацию земель и восстановление фитоценозов.

# Рекультивация нефтезагрязненных земель с помощью торфа

Почва, как неотъемлемая часть экосистемы является индикатором деструкционных изменений всего ландшафта. Однако, изменения в почвенном покрове не сразу видны невооруженным глазом, особенно при не единовременном выбросе поллютанта. Процессы могут постепенно протекать в различных почвенных горизонтах, выражаясь в угнетении аборигенных микроорганизмов, интоксикации растений. Уже потом изменения приобретают явный характер и проявляются в цементации, засолении, эрозии и даже полной деградации почвенного покрова и опустынивании.

В условиях Крайнего Севера, зоне тайги и тундры данная проблема доставляет максимальное количество неудобств. Суровые климатические условия определяют медленный темп биологического круговорота веществ, что приводит к морфологическим и агрохимическим изменениям. Соответственно, биодеструкция нефти проходит в крайне замедленном темпе. Почва активно аккумулирует загрязняющие вещества, но из-за замедления процессов обмена кислородом и влагой утрачивается способность к самовосстановлению, происходящему обычно благодаря мобилизации внутренних ресурсов. Нарушенные естественные образования нуждаются в применении целого комплекса мероприятий по восстановлению естественной продуктивности, направленного в том числе и на восстановление механизма гомеостаза.

Рекультивация — это комплекс работ, направленных на восстановление продуктивности и народно-хозяйственной ценности земель и на улучшение условий окружающей среды в целом.

Острая необходимость восстановления почвенного покрова с целью дальнейшего безопасного использования возникает в основном из-за ограниченности земельных ресурсов. Таким образом, подобные мероприятия приводят земли в состояние, пригодное для их использования в соответствии с целевым назначением и разрешенным использованием, в том числе путем устранения последствий загрязнения почв, восстановления плодородного слоя и растительного покрова, создания защитных лесных насаждений (Земельный кодекс, 2019).

Для того, чтобы определить наиболее оптимальный способ очищения почвы, загрязнение разделяют на 2 разновидности:

* умеренное – для устранения такого загрязнения достаточно лишь активизировать процесс самоочищения почв агротехническими мероприятиями, например, рыхлением для насыщения почвенных горизонтов кислородом, внесением питательных субстратов для поддержания активности микроорганизмов путем снижения дефицита питательных веществ (азота, фосфора);
* высокое – при высоком уровне загрязнения требуются специальные меры, осуществление которых ведется в несколько этапов.

Рассмотрим более детально второй случай. Он подразумевает под собой многоэтапное глубокое очищение почв с восстановлением прежней структуры биоценоза.

1. Подготовительный этап включает в себя локализацию нефтяного разлива техническими или мелиоративными сооружениями. На этом этапе удаляется свободная нефть. Главная задача — не допустить увеличение площади загрязнения.

2. Технический этап заключается в сборе и вывозе грунтов, загрязненных нефтью и нефтепродуктами в том случае, когда на поверхности присутствует свободная нефть.

3. Агротехнический направлен на активизацию физико-химических процессов деградации нефти с применением рыхления почвы, что очередь снижает дефицит кислорода и способствует разрушению гидрофобной пленки поверхностных нефтяных компонентов и улучшению аэрации почв. Легкие фракции нефти улетучиваются, создается оптимальный газо-воздушный и температурный режимы.

Это, в свою очередь, способствует активации аборигенных нефтеокисляющих микроорганизмов, которые используют углеводороды в качестве источника питания, соответственно увеличивается энергия обменных и ферментативных процессов

4. Биологический этап заключается во внесение минеральных и органических удобрений – биопрепаратов. Осуществляется микробиологическая деградация нефти, происходит разложение сложных остаточных углеводородов на воду и углекислый газ. Также для закрепления результатов очистки проводятся фитомелиоративные мероприятия (фиторемедиация), заключающиеся в подготовке почвы к посеву, подборе растений и уходе за ними для восстановления полноценного растительного покрова.

Последний этап особенно актуален для восстановления почв в условиях сурового климата и при больших объемах загрязнения. Ведь осуществление лишь технических мероприятий не приведет к полному восстановлению плодородия и биопродуктивности. Почвы не будут выполнять свои биологические, сельскохозяйственные и культурно-эстетические функции. Поэтому нельзя пренебрегать биологической составляющей, которая направлена на возобновление деятельности живых организмов и восстановление флоры в соответствии с целевым назначением земельного участка.

Согласно ГОСТу (ГОСТ Р 57447-2017) приведем градации степени загрязнения почвы по органолептическим признакам с рекомендациями по способам устранения такового:

* Очень сильная степень загрязнения фиксируется, когда поверхности почвы присутствует свободная, легко мигрирующая по поверхности нефть, почва значительно пропитана нефтью. Рекультивация проводится в несколько этапов: технический и биологических с применением биопрепаратов, удобрений и этапом фиторемедиации.
* Сильная степень загрязнения, когда между частицами грунта присутствует свободная нефть, которая легко выжимается руками; на срезе почвы преобладает присущая нефти темная окраска. Требования к рекультивации те же, что и в предыдущем пункте.
* Средняя степень загрязнения отмечается в случаях, когда нефть почти не выжимается, но грунт загрязняет руки; окраска среза более светлая, просматривается естественная окраска грунта. Рекультивация не игнорирует агротехнические мероприятия; упор делается на методы интенсивной биоремедиации.
* Слабая степень загрязнения, то есть грунт почти не загрязняет руки, но ощущается запах нефтепродуктов; окраска грунта почти такая же, как и у соответствующего незагрязненного. Это единственный случай, когда допускается бездействие, то есть участки оставляются, исходя из предложения, что процессы самовосстановления эффективны и дополнительные меры не требуются. В некоторых случаях используют лишь агротехнические мероприятия, например, рыхление почвы.

Заметим, что слабая, а в некоторых случаях и средняя степень может и не приводить к угнетению микроорганизмов. Наоборот, снижается дефицит органического вещества при наличии легко-разложимых фракций нефти, что приводит к росту популяции и разнообразия микробных сообществ.

На биологическом этапе применяются сорбционные материалы, которые поглощают нефть (адсорбенты и абсорбенты). В настоящее время применяются как сорбенты природного происхождения, так и синтетические. Основная задача таких веществ способствовать разложению углеводородов на безопасные воду и углекислый газ. Такие функции выполняют также грибы, бактерии и микроводоросли, но их активность в условиях угнетенного биоценоза недостаточна и эффективность незначительна.

«Для активизации биологических процессов очищения почв от нефти используют различные рекультиванты, то есть комплексы материалов, такие как биопрепараты нефтеокисляющего действия, сорбенты, органические и минеральные удобрения, (…), предназначенные для усиления нефтеокисляющей способности почв и последующего восстановления почвенно-растительного покрова» (ГОСТ Р 57447-2017). Особенно использование биопрепаратов важно на тех участках, на которых самоочищение и использование внутренних резервов почвенных образований невозможно. Например, к таковым можно отнести площадки с высоким и очень высоким уровням загрязнения, с разреженным растительным покровом, низким содержанием гумуса, находящихся в зоне суровых природно-климатических условий, где биоразнообразие невысоко. Биопрепараты же способствуют активации естественных процессов самоочищения, путем восстановления почвенного гомеостаза, так как микроорганизмы, содержащиеся в подобных рекультивантах более устойчивы к высоким уровням загрязнения.

Торф, используемый в качестве биопрепарата в данном исследовании, является сорбентом натурального происхождения, который способен изолировать нефтепродукты. Более того, при низкой гумификации почв и, если они представлены в основном песчаными или глинистыми образованиями, снижение дефицита органики является первостепенной задачей. Большой поглотительной способностью отличается торф с низкой степенью разложения. Микрофлора торфяников, развивающаяся в условиях полуразрушенной органики, обладает сильной деструктивной активностью благодаря наличию углеродоокисляющих микроорганизмов и при попадании в среду, содержащую нефть, не требует длительной адаптации. Сорбционная емкость торфа по отношению к нефти зависит от степени разложения и составляет для верховых торфов 8-10, для низинных 6-8 г нефти на 1г абсолютно сухого вещества торфа. Сорбент может впитать в себя в 8-12 раз больше собственного веса. Численность углеводородокисляющих микроорганизмов в торфах в 4-5 раз превышает аналогичный показатель для почв. Также одним из его плюсов является то, что он может быть оставлен на месте как органическое удобрение, повышающее биопродуктивность почв, для последующего этапа фиторемедиации (РД 39-30-925-83). Абсорбент способен подавлять пары летучих фракций и впитывает углеводороды не только из земли, но и из воды, поэтому может быть использован и на водной поверхности.

Целесообразность использования торфа подтверждается и национальным стандартом Российской Федерации, в котором прописано, что «использование торфа целесообразно в качестве потенциально плодородной среды (высокая адсорбционная способность к нефтяному загрязнению, возможность окисления нефти содержащимися в нем микроорганизмами, потенциальная способность к естественному зарастанию высшими растениями) или сорбента» (ГОСТ Р 57447-2017). Помимо интенсификации разложения нефти, торф снижает фитотоксичность и улучшает воздушный режим почвы.

Исследования по изучению эффективности абсорбента на основе модифицированного азотно-фосфорно-калийным удобрением сфагнового мохового торфа показали, что при добавлении его в загрязненные почвы снижаются показатели токсичности и угнетение роста растений. Благодаря капиллярным свойствам торф впитывает нефть и изолирует ее от окружающей среды. Еще одним преимуществом такого удобрения является легкость его использования — сорбент достаточно рассыпать на месте разлива, смешать с загрязненной почвой и оставить на некоторое время для достижения лучшего результата. После использования торф может быть собран и использован для дальнейшей переработки в компост или сожжен.

Однако, для полноценной рекультивации и повышения интенсивности разложения нефти и нефтепродуктов необходимо предотвратить дефицит важных биогенных элементов, которые используют в том числе и почвенные углеводородоокисляющие микроорганизмы. Для этого либо в почву, либо в сам торф добавляют удобрения в состав которых входят азот, фосфор и калий. В целом, органические удобрения важны для подготовки рекультивируемых почв к следующему этапу – фиторемедиации, ведь они выполняют функцию структураторов почв, способны снизить пороговые значения токсичности остаточных нефтепродуктов для начала роста трав-рекультивантов (ГОСТ Р 57447-2017). Отмечается и то, что в условиях Крайнего Севера возможно использование торфа в качестве структуратора и разрыхлителя.

Согласно методическим указаниям по биологической рекультивации земель, нарушенных при сборе, подготовке и транспорте нефти (РД 39-30-925-83) в условиях лесотундрово-северотаежной и среднетаежной зон рекомендуются повышенные дозы внесения органических и минеральных удобрений. Норма первых составляет 50-60 т на га, для второго 130-180 кг на га. Однако эти нормы прописаны не для непосредственного использования активированного торфа для рекультивации земель, а как удобрения для подготовки уже практически восстановленной площадки для посева многолетних трав. Учитывая то обстоятельство, что такая масса питательных веществ рекомендована для более южных климатических зон, чем исследуемая, то при рекультивации в зонах тундры и лесотундры необходимо увеличивать нормы внесения исходя как из температурного режима территории, так и этапа рекультивации.

Важную роль при рекультивации играет показатель кислотности почв. Значения рН близкие к нейтральным являются оптимальными для развития и роста популяций микроорганизмов, скорейшего разложения нефти. Если данные требования не соблюдаются и почвы обладают повышенной кислотностью, то перед биологическим этапом рекультивации необходимо проводить известкование.

Согласно литературным данным, за первые сутки при среднесуточных температурах 18-24℃ из нефтяного загрязнения на поверхности почвы испаряется до 75% бензина, 24% керосина, 2-18% сырой нефти и около 0,4% летучих компонентов мазута (Пиковский, 2003). Дальнейшая деструкция нефти происходит преимущественно под действием биологических факторов, продолжительность этой стадии определяется качественными и количественными свойствами почвенных микроорганизмов.

Качество рекультивации, помимо количественного определения остаточного содержания нефтяных углеводородов, контролируется и по степени восстановления растительного покрова. Для того, чтобы рекультивационные работы можно было считать завершенными, зарастание на исследуемом участке должно быть не менее 75% от площади земель.

В завершении данной главы отметим, что существует несколько направлений осуществления рекультивации земель, то есть несколько комплексных методов, которых применимы в зависимости от целевого назначения земель. Выделяются: сельскохозяйственное, лесохозяйственное, водохозяйственное, рекреационное, природоохранное и санитарно-гигиеническое, строительное направления.

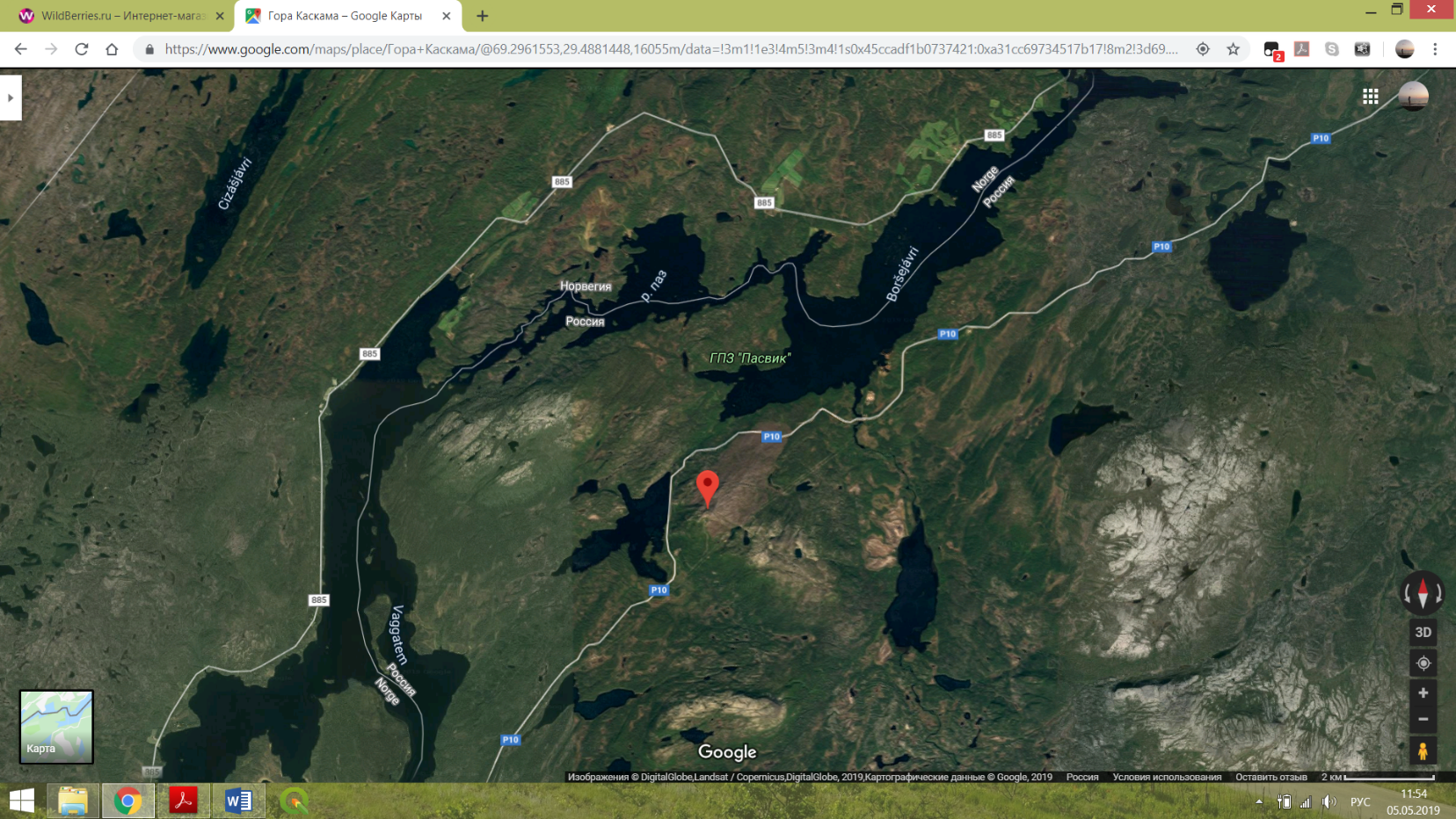
Данную работу следует относить к природоохранному направлению, так как основной целью проводимого эксперимента является приведение нарушенных земель в такое состояние, при котором возможно самостоятельное функционирование экосистемы благодаря восстановлению растительного и почвенного покровов.

# Фактический материал и методы исследования

Целью практической части выпускной квалификационной работы является исследование эффективности использования модифицированного удобрением торфа на биологическом этапе рекультивации земель, загрязненных нефтью.

Как отмечалось, биологический этап направлен на ускорение разложения сложных углеводородных соединений на воду и углекислый газ и осуществляется путем активизации почвенной микрофлоры. С этой целью в загрязненные почвы добавляется натуральный сорбент – торф, предварительно активированный комплексным азотно-фосфорно-калиевым удобрением, который также способствует скорейшей деструкции нефтяных углеводородов благодаря активизации деятельности аборигенных микроорганизмов. Заключение о качестве рекультивации дается на основе проведения анализа количественного содержания нефтепродуктов в образцах до и после очищения проб, и по результатам тестов на фитотоксичность.

Район отбора проб находится в Печенегском районе на северо-западе Мурманской области вблизи горы Каскама. На данном участке ранее находилось одно из подразделений Министерства обороны. Впоследствии военная часть была расформирована, при этом в процессе вывода техники произошел разлив горюче-смазочных материалов в больших объемах. Период, прошедший с момента загрязнения до проведения данного исследования, составляет более 15 лет.

Рис. 1. Расположение объекта исследования

Площадка отбора проб представляет собой территорию площадью 15\*40 метров на которой по сетке с шагом в 5 метров было отобрано 24 пробы почвы с поверхности, а также 9 проб почв, взятых в трех точках на разных глубинах. Отбор проб осуществлялся методом конверта со стороной 1м. Пробы для анализа количественного содержания нефтепродуктов по площади отбирались на глубину 0-10 см; для анализа распределения загрязнения по глубине – в зависимости от разделения на почвенные горизонты.

Анализ образцов почвы проводился в лабораторных условиях в соответствии с методикой выполнения измерений массовой доли нефтепродуктов в минеральных, органогенных, органо-минеральных почвах и донных отложениях методом ИК-спектрометрии (ПНД Ф 16.1:2.2.22-98). Метод заключается в экстракции нефтепродуктов из почв четыреххлористым углеродом, последующем отделении нефтепродуктов от сопутствующих органических соединений других классов в хроматографической колонке, и количественном определении нефтепродуктов основанном на фиксировании интенсивности поглощения в ИК-области спектра.

На первом этапе образцы высушивались при комнатной температуре до воздушно-сухого состояния. Затем из них пинцетом удалялись механические включения. После пробы измельчались и просеивались через сито с диаметром ячеи 0,5 мм. Согласно методике, масса навески для анализа варьируется от 0,5 до 5 г в зависимости от диапазона предполагаемого содержания нефтепродуктов в конкретной пробе (приложение 1).

Для дальнейшего анализа потребовались:

* Анализатор содержания нефтепродуктов в воде и четыреххлористом углероде, АН-2 (диапазон измерения (2-100) мг/дм3, погрешность измерения ± (2-3) мг/дм3)
* весы аналитические;
* ГСО раствора нефтепродуктов в четыреххлористом углероде;
* колбы мерные;
* пипетки градуированные;
* цилиндры мерные;
* пробирки градуированные с притертыми пробками;
* стаканчики для взвешивания (бюксы);
* колбы конические плоскодонные с притертыми пробками вместимостью 100 см3;
* воронки лабораторные;
* алюминия оксид;
* углерод четыреххлористый.

Навеска помещается в коническую колбу и заливается 20 мл четыреххлористого углерода (ССl4), интенсивно перемешивается и фильтруется через бумажный фильтр «белая лента». Стенки колбы ополаскиваются 5 мл четыреххлористого углерода и остатки также пропускаются через фильтр. Часть полученного экстракта переливается в кювету и помещается в прибор, если его показания превышают 100 мг/дм3,то полученный экстракт разбавляют четыреххлористым углеродом – отбирают аликвоту экстракта объемом 5 см3, помещают ее в мерную колбу вместимостью 25 см3 и доливают до метки четыреххлористым углеродом. Практически все исследуемые пробы в нашем случае требовали дополнительного разбавления.

Содержание углеводородов повторно замеряется на ИК-спектрометре до фильтрации экстракта через хроматографическую колонку, это позволяет оценить общее содержание высокомолекулярных органических веществ, экстрагируемых четыреххлористым углеродом.

Затем подготавливается хроматографическая колонка: в нижнюю часть колонки кладется вата, затем насыпается прокаленный оксид алюминия (Al2О3) и сверху помещается еще одна прослойка ваты. Перед началом фильтрации экстракта колонку необходимо промыть 4 мл четыреххлористого углерода. В таком виде она готова к работе. Через нее пропускается полученный экстракт, после него в колонку опять добавляют четыреххлористый углерод. Важно, чтобы уровень жидкости не опускался ниже верхнего края слоя оксида алюминия. Первые 2 мл элюата отбрасываются, объем остального фиксируют. Затем приступают к измерениям на приборе. Показания прибора (Сизм) соответствуют содержанию нефтепродуктов в элюате (в мг/дм3).

Результат определения содержания нефтепродуктов в почве Xизм (мг/кг) рассчитывают по формуле:

где: Сизм - показания прибора, мг/дм3;

М - масса навески образца для анализа, кг;

V - суммарный объем экстракта, дм3;

V1 - объем экстракта, взятый для разбавления, дм3;

V2 - объем экстракта, полученный после разбавления, дм3;

Vал - объем аликвоты экстракта, введенной в хроматографическую колонку, дм3;

Vэлюат - объем элюата, полученного после пропускания экстракта через колонку, дм3.

За результат измерения принимают:

Математическое ожидание систематической составляющей θ (поправка) зависит от содержания нефтепродуктов и типа почвы и учитывает, в основном, степень извлечения нефтепродуктов из образца. Поправка в нашем случае находилась по таблице, учитывающей уровень содержания нефтяных углеводородов в образце почвы (приложение 2).

Для того, чтобы грамотно оценить степень нарушенности территории, основываясь на данных по загрязнению нефтепродуктами, его необходимо сравнить с некими значениями, которые характеризуют стабильное состояние территории. Для данной территории их можно устанавливать исходя из разных подходов. Первый – это сравнение с ПДК, которая является одинаковой для всех регионов вне зависимости от физико-географических, климатических и почвенных особенностей местности и регламентируется документом «О порядке определения размеров ущерба от загрязнения земель химическими веществами». В соответствии с ним ПДК нефти и нефтепродуктов составляет 1000 мг/кг, загрязнение более 5000 мг/кг является очень высоким и относится к 5-му уровню (Министерство охраны…, 1993). Второй – это сравнение с нормативами ДОСНП. Для иллювиально-железистых почв (подбуров, подзолов), которые распространены в исследуемом регионе, допустимый уровень остаточного содержания нефтепродуктов составляет 4000 мг/кг в А горизонтах и 1000 мг/кг в В горизонтах (Приказ «Об утверждении…», 2002). Еще раз обратим внимание на то, что данные нормативы установлены не для Мурманской, а Сахалинской области. Они могут использоваться исходя из допущения, что почвы относятся к одному типу и схожи по своим физико-механическим характеристикам. Третий вариант – принятие за норматив содержаний, которые согласуются с потенциалом почв к самоочищению. Соответственно, ОДК составляет 700 мг/кг для почв со средней биогенной активностью – 2000 мг/кг, для почв с высокой биогенной активностью – 4000 мг/кг. Согласно литературным данным (Экологический атлас Мурманской области, 1999) и проводимым ранее исследованиям (Евдокимова Г.А., Мязин В.А и др., 2010) почвы заповедника «Пасвик» и прилегающих к нему территорий относятся к почвам с низкой и средней биогенной активностью (Евдокимова, Мязин, 2014). В данной работе за норматив будет приниматься показатель ОДК.

Для того, чтобы грамотно оценить именно антропогенную составляющую важно знать общее содержание органического вещества в почве (диаграмма 1).

Диаграмма 1. Содержание нефтепродуктов в пробах почв и торфе по отношению к общему содержанию органического вещества

Основываясь на полученных результатах можно сделать вывод о том, что доля нефтепродуктов в общем органическом веществе почвы варьируется от 60% до 90%. Если ориентироваться на норматив ОДК для почв со средней биогенной активностью (2000 мг/кг), то лишь одна точка не превышает таковой КА-23 (378 мг/кг). Однако если рассматривать содержание нефтепродуктов в процентном отношении к общему органическому веществу, то оно составит 88%. Предположительно, основная часть оставшихся нефтепродуктов трудно разложимы, так как с момента возникновения загрязнения прошло больше 15 лет, а содержание нефтяных углеводородов в некоторых точках до сих пор превышает ОДК в разы (КА-3, КА-9, КА-15, КА-21).

Отметим, что содержание общее содержание высокомолекулярных органических веществ в торфе также анализировалось, оно составило 1738 мг/кг, 26% (450 мг/кг) из которых приходится на соединения, фиксируемые как нефтепродукты (связи С-С, С-Н). Полученные значения будут учитываться при оценке эффективности рекультивации загрязненных проб почв.

На диаграмме 2 полученные результаты представлены совместно с оценкой уровня фитотоксичности почвы. Данный метод основывается на высаживании тестовой культуры в загрязненные образцы и подсчете процента ее всхожести по прошествии 2-х недель. В нашем случае в качестве тестовой культуры был выбран щавель – данное растение обладает достаточно крупными семенами, что удобно при их подсчете при высаживании, а также морозоустойчивостью. Более того, щавель хорошо приживается на слабокислых суглинистых (супесчаных) почвах, что также подтверждает целесообразность его использования в рассматриваемых условиях.

Диаграмма 2. Сопоставление содержания нефтепродуктов в загрязненных пробах почв и фитотоксичности

Данные фитотоксичности, приведенные на графике выше, указывают на значительное угнетение тестовой культуры – всхожесть в среднем не превышает 10%, а в точках КА-9 и КА-21 с уровнями загрязнения 20400 и 30447 мг/кг соответственно, прорастания семян не наблюдается вообще. Низкий уровень всхожести в образцах с малым содержанием нефтепродуктов (ниже ОДК), помимо высокого процента содержания нефтепродуктов, объясняется тем, что интегральной характеристикой всего почвенного покрова исследуемого объекта является недостаток доступного микроорганизмам органического вещества – почва в основном супесчаная, с большим количеством каменистых включений, поверхность захламлена стройматериалами и прочим бытовым мусором. Недостаток гумуса и питательных веществ безусловно отражается на воспроизводимости фитоценозов.

На втором этапе образцы делятся на две группы в зависимости от уровня загрязнения. В данной работе нормативы, перечисленные выше используются не как основа для разделения проб почв по группам в соответствии с уровнем загрязнения, а как ориентировочные величины, к которым необходимо стремиться при анализе уже очищенных образцов. В связи с этим разделение почв на группы основывается на предыдущих работах и опытах рекультивации, в ходе которых было установлено целесообразное количество торфа в зависимости от количественного содержания нефтепродуктов. Таким образом, нормативы внесения торфа в почвенные образцы составили:

* при условии, что уровень загрязнения превышает 20 000 мг/кг – соотношение почва-торф 2:1 (точки КА-3, КА-9, КА-15, КА-21);
* при условии, что уровень ниже 20 000 мг/кг – соотношение почва-торф 4:1 (точки КА-1, КА-5, КА-7, КА-9, КА-13, КА-17, КА-19).

Стоит особо отметить учет актуальной кислотности почвы. Согласно руководящему документу, регламентирующему биологическую рекультивацию нефтезагрязненных земель, почвы, обладающие рН ниже 6,0, нуждаются в известковании. Измерение кислотности почвенной суспензии проводилось согласно ГОСТ 26423-85 Почвы (методы определения удельной электрической проводимости, рН и плотного остатка водной вытяжки). Полученные результаты приведены в приложении 6. Значения рН в основном превышают 6, что позволяет характеризовать почву как нейтральную. В точках КА-19, КА-21 рН составляет 5,8 и 5,7 соответственно. Эти значения соответствуют слабокислым почвам, но незначительно ниже, чем показатели для нейтральных. Таким образом в известковании необходимости нет.

В качестве сорбента на этапе рекультивации, как уже упоминалось, используется активированный торф – верховой с низкой степенью разложения и уже нейтрализованный известью. Это необходимо для того, чтобы реакция почвы не стала кислой, иначе это приведет не к активизации, а к угнетению почвенной микрофлоры и не будет способствовать дальнейшему развитию фитоценозов.

Торф предварительно высушивается, измельчается для повышения сорбционных свойств. В него добавляется минеральное удобрение – нитроаммофоска, которое относится к группе сложных минеральных удобрений и в нашем случае содержит по 16% азота, фосфора и калия. Оно применимо при подготовке почвы к высаживанию различных растительных культур, в качестве подкормки растений, и в том числе способствует активизации аборигенных микроорганизмов, что, в свою очередь, приводит к более быстрому разложению нефтяных углеводородов.

Точные указания и формулы, благодаря которым можно рассчитать количество вносимого удобрения при рекультивации нефтезагрязненных для районов полярной тундры отсутствуют. В ГОСТах и руководящих документах (ГОСТ Р 57447-2017, РД 39-30-925-83) прописан некоторый базис, служащий ориентиром для расчета вносимого количества органического вещества и минеральных удобрений. Нормы внесения последних рассчитываются на основе пропорций, принятых в сельском хозяйстве и исходя из площади загрязненного участка.

При добавлении же торфа в почву в лабораторном эксперименте учитываются весовые пропорции, таким образом целесообразно проводить расчет исходя из массы сорбента. Соответственно, расширяется набор характеристик, влияющий на количество вносимого удобрения. Учет более суровых, низкотемпературных условий и сильная деградация растительного покрова; высокий уровень загрязнения; факт использования торфа не только в качестве плодородного субстрата для дальнейшего посева семян, а как биоразлагающего нефть сорбента; содержание действующего вещества в удобрении (48%) позволили установить наиболее оптимальное весовое соотношение – торф/удобрение 2:1. Более того, в прошлых лабораторных экспериментах (Адельфинская Е., Беляев А., 2018) устанавливалось влияние нитроаммофоски на всхожесть щавеля в образцах активированного и неактивированного торфа – после ее добавления в указанной выше пропорции всхожесть тестовой культуры увеличилась на 15%.

Отметим также, что важен учет фракции торфяного сорбента – она не должна быть меньше, чем фракция самих почв. Наиболее оптимальным вариантов считается диаметр 0,5-10 мм, так как в этом случае достигается наибольшее соприкосновение с нефтепродуктами и наибольшее нефтепоглощение. Пылеватость, наблюдаемая при диаметре частичек сорбента ниже 0,5 мм, уменьшает нефтепоглощение и плавучесть, а при фракции более 10 мм наблюдается рыхлость сорбента, что уменьшает нефтепоглощаемость сорбента (Бобошин, 2015).

После добавления торфа в загрязненные пробы и до повторного количественного анализа остаточного содержания нефтепродуктов должно пройти не менее двух недель, чтобы сорбент впитал в себя доступные углеводороды, а микроорганизмы разложили более сложные соединения на воду и углекислый газ. Важно, чтобы пробы находились в состоянии естественной влажности для исключения дефицита воды, необходимой углеродоокисляющим микроорганизмам. Также проводится периодическое перемешивание почвы, чтобы улучшить аэрацию и не допустить дефицит кислорода.

В нашем случае пробы оставлялись на две недели. По истечении этого срока повторно анализировалось уже остаточное содержание нефтепродуктов (диаграмма 3).

Диаграмма 3. Сопоставление содержания нефтепродуктов в очищенных и загрязненных пробах почв

Количественное содержание нефтепродуктов в очищенных пробах снизилось во всех анализируемых образцах не менее, чем на 1000 мг/кг; при соотношении почва/торф 2:1 не менее, чем на 5000 мг/кг с учетом вносимого вклада торфа в содержание анализируемых соединений. Отметим, что снижение содержания поллютанта особенно заметно в наиболее загрязненных пробах КА-3, КА-9, КА-15, КА-21, в которых соотношение почва/торф составляло 2:1 и в пробе КА-17 с соотношением почва/торф 4:1.

Диаграмма 4. Сопоставление содержания нефтепродуктов в очищенных пробах почв и фитотоксичности

Сопоставление с результатами теста на фитотоксичность показало, что всхожесть тестовой культуры выросла в среднем на 10% и в тех пробах, в которых ростки не наблюдались (КА-9, КА-21) всхожесть теперь составляет 17 и 11% соответственно.

В дополнение к анализу распределения площадного загрязнения проводился анализ глубинного распространения загрязнения по горизонтам почвы (диаграмма 5).

Диаграмма 5. Распределение загрязнения нефтепродуктами по глубине почвенного разреза

Анализируя распределение загрязнения на глубину отметим, что особенностью почвенного покрова площадки является насыпной характер верхнего горизонта (0-2 см) в большинстве точек, а также отсутствие или слабое проявление гумусового горизонта (рис. 3.1; 3.2; 3.3).

Рис. 3.1. КА-2 Рис. 3.2. КА-11 Рис. 3.3. КА-23

Естественные генетические горизонты прослеживаются на некоторой глубине – являются погребенными, в основном представлены песчаной и супесчаной фракцией с большим количеством каменистых включений. Неравномерное распределение нефтепродуктов по горизонтам связано с особенностями промывного режима, количеством включений и новообразований. Так, пониженное относительно второго содержание нефтепродуктов в точке КА-2 можно объяснить с вымыванием поллютанта из нижних горизонтов и дальнейшей миграцией в соответствии с уклоном поверхности к находящейся в понижении точке КА-11. Резкое повышение содержания нефтепродуктов в нижнем горизонте в точке КА-23 можно объяснить тем, что накопление поллютанта происходит не только вследствие вертикальной фильтрации из верхних горизонтов, а из-за горизонтального смыва с точек, находящихся выше и последующем проникновении в почвенные горизонты путем капиллярного поднятия.

Общим итогом является вывод о том, что загрязнение распространилось на большую глубину, что требует обязательного применения агротехнических приемов для полноценного восстановления почвы по всем горизонтам.

## 5.1 Составление плана рекультивации

Проект рекультивации составляется для каждого конкретного случая отдельно. Из-за уникального набора критериев, характеризующих каждую отдельную площадку, необходимо учитывать целый спектр характеристик: природно-климатические условия; площадь и уровень загрязнения; характеристики поллютанта, в том числе и его возможность к миграции, расширение ореола загрязнения; показатели химического и гранулометрического состава почв; сохранение и восстановление биоразнообразия; генеральные планы развития территории и др.

Однако, в то же время не существует и общих аттестованных методик, на которых можно было бы основываться, рассчитывая, например, количество органического сорбента или вносимого в него удобрения для повышения эффективности рекультивации нефтезагрязненных земель. Труден также и переход от норм внесения удобрений, рассчитанных для применения в сельском хозяйстве к нормам для внесения на участки, загрязненные нефтью. При условиях, что подготавливается плодородный слой для этапа фиторемедиации процедура упрощается, а если удобрение используется для активации торфа и стимуляции размножения аборигенной микрофлоры, то можно лишь весьма приблизительно оценить необходимые пропорции. Все перечисленное выше проявляет несовершенство нормативно-правовой базы в данной области и многократно усложняет процедуру расчета и обоснования определенного плана восстановления нарушенных земель.

Приведем перечень документов, опираясь на которые будет приведен приблизительный план рекультивации исследуемой площадки в Мурманской области:

* ГОСТ 17.5.1.01-83 Охрана природы (ССОП). Рекультивация земель. Термины и определения
* ГОСТ 17.5.3.04-83 Охрана природы (ССОП). Земли. Общие требования к рекультивации земель.
* ГОСТ Р 57446-2017 Наилучшие доступные технологии. Рекультивация нарушенных земель и земельных участков. Восстановление биологического разнообразия.
* ГОСТ Р 51661.3-2000 Торф для улучшения почвы. Технические условия.
* Руководящий документ. Методические указания по биологической рекультивации земель, нарушенных при сборе, подготовке и транспорте нефти. РД 39-30-925-83. 1984
* Руководящий документ. Инструкция по рекультивации земель, нарушенных и загрязненных при аварийном и капитальном ремонте магистральных нефтепроводов.

РД 39-00147105-006-97

Проект рекультивации нарушенных земель должен содержать следующие разделы:

пояснительная записка; эколого-экономическое обоснование направления рекультивации нарушенных земель; содержание, объемы и график работ по рекультивации нарушенных земель; картографические материалы, отражающие состояние нарушенных земель после проведения рекультивации; сметные расчеты (локальные и сводные) затрат на проведение работ по рекультивации нарушенных земель (ГОСТ Р 57447-2017) В этой главе будет приведен лишь приблизительный план рекультивации исследуемого участка.

Отметим, что существуют также определенные группы, к которым можно отнести исследуемый объект для последующего выбора наиболее оптимального способа рекультивации. Данное разделение основывается на анализе нарушенности почвенного и растительного покровов местности (РД 39-30-925-83):

1. растительный и почвенный покровы уничтожены полностью;
2. растительный покров уничтожен полностью, а почвенный слой сохранен на 50% площади;
3. растительность уничтожена на 50-80% площади, почвенный покров сохранен;
4. растительность уничтожена на 20-50% площади, почвенный покров сохранен;
5. растительный покров уничтожен на площади менее 20%, почвенный покров сохранен.

Согласно данной градации исследуемый объект следует отнести к 3-ей категории. При визуальной оценке территории заметно, что растительный покров разрежен, на большей части исследуемой площадки отсутствует (рис. 2). Невооруженным глазом видны маслянистые пятна, присутствует отчетливый запах нефти.

Рис. 2. Фотография площадки исследования.

В первую очередь стоит определиться с направлением рекультивации земель, то есть отнести загрязненную площадку к определенной группе в связи с ее целевым назначением. Исследуемая местность является приграничной, не относится к водоохранной зоне р. Паз, на ней не ведется сельскохозяйственное освоение территории. Уровень загрязнения в несколько раз больше допустимых нормативов, растительный покров сильно разрежен, соответственно приоритетным становится природоохранное направление рекультивации, то есть «приведение нарушенных земель в состояние, пригодное для восстановления биологического разнообразия и гидрологического режима, в том числе в форме создания особо охраняемых природных территорий регионального и местного значения для сохранения и воспроизводства природных ресурсов» (ГОСТ Р 57447-2017).

Кратко опишем работы, необходимые для подготовки участка к биологическому этапу. Проведение работ начинается с технического этапа – в первую очередь ликвидации источников загрязнения. В нашем случае, источником разлива нефтепродуктов была военная база, которая была расформирована около 15-ти лет назад. Из технических сооружений осталась только каменная постройка, помимо этого на территории присутствуют стройматериалы и другой бытовой мусор. Иногда рекомендуется полностью снимать и вывозить плодородный слой почвы, однако почвенный покров исследуемой площадки сильно деградирован и гумусового горизонта не наблюдается, поэтому в проведении подобных работ необходимости нет. На этом этапе в данных условиях целесообразно проведение рыхление почвы для снижения дефицита кислорода и подготовки к внесению органического субстрата.

Обращаясь к руководящим документам несколько конкретизируем действия, выполняемые на биологическом этапе. В «Методических указаниях по биологической рекультивации земель, нарушенных при сборе, подготовке и транспорте нефти» рекомендации по нормам внесения удобрения и посеву трав даются для лесотундрово-северотаежной и среднетаежной зон. Перед непосредственным проведением биорекультивации в данных природно-климатических зонах предварительно проводят мелиоративные мероприятия: отвод поверхностных вод, выполаживание оврагов, известкование почв (РД 39-30-925-83). Повышенной кислотности почв на рассматриваемой площадке не отмечается, известкование не требуется, но доля небольших вытянутых площадок рекомендуется проводить выравнивание.

Далее необходимо рассчитать количество удобрения, необходимого для добавления в сорбент. Согласно руководящему документу нормы внесения минеральных удобрений составляют 130-180 кг действующего вещества по азоту, фосфору и калию на 1 га и 50-60 т/га для органических. Однако эти параметры используются в качестве расчетных при подготовке почвенного покрова к высадке семян для закрепления восстановленного почвенного покрова. Нашей же целью является повышение скорости деструкции нефтяных углеводородов, активизация аборигенной микрофлоры и естественных процессов разложения сложных соединений. Соответственно, целесообразно увеличить предложенные нормы.

Возьмем за основу формулу в которой учитывается содержание действующего вещества в удобрении (РД 39-30-925-83). Эти данные берутся либо из заводских сертификатов удобрений, либо из справочной литературы:

Где:

X – вес удобрения (в кг),

а – рекомендуемая доза действующего вещества на 1 га (в кг),

в – содержание действующего вещества в данном удобрении (в кг).

Учитывая, что содержание действующего вещества в нитроаммофоске одинаковая – 16% для фосфора, азота и калия, то формула принимает вид:

кг

Это доза внесения удобрения на площадь в 1 га. Для площадки в 600 м2 приблизительная доза составит 290-300 кг.

Однако, данное удобрение не будет вносится непосредственно на площадку. Это то количество, необходимое для добавления в торф. Так как количество торфа, согласно пропорции в эксперименте, в два раза больше, чем количество вносимого удобрения, то торфяного сорбента понадобится около 600 кг на рекультивируемый участок.

При использовании торфа в смеси с минеральным удобрением следует учитывать, что для повышения их эффективности следует поддерживать естественную влажность торфо-смеси и подстилающих почв путем полива и других агротехнических приемов. В растворенной форме минеральные вещества быстрее поступают в почву, лучше усваиваются микроорганизмами и растительностью, а снижение дефицита воды способствует активизации естественных биохимических процессов деструкции.

По прошествии трех недель можно высаживать растительные культуры для закрепления на местности первичного почвенного покрова благодаря развитию корневой сети растений. Торф можно оставить на участке и не вывозить, так как впитавшиеся в него нефтяные соединения надежно изолированы от окружающей среды, а микроорганизмы способствовали снижению количественного содержания токсичных соединений до приемлемого уровня. Возможно дополнительное внесение перед посевом азотистых удобрений, так как у многолетних трав наблюдается высокая потребность именно в этом элементе. Выбор комплекса растений основывается на составе флоры конкретной природно-климатической зоны.

Существует способ, в котором сбор подходящей травяно-семенной смеси проводится на эталонных участках в разные сроки плодоношения растений, которую затем наносят на подготовленную площадку. Для зоны лесотундры рекомендованной растительностью являются различные злаковые: овсяница, мятлик луговой, лисохвост луговой, тимофеевка луговая, а также клевер луговой и клевер белый. Если ориентироваться на ненарушенный растительный покров вблизи исследуемого участка, то в древесном ярусе преобладают березы, также встречается ива, сосна и рябина, в травянистом преобладают злаки, встречаются кустарнички (вороника, черника, брусника).

Расчет необходимого количеств семян, входящих в травосмесь для рекультивации, производится по формуле (РД 39-30-925-83):

Где:

Х – норма посева семян, входящих в травосмесь, кг/га,

Н – процент содержания данного вида в смеси, %,

П – расчетная норма высева кондиционных семян в чистом виде, кг/га,

D – хозяйственная годность семян, %.

Согласно литературным данным, формирование устойчивого растительного покрова происходит в течение 5-7 лет, проективное покрытие не должно быть ниже 75%.

Заметим, что торф, выбранный в качестве сорбента согласно рассматриваемому методу, может применяться на местности как заместитель ранее срезанного слоя, например, затвердевшего битума, что способствует оптимизации параметров микрорельефа; материала, снижающего фитотоксичность корнеобитаемого слоя почвы за счет разбавления загрязнения и интенсификатора разложения нефти за счет улучшения воздушного режима очищаемых почв, на заключительном этапе он играет роль потенциально плодородной среды, улучшающей физические свойства почвы.

# Заключение

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы был проведен ряд опытов, направленных на подтверждение эффективности рекультивации нефтезагрязненных земель при помощи активированного торфа.

Результаты лабораторного анализа загрязненных проб почв указывали на очень высокий уровень загрязнения почвенного покрова, в особенности для почв, обладающих низкой биогенной активностью. Данные подтверждались и визуальной оценкой состояния исследуемой площадки – наблюдалась деградация растительного покрова, маслянистые пятна на поверхности. Более того анализ распределения загрязнения на глубину показал, что нефть просочилась и в нижележащие почвенные горизонты на глубину более 20 см.

Перечисленные выше факторы указывают на необходимость проведения целого комплекса работ по восстановлению нарушенного участка. В ходе данного исследования использовался биологический метод очищения загрязненных образцов. Результаты показали, что при добавлении в пробы почвы активированного торфа (при соотношении почва/торф 4:1) за две недели содержание нефтепродуктов снижается не менее чем на 1000 мг/кг. Учитывая, что загрязнение не свежее, а в почве сохранились лишь недоступные микроорганизмам, трудно-разложимые, тяжелые фракции углеводородных соединений данные показатели рассматриваются как приемлемые. Отметим, что при увеличении количества вносимого сорбента до соотношения почва/торф 2:1 содержание нефтяных углеводородных соединений в очищенных образцах уменьшается за две недели не менее чем на 5000 мг/кг, а максимально более чем на 12000 мг/кг.

Данные фитотоксичности показывают, что всхожесть ростков щавеля повысилась в среднем на 10%, что связано как со снижением токсичности почв вследствие уменьшения количества сложных углеводородных соединений, так и с внесением в почву питательного субстрата, который снижает дефицит минеральных и питательных веществ, позволяя тем самым активно размножаться микробным сообществам, ускоряющим деструкцию нефтяных углеводородов.

По итогам проведенных экспериментов использование активированного торфа на биологическом этапе рекультивации признается эффективным. Снижение содержания нефтепродуктов в совокупности со снижением фитотоксичности за столь короткий срок (2 недели) позволяет в дальнейшем использовать предложенный метод для восстановления почвенного и растительного покрова исследуемой площадки.

Пропорция почва/торф 4:1 признается более эффективной особенно при высоких уровнях загрязнения и суровых климатических условиях, также возможно повышение срока рекультивации с двух недель до месяца, чтобы торф смог полноценно впитать и способствовал полноценному разложению углеводородных соединений путем активации аборигенной микрофлоры.

При разработке плана рекультивации для его осуществления непосредственно на местности рекомендуется проведение комплекса работ, начиная с агротехнических методов и заканчивая этапом фиторемедиации для закрепления почвенного и растительного покровов.

В завершении выражаю особую благодарность Мязину Владимиру Александровичу (ИППЭС КНЦ РАН) за помощь в проведении полевых работах и лабораторного этапа исследования. За ценные советы по написанию работы научному руководителю – Беляеву Анатолию Михайловичу (СПбГУ, ИНоЗ).

# Приложения

*Приложение 1*. Список образцов почв для анализов площадного распространения загрязнения.

|  |  |
| --- | --- |
| Номер точки | Масса навески (г) |
| КА-1 | 0,5 |
| КА-3 | 0,5 |
| КА-5 | 0,5 |
| КА-7 | 0,5 |
| КА-9 | 0,5 |
| КА-11 | 0,5 |
| КА-13 | 0,5 |
| КА-15 | 0,5 |
| КА-17 | 0,5 |
| КА-19 | 0,5 |
| КА-21 | 0,5 |
| КА-23 | 1 |
|  | Глубина отбора (см) | Масса навески (г) |
| КА-2 | 0-2 | 0,5 |
| 2-10 | 0,5 |
| 10-20 | 0,5 |
| КА-11 | 0-2 | 0,5 |
| 2-5 | 0,5 |
| 5-25 | 0,5 |
| КА-23 | 0-1 | 0,5 |
| 1-12 | 0,5 |
| 12-20 | 0,5 |

*Приложение 2.* Результаты определения количественного содержания нефтепродуктов в загрязненных пробах почв

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Номер пробы | Содержание высокомолекулярных органических веществ,  мг/кг | Содержание нефтепродуктов, мг/кг | Содержание окисленных нефтепродуктов, мг/кг | Доля нефтепродуктов в органическом веществе почвы, % |
| КА-1 | 14288 | 8964 | 5324 | 63 |
| КА-3 | 26676 | 20366 | 6310 | 76 |
| КА-5 | 17788 | 12651 | 5137 | 71 |
| КА-7 | 15652 | 9918 | 5734 | 63 |
| КА-9 | 31790 | 20400 | 11390 | 64 |
| КА-11 | 15045 | 10039 | 5006 | 67 |
| КА-13 | 8439 | 6760 | 1733 | 80 |
| КА-15 | 30500 | 27493 | 3007 | 90 |
| КА-17 | 18811 | 14982 | 3830 | 80 |
| КА-19 | 4106 | 2783 | 1323 | 68 |
| КА-21 | 42177 | 30447 | 11730 | 72 |
| КА-23 | 430 | 378 | 52 | 88 |
| КА-2 (0-2 см) | 22414 | 18232 | 4183 | 81 |
| КА-2 (2-10 см) | 30609 | 22554 | 8054 | 74 |
| КА-2 (10-20 см) | 24315 | 20119 | 4196 | 83 |
| КА-11 (0-2 см) | 16831 | 11191 | 5640 | 66 |
| КА-11 (2-5 см) | 13540 | 12399 | 1141 | 92 |
| КА-11 (5-25 см) | 17007 | 14595 | 2412 | 86 |
| КА-23 (0-1 см) | 549 | 429 | 120 | 78 |
| КА-23 (1-12 см) | 251 | 194 | 58 | 77 |
| КА-23 (12-20 см) | 7277 | 5496 | 1781 | 76 |
| Торф | 1738 | 450 | 1288 | 26 |

*Приложение 3.* Всхожесть тестовой культуры

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Номер пробы | Всхожесть до рекультивации, % | Всхожесть после рекультивации, % |
| КА-1 | 14 | 23 |
| КА-3 | 6 | 22 |
| КА-5 | 7 | 19 |
| КА-7 | 10 | 23 |
| КА-9 | 0 | 17 |
| КА-11 | 8 | 20 |
| КА-13 | 8 | 15 |
| КА-15 | 5 | 13 |
| КА-17 | 7 | 17 |
| КА-19 | 9 | 28 |
| КА-21 | 0 | 11 |
| КА-23 | 5 |  |

# 

*Приложение 4.* Показатели почвенного рН

|  |  |
| --- | --- |
| Номер пробы | рН |
| КА-1 | 6,6 |
| КА-3 | 6,2 |
| КА-5 | 6,5 |
| КА-7 | 6,4 |
| КА-9 | 6,3 |
| КА-11 | 6,2 |
| КА-13 | 6,7 |
| КА-15 | 6,4 |
| КА-17 | 6,2 |
| КА-19 | 5,8 |
| КА-21 | 5,7 |
| КА-23 | 6,0 |

*Приложение 5.* Результаты определения содержания нефтепродуктов в очищенных пробах почв

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Номер пробы | Содержание высокомолекулярных органических веществ,  мг/кг | Содержание нефтепродуктов, мг/кг | Содержание окисленных нефтепродуктов, мг/кг | Доля нефтепродуктов в органическом веществе почвы, % |
| КА-1 | 11289 | 7186 | 4103 | 64 |
| КА-3 | 22009 | 12699 | 9310 | 58 |
| КА-5 | 14906 | 9046 | 5860 | 61 |
| КА-7 | 13288 | 7063 | 6225 | 53 |
| КА-9 | 26150 | 14562 | 11588 | 56 |
| КА-11 | 11598 | 8397 | 3201 | 72 |
| КА-13 | 8491 | 4259 | 4232 | 50 |
| КА-15 | 21552 | 15256 | 6295 | 71 |
| КА-17 | 17630 | 8523 | 9107 | 48 |
| КА-19 | 3198 | 1778 | 1420 | 56 |
| КА-21 | 23415 | 18170 | 5245 | 78 |

**Список использованной литературы**

1. Адельфинская Е.А., Беляев А.М. «Эффективность микробиологического этапа рекультивации почв, загрязненных нефтепродуктами, с использованием сорбента на основе модифицированного торфа», СПбГУ, 2018, 29 с.
2. Бобошин А.Н. «Сорбент торфяной и его получение». Патент, 2015: [Электронный ресурс]: – Режим доступа: https://findpatent.ru/patent
3. Владимиров В.А.– Разливы нефти: причины, масштабы, последствия. 2011 г, 13 с.
4. ГОСТ Р 57447-2017. Наилучшие доступные технологии. Рекультивация земель и земельных участков, загрязненных нефтью и нефтепродуктами. Основные положения
5. Глазов В.А., Новосёлов А.Е., Царева В.А. Особенности геологического строения Кольского полуострова // Научное сообщество студентов XXI столетия. Естественные науки: сб. ст. по мат. XXII-XXIII междунар. студ. науч.-практ. конф. № 8-9(22), 2014
6. Гриценко А.И., Акопова Г.С., Максимов В.М. Экология. Нефть и газ. – М, Наука, 1997, 598 с.
7. Евдокимова Г.А., Мозгова Н.П., Мязин В.А., Поликарпова Н.В. Исследование состояния почвенного покрова в долине реки Паз, включая территорию заповедника «Пасвик», 2014, 8 с.
8. Евдокимова Г.А., Мязин В.А. Отчет – «Исследование возможности восстановления нефтезагрязненных почв на г. Каскама Печенгского района с применением методов биоремедиации». Апатиты, 2015 г. – 21с.
9. Земельный кодекс Российской Федерации (с изменениями на 25 декабря 2018 года), (редакция, действующая с 1 января 2019 года).
10. Краткий обзор курса экологии. Нефтяное загрязнение почвы. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://oblasti-ekologii.ru/ecology/himicheskoe-zagryaznenie-pochvy/neftanoe-zagraznenie-pocvy
11. Кузьменкова Н.В. Диссертация на соискание ученой степени кандидата географических наук «Миграция и аккумуляция 137Cs в ландшафтах северо-западной части Кольского полуострова». Москва, 2010 г. – 157 с.
12. Министерство охраны окружающей среды и природных ресурсов Российской Федерации. О порядке определения размеров ущерба от загрязнения земель химическими веществами, от 27 декабря 1993 года N 04-25.
13. Одинцова Т.А. «Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук». Разработка технологии идентификации и мониторинга нефтяных загрязнений. Пермь, 2010 г. – 214 с.
14. Охрана окружающей среды в России. 2014: Стат. сб./Росстат. - M., 2014. - 78 с.
15. Пиковский Ю.И., Геннадиев А.Н., Чернянский С.С., Сахаров Г.Н. Проблема диагностики и нормирования загрязнения почв нефтью и нефтепродуктами // Почвоведение, 2003. № 9. С. 1132-1140.
16. ПНД Ф 16.1:2.2.22-98. Количественный химический анализ почв. Методика выполнения измерений массовой доли нефтепродуктов в минеральных, органогенных, органо-минеральных почвах и донных отложениях методом ИК-спектрометрии.
17. Подавалов Ю.А. – Экология нефтегазового производства. – Москва: Инфа-Инженерия, 2010 – 416с.
18. Постановление «О порядке организации мероприятий по предупреждению и ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов на территории Российской Федерации». Правительство Российской Федерации. (в редакции от 14.11.2014 г. № 1188), – 15 апреля 2002 г. № 240, г. Москва.
19. Приказ «Об утверждении Временных рекомендаций по разработке и введению в действие нормативов допустимого остаточного содержания нефти и продуктов ее трансформации в почвах после проведения рекультивационных и иных восстановительных работ». Министерство природных ресурсов Российской Федерации, – 12 сентября 2002 года, № 574
20. РД 39-30-925-83. Министерство нефтяной промышленности. Руководящий документ. Методические указания по биологической рекультивации земель, нарушенных при сборе, подготовке и транспорте нефти. 1984
21. Сайт федерального государственного бюджетного учреждения государственного природного заповедника «Пасвик» [Электронный ресурс]: – Режим доступа:

<http://www.pasvik51.ru/index.php/ru/priroda/territoriya>

1. Терра Экология (Terra Ecology) – Экологически безопасное решение при ликвидации последствий аварийных разливов нефтепродуктов, 2007.
2. Торегалиев О., Бисенова Л.Е. Производственные отходы нефтяной промышленности и области их применения. Каспийский государственный университет техники и инжинеринга им. Ш.Е. Есенова. Актау, Казахстан, 2015 – 5 с.
3. Федеральный закон от 10.01.2002 N 7-ФЗ (ред. от 31.12.2017) "Об охране окружающей среды".
4. Физическая география России и СССР. Европейская часть: Арктика, Русская равнина, Кавказ, Урал. Региональные обзоры природы России. Кольский полуостров и Карелия. [Электронный ресурс]: – Режим доступа:

http://www.geonature.ru/rusgeo/index.html

1. Чупров В.А. – Цена экологического демпинга в нефтяной отрасли: чем обеспечена высокая рентабельность российских нефтяных компаний. Гринпис: статья, 2016 г
2. Braddock, J.F., Ruth, M.L., Catterall, P.H., Walworth, J.L., McCarthy, K.A., 1997.Enhancement and inhibition of microbial activity in hydrocarbon-contaminated arctic soils: implications for nutrient-amended bioremediation. Environ. Sci. Technol. 31, 2078–2084.
3. Juhasz, A., Stanley, G.A., Britz, M.L., 2000. Degradation of high molecular weight PAHs in contaminated soil by a bacterial consortium: effects on Microtox and mutagenicity bioassays. Bioremed. J. 4, 271–283.
4. Mohn, W. W., and G. R. Stewart. 2000. Limiting factors for hydrocarbon biodegradation at low temperature in Arctic soils. Soil Biol. Biochem. 32: 1161–1172

1. Окисление нефти. Материал из GeoWiki - открытой энциклопедии по наукам о Земле. [↑](#footnote-ref-1)
2. Кир (горная порода). Материал из Википедии — свободной энциклопедии. [↑](#footnote-ref-2)