

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

им. М. В. ЛОМОНОСОВА

факультет почвоведения

на правах рукописи

ЕЖЕЛЕВ ЗАХАР СЕРГЕЕВИЧ

СВОЙСТВА И РЕЖИМЫ РЕКУЛЬТИВИРОВАННЫХ ПОСЛЕ РАЗЛИВОВ
НЕФТИ ПОЧВ УСИНСКОГО РАЙОНА РЕСПУБЛИКИ КОМИ

Специальность: 06.01.03 – Агропочвоведение и агрофизика

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени кандидата биологических наук

Научный руководитель:

д.б. н., профессор А.Б. Умарова

Москва – 2015

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
ГЛАВА 1. Свойства и режимы рекультивированных после разливов нефти почв (обзор литературы)	7
1.1. Влияние нефтяного загрязнения.....	7
1.1.1. Состав нефтей.....	8
1.1.2. Воздействие нефтяного загрязнения на экосистемы.....	12
1.1.3. Трансформация нефти в экосистемах.....	15
1.1.4. Особенности трансформации нефтяного загрязнения в условиях Севера.....	17
1.1.5. Роль почвенного покрова в трансформации нефти.....	20
1.2. Изменение агрофизических и агрохимических свойств, водного и температурного режимов почв под влиянием нефтяного загрязнения.....	22
1.3. Технологии и этапы рекультивации нефтезагрязненных земель.....	26
1.3.1. Механические.....	27
1.3.2. Химические.....	28
1.3.3. Биологические.....	29
1.3.4. Особенности рекультивации нефтезагрязненных земель на севере Русской равнины (Север республики Коми)	33
1.4. Правовое регулирование рекультивации нефтезагрязненных земель в России (РФ)	40
1.4.1. Законодательство РФ.....	40
1.4.2. Методы контроля нефтяного загрязнения почв.....	50
1.4.3. Методы биоиндикации и биотестирования почв.....	56
ГЛАВА 2. Объекты и методы.....	57
2.1. Район исследования.....	57
2.1.1. Климатические условия.....	58
2.1.2. Геологические условия.....	59

2.1.3. Гидрогеологические условия и гидрографическая сеть.....	60
2.1.4. Почвенный покров.....	62
2.1.5. Типы ландшафтов и растительный покров.....	63
2.3. Методы исследования почв.....	65
ГЛАВА 3. Морфологическая характеристика почв и растительного покрова.....	67
3.1. Морфологическая характеристика исследуемых почв.....	67
3.2. Схема объекта исследования. Описание почв	73
ГЛАВА 4. Агрофизические и агрохимические свойства почв.....	75
4.1. Основные агрофизические свойства.....	75
4.2. Основные агрохимические свойства почв.....	84
ГЛАВА 5. Содержание и миграция нефтепродуктов в почвах исследуемых участков.....	90
5.1. Распределение техногенных углеводородов в исследуемых почвах.....	90
5.2. Миграция нефтепродуктов в почве: модельные фильтрационные эксперименты.....	94
ГЛАВА 6. Биологические свойства почв исследуемых участков.....	98
6.1. Растительный покров.....	98
6.2. Численность бактерий и таксономический состав сапротрофных бактериальных комплексов.....	102
ГЛАВА 7. Влияние остаточных количеств углеводородов нефти на водно-физические свойства почв.....	104
ГЛАВА 8. Температурный режим почв.....	109
ГЛАВА 9. Математическое моделирование водного режима исследуемых почв.....	116
Выводы.....	120
Список литературы.....	122
Приложения.....	138

ВВЕДЕНИЕ

Последствия разливов нефти носят трудно учитываемый характер, поскольку нефтяное загрязнение нарушает многие естественные процессы и взаимосвязи, существенно изменяет условия обитания всех видов живых организмов и накапливается в биомассе. Нефть и нефтепродукты нарушают экологическое состояние почвенных покровов и в целом деформируют структуру биocenозов. В результате интоксикации легкими фракциями нефти почвенные бактерии, а также беспозвоночные почвенные микроорганизмы и животные не в состоянии качественно выполнять свои важнейшие функции в ландшафте. Наиболее распространенным нефтяным загрязнением окружающей среды является загрязнение, связанное с деятельностью человека при добыче (разливы и выбросы сырой нефти, газа, пластовых вод, газа из газовых шапок нефтяных залежей, буровых растворов), транспортировке (аварии на нефтепроводах и танкерах), различных нарушениях хранения и применения нефтепродуктов. В последние десятилетия вследствие роста масштабов добычи, переработки и транспортировки нефти и, как следствие, – количества аварий на буровых и нефтепроводах, на Севере Европейской части России постоянно увеличиваются площади земель, загрязнённых нефтью и нефтепродуктами. Наибольший ущерб природе наносят аварии на магистральных нефте- и газопроводах. Так при одном прорыве нефтепровода выбрасывается в среднем 2 т нефти, что загрязняет около 1000 м³ почвенного покрова, а в результате аварии на газоконденсатопроводе на землю в среднем попадает не менее 2 млн. т/год нефтепродуктов (Гриценко А.И. и др., 1997).

Нефтяное загрязнение выделяют в отдельный вид вследствие сложного состава нефти (сотни различных соединений углеводородов и гетероциклических соединений, содержащих азот, кислород, серу и микроэлементы) и ее одномоментным поступлением в среду. Попадание нефти на почвенный покров

приводит к глубокому изменению всех основных почвенных характеристик – морфологии, физических, химических и биологических свойств, что влечет за собой потерю плодородия и отчуждение почв из землепользования. В почвах загрязненных углеводородами отмечается усиленное размножение микроорганизмов – азотфиксирующих, денитрифицирующих и сульфатовосстанавливающих бактерий, которые используют нефть в качестве источника энергии, углерода, приводя к минерализации и частичному окислению нефти (Гавриш, 1984).

При инфильтрации нефти в почве происходит нарушение ее водно-воздушного режима, изменение структуры почвы, миграция токсичных веществ, трансформация углеродно-азотного баланса почвы и миграционных способностей отдельных микроэлементов (Солнцева, 1988.).

Цель исследований - изучение физических, химических и биологических свойств, водного и температурного режимов почв Усинского района Республики Коми, рекультивированных разными способами после разливов нефти. Выявление оптимальных методов рекультивации в условиях Европейской части Севера России.

Задачи исследований:

- 1) Исследование основных морфологических, агрофизических и агрохимических свойств тундрово-глеевых почв и рекультивированных после разлива нефти.
- 2) Изучить особенности распределения остаточных углеводородов нефти в рекультивированных почвах, изучить возможность их миграции в почвенной толще.
- 3) Изучить особенности влияния углеводородов нефти на некоторые гидрофизические свойства почв.

4) Исследовать особенности температурного и водного режимов тундрово-глеевых почв и рекультивационных почв.

В работе впервые было произведено исследование агрофизических свойств и режимов почв участков, рекультивированных разными методами в условиях Русского Севера, показавшее важность и необходимость оптимизации агрофизических свойств и режимов для решения основной цели рекультивации - успешного роста и развития растений, причем на всех ее этапах. Особенностью проведенных исследований, являющихся новыми и актуальными, является комплексность работ, включавших в том числе, изучение агрохимических, химических и биологических исследований почвенного покрова.

Важное значение имеет и выбор объекта, на котором (1) 20 лет назад произошло сильнейшее загрязнение почв в результате аварии на нефтепроводе, и природная система уже пришла в равновесное состояние, (2) на одной территории были использованы различные методы рекультивации.

Практическая значимость работы заключается в разработке экспериментально обоснованной необходимости проведения агрофизических исследований почвенного покрова при рекультивации земель, загрязненных нефтью и нефтепродуктами. Полученные данные могут быть использованы для обоснования выбора метода рекультивации нефтезагрязненных почв в условиях Севера. Комплексность проведенных исследований позволяет рекомендовать полученные экспериментальные данные в качестве реперных для ведения дальнейшего мониторинга территории объекта исследования. Результаты исследований используются в курсе лекций «Почвенно-ландшафтное проектирование» для студентов, обучающихся по специальности «Почвоведение».

ГЛАВА 1. СВОЙСТВА И РЕЖИМЫ РЕКУЛЬТИВИРОВАННЫХ ПОСЛЕ РАЗЛИВОВ НЕФТИ ПОЧВ (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)

Последствия разливов нефти носят трудно учитываемый характер, поскольку нефтяное загрязнение влияет на многие естественные процессы и взаимосвязи, существенно изменяет условия обитания всех видов живых организмов и накапливается в биомассе.

Нефть и нефтепродукты нарушают экологическое состояние почвенных покровов, в целом деформируют структуру биоценозов. В результате интоксикации легкими фракциями нефти почвенные бактерии, а также беспозвоночные почвенные микроорганизмы и животные не в состоянии качественно выполнять свои важнейшие функции.

1.1. Влияние нефтяного загрязнения

Наиболее распространенным загрязнителем окружающей среды являются нефтяные углеводороды и в основном загрязнение почв связано с деятельностью человека при добыче (разливы и выбросы сырой нефти, газа, пластовых вод, газа из газовых шапок нефтяных залежей, буровых растворов), транспортировке (аварии на нефтепроводах), различных нарушениях хранения и применения нефтепродуктов. Причиной выделения нефтяного загрязнения в отдельный вид является сложный состав нефти (сотни различных соединений углеводородов и гетероциклических соединений, содержащих азот, кислород, серу и микроэлементы) и ее одномоментным поступлением в среду.

Сильными токсикантами по отношению к растительности являются содержащиеся в нефти летучие ароматические углеводороды и некоторые растворимые в воде фракции нефти (Griffin, Calder, 1977; Hadson, Azam, Lee, 1977). При непосредственном контакте с растениями нефть и нефтепродукты выступают, по существу, как сильнодействующие гербициды (Hutchinson, Freedman, 1978; de

Ong et al, 1972). При этом могут возникать сильные патологии приводящие к гибели растений.

Ингибирование развития растений может стать причиной изменения их внешнего вида. Известны явления гигантизма и карликовости, появления уродливых форм (Грищенко, 1982; de Ong et al, 1972). Считается, что карликовость растений является ответной реакцией на сильное загрязнение и, как правило, сопровождается уменьшением корневой системы (Серебряков, 1960). Появление уродливых форм некоторые исследователи связывают также с влиянием 3,4-бензапирена.

Попадание на почвенный покров приводит к глубокому изменению все основные почвенные характеристики – морфологические, физические, химические и биологические, что приводит к потере плодородия и отчуждения из землепользования, загрязнение водоемов, грунтовых вод, грунтов и негативным влиянием на живые организмы.

Гидрофобные частицы нефти и нефтепродуктов, пропитывая почву, обволакивая листья, стебли и корни растений, проникая сквозь мембраны клеток, ингибируют развитие растений. Обволакивание корней резко ухудшает поступление к ним влаги, в результате чего растения могут засохнуть. Кроме того, нарушаются азотный режим, процессы нитрификации и аммонификации. Подавление нитрификации приводит к азотному голоданию. Считается, что именно нарушение корневого питания растений является главной причиной многих их патологий.

1.1.1. Состав нефтей

Нефть представляет собой маслянистую густую жидкость различного цвета коричневого или зеленоватого оттенка и различной степени прозрачности, реже она бесцветная или желтая. В нефтях установлено более 450 индивидуальных соединений. Число углеродных атомов в углеводородах нефти колеблется от C₄ до

C₆₀. Все УВ нефтей могут быть условно разделены на две основные группы: 1) преобразованные углеводороды, утратившие черты строения, свойственные исходным биоорганическим молекулам и 2) реликтовые углеводороды, или хемофоссилии (углеводороды, сохранившие характерные черты строения исходных биологических молекул, независимо от того, присутствовали ли эти углеводороды в исходной биомассе или образовались позднее из других соединений) (Гольдберг, Газда, 1984). Доказательством биоорганической природы нефтей является высокая концентрация хемофоссилий в нефтях, также реликтовые углеводороды используются как индикаторы условий осадконакопления для определения источников образования тех или иных месторождений (Тиссо, Вельте, 1981).

Групповой углеводородный состав нефтей может сильно варьировать. Выделяют нефти: парафиновые, парафино-нафтеновые, нафтеновые, парафино-нафтенно-ароматические, нафтенно-ароматические, ароматические (Рудин, 1989).

В газо-жидкостной хроматографии все нефти можно разделить на две группы: нефти категории А, на хроматограммах которых проявляются пики нормальных и изопреноидных алканов, и нефти категории Б, на хроматограммах которых эти пики отсутствуют (Забродина и др., 1978).

Нефти типа А¹ - это нефти с высоким содержанием бензиновых фракций и с относительно низкой смолистостью. В составе насыщенных углеводородов значительную роль играют углеводороды ряда метана, содержание которых в пересчете на насыщенную часть фракции составляет 40-70%. Встречаются во всех нефтегазовых провинциях России. Для нефти типа А²- характерно преобладание изопреноидных алканов (1 – 6%) над нормальными (0,5 - 5%). Встречаются они реже и в основном в кайнозойских отложениях на глубинах 1500-2000 м.

В нефтях типа Б преобладают циклоалканы, содержание которых изменяется от 60-75%. Нефти типа Б² имеют нафтенный и парафино-нафтенный состав, отличие в высоком содержании циклоалканов – 60 – 75%. Нефти типа Б¹ содержат мало легких фракций. Для нефтей этого типа характерно полное

отсутствие нормальных и изопреноидных алканов и малое количество других разветвленных алканов (Петров, 1984; Сафонова, 1980,).

Элементный состав. В основном нефть состоит из углерода (83-87%) и водорода (12-14%). Главная часть кислорода, азота и значительная часть серы сосредоточены в наиболее высокомолекулярной части нефти – в асфальтово-смолистых веществах. Все три элемента обычно входят в состав одних и тех же сложных молекул. Также в золе нефтей обнаружено в небольших количествах Si, Al, Fe, Ca, Mg, V, Ni, Cu, Sr, Ba, Mn, Cr, Co, B и некоторые другие. Общее содержание микроэлементов в нефти – это сотые и десятые доли процента. Основная их часть содержится в смолах и асфальтенах.

Физические свойства нефтей. Плотность нефти зависит от состава. Чем плотнее нефть, тем более высокие удельные веса имеют и их однородные фракции, т.е. продукты отгона при одних и тех же условиях. Нефть становится более вязкой от продолжительного действия на нее воздуха и света, так как более летучие испаряются, отчасти же происходит и химическое изменение нефти. Этим и объясняется появление тяжелой нефти на выходах и превращение ее в вязкую массу.

В течение нескольких дней недель нефть может потерять при обыкновенной температуре в весе до 35%, при этом уменьшается и содержание легких фракций. Испаряется нефть тем легче, чем она богаче водородом и беднее углеводом; следовательно, парафиновые нефти легче, чем нафтеновые. При повышении температуры увеличивается и испаряемость.

Углеводороды (УВ) нефти различных месторождений кипят при разных температурах. Бывает тяжелые нефти имеют и более высокую температуру вспышки, т.е. температуру, при которой газы, поднимающиеся из нефти и смешанные с воздухом, вспыхивают при приближении огня, при чем нефть не загорается. Температура вспышки, варьирует в очень значительных пределах, от -

16,7° до +100° и выше; более тяжелые нефти имеют вообще и более высокую вспышку, но исключений так много, что прямой зависимости между этими свойствами нет.

При атмосферном давлении и температуре большая часть углеводородов нефти растворимы друг в друге в любом количестве. Исключение - некоторые высококипящие соединения как парафин, асфальт; повышение температуры повышает их растворимость; как известно, при снижении температуры парафин из нефти выделяется, т.е. смесь становится неоднородной. То есть нефть можно как раствор различных углеводородов друг в друге. Нефть и образующие ее углеводороды легко растворимы в любом количестве при обыкновенной температуре в эфире, бензоле, хлороформе и других растворителях. В амиловом спирте растворимость зависит от частичного веса углеводородов, и им можно пользоваться для выделения из нефти некоторых углеводородов путем фракционированного растворения.

Растворимость в воде углеводородов нефти увеличивается в ряду: «ароматические» > циклопарафиновые > парафиновые». С водой нефть может образовать эмульсию - устойчивую неоднородную смесь. Образованию эмульсий способствуют обмывание и чрезвычайно тонкое разделение воды на мельчайшие частицы, поддерживаемые в нефти во взвешенном состоянии. Чем мельче такие частицы, тем они легче и, следовательно, отношение между их поверхностью и объемом и весом больше. Каждый шарик воды окружен оболочкой нефти, которая препятствует их соединению в более крупные и тяжелые частицы, которые могли бы осаждаться скорее. Скорость осаждения воды из такой эмульсии зависит также от вязкости и удельного веса нефти. Практически нефть очень трудно освободить полностью от воды.

Гидрофобные частицы нефти и нефтепродуктов, пропитывая почву, обволакивая листья, стебли и корни растений, проникая сквозь мембраны клеток, ингибируют развитие растений. Обволакивание корней резко ухудшает поступление к ним влаги, в результате чего растения могут засохнуть. Кроме того,

нарушаются азотный режим, процессы нитрификации и аммонификации. Подавление нитрификации приводит к азотному голоданию. Считается, что именно нарушение корневого питания растений является главной причиной многих их патологий. Нефть, содержащая большое количество тяжелых смолисто-асфальтеновых веществ и парафинов при концентрации 7 – 15% значительно ингибирует рост растений (Хомякова, 2003; Фахрудинов, 2005; Ибрагимова и др., 2009; Чугунова и др., 2011)

1.1.2. Воздействие нефтяного загрязнения на экосистемы

Большинство территорий, подвергнувшихся нефтяному загрязнению, нуждаются в проведении рекультивационных работ. Эти работы должны быть научно-обоснованными, что обеспечивает качество и стоимость проводимых работ.

Для разработки научно обоснованных приемов рекультивации (по Д. С. Орлову, Я. М. Аммосовой, 1994) необходимо располагать материалами о распространенности нефтезагрязненных земель, а также оценки степени загрязнения. Вследствие многофакторности воздействия нефти на почву для ее качественной рекультивации важно исследовать изменения большинства почвенных свойств: морфологических, физических, физико-химических, химических и биологических характеристик почвенных горизонтов и строение почвенного профиля; нарушение природного соотношения между отдельными группами и фракциями органического вещества почв; оценить опасность проникновения нефти и нефтепродуктов в нижние горизонты вплоть до почвенно-грунтовых вод; возникновения токсикологически

опасных ситуаций и снижение почвенного плодородия. Основные задачи контроля заключаются в следующем (Флоровская и др., 1981):

- Определение источника в центре разлива нефти и нефтепродуктов;
- Определение потока нефти по площади и по глубине почвенного профиля;
- Определение направления движения потока и возможного ареала дальнейшего загрязнения;
- Идентификация продуктов загрязнения;
- Установления характера сопутствующего загрязнения почв (минеральными солями, токсичными концентрациями ТМ, канцерогенными веществами);
- Установление степени и характера трансформации почв, растительности, загрязнения вод;
- Определение вероятности самоочищения почв и эффективности мероприятий по ликвидации последствий загрязнения
- Оценка ущерба, нанесенного природе и сельскому хозяйству.

Действие легких и тяжелых фракций нефтепродуктов на живые организмы существенно различается. Летучие фракции проявляют эффект сразу после контакта, тяжелые фракции дают эффект позже (Восстановление нефтезагрязненных почвенных экосистем, 1988). Остротоксическими свойствами по отношению к растениям обладает легколетучая фракция нефти, действие жидких углеводородов в большей степени связывается с нарушением водно-воздушного режима почвы.

Исследованиями установлено, что относительно слабое загрязнение почвы нефтью (до 8 л/м²) спустя год не влияет отрицательно на фотосинтетическую функцию высших растений (злаков), тогда как при высоких дозах (более 20 л/м²) в

условиях южной тайги даже год спустя растения не могут еще нормально развиваться на загрязненной почве (Шилова, Макаров, 1985).

При степени загрязнения почв выше 27% семена трав не прорастают, при загрязнении 20-25% проростки усыхают через 1,5 недели после появления всходов, при степени загрязнения до 15% - отстают в своем развитии (Государственный доклад..., 1994-96).

Наблюдения за влиянием нефтяных загрязнений на растительность болот Сургутского Полесья были проведены В.И. Маковским (1988). При этом рассматривался характер протекания восстановительных сукцессий в зависимости от способа ликвидации аварийного разлива. В случае выжигания нефти на поверхности болота частичное восстановление растительности происходит через 10 лет: сначала поселяются травянистые виды (пушица влагалищная, вейник Лангсдорфа), затем создается моховой покров, набор видов которого, однако, существенно отличается от первоначального. При механическом сборе нефти на месте аварийного разлива возможно частичное возобновление вегетации уже на 4-ый год: появляется частичное охвоение сосен, отрастают побеги кустарничков. Вместе с тем, так же как и в первом случае, наблюдается внедрение несвойственных олиготрофным болотам видов (вейники, ситники, осоки, рогоз). Мутагенность, генотоксичность и канцерогенность сырой нефти и продуктов определяется содержанием в них полициклических углеводородов (Brooks et al., 1995; Claxton et al., 1991; Granella et al., 1991, 1995; Reddy et al., 1997; Zemanek et al., 1997; Grant, 1998), причем эти свойства усиливаются при их нитрификации (Tokiwa et al., 1987). В концентрации всего 1% в воде они убивают все водные растения (Currier, Peoples S.A., 1954). Наиболее приоритетным для мониторинга считается бензапирен, который образуется при сгорании нефтепродуктов. Бенз(а)пирен выступает своеобразным индикатором присутствия канцерогенных ПАУ во внешней среде (Шабад, 1979). Хотя показано, что мутагенный эффект смеси продуктов переработки нефти, содержащей полициклические ароматические углеводороды, не всегда коррелирует с содержанием в ней бензапирена (Белицкий

и др., 1989). ПАУ могут разрушаться некоторыми микроорганизмами (Юровская, 1986; Atlas, 1981; Mazzeo et al., 2010) и грибами (Bumpus, 1989; Rudd et al., 1996). По мере биodeградации нефти под воздействием деструкторов наблюдалось значительное снижение ее мутагенности (Bumpus, 1989; Rudd et al., 1996). Но есть одно но - полициклические ароматические углеводороды значительно меньше подвергаются биodeградации, чем одно- и двухкольцевые ароматические соединения (Bates, 1984). Например, бенз(а)пирен разрушается в 1000 раз медленнее нафталина, а четырехкольцевое ароматическое соединение - пирен - разрушается только путем соокисления (Heitkamp, 1988).

Представления о характере трансформации олиготрофных болотных систем при загрязнении нефтью носят лишь самый общий характер. Например, до сих пор неясным остается вопрос о степени подверженности угнетению мхов — одного из основных компонентов болотных фитоценозов.

Так, Н.П. Солнцева (1998), приводя данные о повышенной (по сравнению с другими высшими растениями) чувствительности мхов, одновременно подчеркивает, что именно сосудистые растения больше всего страдают от токсического воздействия нефти.

1.1.3. Трансформация нефти в экосистемах

Содержание нефти в почве резко снижается в первые месяцы после загрязнения (на 40-50%), в дальнейшем это снижение идет очень медленно. В составе нефти остаются наиболее устойчивые высокомолекулярные соединения и полициклические структуры с 5-6 ядрами. Часть таких структур может трансформироваться в канцерогенные соединения, в частности, в бензапирен. Установлено, что естественное разложение полициклических углеводородов и других высокомолекулярных соединений в почвах длится многие годы (Пиковский, 1985; Солнцева и др., 1985).

Основная часть легких углеводородов удаляются с поверхности почв путем испарения и выноса с жидким поверхностным стоком. При этом путем испарения из почвы удаляется от 20 до 40% легких фракций нефти. (Другов, Родин, 2000). Тяжелые УВ и смолисто-асфальтеновые компоненты чаще всего закрепляются в верхних горизонтах почв резко меняя их водно-физические свойства и поставляя в почвенную среду токсичные вещества. При латеральной миграции оставшиеся УВ нефти становятся более плотными, поскольку увеличивается количество нафтен, а в бензиновых фракциях уменьшается содержание парафиновых УВ. Экологическую проблему создают те УВ, которые проникают вглубь почвенного профиля и достигают уровня грунтовых вод (Солнцева, 1998).

При вертикальной миграции нефти, также может увеличиваться плотность нефти. Если же происходит частичный переток из наиболее погруженных горизонтов в верхние, плотность нефтей уменьшается, причем теряют нефти при миграции помимо углеводородных фракций и неуглеводородные компоненты, что обусловлено адсорбцией породы. Ароматические УВ могут потерять до 48 – 53% от исходной массы, а парафиновые УВ удерживаются породами не более 20-30%. (Иванов, 2009)

Снижение содержания нефти происходит в результате физико- химических и микробиологических процессов ее разрушения и минерализации, перевода в нерастворимые или малоподвижные формы. Интенсивность процессов увеличивается с севера на юг. Так в аридной зоне в течение года около 50% нефти превращается в различные продукты ее микробиологического метаболизма, которые остаются на месте. За этот же срок в почвах гумидных ландшафтов при менее глубокой трансформации нефти значительная часть мигрирует вниз по профилю и/или выносится с поверхностными и внутрипочвенными стоками за пределы участков первоначального загрязнения (Пиковский, 1985; Солнцева и др., 1985).

И.Г. Калачников (1987) выделяет три этапа процесса самоочищения почвы:

- 1-й этап (1-1,5 года) характеризуется физико-химическими процессами, включающими вымывание, выветривание, распределение нефтяных УВ по почвенному профилю. Наблюдается активизация микрофлоры.
- На 2-ом этапе (3-4 года) происходит биологическое превращение метанонафтенных и ароматических УВ.
- 3-й этап включает деградацию полициклической ароматики.

Несмотря на значительные изменения нефти в результате физико-химических процессов, ведущее место в разложении нефти играют микроорганизмы.

1.1.4. Особенности трансформации нефтяного загрязнения в условиях Севера

Проявление ответной негативной реакции почв на нефть зависит от почвенно-климатических особенностей территории (агроклиматические показатели, содержание гумуса, гранулометрического состава почвы и т. п.).

Особенно уязвимыми территориями являются северные регионы, это связано с климатическими особенностями данных территорий и их соответствующим использованием. Основная часть земельного фонда тундры является естественным кормовым угодьем для дикого и домашнего оленя и других промысловых зверей и птиц. Насущной проблемой, возникающей в связи с освоением Крайнего Севера нефтяными и газовыми компаниями, становится охрана природы тундры и северной трудновозобновляемой границы лесов, сохранение естественного растительного покрова, защищающего мерзлотные почвы и грунты от вытаивания и развития эрозионных процессов.

Нефть в первые дни загрязнения ингибирует биологическую активность, хотя численность микроорганизмов, особенно нефтеокисляющих, может быть достаточно высокой. В результате исследования микробиологического окисления алифатических углеводородов установлены следующие особенности этого процесса (Ratledge, 1978):

а) алканы ассимилируются многими микроорганизмами — дрожжами, микроскопическими мицелиальными грибами и бактериями, которые используют их как единственный источник питания;

б) алканы легких фракций нефти с короткой углеродной цепью (короче C₉) не ассимилируются вследствие их токсичности, но могут окисляться; углеводороды с более длинной цепью дают увеличение выхода продуктов окисления, но скорость окисления уменьшается;

в) насыщенные углеводороды (а именно ими представлены нефтяные алканы) деградируют легче, чем ненасыщенные;

г) соединения с разветвленной цепью (изоалканы) окисляются менее быстро, чем углеводороды с прямой цепью (н-алканы).

Первоначальные реакции окисления н-алканов — это реакции гидроксилирования с получением первичных н-спиртов. Спирт через альдегид окисляется до монокарбоновой кислоты, которая в свою очередь деградирует с уменьшением углеродной цепи. Роль катализатора в этих реакциях играют ферменты различных микроорганизмов.

Легкие нефтепродукты типа дизельного топлива при первоначальной концентрации в почве 0,5% за 1,5 месяца деградируют от 10 до 90% от исходного количества в зависимости от содержания летучих углеводородов. Более полная деградация происходит в нейтральной среде (64,3-90% при pH 7,4), чем в кислой (до 18,8% при pH 4,5) (Verstraete et al, 1976).

Циклические углеводороды с насыщенными связями окисляются очень трудно. Биodeградацию циклоалканов затрудняют их малая растворимость и отсутствие функциональных групп.

Циклогексан и другие незамещенные циклоалканы могут окисляться микроорганизмами, растущими на другом субстрате, например, на нормальных алканах (механизм соокисления) (Trudgill, 1978).

Основные продукты окисления нафтенных углеводородов — кислоты и оксикислоты. В ходе процесса уплотнения кислых продуктов частично могут

образовываться продукты окислительной конденсации — вторичные смолы и незначительное количество асфальтенов.

Ароматические углеводороды трудно поддаются разрушению. Наиболее устойчивы к окислению голоядерные структуры, при обычных температурах окружающей среды они практически не окисляются. Бензол окисляется ферментами (диоксигеназа) в катехол, который подвергается затем дальнейшему окислению с распадом кольца. Алкилзамещенные ароматические углеводороды, которые составляют основную часть ароматических углеводородов нефти, легче поддаются окислению, чем их полиядерные гомологи. В первую очередь окислению подвергаются алифатические цепи, причем, чем длиннее цепь, тем она легче окисляется. В метаболизме алкилзамещенных моно- и диароматических углеводородов участвуют бактерии рода *Pseudomonas*, так же дрожжи родов *Gandidai* и *Torulopsis*. Процесс окисления метальных групп катализируется тремя ферментами: гидроксилазой (образование спирта), спирт-дегидрогеназой (образование альдегида), альдегид-дегидрогеназой (образование кислот) (Алексеева и др., 2000). Процессы окисления и распада высокомолекулярных органических соединений, находящихся в составе нефти при атмосферных температурах идут очень медленно (Пиковский, 1988). Они надолго могут запечатать все поры почвенного покрова, лишив почву свободного влагообмена и дыхания, что приводит к деградации биоценоза

Одни из немногих исследований, касающихся влияния нефти на болотные биогеоценозы, были проведены ГУП «Комимелиоводхозпроект». Опытные работы проводились в течение трех лет на нефтеразливах Усинского района Республики Коми и в лабораторных условиях. Было установлено, что при содержании нефти в торфяной почве 254 г/кг почвы семена злаковых многолетних трав не дают всходов. При нефтезагрязненности 140 г/кг почвы даже при внесении достаточного количества минеральных удобрений полевая всхожесть семян снижается в 2,5-2,6 раза, а появление единичных всходов задерживается на 4-5 дней. Дальнейшая вегетация растений выявляет их сильную угнетенность, а вес зеленой массы через

2,5 месяца вегетации составил 0,4% от таковой на чистом торфянике. С другой стороны, внесение NPK и извести на олиготрофном торфянике полностью восстанавливает биопотенциал почвы, если ее исходная нефтезагрязненность не превышает 10 г/кг почвы. Интенсивность вегетации растений в этом случае аналогична вегетации растений на чистой почве.

1.1.5. Роль почвенного покрова в трансформации нефти

Формирование молодых почв при естественном зарастании и проведении рекультивационных работ в экосистемах техногенных ландшафтов, возникающих при добыче и переработке полезных ископаемых, происходит, как правило, по типу зональных (Махонина Г. И., 1974; Трофимов С. С. и др., 1977). Накопленный С. С. Трофимовым и др. (1986) значительный материал позволяет утверждать, что в состав органического вещества молодых почв действительно входят гумусовые кислоты, обладающие всеми атрибутивными свойствами (по Д. С. Орлову, 1974): растворимостью в щелочах и осаждающими растворами кислот при подкислении щелочных экстрактов, способностью к коагуляции электролитами, имеющими электронные спектры поглощения в видимой и УФ-области, типичные для гуминовых кислот, выделенных из полноразвитых почв.

Повышенная восприимчивость к загрязнению почв нефтью и нефтепродуктами, как указывают Н.П. Ильин и др. (1982), связана с тем, что интенсивность процессов биodeградации нефти прямо пропорциональна количеству поступающего в почвы тепла и имеющихся в них элементов питания. Нефть может находиться в почвах в 3-х формах (Другов, Родин, 2000): в пористой среде - в парообразном и жидком лёгкоподвижном состоянии, в свободной или растворённой водной или водно - эмульсионной фазе; в пористой среде и трещинах - в свободно неподвижном состоянии, играя роль вязкого или твердого цемента между частицами и агрегатами почвы, в сорбированном состоянии, связанном на

частицах горной породы или почвы, в том числе гумусовой составляющей почв; в поверхностном слое почвы или грунта в виде плотной органоминеральной массы.

Нефтяное загрязнение является комплексным, поскольку в нефти всегда содержится некоторое количество тяжёлых металлов, ртути, радиоактивных элементов. Следует также заметить, что в отличие от других видов химического загрязнения, где поступление загрязняющих веществ происходит, как правило, постепенно, нефть попадает в почвы в основном в результате разливов, единовременно и в большом количестве. Поэтому в ряде случаев, например в торфяных почвах, имеет место ситуация, когда масса нефти в образце превышает массу собственно почвенного материала, при этом нефть может проникать на большую глубину (Трофимов, Розанова, 2002).

В почве происходит постоянная трансформация и перераспределение органического вещества нефти. Как свободные, так и малоподвижные формы нефти отдают летучие фракции в атмосферу, а растворимые соединения в воду.

Эти процессы не прекращаются со временем, так как происходят микробиологические процессы трансформации нефтей с образованием летучих и водорастворимых веществ. В загрязнённых почвах наблюдается уменьшение поглотительной способности, утрата поглотительной способности связана с обволакиванием почвенных коллоидов нефтяной плёнкой (Трофимов, Розанова, 2002).

Нефть и нефтепродукты вызывают практически полную депрессию функциональной активности флоры и фауны. Ингибируется жизнедеятельность большинства микроорганизмов, включая их ферментативную активность. Резко изменяется водопроницаемость вследствие гидрофобизации, структурные отдельности не смачиваются, а вода как бы "проваливается" в нижние горизонты профиля почвы; влажность уменьшается. Как следствие этого - выпадение одного из главных звеньев ценоза - растительности (Алехин и др., 1998).

Излившиеся на поверхность высокие концентрации солей натрия, содержащиеся в сопутствующих водах, могут достигать токсичных для растений

концентраций (Солнцева и др., 1985; Розанова и др., 1974). Техногенный галогенез является причиной гибели или угнетения растительного покрова даже по прошествии многих лет после загрязнения (Гайнутдинов и др., 1982). Восстановление биологической, микробиологической, биохимической активности почв зависит от кратности галогенеза и не происходит полностью даже через 10-25 лет (Артемьева и др., 1988; Демиденко, Демурджан, 1988).

1.2. Изменение агрофизических и агрохимических свойств, водного и температурного режимов почв под влиянием нефтяного загрязнения

Загрязнение почв сырой нефтью и нефтепродуктами – предмет внимания огромного числа ученых всего мира, прежде всего, из-за высоких рисков для природы. Так, влияние нефти на физические свойства почвы было исследовано Ewetola E. Abosede (Abosede, 2013) в Effunrun, Warri, Delta State, Nigeria. Был проанализирован верхний слой почвы на трех глубинах и сравнен с контрольными образцами. Общая пористость почвы и содержание макропор было на 7,84% и 17,6%, соответственно, выше в незагрязненных образцах, чем в загрязненных. Исследование показало, что нефть может оказать влияние на поры внутри почв. Следовательно, это может привести к нарушению аэрации и инфильтрации воды в почве и ингибированию роста растений. Сырая нефть, которая намного плотнее воды, может существенно или полностью ограничить фильтрацию воды. В то же время, нефть не оказала влияние на распределение и содержание различных гранулометрических фракций. Аналогичный результат был получен Маринеску и др. (Marinescu, 2011), который не наблюдал никаких различий в содержании фракции глины между загрязненными и незагрязненными почвами. Для того же района Нигерии Okonokhua и др. (Okonokhua, 2007) изучал влияние отработанного моторного масла (SEO) на свойства почвы и рост кукурузы (*Zea Mays L.*). Использовали пять концентраций (0,0; 0,2; 0,4; 0,6 и 0,8 л / кг) отработанного масла. Масло наносили на почву на четвертую неделю после высева

кукурузы. Анализ почвы показал, что SEO не вызвал изменений структуры почвы, повлияв только на химические свойства. Содержание органического углерода, N и Mg в загрязненных почвах увеличилось по сравнению с контролем, а содержание фосфора упало. Содержание тяжелых металлов (Fe, Cu, Zn и Pb) увеличивается с увеличением концентрации масла. Урожайность зерновых растений на загрязненных почвах была значительно ниже, растения были ниже и слабее.

Isama Lawrence Rank (2013) отмечает, помимо изменения химических показателей в загрязненных нефтью почвах, также и изменение электрической проводимости в этих почвах. Он также отмечает снижение скорости фильтрации воды в загрязненных почвах.

При исследованиях (Uzoijeand, Agunwamba, 2011) в районе реки Нигер с различными концентрациями нефти в почве было показано изменение в поровом пространстве почв, которое влияло на фильтрационные свойства почв, но не было выявлено изменений в агрофизических свойствах почв, таких например, как плотность.

Коллектив китайских ученых (YingWang и др, 2013) изучили последствия загрязнения сырой нефтью в болотах Национального заповедника в провинции Цзилинь, Китая и влияние этого загрязнения на физические и химические свойства этих почв. Концентрации углеводородов нефти в болотных почвах вблизи нефтяных скважин значительно выше, чем в соседних почвах. Нефтезагрязненные почвы болот имеют более низкую температуру почвы, чем в контрольном участке, особенно осенью. Загрязнения сырой нефтью значительно повышает pH почвы до 8,0, и уменьшает содержание доступного фосфора в почве. В России таких много работ, посвященных проблеме изменения свойств почв при нефтяных загрязнениях. Большая часть работ посвящена изменению химических свойств.

Просьянников Е.В и др. изучал воздействие различного загрязнения нефтью на химические и физико-химические свойства серой лесной почвы в условиях юго-запада России (Просьянников, 2012). Был проведен модельный опыт по загрязнению поверхности почвы нефтью из магистрального трубопровода. Нефть разливали в

ячейки пластмассовых кассет (20×20 см), погружённых в почву на 5 см, из расчёта 4; 8; 16; 32 л/м². Нефть на поверхности почвы существенно увеличивало содержание общего углерода (A1 – 9,14%; A1A2 – 5,47%) по сравнению с незагрязнённой почвой (фон: A1 – 3,44%; A1A2 – 2,45%) и общего азота (соответственно 1,32%; 1,11% и 0,92%; 0,63%), за исключением содержания общего азота в горизонте A1A2 при 4 л/м² нефти (0,62% и 0,63%). По мере возрастания количества нефти отмечали тенденцию к увеличению отношения C: N (6,92; 4,92 и 3,74; 3,89). Содержание подвижного фосфора (мг на 100 г) существенно уменьшалось (22,62; 10,37 и 35,10; 11,60). Практически не изменялось содержание (мг на 100 г) обменного калия (16,55; 10,82 и 18,90; 11,20). В горизонте A1 существенно уменьшались рНвод (5,85; 6,35) и, при 16–32 л/м². В горизонте A1A2 существенно уменьшился рНвод (5,88; 6,10). Годичное загрязнение нефтью в горизонтах A1 и A1A2 существенно уменьшало содержание общего углерода при 4 л/м² (соответственно 2,97%; 3,72% и 2,10%; 2,59%), а при 32 л/м² увеличивало его (4,66%; 3,72%; и 3,02%; 2,59%). Содержание общего азота в A1 не изменялось (0,12%; 0,13%), а в A1A2 – снижалось (0,13%; 0,17%). Отношение C: N в A1 уменьшалось при 4–8 л/м² (25,35; 28,61) и увеличивалось при 16–32 л/м² (38,83; 28,61), в A1A2 оно увеличивалось (23,23; 15,23). Содержание подвижного фосфора и обменного калия практически не изменялось (20,85; 18,30 и 9,82; 10,00) и (15,58; 17,70 и 11,08; 10,30). В горизонте A1 существенно не изменялись рНвод (5,19; 5,18). В горизонте A1A2 рНвод. (5,43; 5,53) не изменялся.

Подробное изучение трансформации агрофизических показателей почвы дается в работе Коновалова (2009). Работа проводилась в Баргузинском районе Республики Бурятия в течение 2004 - 2006 гг. на каштановой легкосуглинистой мучнисто-карбонатной почве, искусственно загрязненной нефтепродуктами различных фракций. Вносился бензин (легкая фракция нефти) в дозах 2 л/м² и 4 л/м² и дизельное топливо (конденсированная фракция) в дозе 2 л/м².

Коновалова отмечает неоднозначное влияние загрязнения на агрофизические свойства почвы. В качестве агрохимических показателей были взяты

гранулометрический состав и структура, массовая влажность. Так, гранулометрический состав почвы под влиянием нефтезагрязнений менялся не слишком сильно. Несколько сокращается содержание фракции средней и мелкой пыли. Эта тенденция прослеживается в течение нескольких лет исследования. “Внесение цеолита несколько ослабляет тенденцию изменения гранулометрического состава почвы под влиянием нефтепродуктов. Введение в опыт фитомелиоранта на фоне нефтезагрязнения и внесения цеолитов не оказывает значительного влияния на изменение показателя гранулометрического состава”(цит.по Коноваловой, 2006)

Также изучалась водопрочность почвенной структуры, которая значительно сильнее изменилась под влияние нефтепродуктов. Автор отмечает возрастание водопрочности почвенных агрегатов, с 0,4, до 0,88 при внесении бензиновой фракции нефти в дозе 2 л/м² и до 0,93 при дозе 4 л/м² бензина. Автор предполагает, что при загрязнении дизельным топливом на агрегатах адсорбируются трудноразлагаемые фракции нефти, не допуская воду внутрь агрегатов с их последующим разрушением. “Внесение цеолита в качестве мелиоранта способствует снижению аномально высокой агрегированности и водопрочности агрегатов, и коэффициент водопрочности к концу 3-го года достигает средних величин даже в вариантах с внесением дизельного топлива.”(цит.по Коноваловой, 2006). Как и африканские работы, в работе Коноваловой отмечается снижение фильтрационных свойств загрязненных почв. В течение всего времени исследования для них характерно более низкие значения влажности полевой. “Наибольшее снижение показателя влажности почвы за вегетационный период отмечалось в вариантах с внесением дизельного топлива в качестве загрязнителя и составило в июне 2004 г 8,2%, по сравнению с 9,8% в контроле. Восстановление водно-физических свойств до контрольных при внесении цеолита наиболее активно происходит в первый год опыта” (цит.по Коноваловой, 2006).

В загрязненных почвах увеличивается плотность почвы. При этом увеличение наблюдается и при увеличении дозы, так и вида загрязнителя. Связанная с

плотностью почвы порозность также изменяется. Это приводит к ухудшению режима аэрации, снижается активность микроорганизмов. “Внесение цеолита и фитомелиоранта несколько ускоряет процесс оптимизации агрофизических свойств нефтезагрязненной почвы.” (цит Коноваловой, 2006)

1.3. Технологии и этапы рекультивации нефтезагрязненных земель

Главный фактор, ограничивающий развитие биоты – это суровый климат Севера. Длительное мерзлое состояние почв ухудшает освоение биотой толщи пород. Биоценоотические связи между компонентами экосистемы не только становятся теснее, но и само жизненное пространство уменьшается до небольшого по мощности органогенного слоя, в котором практически замыкается биологический оборот органического вещества, сосредоточена основная масса корней растительного сообщества (80-90% от общей массы корней в пятидесятисантиметровом слое). Это и является хорошо известной причиной легкой уязвимости северных экосистем к техногенным воздействиям, особенно механическим (Герасимова, 1992). При таком структурном строении биогеоценоотической системы возобновление ее на биологически инертном, нередко перегруженном загрязняющими веществами субстрате, идет медленно. Поэтому интенсивные методы восстановления техногенных территорий необходимы для предотвращения эрозионных явлений и ускорения процессов восстановления растительного и почвенного покровов.

Итак, что же такое рекультивация? Под рекультивацией понимается комплекс работ, направленный на восстановление продуктивности и народнохозяйственной ценности нарушенных земель, а также на улучшение условий окружающей среды в соответствии с интересами общества (ГОСТ 17.5.1.01-83). Ее суть - максимальная мобилизация внутренних ресурсов экосистемы на восстановление своих первоначальных функций. Самовосстановление экосистемы и рекультивация представляют собой неразрывный, биогеохимический процесс. Рекультивация - это

продолжение (ускорение) процесса самоочищения, при котором используются природные резервы экосистемы: климатические, микробиологические, ландшафтно-геохимические. Однако, стоит понимать, что некоторые этапы рекультивации (поднятие или снижение рельефа, высаживание нехарактерной для данной местности растительности и др. мероприятия) помимо самого загрязнения ведет к изменению эволюционных процессов рекультивируемой почвы, а при отсутствии должных знаний у исполнителей и вовсе к деградации почвенного профиля.

Мероприятия, относящиеся к рекультивационным, можно разделить на механические, физико-химические и биологические.

1.3.1. Механические

Механическая рекультивация предусматривает либо засыпку нефтяного пятна грунтом, либо удаление наиболее загрязненного слоя почвы с ее последующим вывозом на полигоны отходов, либо перемещение и смешивание загрязненных слоев с незагрязненными в результате перепахивания.

В начальный период разработки и эксплуатации нефтяных месторождений в производственных масштабах применялись лишь самые примитивные методы ликвидации нефтяных разливов: откачка, выжигание нефти, отсыпка нефтезагрязненных участков песком и др. Однако выжигание нефти приводит к окончательной гибели растительности, созданию спекшейся корки на поверхности почвы. Несгоревшая нефть проникает вглубь почвы, попадает в грунтовые и подземные воды. В результате пиролиза образуется большое количество канцерогенных веществ, загрязняющих значительные территории. Засыпка нефтезагрязненного участка слоем грунта, по мнению некоторых исследователей, резко затормаживает физико-химические процессы разложения нефти (испарение, УФ разложение, кислородное окисление), а также препятствует доступу кислорода для активной жизнедеятельности углеводородоксилирующей микрофлоры, что приводит к замедлению окисления и накоплению в почве и грунтовых водах

токсичных закисных соединений, а также канцерогенных ПАУ. При засыпке разлива песком на поверхности образуется песчано-асфальтовая корка, которая наряду с бедностью песчаного субстрата элементами питания препятствует поселению растений. На загрязненных участках, отсыпанных торфом, зарастание травянисто-моховой и древесно-кустарниковой растительностью происходит гораздо быстрее. Однако также прерывается процесс биохимического разложения нефти в погребенной почве. Происходит захоронение в холодных сырых почвах огромных масс загрязняющих веществ, что может привести к непредсказуемым экологическим последствиям.

Вышеперечисленные методы рекультивации не приводят к качественным улучшениям в загрязненных почвах, а в отдельных случаях создают опасность вторичного загрязнения. В связи с этим наилучшим вариантом применения этих методов для рекультивации нефтезагрязненных участков будет их применение в качестве начальных, подготовительных этапов с группой других методов.

1.3.2. Химические

К физико-химическим методам рекультивации нефтезагрязненных почв относят применение различных сорбентов. Так, А.А. Беспалов (2003) считает сорбцию и локализацию (утолщение пленки нефти, гелеобразование, отверждение) наиболее эффективными и экономичными способами ликвидации нефтяных загрязнений как на суше, так и на акваториях, в ряде случаев не имеющими альтернативы. В результате обработки нефтяного пятна происходит значительное сокращение площади разлива (утолщение пленки), отверждение нефти (гелеобразование), превращение ее в резиноподобную массу, легко удаляемую любыми известными механическими средствами. Загущение нефти позволяет надежно локализовать нефтяное пятно. Для этих целей различные исследователи рекомендуют применять различные препараты так например А.А. Беспалов (2003) - препарат "Lidioil", И.Н. Быков и А.И. Быков (2003) - сорбент НПИМ-ЭЛН, В.М.

Мелкозеров и др. (2008) — серию сорбентов «Униполимер», Т.И. Бурмистрова и др. (2003) - мелиорант на основе активированного торфа.

1.3.3. Биологические

Данные научных разработок последних десятилетий в области охраны окружающей среды от загрязнения нефтью и нефтепродуктами свидетельствуют о том, что экологически приемлемой альтернативой физико- химическому методу становится биологический способ очистки загрязненных почв, т.к. механические и физические методы не могут обеспечить полное удаление нефти и нефтепродуктов из почвы, а процесс естественного разложения загрязнений в почвах чрезвычайно длителен.

Существует достаточно обширная группа углеводородокисляющих микроорганизмов, всегда присутствующих в почве, включающая в себя бактерии родов *Arthrobacter*, *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Agrobacterium*, *Alcaligenes*, *Flavobacterium*, грибы родов *Trichoderma*, *Penicillium*, *Aspergillus*, *Mortirella* и дрожжи *Aureobasidium*, *Candida* и *Rhodotorula*, а также различные актиномицеты. Углеводородокисляющие микроорганизмы различных родов различаются по способности разрушать углеводороды разных классов. По устойчивости к биоразложению углеводороды можно выстроить в ряд: нормальные алканы — алканы с разветвленными углеродными цепями — циклоалканы — арены — ПАУ (чем больше бензольных колец, тем более устойчивы к воздействию микроорганизмов). Соответственно, чем тяжелее фракция, тем хуже она поддается биоразложению (Алексеева и др., 2000).

Биоремедиация - комплекс методов очистки вод, грунтов и атмосферы с использованием метаболического потенциала биологических агентов - микроорганизмов, растений, грибов, насекомых, червей и других организмов (BioremediationDiscussionGroup, 2006).

Ex-situ и *in-situ* технологии:

Ex-situ технологии предполагают экскавацию и перемещение загрязненного грунта для очистки на специально оборудованных технологических площадках и /или в биореакторах;

In-situ технологии предполагают очистку почвы непосредственно на месте загрязнения при вовлечении всего биологического потенциала экосистемы и с учетом климатических особенностей региона.

Ex-situ технологии включают компостирование (composting), biopiling, landfarming, landspreading и переработку в биореакторах.

Composting. В процессе компостирования усиление метаболической активности микроорганизмов достигается за счет:

- внесения в очищаемый грунт легкодоступных источников углерода, выполняющих функции дополнительных акцепторов электронов;
- подборка компонентов смеси для обеспечения оптимального соотношения основных биогенных элементов и оптимизации физических свойств очищаемого грунта.

Наиболее активно процессы соокисления УВ протекают в термофильном режиме.

Biopiling

основные технологические этапы:

1. Лабораторные тесты для определения химической природы загрязнителя и оценки его токсичности;
2. Механическое просеивание грунта для его гомогенизации и удаления металлических и пластиковых включений, а также камней;
3. Внесение расчетных количеств источников основных биогенных элементов, ферментов и биологических агентов (консорциумов бактерий и грибов), адаптированных к загрязнителям;
4. Формирование буртов, высотой от 0,8 до 2 метров (в зависимости от предполагаемого способа аэрации) конической или трапецевидной формы.

Landfarming. Суть метода состоит в перемещении загрязненного грунта на специально оборудованные технологические площадки, позволяющие проводить регулярное рыхление грунта и внесение необходимых мелиорирующих добавок (известь, минеральные и/или органические удобрения и т.п.) для стимулирования микробиологических процессов окисления УВ.

Метод Landspreading в целом похож на метод Landfarming, но отличается меньшей интенсивностью и, как правило, ограничивается только рыхлением грунта без внесения удобрений.

In-situ технологии включают: bioventing, biosparging, биостимуляцию (biostimulation), биоаугментацию (bioaugmentation), фиторемедиацию (phytoremediation) и ризоремедиацию (rhizoremediation).

Метод Bioventing предназначен для ликвидации глубоких локальных разливов. Его суть состоит в стимулировании микробиологической активности почвы за счет нагнетаемого в глубокие слои воздуха. Данный метод применяется при невозможности проведения рыхления грунтов или его экскавации. Метод применяется для очистки грунта от легких УВ и не подходит для очистки от топливных масел, мазута и прочих тяжелых фракций.

Очень схож с этим методом так называемый «канадский», который не капризен к температуре окружающей среды, что очень важно в северных широтах, не требует транспортировки грунта и формирования полигонов отходов, не требует инвестиций в специальную технику и постоянного технического персонала (Алешин). Способ очень гибкий, позволяет модифицировать, используя различные материалы, микробиологические препараты, удобрения. Условно его назвали методом «парниковой гряды», потому что в основе метода лежит микробиологическое окисление с естественным повышением температуры — как «горит» силосная куча. На грунтовую подушку шириной 3 метра укладываются змейкой перфорированные пластиковые трубы, которые затем засыпаются слоем гравия, щебня или керамзита, или материала типа «дорнит». На эту пористую подушку сэндвичем укладываются чередующиеся слои нефтезагрязненного грунта

и удобрений. В качестве последнего используется навоз, торф, опил, солома и минеральные удобрения, можно добавлять микробиологические препараты. Гряда укрывается полиэтиленовой пленкой, в трубы подается воздух от компрессора соответствующей мощности. Компрессор может работать или на топливе, или на электричестве – если есть подключение. Воздух распыляется в пористой подушке и способствует быстрому окислению. Трубы можно использовать многократно. Пленка предотвращает охлаждение; если подавать нагретый воздух и дополнительно утеплить гряду торфом или «дорнитом», то способ будет эффективен и зимой. Нефть окисляется практически полностью за 2 недели, остаток нетоксичен и на нем прекрасно растут растения.

Biosparging – это гибридный метод. Сочитает в себе bioventing и нагнетание воздуха в трубы с целью снижения концентрации CO_2 , стимулирования аэробной биоты и увеличение биodeградации.

Biostimulation. Метод основан на стимулировании метаболической активности УВ-окисляющей микрофлоры за счет:

- периодического рыхление грунта, обеспечивающего аэрацию и оптимальный массоперенос поллютантов;
- внесения рыхлящих субстратов и/или биосурфактантов для увеличения площади контакта микроорганизмов и УВ субстрата;
- внесения источников основных биогенных элементов в виде минеральных и/или органических удобрений.

Bioaugmentation – это биостимуляция + интродукция микробных консорциумов, созданных на основе аборигенной микрофлоры или коллекционных штаммов.

Phytoremediation – это биостимуляция + высев растений, устойчивых к загрязнителю и формирующих достаточно мощную корневую систему.

Rhizoremediation – это фиторемедиация + интродукция микробных консорциумов путем предпосевной обработки семян микробными культурами.

Группой ученых (Александров и др., 2001) были проведены лабораторно-вегетационные и полевые опыты в суровых природно-климатических условиях (республика Коми, Усинское месторождение нефти). Суть ее заключается в комплексной оценке эффективности методов биовосстановления нефтезагрязненных земель. Сравнивали эффективность следующих препаратов:

препарат «Родер» (химический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова) ;

препарат «UNI-REM» (ЗАО «Тибет»);

препараты «Бамил» и «Омуг» (ООО НТЦ «Ника»);

серия препаратов «Универсал» (Институт биологии Коми НЦ УрО РАН);

использование торфа и минеральных удобрений (ГУП «Комимелиоводхозпроект»);

препарат «Петролан» (НТО «Приборсервис»).

Результаты, полученные данной группой исследователей, в очередной раз показали, что в зависимости от конкретных условий подходы в методологии проведения работ по биовосстановлению почв должны быть разными. Препараты на органических носителях («Бамил», «Омуг», «Петролан») целесообразно использовать на плотных почвах, бакпрепараты, вносимые дождеванием («UNI-REM», «Родер», «Универсал») наиболее эффективны на структурных субстратах.

Применение препаратов дает ощутимый эффект очистки при загрязнении более 10 г/кг на песчаных почвах, и загрязнении выше 50 г/кг на торфяных. При более низких дозах загрязнения для активизации процессов очищения почв достаточно агротехнических методов.

1.3.4. Особенности рекультивации нефтезагрязненных земель на севере Русской равнины (Север республики Коми)

За рубежом вопросы рекультивации обсуждались в связи с загрязнением нефтью и рекультивацией тундровых оторфованных почв на Аляске (Mckendrick,

Mitchell, 1978). В экспериментальных исследованиях было установлено, что посев трав, сопровождаемый внесением удобрений, особенно эффективен при внесении фосфорных удобрений. В этом случае растительность восстанавливалась интенсивнее, чем при внесении других видов удобрений (азотных, калийных, кальциевых и магниевых).

Основными объектами исследований в области рекультивации в России служат нефтезагрязненные торфяные почвы Печорского бассейна (республика Коми) и Приобья (Западная Сибирь). Большая часть работ посвящена анализу результатов рекультивации, проведенных с использованием различных агрокультуртехнических приемов: посев трав, внесение органических и минеральных удобрений, обработка микробными препаратами, фрезерование. Попытки использовать на Севере принципы и приемы, разработанные для южных территорий, оказались практически неэффективными в суровых почвенно-климатических условиях. В частности, такой прием, как землевание – нанесение гумусированного слоя на нарушенную поверхность, в условиях Севера неприемлем. Это связано с особым строением почв таежной и тундровой зон, в которых под слоем моховой подстилки малой толщины практически отсутствует минеральный гумусовый слой (Арчегова, 1985; Забоева, 1975.).

По общему накопленному в последнее десятилетие 20 века опыту рекультивации, Б.Е. Чижов (2000) составил практические рекомендации, которые по своей сути составляют основу технологии рекультивации нефтезагрязненных земель в Западной Сибири. В ее основе лежит представление о стадийности процессов трансформации нефтяных загрязнений. Ниже будут изложены основные положения практических рекомендаций, составленных Б.Е. Чижовым.

В основу рекультивации загрязнённых нефтью земель положен метод очистки их на месте разлива, основывающийся на способности почв к самоочищению за счёт испарения, вымывания, атмосферного окисления нефти под действием солнечной радиации и биodeградации. Суть рекультивационных работ состоит в ускорении естественных процессов самоочищения почв посредством

выполнения мероприятий, направленных на смягчение основных негативных факторов, вызываемых нефтезагрязнением (табл. 3).

Таблица 1. Факторы, лимитирующие процессы биологического разложения нефти в почвах и методы их нейтрализации (Чижов, 2000).

Лимитирующие факторы	Основные негативные воздействия на процессы биологического разложения нефти	Рекомендуемые мероприятия
Плѐнка нефти толщиной более 5мм, битуминизированная нефтяная корочка на поверхности почвы	Ухудшение аэрации, закисление подповерхностных слоев почвы, непригодность почв для семенного возобновления растений	Сбор и удаление остаточной свободной нефти сорбентами. Отмывка переувлажнённых почв от остаточной нефти струями воды. Разрушение тонкой нефтяной корочки поверхностным рыхлением почв.
Высокая концентрация углеводородов в поверхностных слоях почвы: более 20% в подзолисто-	Подавление жизнедеятельности почвенной микрофлоры и мезофауны. Ухудшение физических свойств почвы, увеличение гидрофобное™ песчаных, снижение проницаемости	Срезание и удаление сильно загрязнённого нефтью поверхностного слоя торфяных почв. Внесение в минеральные почвы торфа с последующим перемешиванием его с

глеевых, более 40 % в торфяных почвах	суглинистых, ухудшение аэрации, закисление почв. Непригодность почв для высших растений.	загрязнённым грунтом. Перемешивание фрезерованием замазанных поверхностных слоев торфяных почв с менее загрязнёнными нижними слоями торфа на глубину не более 30 см. Регулярное рыхление почв фрезерованием
Избыточное застойное переувлажнение болотных почв	Дефицит кислорода, высокая кислотность, неблагоприятный температурный режим почв	Регулярное рыхление почв фрезерованием. Формирование микрорельефа из гребней и борозд. Высев гидрофильных трав- мелиорантов
Недостаточное увлажнение песчаных и супесчаных почв	Подавление жизнедеятельности нефтеокисляющих микроорганизмов, затруднение семенного возобновления растений	Внесение торфа с последующим перемешиванием его с загрязнённой почвой, дождевание
Высокая кислотность почв	Подавление жизнедеятельности нефтеокисляющих	Внесение известняковой или доломитовой муки и других раскислителей.

	бактерий	Улучшение аэрации почв регулярным рыхлением или формированием микрорельефа из гребней и борозд на переувлажнённых почвах
Хлоридно-сульфатное засоление почв	Подавление жизнедеятельности нефтеокисляющей микрофлоры, непригодность почв для древесных и травянистых растений	Рассоление почв естественным путём, затоплением или другими методами.
Заиление почв шламом	Ухудшение аэрации, засоление почв + загрязнение	Внесение торфа с последующим перемешиванием его с загрязнённой почвой. Регулярное рыхление почв фрезерованием
Накопление промежуточных продуктов распада нефти	Закисление почв накапливающимися органическими кислотами	Внесение известняковой или доломитовой муки и других раскислителей. Высев трав-мелиорантов
Бедность почв усвояемыми формами калия, азота, фосфора	Подавление жизнедеятельности нефтеокисляющих микроорганизмов, угнетённое развитие	Внесение азотных, Фосфорных, калийных, или комплексных минеральных удобрений

		растений-мелиорантов	
Бедность почв нефтеокисляющи микроорганизмами	ми	Медленная биodeградация нефти	Внесение накопительных культур аборигенных микробных сообществ или промышленных микробиологических препаратов

Среди исследований, проведенных в последнее время на севере Европейской части России, необходимо отметить подробное изучение сотрудниками Института биологии Коми НЦ УрО РАН состояния растительности и почвенной биоты на рекультивированной нефтезагрязненной торфяно-глеевой почве Верхне-Возейского месторождения в Усинском районе Республики Коми (Посттехногенные экосистемы Севера, 2002).

После нефтяного загрязнения, произошедшего в 1995 г., была осуществлена механическая уборка нефти, приведшая также к частичному захоронению торфяного горизонта суглинистой глеевой массой и созданию техногенного микрорельефа. Остаточное загрязнение торфа при этом составило 20-30%. В течение 1-го вегетационного сезона применение бактериального препарата на фоне полного минерального и органического удобрения способствовало снижению уровня загрязнения до 9-20% в зависимости от варианта опыта. За три сезона указанные мероприятия обусловили снижение содержания нефти на 60-80% от исходного, причем трав составило 70-80%, а корневые системы сформировали дернину мощностью 5-7 см. Отмечая в целом успешный ход рекультивации, авторы исследования в то же время обращают внимание на возможность повторного загрязнения нефтью верхнего слоя почвы путем ее «всплытия» во время весеннего паводка из нижележащих слоев торфа, не затронутых деятельностью почвенной биоты. Н.Н. Терещенко с соавторами (2002) предлагают

вносить в торфяные почвы, вместо бактериальных препаратов, алюмосиликатные минералы-мелиоранты, позволяющие при одновременном применении минеральных удобрений активизировать аборигенную нефтеокисляющую микрофлору.

Многолетние комплексные исследования ученых Института биологии Коми НЦ УрО РАН на Северо-Востоке европейской части России, связанные с разработкой теоретических основ природопользования, позволили разработать концепцию ускоренного «природовосстановления» на Крайнем Севере (Арчегова и др., 2012; Экологические принципы ..., 2009.; Экологические основы ..., 2006.; Арчегова, 1998.; Биологическая рекультивация..., 1992). Задача системы «природовосстановления» - восстановление экосистемы в полном объеме, а не ее отдельных компонентов. Как правило, рекультивацию рассматривают как ускоренный возврат нарушенных земель в хозяйственное использование. Приемы «природовосстановления» должны соответствовать конкретным климатическим условиям и региональному направлению экономики, т.е. исходить из особенностей региона. Для условий Севера на основе концепции «природовосстановления» разработана двухэтапная система практических приемов управляемого «природовосстановления»:

1 этап «интенсивный» (3-5 лет) Задача – противоэрозионная защита техногенного субстрата, развитие нового почвенного продуктивного слоя, приемы – внесение удобрений, посев многолетних трав, специальные приемы – очистка от нефтезагрязнений, поллютантов;

далее промежуточная(луговая) экосистема;

2 этап «ассимиляционный» (20-25 лет) Ускоренный самовосстановительный процесс. Мониторинг состояния растительного сообщества и почвы в целях предотвращения повторного техногенного нарушения.

Заключительная фаза это - вторичная (восстановленная) зонального типа экосистема.

В рамках проверки данной концепции проведены долговременные опыты по восстановлению экосистем в подзоне крайнесеверной тайги (Лиханова и др., 2006) и тундре (Панюков и др., 2005), подтвердившие эффективность разработанной практической системы «природовосстановления».

1.4. Правовое регулирование рекультивации нефтезагрязненных земель в России (РФ).

1.4.1. Законодательство РФ

Несмотря на то, что в РФ до сих пор повсеместно сохраняется пользовательский и безответственный тип хозяйственной деятельности в области природных ресурсов, пришло понимание того, что загрязнение почв и почвенного покрова в целом, в том числе нефтесодержащими отходами (нефтью и нефтепродуктами) уже сейчас стало одной из самых острых экологических проблем РФ, а в будущем грозит серьезнейшими последствиями для здоровья будущих поколений и существования экосистем страны. Подтверждением этому служат многочисленные и иногда весьма результативные совещания и круглые столы с участием как руководства страны и специалистов и научных деятелей с одной стороны, так и представителей бизнеса и производств с другой. Один из последних таких совещаний стал «круглый стол» 21 марта 2013 в Совете Федерации (далее СФ) на тему «Проблемы рекультивации земель, загрязнённых нефтесодержащими отходами» при организаторстве Комитета СФ по аграрно-продовольственной политике, который дополнил требования Постановления Правительства РФ от 23.02.1994 № 140 «О рекультивации земель, снятии, сохранении и рациональном использовании плодородного слоя почвы» и Основные положения о рекультивации земель, снятии, сохранении и рациональном использовании плодородного слоя почвы, утвержденных Приказом Минприроды России и Роскомзема от 22.12.1995 № 525/67.

Исходя из итогового документа этого заседания очевидно понимание руководящими органами страны всей тяжести ситуации в области защиты природных ресурсов РФ. Однако особо отмечается, что принятие законодательных актов по защите природной среды РФ от нефтезагрязнений невозможно без данных о мониторинге загрязненных территорий, учета площади, анализа уже имеющегося опыта рекультивации и стадии загрязнения. И это действительно так, но на данный момент нет перечня нуждающихся в охране и восстановлении территорий.

Кроме того, в законодательной области по охране среды на данный момент приняты следующие документы, регулирующие нефтедобычу:

- постановление Правительства Российской Федерации № 240 «О порядке организации мероприятий по предупреждению и ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов на территории Российской Федерации» от 15 апреля 2002 г.
- постановление Правительства Российской Федерации № 613 «О неотложных мерах по предупреждению и ликвидации аварийных разливов нефти и нефтепродуктов» от 21 августа 2000 г.

Важно отметить в этих документах то, что ответственность за рекультивацию земель, подвергшихся загрязнению, возложена на компании-добытчики нефти. «Организации, на территории которых находятся источники ... загрязнения, должны организовать контроль и наблюдение за загрязненным объектом окружающей природной среды и его возможным влиянием на объекты жизнеобеспечения населения, а также осуществить необходимые мероприятия». (Постановление Правительства РФ от 15 апреля 2002 г. N 240)

«Работы по ликвидации загрязнения нефтью и нефтепродуктами объектов окружающей природной среды, произошедшего в результате хозяйственной деятельности прошлых лет, осуществляются в соответствии с проектами (программами) рекультивации земель, восстановления объектов окружающей природной среды, имеющими положительное заключение государственной экологической и санитарно-эпидемиологической экспертизы в соответствии с

законодательством Российской Федерации.” Постановление Правительства РФ от 15 апреля 2002 г. N 240

Принятие этих постановлений стало серьезным шагом в области охраны окружающей среды в РФ, т.к. в них прописывается не только необходимость ликвидации нефтяных загрязнений, но и необходимость контроля за потенциальными источниками загрязнения окружающей среды. Важно, что вслед за постановлением 140 от 1994 г и приказом 1995 г еще раз прописывалось то, что именно нефтедобывающие компании обязаны следить за своим производством и выполнять рекультивацию земель, если это необходимо. По этим документам, нарушенный при эксплуатации или в следствии другой деятельности слой плодородной почвы, подлежит обязательной рекультивации.

Последовательность рекультивации на местах прописывает также целый комплекс нормативно-правовых документов. Вот некоторые основные документы, исключая местное законодательство (в каждом субъекте РФ существует своя нормативно-правовая база, не противоречащая основному законодательству, но вносящая коррективы в процесс рекультивации в соответствии с особенностями местности):

- Земельный кодекс Российской Федерации от 25 октября 2001 г. N 136-ФЗ (последнее изменение 29 декабря 2014 г.) п. 1.6 статья 13 предписывает обязанность собственников земельных участков, землевладельцев и арендаторов земельных участков, землепользователей, проводить мероприятия по рекультивации нарушенных земель, своевременному вовлечению земель в оборот, восстановлению плодородия почв.
- Водный кодекс Российской Федерации от 3 июня 2006 г. N 74-ФЗ (последнее изменение 31 декабря 2014 г.)
- Федеральный закон от 23 ноября 1995 г. N 174-ФЗ "Об экологической экспертизе" (последнее изменение 12 февраля 2015 г.).

- Федеральный закон от 10 января 2002 г. N 7-ФЗ "Об охране окружающей среды" (последнее изменение 29 декабря 2014 г.). П. 3 статья 37 закона предписывает при осуществлении строительства и реконструкции зданий, строений, сооружений и иных объектов принимать меры по охране окружающей среды, восстановлению природной среды, рекультивации земель, благоустройству территорий в соответствии с законодательством Российской Федерации.
- Федеральный закон от 4 мая 1999 г. N 96-ФЗ "Об охране атмосферного воздуха" (последнее изменение с 1 января 2015 г.)
- Федеральный закон от 24 июня 1998 г. N 89-ФЗ "Об отходах производства и потребления" (последнее изменение от 29 декабря 2014 г.)
- Федеральный закон от 30 марта 1999 г. N 52-ФЗ "О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения" (последнее изменение от 1 января 2015 г.)
- Федеральный закон от 21 декабря 1994 г. N 68-ФЗ "О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера" (последнее изменение от 14 октября 2014 г.).
- Федеральный закон от 24 апреля 1995 г. N 52-ФЗ "О животном мире" (последнее изменение от 7 мая 2013 г.)
- СНиП 11.01-95 «Инструкция о порядке разработки, согласования, утверждения и составе проектной документации на строительства предприятий, зданий и сооружений». Пособие к СНиП 11.01-95 «По разработке раздела проектной документации «Охрана окружающей среды» (издание 2010г.).
- ГОСТ 17.5.1.01-83 (2002) Рекультивация земель. Термины и определения (Рекультивация земель — это комплекс работ, направленных на восстановление продуктивности и народно-хозяйственной ценности

нарушенных земель, а также на улучшение условий окружающей среды в соответствии с интересами общества)

- ГОСТ 17.5.3.04-83 (1986) Общие требования к рекультивации земель
- ГОСТ 17.5.3.05-84 (2002) Рекультивация земель. Общие требования к землеванию
- ГОСТ 17.5.1.02-85 Классификация нарушенных земель для рекультивации (Выбор направлений рекультивации)
- ГОСТ 17.5.1.03-86 (2002) Классификация вскрышных и вмещающих пород для биологической рекультивации земель
- ГОСТ 17.5.3.06-85 (2002) Охрана природы. Земли. Требования к определению норм снятия плодородного слоя почвы при проведении земляных работ.
- ГОСТ 17.4.3.02-85 (2003) Охрана природы. Почвы. Требования к охране плодородного слоя почвы при производстве земляных работ.
- ГОСТ 17.5.3.06-85 Требования к определению норм снятия плодородного слоя почвы при производстве земляных работ
- ВСН 179-85 Инструкция по рекультивации земель при строительстве трубопроводов
- РД 39-00147105-006-97 Инструкция по рекультивации земель, нарушенных и загрязненных при аварийном и капитальном ремонте магистральных нефтепроводов
- Инструкция по проектированию, эксплуатации и рекультивации полигонов твердых бытовых отходов. 1996
- ТСН 30-308-2002 Проектирование, строительство и рекультивация полигонов твердых бытовых отходов в Московской области.
- РД 34.02.202-95 Рекомендации по рекультивации отработанных золошлакоотвалов тепловых электростанций

- РД 07-35-93 Методические указания по организации и осуществлению контроля за горнотехнической рекультивацией земель, нарушенных горными разработками
- ВРД 39-1.13-058-2002 Применение бентонитовых составов в рекультивации техногенных песчаных субстратов на северных месторождениях.
- Методические рекомендации по выявлению деградированных и загрязненных земель. 1995

“Согласно п. 1.2 ГОСТ 17.5.3.04-83 «Охрана природы. Земли. Общие требования к рекультивации земель» разработка проектов рекультивации нарушенных земель проводится с учетом следующих факторов:

- природные условия района (климатические, педологические, геологические, гидрологические, вегетационные);
- расположение нарушенного (нарушаемого) участка;
- перспективы развития района разработок;
- фактическое или прогнозируемое состояние нарушенных земель к моменту рекультивации (площадь, форма техногенного рельефа, степень естественного зарастания, современное и перспективное использование нарушенных земель, наличие плодородного слоя почвы и потенциально плодородных пород, прогноз уровня грунтовых вод, подтопление, иссушение, эрозионные процессы, уровень загрязнения почвы);
- показатели химического и гранулометрического состава, агрохимические и агрофизические свойства, инженерно-геологическая характеристика вскрышных и вмещающих пород и их смесей в отвалах в соответствии с требованиями ГОСТ 17.5.1.03-86 «Охрана природы. Земли. Классификация вскрышных и вмещающих пород для биологической рекультивации земель»;
- хозяйственные, социально-экономические и санитарно-гигиенические условия района размещения нарушенных земель;

- срок использования рекультивированных земель с учетом возможности повторных нарушений;
- охрана окружающей среды от загрязнения ее пылью, газовыми выбросами и сточными водами в соответствии с установленными нормами ПДВ и ПДК;
- охрана флоры и фауны.” (цит. по Будиной, 2013)

Постановления регламентируют затраты на рекультивацию земель, которые включают в себя все работы, в т.ч. связанные с проектно-изыскательской деятельностью, всевозможными лабораторными и полевыми работами, работами по непосредственно рекультивации и приемке этих работ. Однако, проводимые компаниями-разработчиками месторождений рекультивационные работы часто, особенно если это отдаленные места, где затруднен контроль со стороны государства, не обеспечивают надлежащее качество рекультивации. Участки почвы так и остаются под нефтяными пятнами, теряют свою плодородную способность. Поэтому законодательством предусмотрен обязательный мониторинг работ по рекультивации независимыми организациями, которые имеют аккредитацию на выполнение комплекса работ по оценке эффективности проведенных рекультивационных мероприятий по восстановлению нарушенных территорий (нефтезагрязненных земель) или супервайзинга при выполнении природовосстановительных работ. ГОСТ 17.5.1.01-83 регламентирует этапы рекультивации земель (последовательно выполняемые комплексы работ по рекультивации земель): технический и биологический:

- биологический этап рекультивации земель - этап рекультивации земель, включающий комплекс агротехнических и фитомелиоративных мероприятий по восстановлению плодородия нарушенных земель

-Технический этап рекультивации земель - этап рекультивации земель, включающий их подготовку для последующего целевого использования в народном хозяйстве. Примечание. К техническому этапу относятся планировка, формирование откосов, снятие, транспортирование и нанесение почв и

плодородных пород на рекультивируемые земли, при необходимости коренная мелиорация, строительство дорог, специальных гидротехнических сооружений и др. Подробное описание проведения этих этапов дано в ГОСТ 17.5.3.04-83.

Еще один важный законодательный момент в процедуре рекультивации – оценка ущерба природе, в соответствии с которым определяется ответственность компаний-нефтедобытчиков. Основные методики расчета (исчисления) размера вреда объектам окружающей среды (Пикунова, 2011)

- «об исчислении размера вреда, причиненного лесам вследствие нарушения лесного законодательства» постановление правительства российской федерации от 08 мая 2007 года - «об утверждении методики исчисления размера вреда, причиненного водным объектам вследствие нарушения водного законодательства» приказ министерство природных ресурсов и экологии российской федерации от 13 апреля 2009 года

- «об утверждении правил расчета размера вреда, причиненного недрам вследствие нарушения законодательства российской федерации о недрах» постановление правительства российской федерации от 4 июля 2013 года

- «об утверждении методики исчисления размера вреда, причиненного почвам как объекту охраны окружающей среды» приказ министерство природных ресурсов и экологии российской федерации от 08 июля 2010 года

Несмотря на обширный свод законов, предписаний и положений, советом федерации РФ отмечается, что “в соответствующих нормативных правовых актах Российской Федерации не учитываются требования ряда международных конвенций, ратифицированных Российской Федерацией и предусматривающих при реализации крупных инфраструктурных проектов в нефтяной промышленности применение экосистемного подхода, конечной целью которого является не восстановление структурных характеристик природных объектов, а восстановление ведущих природных функций, таких как энергетический баланс, биогеохимический цикл, гидрологические характеристики, поддержание местообитаний биологических видов и устойчивость ландшафтов и др.” (цит по “Отчет заседания

круглого стола совета Федерации 2013 г.”). Некоторые острые проблемы рекультивации даже не стоят в Плане действий по реализации «Основ государственной политики в области экологического развития Российской Федерации на период до 2030 года» (утвержден распоряжением Правительства Российской Федерации от 18 декабря 2012 г. № 2423-р) и государственной программе Российской Федерации «Охрана окружающей среды» на 2012-2020 годы» (утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 27 декабря 2012 г. № 2552-р), а также в разработанных Минприроды России проекте государственной программы Российской Федерации «Воспроизводство и использования природных ресурсов» и концепции федеральной целевой программы «Экологическая безопасность России (на 2013–2020 гг.)».

Однако, для решения этой проблемы на данный момент подготовлены обращения к правительству РФ:

“1.1. Разработать и внести в установленном порядке следующие проекты федеральных законов:

- 1) О внесении изменений в Федеральный закон «Об экологической экспертизе» от 23 ноября 1995 года № 174-ФЗ в части дополнения перечня объектов, подлежащих государственной экологической экспертизе «проектами рекультивации земель, загрязненных нефтесодержащими отходами».
- 2) О внесении изменений в «Кодекс Российской Федерации об административных правонарушениях» от 30 декабря 2001 года № 195-ФЗ в части в части дополнения статьей 8.43 «Нарушение условий запланированных и реализуемых мероприятий, предусмотренных планами по предупреждению и ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов, при поиске, разведке и эксплуатации нефтяных месторождений, добыче, транспортировке, хранении, переработке нефти и нефтепродуктов».

3) О внесении изменений в земельное законодательство Российской Федерации в части установления преимущественного права на приобретение или на заключение договора аренды земельного участка, который находится в государственной или муниципальной собственности юридическими лицами, выполнившими работы по ликвидации накопленного экологического ущерба с частичным или полным внебюджетным финансированием.

4) О внесении изменений в Федеральный закон от 4 мая 2011 года № 99-ФЗ «О лицензировании отдельных видов деятельности», предусмотрев изложение подпункта 30) пункта 1 статьи 12 в следующей редакции: «деятельность по сбору, использованию, транспортировке, обезвреживанию и размещению отходов I - IV классов опасности».

1.2. При внесении изменений в законодательство и нормативные правовые акты Российской Федерации о рекультивации земель, загрязненных нефтесодержащими отходами, предусмотреть:

1) обязанность владельцев земельных участков, загрязненных нефтесодержащими отходами, ликвидировать загрязнения своими силами, либо передать эти участки другим хозяйствующим субъектам, специализирующимся на выполнении работ по ликвидации нефтеразливов;

2) установление простой процедуры предоставления бесхозных земельных участков, загрязненных нефтесодержащими отходами, хозяйствующим субъектам, специализирующимся на выполнении работ по ликвидации нефтеразливов;

3) обязанность крупных компаний принимать от хозяйствующих субъектов, специализирующихся на выполнении работ по ликвидации нефтеразливов, вторичные нефтепродукты для дальнейшего использования.

и т.д....” (цит по “Отчет заседания круглого стола совета Федерации 2013 г.”)

1.4.2. Методы оценки и контроля нефтяного загрязнения почв

Предельно допустимые концентрации (ПДК) нефтяных загрязнений в почвах зависят от вида нефтепродуктов (НП). Однако ПДК суммарного содержания нефтепродуктов в почве не стандартизировано; установлены ПДК для некоторых видов нефтепродуктов: бензол – 0,3 мг/кг, толуол – 0,3 мг/кг, ксилол – 0,3 мг/кг (Саксонов и др., 2005).

Минимальный уровень содержания нефтепродуктов в почвах и грунтах, выше которого наступает ухудшение качества природной среды, рассматривается как верхний безопасный уровень концентрации (ВБУК) (Пиковский, 1993). ВБУК нефтепродуктов в почвах зависит от сочетания многих факторов, таких как тип, состав и свойства почв и грунтов, климатические условия, состав нефтепродуктов, тип растительности, тип землепользователя и др. Эти нормы должны различаться в зависимости от климатических и типов почвообразования.

Верхний безопасный уровень концентрации НП в почвах можно принять за ориентировочный уровень допустимой концентрации (ОДК) в почвах. Ориентировочным допустимым уровнем загрязнения почвы НП предлагается считать нижний допустимый уровень загрязнения, при которых в данных природных условиях почва в течение одного года восстановит свою продуктивность, а негативные последствия для почвенного биоценоза могут быть самопроизвольно ликвидированы. Такая оценка ОДК как общесанитарного показателя может быть дана для верхнего гумусово-аккумулятивного горизонта почв (примерно до глубины 20-30 см) (Саксонов и др., 2005).

Вполне очевидно, что ОДК нефти и НП в почвах не может быть единым для всех типов почв и природных зон. Он зависит от факторов, определяющих влияние вещества на свойства и состав почв и растения, от потенциала самоочищения почв, от данного вида загрязнения. Главные из таких факторов – химический состав

загрязняющего вещества, свойства и состав почв, физико-географические (главным образом, климатические) условия данной территории (Пиковский, 2003).

В обзоре МакДжила (McGill. 1977) приводятся данные исследователей из разных стран по установлению безопасных пределов содержания нефти и НП в почвах. Эти оценки существенно расходятся по причине резко различных климатических и почвенных условий тех районов, где проводились эксперименты.

На основе сообщения мирового опыта и данных экспериментов МакДжиллом составлена таблица ориентировочных нормативов содержания НП в почвах, подлежащих рекультивации (табл. 2.).

Табл.2. Относительная степень нарушенности почв, содержащих различные количества нефти

Степень нарушенности	Содержание нефти в почве, мг/кг сухой почвы
От легкой до умеренной: в отсутствие каких-либо специальных мер отмечается некоторое временное ослабление роста растительности	5000-20000
От умеренной до высокой: нормально развиваться способны лишь некоторые виды растений; восстановление почв возможно в течение трех лет; без рекультивации восстановление потребует в 2-3 раза больше времени	20000-50000
От высокой до очень высокой: нефть фронтально пропитывает почву на глубину 10 см; лишь немногие растения выживают; при рациональной рекультивации восстановление почвы займет 20 и более лет	Свыше 50000

При количественных оценках уровня нефтяных загрязнений наибольшее распространение получили методы инфракрасной спектроскопии, ультрафиолетовой люминесценции, газовой и газожидкостной хроматографии.

ИК-спектроскопия. Все органические вещества имеют в инфракрасном диапазоне свои индивидуальные спектры поглощения. Положение полос в ИК-спектрах веществ характеризуется длиной волны в нм (мкм) (Митчел и др., 1980). Для ИК анализа углеводородов используют диапазон от 0.7 до 25 мкм, который обычно подразделяют на три области: ближнюю – 0.7-2.5 мкм, область основных частот – 2.6-6 мкм, дальнюю – 6-25 мкм.

Ближняя ИК-область для аналитических определений в технологических и экологических целях в нашей стране в отличие от многих развитых стран практически не осваивается.

Наиболее широко используется область основных частот. Нормативные документы по анализу суммарного загрязнения окружающей среды нефтепродуктами с ИК-спектроскопическим окончанием регламентируют проведение измерений в интервале длин волн 3.3-3.5 мкм. Стандартная смесь, содержащая 37.5% изооктана, 37.5% цетана, 25% бензола, предназначена для калибровки приборов в этой области (Проскуряков, 1995).

Пробоподготовка для ИК-детектирования не вызывает сложностей. Принципиально новым шагом явилось создание лабораторных ИК-спектрометров на основе Фурье-преобразования. Особенностью приборов является возможность установки любой длины волны в определенном диапазоне с индикацией ее значения на цифровое табло. Это дает принципиально новую возможность проводить анализ многокомпонентных смесей на нескольких длинах волн.

Существующие люминесцентные методы оценки нефтяного загрязнения характеризуется высокой экспрессностью и чувствительностью. Они позволяют определить микроэлементы, а также суммарное содержание загрязняющих органических веществ и индивидуальных органических соединений.

Приборы для люминесцентного анализа могут быть разделены на две группы: флуориметры и спектрофлуориметры. В флуориметрах используют светофильтры, а в спектрофлуориметрах – дифракционные решетки. Несмотря на высокую чувствительность люминесцентного метода для измерения суммарного содержания возникает проблема калибровки прибора по стандартному раствору, что необходимо для получения достоверных данных. Однако, до настоящего времени стандартный раствор для люминесцентных методов отсутствует. Стандартный раствор изооктан – цетан – бензол, используемый для ИК-спектрометрии, изготавливается на четыреххлористом углероде, который поглощает в рабочей области флуориметра, поэтому калибровку проводят по какому-либо известному НП, например маслу Т-22 (Саксонов и др., 2005). В результате при измерениях тяжелых НП (мазут и др.) прибор может дать погрешность до 40-50%, а при определении легких НП (бензин и др.) результаты измерений могут быть занижены в несколько раз. Следует отметить, что в европейских странах ультрафиолетовые методы анализа применяются мало (Берне и др., 1997).

Наиболее перспективными для мониторинга нефтепродуктов с одновременной идентификацией и расшифровкой химического состава являются методы газовой, газожидкостной и высокоэффективной жидкостной хроматографии. Наиболее распространен газохроматографический метод, особенно в сочетании с ИК-спектрометрией, позволяющий определять индивидуальные компоненты в смеси нефтепродуктов, что делает этот метод анализа незаменимым при установлении источника загрязнения почв, идентификации веществ нефтяного происхождения в процессе биodeградации, при исследовании процессов разрушения нефтепродуктов.

Однако при выполнении массовых анализов его использование ограничено низкой производительностью и высокой стоимостью аналитических работ.

В основе всех предложенных методов лежит извлечение нефти и нефтепродуктов из проб органическими растворителями. Почва является очень

трудными объектом анализа, поскольку ее органическая часть довольно сложна и разнообразна по составу. В любой почве содержится от 1% до 15% органических веществ в зависимости от типа почвы. Гумус составляет 85-90% от общего количества органического вещества почвы. Кроме этого, в почве содержатся и неспецифические вещества: жиры, углеводы (целлюлоза, пектины, пентозаны, маннаны и т.д.), протеины, белки, аминокислоты, амиды, лигнины, дубильные вещества, терпены, смолы и т. п. Таким образом, при выборе растворителя необходимо учитывать сложный химический состав, как определяемого вещества – нефтепродукта, так и исследуемого объекта – почвы.

Многие авторы отдают предпочтение гексану. Химические свойства гексана благоприятны для количественного извлечения нефтепродуктов из почвы. Этот растворитель используют для разработки ускоренных вариантов метода оценки степени загрязнения почв нефтью. Данная методика определения нефти и НП в почве основана на их экстракции из почвы при конденсации кипящего гексана в аппарате Сокстек.

Содержание нефтепродуктов в экстрактах определяют гравиметрическим методом после отгонки растворителя. В модельных методах была изучена полнота экстракции нефти в зависимости от времени взаимодействия нефти и почвы. Установлено, что даже в первый день после добавления гексане извлекает гуминовые кислоты и другие неспецифические вещества почв. В тоже время гексан растворяет все группы углеводородов, за исключением асфальтенов и высокомолекулярных смол, содержание которых в нефтепродуктах обычно не превышает 2%.

К настоящему времени создано множество методик и приборов для экологического мониторинга нефтей и нефтепродуктов. Однако вопрос о разработке наиболее оптимальных методов их определения и идентификации нельзя считать закрытым, поскольку у каждого метода есть свои преимущества и недостатки. К тому же, само понятие «нефтепродукт» весьма расплывчато, особенно с учетом непостоянства и разнообразия состава нефтей и

нефтепродуктов. Необходим мониторинг нефтепродуктов с одновременной идентификацией и расшифровкой его химического состава.

1.4.3. Методы биоиндикации и биотестирования почв

Попадание нефти и нефтепродуктов в почву приводит к изменению активности основных почвенных ферментов, что влияет на обмен азота, фосфора, углерода и серы (Киреева, Новоселова и др., 2001). Устойчивые изменения в активности некоторых почвенных ферментов могут использоваться в качестве диагностических показателей загрязнения почв нефтью. Удобна для этой цели группа ферментов, объединяемых под общим названием почвенные уреазы. Во-первых, они меньше подвержены воздействию других экологических факторов и, во-вторых, прослеживается четкая зависимость их активности от степени загрязнения почв (Киреева, Водопьянов и др., 2001).

Применение микроорганизмов для оценки интегральной токсичности почвы и создание на их основе комплексной системы чувствительных, достоверных и экономичных биотестов является перспективной областью исследований. Многие физиологические группы почвенных микроорганизмов проявляют чувствительность по отношению к нефтяным углеводородам.

Общая численность микроорганизмов, обычно, достаточно четко отражает микробиологическую активность почвы, скорость разложения органических веществ и круговорота минеральных элементов. На основании данного показателя можно не только судить о степени загрязненности почвы нефти, но и о ее потенциальной способности к восстановлению, а также о процессах разложения нефти в естественных природных условиях и при рекультивации загрязненных почв (Киреева, 1995).

Нефтяное загрязнение может также способствовать накоплению в почве микроскопических грибов, вызывающих заболевания растений и фитотоксины (Киреева, Кузяхметов и др., 2003). Последнее обстоятельство играет

немаловажную роль при разработке мероприятий по фитомелиорации нефтезагрязненных земель.

Непосредственное воздействие нефти на растительный покров в том, что замедляется рост растений, нарушаются функции фитоценоза и дыхания, отмечаются различные морфологические нарушения, сильно страдает корневая система, листья, стебли и репродуктивные органы. Оперативную информацию о фитотоксичности загрязненной почвы можно получить, используя в качестве тест-объектов семена и проростки растений. Для удобства постановки тестов на токсичность семена подбирают по размерам и скорости их прорастания. Часто используют семена редиса, кресс-салата, кукурузы, зерновых. В качестве тест-функции выступают показатели всхожести семян, дружности и времени появления всходов, скорости удлинения проростков, последний из которых считается наиболее чувствительным.

В природных экосистемах почвенные беспозвоночные широко используются для мониторинга на уровне комплекса видов (Трублаевич, Семенова, 1997).

Набор тест-объектов из семян растений, микроорганизмов, почвенных беспозвоночных и ферментов можно использовать как в полном объеме, так и частично, в зависимости от целевого назначения исследований и степени нефтяного загрязнения почвы. Если пробы с почвенными ногохвостками и активность ферментов дают хорошую количественную характеристику токсичности почвы при низкой и средней степени ее загрязнения, то микробиологические тесты удобны для описания состояния сильнозагрязненных высокотоксичных почв (Киреева, 1995).

ГЛАВА 2. ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В 1994 году в Усинском районе Республики Коми произошла авария, которая вошла в книгу рекордов Гиннеса как самое масштабное загрязнение Земли (Экологическое нормирование., 2013). По некоторым оценкам объем нефти, вылитый в результате на поверхность составлял до 270 000 тонн (Matthew J.Sagers, 1994).

2.1 Район исследования

Исследования проводились в Усинском районе, характеризующемся сложными экологическими условиями (Иватанова, 2011.), расположенном в северной части Республики Коми ($66^{\circ}25'$ с.ш. и $67^{\circ}18'$ в.д.), в подзоне северной тайги и лесотундре. Объектом исследования является почвенный покров площадью 76,5 гектар вблизи нефтепровода «Возей – Головные сооружения». Участок расположен на 55 км федеральной трассы Усинск – Нарьян-Мар в 5 км от левого берега реки Колва. На данном участке в 1994 году произошла крупная авария, в результате которой, по разным оценкам, в окружающую среду попало от 60 до 150 тыс. тонн сырой нефти. В период с 1994 г. по 2010 г. проводились работы по рекультивации данной территории пятью способами: (1) промывка загрязненной почвы на специализированной установке для твердых нефтешламов; (2) смыв нефти и запахивание оставшейся; (3) замена загрязненного слоя песчаным с размещением на его поверхности осадков сточных вод мощностью 15-30 см; (4) частичный смыв нефти; (5) сжигание нефти и размещение на поверхности незагрязненного грунта. Причем для вариантов 1,2, 3, и 5 были проведены агротехнические мероприятия: боронование; внесение минеральных удобрений; высев злаков. Каждая рекультивированная площадка ограничена рвом глубиной 0,5-1 м для снижения уровня почвенно-грунтовых вод и выдавливания нефтесодержащей жидкости при отрицательных температурах.

2.1.1. Климатические условия

Климат территории относится к умеренно континентальному типу. Среднегодовая температура воздуха составляет -3.2°C . Морозная погода со среднесуточными температурами ниже -5°C устанавливается в третьей декаде октября и длится 180 дней (до второй декады апреля). Наиболее холодный месяц – январь, со среднемесячной температурой -18.1°C . В течение зимы преобладают восточные, восточные, юго-восточные и южные ветры, весной и летом – западные и северо-западные (научно-прикладной справочник..., 1989).

Снежный покров устанавливается в среднем с третьей декады октября и сохраняется до второй декады мая, средняя высота покрова – 48 см. Переход среднесуточных температур через 0°C обычно наблюдается в первой декаде мая. Длительность безморозного периода – 90 -120 дней.

Период с температурами выше 0°C длится 150 дней, со среднесуточной температурой выше $+5^{\circ}\text{C}$ – 110 дней. Массовое возобновление вегетации начинается в первой декаде июня. Вторжение арктического воздуха обуславливает частые и резкие колебания температур и заморозки до $-5\div-7^{\circ}\text{C}$ (в среднем $-2\div-4^{\circ}\text{C}$) возможны в любом из месяцев вегетационного периода. Лето прохладное, его продолжительность около 70 дней. Сумма активных температур воздуха (выше $+10^{\circ}\text{C}$) составляет 871°C . Устойчивого периода через $+15^{\circ}\text{C}$ обычно не бывает. Самый теплый месяц – июль, среднемесячная температура воздуха $+13.8^{\circ}\text{C}$. За год в среднем выпадает 474 мм осадков, из них за вегетационный период (июнь - август) – 159 мм. Коэффициент увлажнения в течение вегетационного периода составляет 0.6. Максимальное количество осадков приходится на период с июля по октябрь.

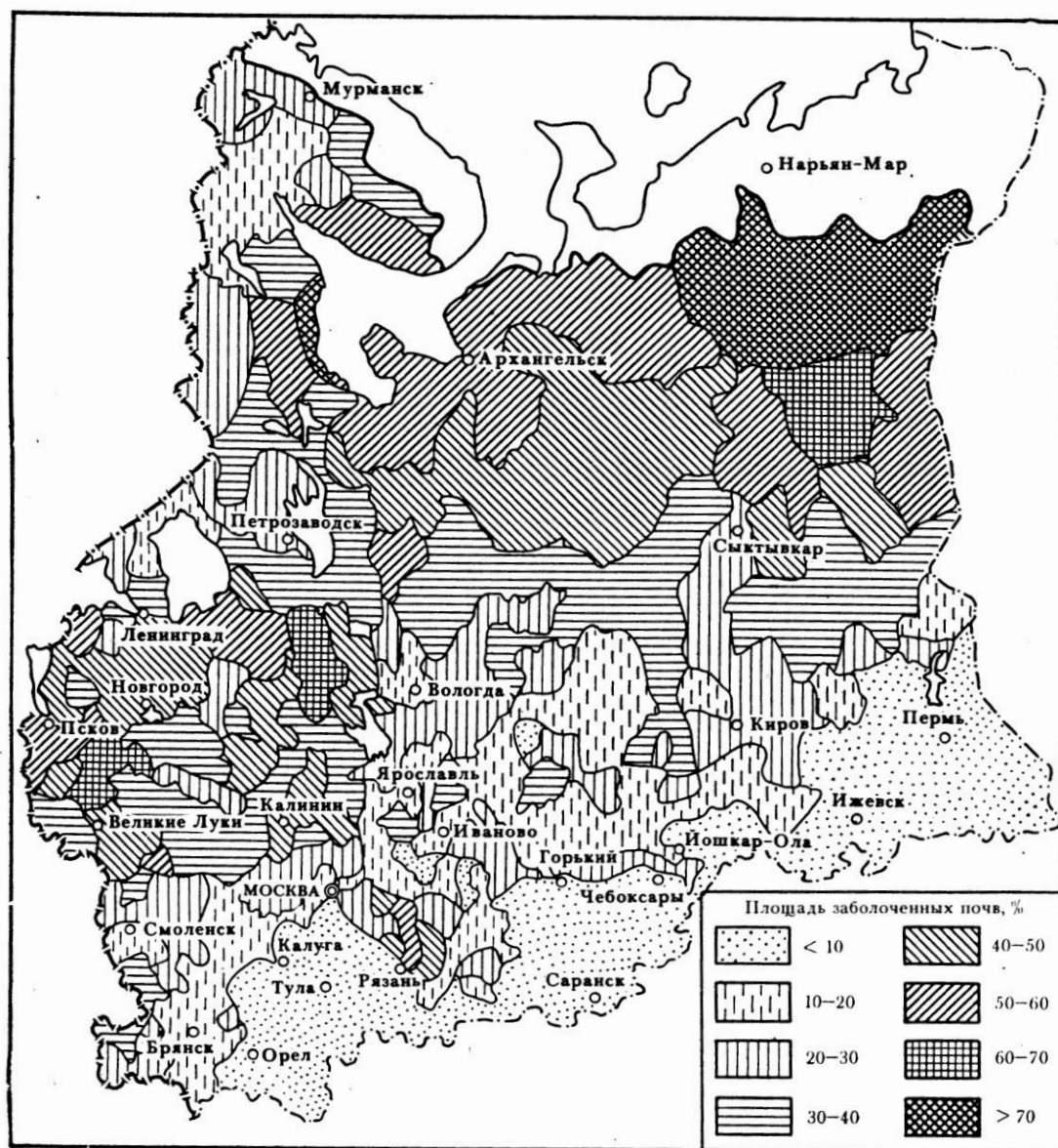


Рис. 1. Карта заболоченности территории.(Почвенно-геологические условия Нечерноземья.М., С. 465).

2.1.2. Геологические условия

Исследуемая территория располагается в пределах Печорской синеклизы, являющейся одним из трех геоблоков Тимано-Печорской плиты, в зоне слабых опусканий Восточно-Европейской платформы.

В рельефе синеклизе соответствует одноименная низменность с общим скатом местности с юга на север (средние абсолютные отметки соответственно 150-200 м. и 50-100 м.). На западе Печерская синеклиза граничит с Канино-Тиманским кряжем; на востоке – с Предсевероуральской структурной зоной (вдоль западных склонов вала Чернова и гряды Чернышова). В современном рельефе ледниковые формы поздневалдайского оледенения выражены наиболее четко, заключительные стадии которого продолжались вплоть до начала голоцена. Высота холмов в бассейне р. Колвы достигает 40-70 м.

В пределах Печорской синеклизы выделяются четыре мегаблока: Предтиманское поднятие, Верхнепечорский, Большеземельский, Малоземельский мегаблоки. Территория исследования находится на Большеземельском мегаблоке, распространившемся от субширотного отрезка долины р. Печоры на юге до побережья Печорского моря. Древние герцинские структуры в пределах мегаблока глубоко погребены под толщей мезозоя и четвертичных отложений и лишь местами «просвечивают» среди новообразованных структур. Поверхность коренных (преимущественно меловых) пород почти повсеместно опущена ниже уровня моря. В пределах крупных погребенных возвышенностей, в целом унаследованных современным рельефом, абсолютные отметки составляют в среднем от -50 – 0 м. на севере до 50 – 100 м. на юге мегаблока. В депрессиях и впадинах кровля коренных пород понижается до абсолютных отметок минус 150 – 250 м. Рыхлый чехол включает почти весь разрез четвертичных отложений. Его мощность составляет в среднем 100 – 150 м, местами увеличиваясь до 200 – 250 м. В южной части мегаблока мощность рыхлых отложений на положительных структурах сокращается до 20 – 50 м. (Почвенно-геологические условия Нечерноземья.М., 1984).

2.1.3. Гидрогеологические условия и гидрографическая сеть

Гидрогеологические условия определяются рядом природных факторов – климатом, рельефом, техногенными условиями, геологическим строением

территории. Испарение составляет 150 – 250 мм в год. Увеличение величины испарения наблюдается в мае, в июне и июле достигает максимальных значений, а в августе начинается его уменьшение. Существует избыточное увлажнение, характеризующееся эффективной величиной осадков около 150 мм в год и более. Грунтовые воды имеют суммарную минерализацию менее 0,1 г/л.

Исследуемая территория располагается в Печорском артезианском бассейне. В данном регионе речной сток формируется за счет дождевых осадков и таяния снега. Их водный режим характеризуется высоким низкой зимней меженью и весенним половодьем. Также широко развиты озера, определяющие наряду с речными долинами дренирование грунтовых вод и пластовых зон интенсивного водообмена. Нечерноземье занимает одно из первых мест в РФ по густоте озер, их насчитывается около 500 тысяч. Немалую роль в формировании подземных вод играют техногенные факторы, определяющие степень влияния деятельности человека на изменение гидрогеологических условий. Так в нефтегазовой отрасли серьезные негативные последствия вызывает попадание высокоминерализованных пластовых вод в водоносный горизонт или разливы сырой нефти. Таким образом, помимо долгосрочного негативного воздействия от углеводородов нефти растительный и почвенный покровы подвергаются сильнейшему прессингу водными растворами (Розанова, 1974), минерализация которых в Нечерноземье около 1650 мг/л и имеет преимущественно сульфатно-натриевый тип по классификации Сулина (Сулин, 1946). По условиям распространения грунтовых вод в зависимости от генетических типов четвертичных отложений это грунтовые воды ледниковой области. Их характеризуют распространением сезонных надмерзлотных вод тундры севера. Водоносные породы – пески, гравий, суглинки. Территория этой зоны значительно заболочена, поскольку залегание грунтовых вод незначительное – от 0 до 5 м.

2.1.4 Почвенный покров

В пределах Российской Арктики и Субарктики выделяют 4 крупных провинции, различающихся степенью континентальности. В их равнинных частях с севера на юг четко проявляется широтная зональность, выраженная в наличие подзон арктической, типичной и южной тундр. Почвенный покров в значительной степени отражает это разнообразие природной обстановки тундровой зоны. Ведущим фактором, определяющим важнейшие черты тундрового почвообразования, наряду с теплообеспеченностью, является степень и характер увлажнения (Герасимова М. И., Губин С.В., Шоба С.А., 1992).

Почвенный покров характеризуется высокой заболоченностью и преобладанием интразональных почв над зональными, занимающими 30 – 42% площади. Количество болотных почв 11 – 19% при увеличении доли полуболотных почв до 40 – 42%. Из зональных резко преобладают глееподзолистые над альфегумусовыми подзолами, приуроченными к речным террасам. На менее дренированных территориях преобладают торфянисто- (торфяно-) подзолисто-глеевые и торфяные почвы верховых болот. Аллювиальные пойменные почвы занимают 7 – 9%.

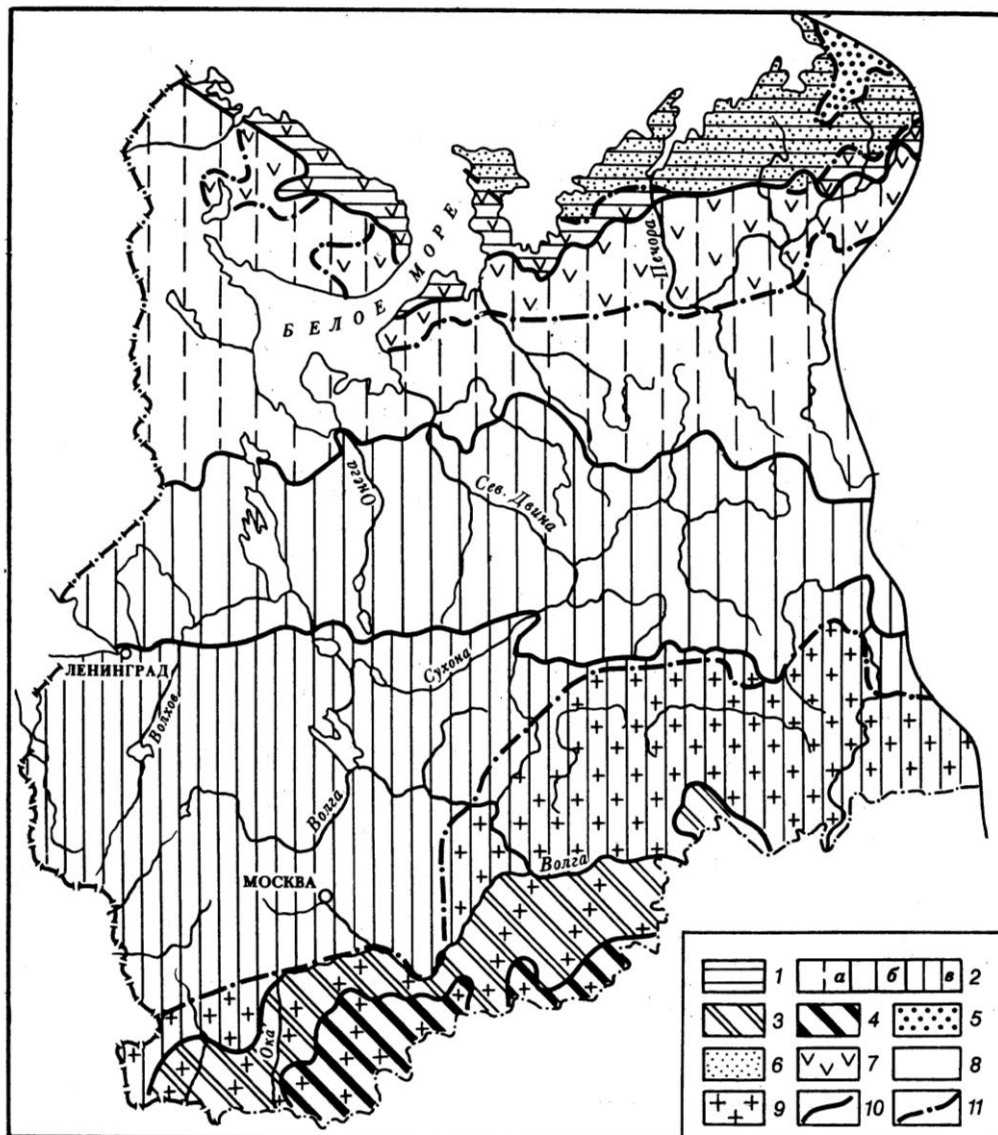
Основная часть территорий Усинского района, согласно почвенно-географическому районированию (Подзолистые почвы..., 1981), относится к Печоро-Усинскому округу болотно-подзолистых, глееподзолистых, тундрово-болотных и болотных торфяных почв. Почвообразующими породами выступают моренные суглинки, местами перекрытыми маломощным чехлом флювиогляциальных супесей и песков, а также слоистыми песчаными и песчано-суглинистыми водно-ледниковыми, озерно-аллювиальными и аллювиальными морскими отложениями. В почвенном покрове Усинского района преобладают болотно-подзолистые и болотные почвы. Поверхностная заболоченность территории составляет около 70%. На дренированных приречных участках,

водоразделах и бровках склонов увалов, сложенных суглинками и двучленными породами, под зеленомошными и лишайниково-зеленомошными ельниками развиты глееподзолистые почвы.

Главной и характерной чертой почв дренированных территорий тундры и подзоны крайней северной тайги является резкое разделение на органогенный слой и минеральную толщу. В органогенном слое складываются наиболее благоприятные условия прогревания и увлажнения, сосредоточена максимальная доля питательных веществ и, как результат, - максимум корней растений.

2.1.5. Типы ландшафтов и растительный покров

В Усинском районе представлены 4 геоботанических округа в подзонах лесотундры и крайнесеверной тайги (Юдин Ю.П. Геоботаническое районирование. М., 1954). Лесотундра занимает северную часть района до среднего течения реки Колвы и представляет собой южную окраину Большеземельской тундры. Первое место по площади занимают сообщества бугристых сфагновых, осоковых, травяно-кустарничково-мохово-лишайниковых болот характерными видами *Certaria islandica*, *Cladonia* sp., *Sphagnum nemoreum*, *Ledum palustre*, *Eriophorum vaginatum*, *Rubus chamaemorus*. В мочажинах встречаются *Sphagnum majus*, *Drepanocladus eximullatus*, *Carex globularis*, *Eriophorum russeola*. Второе место (до 25%) занимают тундровые ивняково-мелкоерниковые группировки с разреженным ярусом из низкорослых кустарников (*Betula nana*, *Salix glauca*), осоково-кустарничковые с господством гипоарктических кустарничков. Реже встречаются мохово-лишайниковые и лишайниковые (на песчаных почвах) тундры. До 20 % от общей площади занимают разреженные еловые, березовые, елово-березовые и лиственничные леса наиболее часто формируются в долинах рек и на склонах холмов. Болота приурочены в основном к древнеозерным низинам и к широким долинам древнего стока. Площади отдельных болот значительны – до 1520 км² (Усинское болото).



1 — зоны тундры; 2 — зоны тайги: а — подзоны северной тайги и лесотундры, б — средней тайги, в — южной тайги; 3 — зоны широколиственных лесов; 4 — зоны лесостепи; 5 — подзона практически сплошного распространения многолетнемерзлых пород; 6 — массивно-островного; 7 — редко-островного; 8 — избыточно увлажненных глинистых пород; 9 — умеренно и недостаточно увлажненных глинистых пород; 10 — границы растительных зон и подзон; 11 — подзон по современному состоянию пород

Рис. 2. Схематическая карта растительных зон и зон по современному состоянию пород территории Нечерноземья. (Почвенно-геологические условия Нечерноземья. М., С. 263).

Древесная растительность на них отсутствует или же представлена единичными экземплярами угнетенной сосны. Напочвенный покров состоит из

сфагновых мхов, пятен болотных гипновых мхов, осоки и редкого болотного разнотравия, кустиков карликовой березы и реже ивы (Почвы Коми АССР, 1958). По химическим свойствам торф болот по всему профилю кислый ($\text{pH}_{\text{водн.}} = 3.7\text{--}4.3$), высота гидролитическая кислотность.

В низинах с осоками и разнотравьем (иногда на обнаженном торфе) разрастаются *Eriophorum polystachion*, *Carex limosa*, *Menyanthes trifoliata*.

2.3. Методы исследования почв

Определение физических свойств почв проводили общепринятыми методами (Вадюнина, Корчагина, 1986; Воронин, 1986, Шеин и др., 2001, «Теории и методы..», 2007): плотность почвы буровым методом, коэффициент фильтрации методом трубок с постоянным напором, плотность твердой фазы пикнометрически, удельная поверхность методом десорбции паров воды над насыщенными растворами солей, расчет полной удельной поверхности по уравнению БЭТ, определение основной гидрофизической характеристики тензиостатическим методом на монолитах и методом центрифугирования. Гранулометрический состав был определен методом лазерной дифрактометрии (Analysette-22). Предварительная пробоподготовка почв заключалась в удалении органического вещества, в состав которого входили углеводороды нефти, осадки сточных вод и органическое вещество почвы, ацетонирилом. Общее содержание углерода в почвенных образцах определяли на газоанализаторе АН – 8012 (Когут, 1993). Определение содержания подвижных форм калия, фосфора и азота общепринятыми методами (Воробьева, 2005; Аринушкина, 1970). Все определения физических и химических свойств велись в 3-х кратной повторности.

Для изучения особенностей миграции влаги и растворенных веществ в почве проводились полевые и лабораторные фильтрационные эксперименты (Умарова, 2010). Измерение годовой динамики температуры почв осуществлялся в

автоматическом режиме с помощью мини-сенсоров температуры (DallasSemiconduction) в период 01.08.12 – 30.06.13 с шагом 4 ч, 08.07.13-24.09.13 каждый час. Определение общей численности бактерий в почвах проводили прямым люминесцентным методом с использованием красителя акридина оранжевого (Звягинцев, 1991). Определение таксономического состава сапротрофного бактериального комплекса проводили методом посева на ГПД среде. Методом капиллярной газожидкостной хроматографии определены: суммарное содержание углеводородов, содержание их среднекипящей (C14-C23) и высококипящей (C24-C34) фракций. Для оценки почв к самоочищению от техногенных углеводородов использован пристан-фитановый индекс (отношение $C_{17}+C_{18}/C_{i-15}+C_{i-16}$), характеризующий деградацию исходных нефтепродуктов.

ГЛАВА 3. Морфологическая характеристика почв и растительного покрова

Важным моментом при рекультивации нефтяных разливов в Северных районах является максимально быстрая локализация и откачка нефти, поэтому именно на начальном этапе закладывается водный режим рекультивированного участка. Дальнейшая скорость восстановления почвенного покрова зависит от выбор комплекса рекультивации, в который для северных широт должны входить механический этап (вывоз сильно загрязненного грунта, обваловка участка, вспашка, боронование); химический (предпосевная подкормка – например, внесение пролангированных форм Р и N для большей активизации аборигенной микробиоты) ; и биологический (фиторемедиация). Все эти этапы в той или иной мере были применены на исследуемом объекте. Поэтому важной задачей работы было изучить архивный и литературный материалы, провести рекогносцировку территории и подбор ключевых площадок в соответствии со схемой рекультивации, морфологическое описание почв и растительного покрова.

3.1. Схема объекта исследования. Описание почв

Исследуемая территория представляет собой вытянутый с севера-запада на юго-восток участок (рис. 3.), который разделен на отдельные сектора с разными способами рекультивации почв.

Фоновая почва исследуемой территории представляет собой тундровую глеевую торфянистую почву (рис.4). Ее профиль состоит из 30-см слоя торфяного горизонта полной степени разложенности (Зайдельман, 1996), который подстиляется песчаным слоем, переходящим на глубине 80 см в оглеенную супесь. Глубина грунтовых вод не вскрыта.

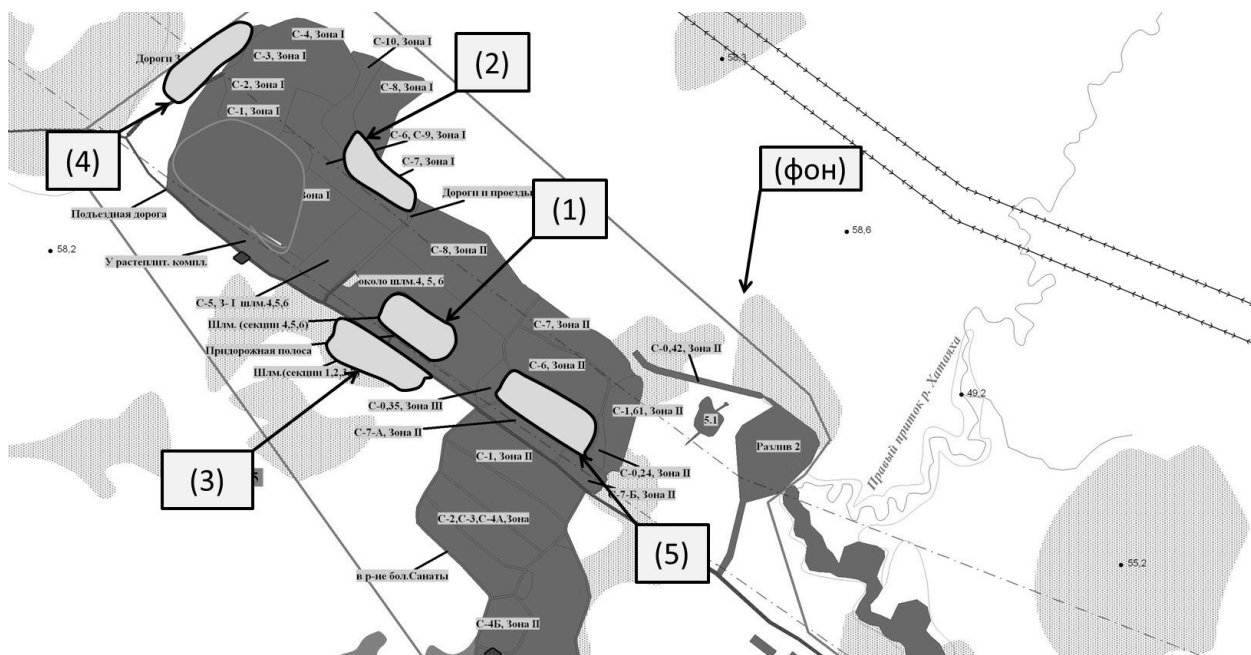


Рис.3. Схема рекультивации (из архива ООО СПАСФ «Природа»)

	T1 0-10см	сырой, темно-бурый, торф слаборазложившийся, рыхлый, включения из плохо разложившихся частей растений, переход ясный по разложению, граница ровная
	T2 10-20см	сырой, темно-бурый, торф среднеразложившийся, рыхлый, включения из разложившихся частей растений, переход ясный по разложению, граница ровная
	T3 20-30см	свежий, бурый, сплошная органическая мажущаяся масса, плотнее верхнего, переход резкий по цвету, граница затечная
	B 30-73см	песок, свежий, палевый, светло- каштановый, переход ясный по цвету, граница волнистая
	Bg 73-83см	песок, свежий, палево-серый, охристые включения, переход ясный по цвету, граница волнистая
	G 83-100↓	супесь, влажный, сизый, ржавый по ходам корней, плотный, с 90 сантиметров горизонтальная ориентированность

Рис. 4. Профиль и морфологическое описание фоновой тундрово-глеевой почвы и его морфологическое описание

В период с 1994 г. по 2010 г. проводились работы по рекультивации данной территории. Наши исследования проводились для пяти разных способов рекультивации. Названия рекультивированным почвам были даны в соответствии с классификацией Почвенного института им. В.В. Докучаева «Систематика техногенных поверхностных образований». Были изучены следующие варианты:

Вариант 1. Реплантозем. Была проведена промывка загрязненной почвы на специализированной установке по переработке нефтешламов и затем ее размещение на исходное место (рис. 5.а);

Вариант 2. Тундровая глеевая торфянистая пахотная почва. Проведен сбор нефти и запахивание оставшейся (рис. 5.б), что привело к формированию почвенного профиля содержащего нефть, визуальное и органолептически фиксируемую;

Вариант 3. Почва группы артафабрикаты, подгруппы артифимостраты. Загрязненный слой был заменен песчаным с размещением на его поверхности осадков сточных вод (ОСВ) слоем мощностью 15-30 см, граница между горизонтами отчетливая (рис. 5.в);

Вариант 4. Тундровая глеевая с нефтью на поверхности. Проведен сбор нефти с поверхности, однако на поверхности наблюдается остаточное загрязнение участка, встречаются пятна и лужи нефти (рис. 5.г);

Вариант 5. Почва группы натурфабрикаты, подгруппы литострат. В данном варианте было проведено сжигание нефти, на поверхности был размещен незагрязненный грунт (рис. 5.д). В данном варианте, по-видимому, сжигание нефти было неполным, в профиле с глубины примерно 20-25 см наблюдается пропитка супесчаного слоя нефтью.

а)

	слой 1 0-40см	супесь, свежий, на буром фоне охристые пятна, бесструктурная раздельно-частичная, уплотненный, специфический запах нефтепродуктов, включения дресвы и гальки, переход ясный по цвету, граница ровная
	слой 2 40-72см	супесь, свежий, на светло-буром фоне сизые линзы оглеения, бесструктурная раздельно-частичная, уплотненный, специфический запах нефтепродуктов, переход ясный по цвету, граница волнистая
	[G] 72-80↓	супесь, свежий, сизый, бесструктурный, плотный

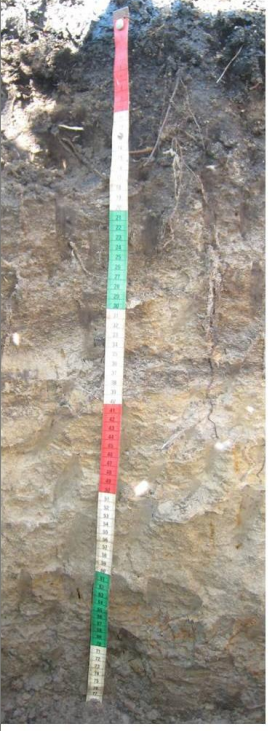
б)

	Ар 0-20см	торфяной горизонт, свежий, бурый, включения черных пятен нефтепродуктов, рыхлый, черные отмершие корни, переход резкий, граница волнистая
	Вg 20-60см	супесь, свежий, на буром фоне светло-бурый пятна песка и черные пятна нефтепродуктов, уплотненный, специфический запах нефтепродуктов, переход ясный по цвету, граница ровная
	G 60-75↓	супесь, мокрый, серовато-сизый, бесструктурный, рыхлый, специфический запах нефтепродуктов, с глубины 64 см сочится вода

В)

	Ad 0-3см	дернина, на поверхности много техногенных включений, переход четкий, граница ровная
	слой 1 3-15см	супесь, свежий, темно-серый, фрагментарно ореховатая, уплотненный, много корней травянистой растительности, переход ясный, граница слабоволнистая
	слой 2 15-30см	супесь, свежий, накоричневом фоне темно-бурый пятна, глыбистая, переуплотнен, включения дресвы, переход четкий, граница ровная
	слой 3 30-100↓	песок, холодный, серый, бесструктурный, рыхлый, включения дресвы и единично щебень, окатыши

Г)

	0-3см	Нефтяная пленка, сильный запах нефтепродуктов
	B1 3-10см	песок, влажный, пропитанный нефтью, черный, много отмерших корней, живых корней меньше, переход ясный по цвету, граница ровная
	B2 10-40см	песок, свежий, бурый, рыхлый, бесструктурный, переход заметный, граница карманная
	B3g 40-65см	песок, свежий, на палевом фоне охристые пятна и затеки по ходам корней, бесструктурный, единичные корни, переход ясный, граница ровная
	G 65-80↓	песок, влажный, на серо-сизом фоне охристые пятна, плотный, комковато-призматическая структура, много мелких пор, единичные мертвые корни, охристые пленки по ходам корней и граням структурных отдельностей

д)

	Ad 0-3см	дернина, включения дресвы и гальки, переход четкий, граница ровная, сильный запах нефтепродуктов
	слой 1 3-12см	супесь, сухой, светло-коричневый, бесструктурный, рыхлый, много корней, включения дресвы и гальки, переход ясный по цвету, граница слабоволнистая
	слой 2 12-22см	супесь, прохладный, бурый, бесструктурный, рыхлый, включения дресвы и гальки, единичные пятна нефти,
	слой 3 22-45см	супесь, влажный, темно-бурый, бесструктурный, рыхлый, пропитан нефтью, много капель нефти Ø до 10мм, переход ясный по цвету, граница волнистая
	[Bg] 45-76↓	песок, мокрый, на темно-сером фоне сизые пятна оглеения и черные пятна нефти и обугленные куски торфа

Рис. 5. Профили рекультивированных почв и их морфологическое описание
а) вариант 1, б) вариант 2, в) вариант 3, г) вариант 4, д) вариант 5.

После окончания 1-го этапа рекультивированных работ для вариантов 1.2, 3, и 5 были проведены агротехнические мероприятия: боронование; внесение минеральных удобрений; высев злаков.

Каждая рекультивированная площадка ограничена рвом глубиной 0,5-1 м для снижения уровня почвенно-грунтовых вод и выдавливания нефтесодержащей жидкости при отрицательных температурах.

Максимальное количество доломитовой муки было внесено перед посевом многолетних трав в варианте 1. Подкормки включали внесение аммиачной селитры, мочевины, во вторую подкормку в 1 и 3 вариант был внесен хлористый калий.

Табл.3.Внесенное количество удобрений для биологической рекультивации земель, очищенных от нефтяного загрязнения
(из архива ООО СПАСФ «Природа»).

Удобрение	№ площадки рекультивации				
	1	2	3	4	5
площадь, га	1.9	1.1	2,1	2.9	3.2
перед посевом, кг/га					
доломитовая мука	1900	1100	500	0	нет данных
Азофоска (16+16+16)	0	260	1380	0	
Хлорид калия (60%)	200	0	0	0	
Мочевина (34,4%)	352	0	0	0	
подкормка 1, кг/м2					
Ам. селитра или	100	45	200	0	нет данных
Мочевина (46%)	70	35	140	0	
подкормка 2					
Ам. селитра или	100	0	200	0	нет данных
Мочевина (46%)	70	0	140	0	
Хлорид калия (60%)	150	0	300	0	
подкормка 3, кг/м2					
Ам. Селитра или	100	0	200	0	нет данных
Мочевина (46%)	70	0	140	0	
Хлорид калия (60%)	150	0	300	0	

3.2. Формирование растительного покрова

Согласно архивным данным ООО СПАСФ «Природа» на биологическом этапе рекультивации был произведен высев следующих злаков: *Festuca pratensis*, *Festuca*

rubra, *Festuca ovina*, *Phleum pretense*, *Lolium perenne*, *Lolium multiflorum*, соотношение семян в посевном материале было одинаковым для всех вариантов рекультивированных почв. Максимальная норма высева была применена в 5 варианте (1625 г/м²) и наименьшая норма высева была применена во втором варианте рекультивации (табл.4).

Табл.4. Состав и норма высева семян для биологической рекультивации земель, очищенных от нефтяного загрязнения (из архива ООО СПАСФ «Природа»)

№ варианта рекультивации		1	2	3	4	5
высеваемая культура	Расход, г/м ²	900	500	1000	-	1625
овсяница луговая	45%	405	225	450	-	731
райграс многолетний	25%	225	125	250	-	406
тимopheевка луговая	15%	135	75	150	-	244
райграс однолетний	15%	135	75	150	-	244

Дополнительно на третьем (3) участке в 2011 году произвели рядную посадку (1 метр) саженцев сосны (h=10см) с шагом 1 метр.

Т.о. к настоящему времени рекультивированные территории полностью прошли все этапы рекультивации, созданный растительный покров функционирует в течении нескольких лет (4-15 лет).

Рассмотрим основные физические свойства почв фонового и рекультивированных участков.

ГЛАВА 4. Агрофизические и агрохимические свойства почв

4.1. Основные агрофизические свойства

Плотность почв. Во всех вариантах почв верхняя часть профилей имела низкие значения плотности почв, что обусловлено высоким содержанием органических веществ (рис. 6 а), особенно в фоновой почве.

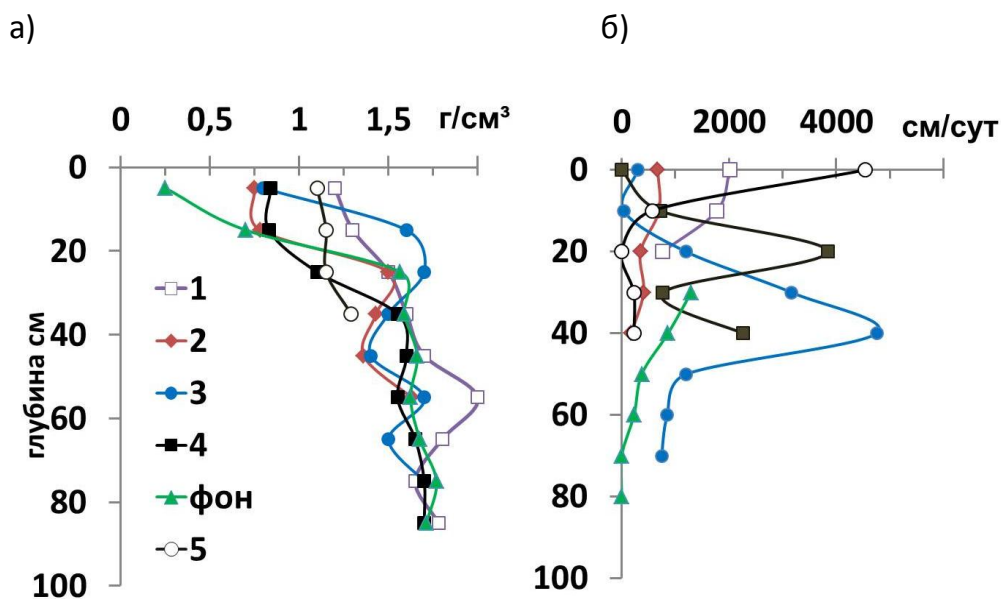


Рис. 6. Профильные распределения: а) плотности почв; б) коэффициента фильтрации (средние значения) фоновой почвы и вариантов рекультивированных

В вариантах 2 и 4 не было произведено перемещения почвенных масс, и плотность верхнего горизонта меньше единицы, что соответствует фоновым значениям. В варианте 3 резкое увеличение плотности глубже 10 см обусловлено проведением боронования, что связано с механическим разуплотнением верхнего слоя.

Во всех вариантах профильные распределения плотности почв отражают особенности морфологического строения профиля, связанного со сменой генетических горизонтов.

Наличие естественных и искусственно созданных резких переходов горизонтов отразилось на значениях плотности, что дает основание предположить о возможности регулярного накопления и застоя влаги на границах слоев.

Коэффициент фильтрации верхнего слоя в тех вариантах, где была произведена замена или перемешивание грунта, имеет высокие значения по классификации Эггельсмана (рис.6.), на фоне сильного варьирования абсолютных величин в повторностях определений, особенно в 1 и 5 вариантах. При смыве нефти (вариант 4), водопроницаемость поверхности почв резко снизилась до почти нулевых значений. Морфологически почва данного участка пропитана сверху нефтью, препятствующей прохождению влаги (рис.6.).

Для большинства исследованных вариантов данное свойство было определено до глубины 45 см и выявило наличие слабопроницаемых горизонтов на разных глубинах. Ближе всего к поверхности водоупорный горизонт расположен в варианте 3, в котором на глубине 10-20 см происходит резкое падение фильтрации до почти нулевых значений, и наблюдается постепенный рост фильтрации с глубиной в песчаном слое. Это связано с двумя причинами: (1) разуплотнение при бороновании верхних 10 см, (2) подстилание с глубины 30 см жестким песчаным слоем. Определение Кф в течении трех лет наблюдений на данном участке показали падение его величин в 3-5 раз, хотя абсолютные значения продолжают оставаться высокими, и постепенно смещение вниз слабопроницаемого горизонта под действием растительного покрова,

В варианте 5 водоупорный горизонт располагается ниже незагрязненного слоя, в нем на глубине с 22 см почва пропитана нефтью после ее неполного сжигания. С остаточным загрязнением нефти и резкой переходной границей между очищенным и загрязненным горизонтами связано и сильное снижение фильтрации на глубине 40 см варианта 1. В фоновой почве определения данного параметра были проведены для минерального горизонта, показавшие наличие водоупора на глубине 70-80 см. Это согласуется с морфологически выделяемым оглеением

почвенной толщ. Такие же значения получены и для 4 варианта, в котором кроме вышеуказанного поверхностного горизонта застой влаги отмечен на той же глубине, что и в фоновой почве.

Таким образом, в естественной (фоновой) почве на глубине 70-80 см располагается слабопроницаемый горизонт, препятствующий прохождению влаги и, вероятно, образующий верховодку при значительных выпадениях осадков и снеготаянии. Все способы рекультивации повлияли на профильное распределение коэффициента фильтрации, сформировав близко расположенные к дневной поверхности водоупорные слои, обусловленные остаточным морфологически выделяемым нефтезагрязнением или резкими границами перехода слоев.

Дисперсность почв

Дисперсность почвы в физике почв характеризуется двумя параметрами – гранулометрическим составом, т.е. содержанием гранулометрических фракций разного размера, и удельной поверхностью, отражающей размер поверхности твердой фазы почв.

Гранулометрический состав

Гранулометрический состав почв - это основная базовая классификационная характеристика почв, характеризующая дисперсность ее твердой фазы и оказывающая сильное влияние на все ее свойства и режимы.

Верхняя часть фоновой почвы (табл.5.) представлена торфяным слоем мощностью 20-30 см, подстилаемый песчаным слоем. Преобладающей фракцией минерального горизонта является песок мелкий, с глубиной происходит снижение доли среднего и крупного песка и увеличение тонких фракций, что ведет к постепенному утяжелению гранулометрического состава от связанного песка до супеси по классификации Качинского.

Подробное исследование гранулометрического состава, наряду с фоновой почвой, проводилось для 3-го варианта рекультивации, в котором было осуществлено поднятие территории с изменением рельефа и формированием склона и замещением минеральной части грунта. Для исследования ряда

физических и химических свойств были выбраны две точки, отличающиеся гидрологическими условиями: автоморфный участок и гидроморфный.

Табл.5. Гранулометрический состав исследуемых почв

		Содержание фракций в % (размер частиц в мм)						
разрез	Глубина, см	1-0,25	0,25- 0,05	0,05- 0,01	0,01- 0,005	0,005- 0,001	<0,001	физич. глина, %
ФОНОВЫЙ УЧАСТОК	0-10	Торфяной горизонт						
	10-20							
	20-30	17.1	77	3	0.8	1.5	0.7	3
	30-40	12.3	73.5	8.5	1.8	2.8	1.1	5.7
	40-50	11	76.9	7.4	1.4	2.4	1	4.7
	50-60	12.6	73.1	8.4	1.8	2.9	1.2	5.9
	60-70	13.3	64.9	12.4	3.0	4.8	1.6	9.4
	70-80	9.6	73.1	9.7	2.1	3.9	1.6	7.6
	80-90	12.1	64.3	12.5	3.5	5.8	1.9	11.2
	90-100	3.43	76.2	8.7	2.4	6.5	2.8	11.7
3 УЧАСТОК автоморфный	0-10	7.4	59.8	18.9	4.8	7.2	2	14
	10-20	19.6	55.7	13.6	3.8	5.8	1.5	11.1
	20-30	12.0	67.4	9.3	3.3	6	2.0	11.3
	30-40	28.7	65.7	2.3	0.9	1.6	0.8	3.3
	40-50	34	63.8	0.5	0.3	0.8	0.5	1.7
	50-60	32	64.4	1	0.4	1.2	0.6	2.2
	60-70	27.6	67.5	1.5	0.8	1.7	0.9	3.5
	70-80	27.6	67.5	1.5	0.8	1.7	0.9	3.5
	80-90	32.4	64.4	1	0.4	1.2	0.6	2.2
	90-100	20.1	72.8	2.6	1.1	2.3	1.1	4.5
3 УЧАСТОК гидроморфный	0-10	15.9	55.5	17.9	3.9	5.4	1.5	10.8
	10-20	15.6	60.9	10.4	3.8	7.0	2.3	13.2
	20-30	15.8	61.7	10.0	3.8	7.5	1.1	12.4
	30-40	28.7	65.7	2.3	0.9	1.6	0.8	3.3
	40-50	34	63.8	0.5	0.3	0.8	0.5	1.7
	50-60	20.2	74.9	1.3	0.7	1.9	1.0	3.7
	60-70	27.6	67.1	2	0.9	1.6	0.8	3.3
	70-80	27.6	67.1	2	0.9	1.6	0.8	3.3
	80-90	20.2	74.9	1.3	0.7	1.9	1.0	3.7
	90-100	20.1	72.8	2.6	1.1	2.3	1.1	4.5

Гранулометрический состав обеих почвенных разностей, несмотря на выраженность рельефа, практически одинаков. Наблюдаются близкие значения содержания фракций ила, мелкой, средней и крупной пыли в верхних 30 сантиметрах почвенной толщи, сложенной из ОСВ и очищенной почвы, и их резкое снижение в подстилающем песчаном слое. Данный факт указывает на высокое качество технического этапа рекультивации при создании слоев, их равномерного настиления друг на друга, однородность используемого грунта.

Надо отметить некоторую слоистость песчаной подстилающей толщи почвы варианта 3 по гранулометрическому составу, что может явиться дополнительным препятствием для свободного проникновения вглубь почвенной влаги.

Удельная поверхность почв

Другой характеристикой дисперсности почв, отражающей качество и количество поверхности твердой фазы почв, является удельная поверхность. Важность данного исследования обусловлена особенностями нефтяного загрязнения, увеличивающим гидрофобность поверхности почвенных частиц и снижающим их сорбционную способность. Поэтому в работе удельная поверхность определялась методом десорбции паров воды. Рассмотрим изотермы десорбции паров воды фоновой и рекультивированных почв (рис. 7).

В фоновой почве отчетливо выделяется верхний торфяной слой высокой водоудерживающей способностью, его кривые значительно смещены относительно остальных в сторону больших значений влажности. Изотермы десорбции всех остальных горизонтов расположены очень скученно, кривые весьма прямолинейны и смещены в область низких значений влажности, что указывает на слабую выраженность внутренней удельной поверхности, что соответствует песчаному гранулометрическому составу этих слоев (табл.5).

Изотермы десорбции паров воды автоморфных и гидроморфных почв варианта рекультивации 3 различаются (рис.7). В почве, расположенной на верхней части склона, выделяются верхние горизонты, в которых отмечается повышенная сорбционная способность к воде.

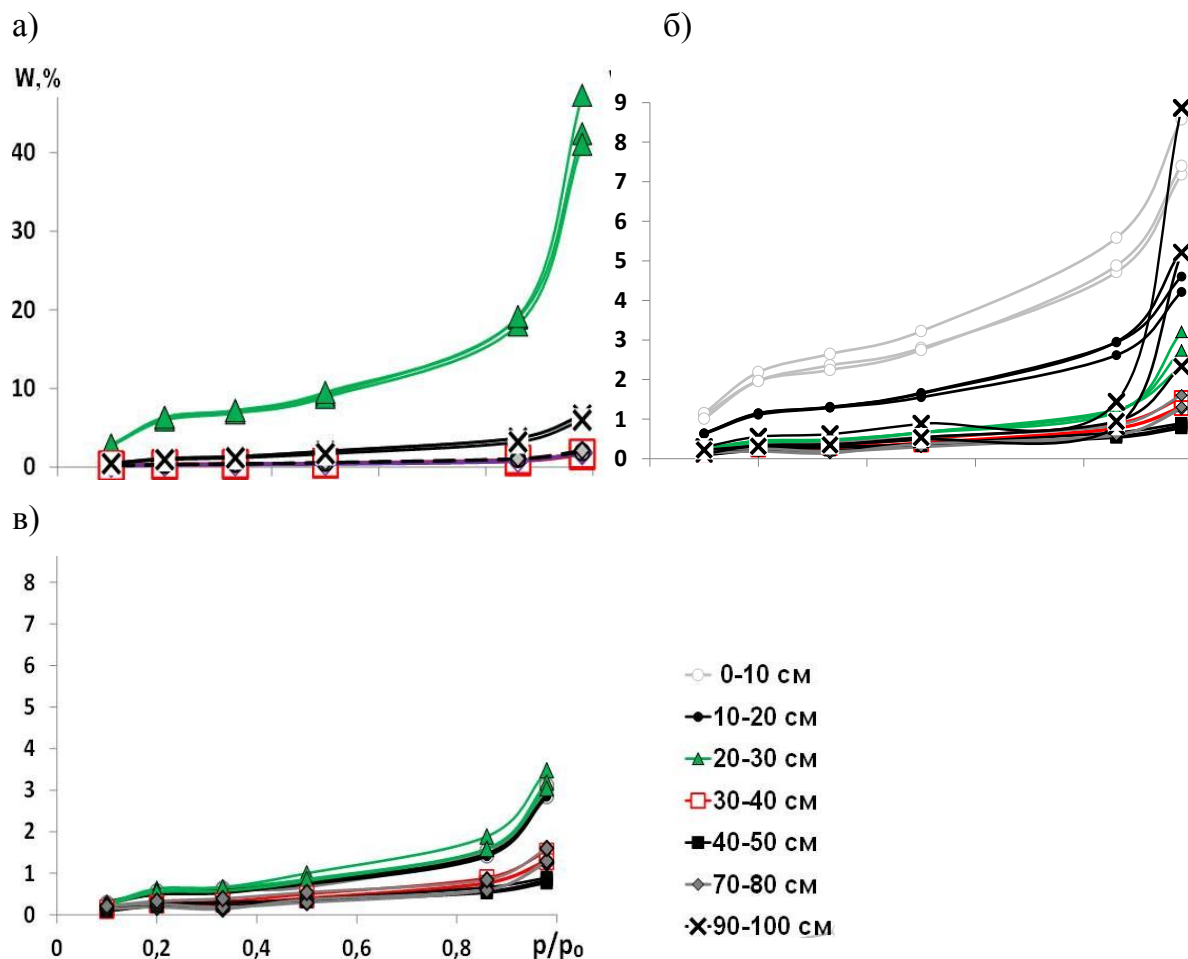


Рис. 7. Изотермы десорбции паров воды: а) фоновой почвы, б) вариант 3, автоморфная почва в) вариант 3, гидроморфная почва

С глубиной происходит снижение водоудерживающей способности, что ведет к смещению кривых десорбции в область низких значений влажности. Выделяется глубина 90-100 см, в которой наблюдается резкий рост влажности при значениях $p/p_0 > 0,8$, что свидетельствует об увеличении вклада пленочно-капиллярной влаги.

В отличие от почв, расположенных на верхних позициях склона, гидроморфные почвы у его подножия имеют скученный характер кривых

десорбции с низкими значениями влажности во всех диапазонах давления паров воды (рис.7). Отметим, что для обоих вариантов характерно более высокое расположение изотерм десорбции образцов, отобранных из уплотненного слоя на глубине 20-30 см.

Расчет удельной поверхности по параметрам изотерм десорбции для каждой глубины позволил рассмотреть ее распределение по профилям почв (рис.8).

В фоновой почве максимальные значения получены для нижней части торфяного горизонта. Столь высокие значения удельной поверхности обусловлены почти полной степенью разложения торфа с почти неузнаваемой структурой растительности в ее составе (по шкале Поста – Н10, ГОСТ 21123-85 – более 60%). В подстилающем минеральном горизонте значения удельной поверхности резко снижаются и достигают минимума в нижней части исследованного профиля.

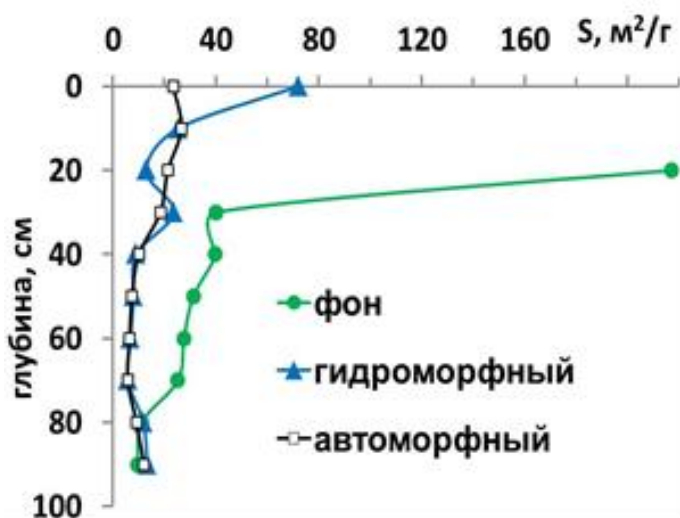


Рис.8. Удельная поверхность фоновой почвы и 3 участка рекультивации (гидроморфный и автоморфный)

В 3-ем варианте рекультивированных почв значения удельной поверхности очень близки, за исключением верхнего слоя. В автоморфной почве ее величины составили около $72 \text{ м}^2/\text{г}$, а в гидроморфной лишь $23,4 \text{ м}^2/\text{г}$. Так как в гранулометрическом составе исследованных почв различия между вариантами не значительны - разница в содержании физической глины около 3 %, а ила – 0,5 %,.

то, можно предположить, что снижение сорбционных свойств обусловлено ее качеством, а не размером и связано с особенностями поверхности твердой фазы почв. Тем более, что пробоподготовка к определению гранулометрического состава включала удаление органического вещества, а удельная поверхность определялась для образцов, содержащих гумус, остаточные количества углеводов нефти и органические соединения осадков сточных вод, которые, вероятно, по-разному трансформировались в процессе функционирования почв. На влияние именно внешних условий указывают близкие значения удельной поверхности обоих вариантов почв глубже 10 см.

Основная гидрофизическая характеристика (ОГХ) является базовой в почвенной гидрофизике, позволяющей оценить водоудерживание, провести прогноз водного режима почв методами математического моделирования. Ее определение также было проведено для минеральных горизонтов фоновой почвы и двух участков варианта 3 с почвами разной степени гидроморфизма. Было выявлено, что минеральные горизонты фоновой почвы имеют очень близкую водоудерживающую способность (рис. 9. а). Форма кривых характерная для почв песчаного ряда. Выделяется нижний слой 90-100 см, в котором и в сорбционной, и в капиллярной частях, кривая ОГХ располагается выше остальных кривых. Он лучше удерживает почвенную влагу, что согласуется с морфологией профиля и наличием оглеения на данной глубине.

В почве автоморфных позиций варианта 3 рекультивации верхний горизонт отличается относительно высоким водоудерживанием в сорбционном и капиллярном диапазонах, резко снижаясь в нижней части кривой ОГХ (рис. 9,б), что свидетельствует малом количестве в нем крупных гравитационных пор. Максимальное водоудерживание обнаружено на глубине 10 см данного варианта, что хорошо согласуется с профильным распределением плотности почвы и снижением водопроницаемости. В образцах из нижней части профиля происходит изменение формы кривой ОГХ, свидетельствующее о меньшей выраженности тонких пор.

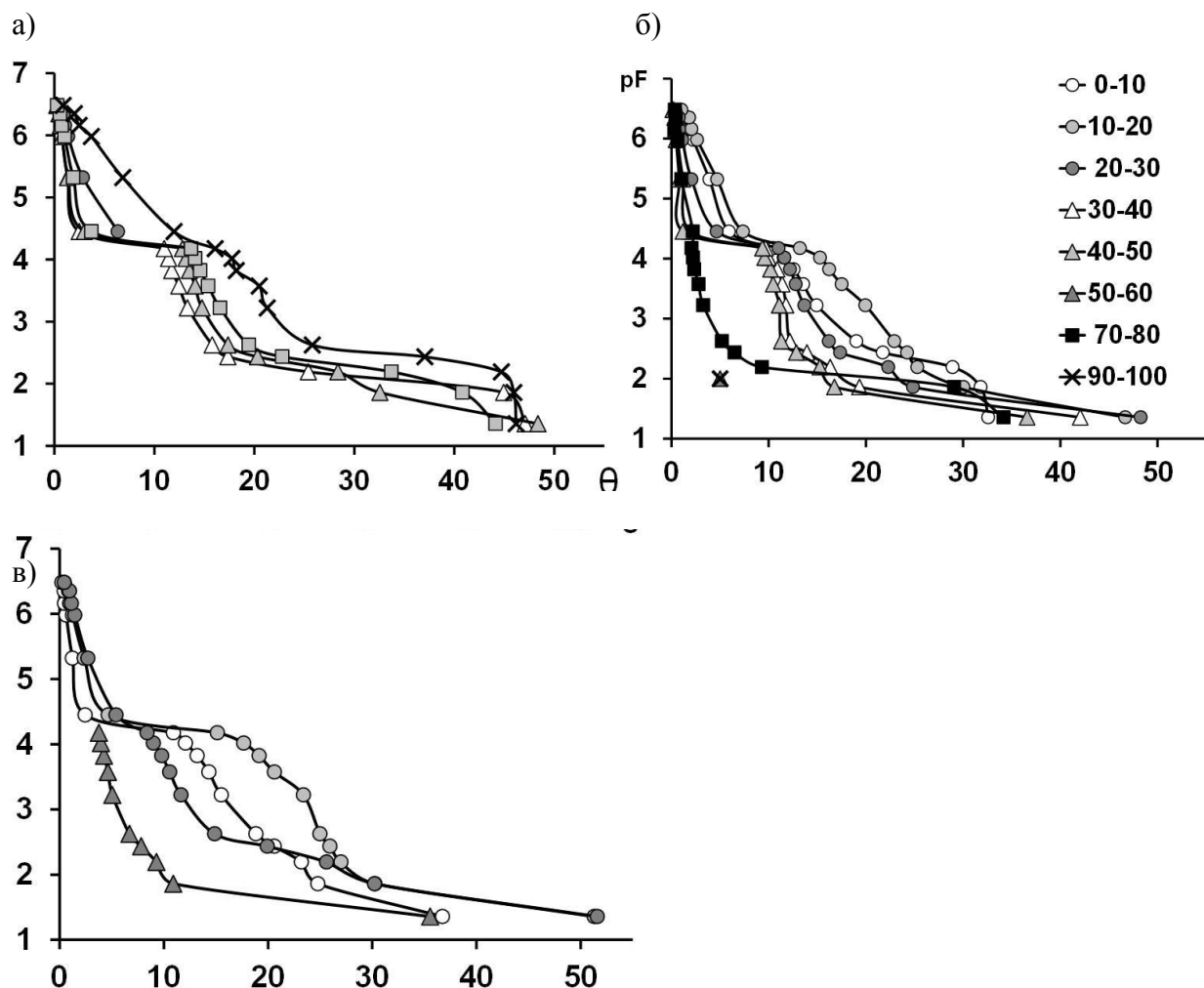


Рис. 9. ОГХ исследованных почв: а) фон; б) 3 вариант, автоморфная; в) 3 вариант, гидроморфная

В гидроморфной почве дифференцированность профиля по водоудерживанию выражена сильнее, чем в автоморфной (рис. 9. в). В ней также выделяется слой на глубине 10-20 см, характеризующийся максимальным водоудерживанием. А слой, имеющий наименьшие величины, аналогичный нижнему горизонту автоморфной почвы, располагается ближе к поверхности на глубине 50 см.

Исследования профильных распределений агрофизических свойств рекультивированных почв показало их сильное отличие (трансформацию) в

сравнении с фоновыми почвами, обусловленное этапами рекультивации, что предполагает иной режим функционирования. Так, в 3 варианте первый этап рекультивации включал перемещение почвенных масс, поднятие над естественными почвами рекультивируемого участка, что привело к формированию автоморфных условий. Кроме того создание резких переходов границ почвенных слоев и грунта в условиях отсутствия длительного переувлажнения, характерного для почв лесотундры, чревато формированием подвешенной влаги на переходах, смене вертикального стока на латеральный, и как следствие – периодическое сильное иссушение верхнего слоя почв, приводящего к сильному угнетению растительного покрова. Все это также требует изучения химических свойств почв, концентрации органических поллютантов в них.

4.2. Основные агрохимические свойства почв

Одним из этапов рекультивации является биологический, обеспечивающий формирование, успешный рост и развитие растительного покрова, что предполагает необходимость оптимизации содержания элементов питания и pH..

В профиле фоновой почвы величины $pH_{\text{водн.}}$ находятся в диапазоне 5,3-6,5 (рис.10), что представляет собой несколько завышенные значения для данных почв. К настоящему времени близкие к фоновым значениям и форме их распределения по профилю закономерно обнаружены в первом варианте. Некоторое увеличение величин $pH_{\text{водн.}}$ обусловлено внесением доломитовой муки.

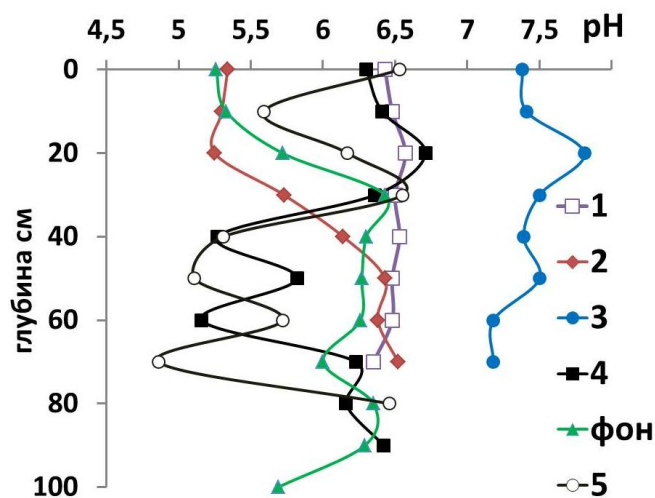


Рис. 10. Профильные распределения $pH_{\text{водн.}}$ фоновой и вариантов рекультивированных почв

Во втором варианте наиболее кислые условия в верхней 30 см толще, что обусловлено меньшими объемами доломитовой муки на фоне внесения кислых удобрений. Нижние горизонты варианта аналогичны фоновой почве.

В 4 и 5 вариантах снижение величин $pH_{\text{водн.}}$ произошло с глубины 40 см (рис.10). Это связано со спецификой проведения рекультивации в 5 варианте и с недоведенными до конца мероприятиями в 4 варианте.

Наибольшие величины (в среднем от 6,63 на поверхности и до 7,57 на глубине 30 см) в 3-м варианте рекультивированных почв обусловлены сильными начальными изменениями их свойств за счет внесения ОСВ, изменившего вещественный состав, и объемами доломитовой муки.

В целом условия в верхних горизонтах по изученному параметру относятся к благоприятным для успешного роста и развития многолетних злаковых трав, а для вариантов 1,4,5 – оптимальными (Тюльдюков и др.)

Фоновые содержания питательных элементов (калия, фосфора и азота) очень низкие, что характерно для почв Севера. Большинство биофильных элементов содержится в категории средних значений по их обеспеченности (Кудрин, 1963). Рассмотрим их подробнее.

Содержание подвижного фосфора P_2O_5

Травяным смесям фосфор необходим для укрепления корневой системы, фосфорные удобрения повышают устойчивость к засухе. Тем самым весной травянистые растения начинают раньше расти, летом растениям становятся доступны новые запасы воды и питательных веществ, а ранней осенью стимулируется рост боковых побегов (Тюльдюков и др., 2002). Разложение растительных остатков и первичная продуктивность в высокогорных и северных экосистемах определяются во многом доступностью фосфора (Billings, Mooney, 1968; Weintraub, 2011), а в тундровых почвах, содержащих большое количество органического вещества, часто содержится мало доступного растениям фосфора за счет его консервации в составе органического материала (Walker, Syers, 1976).

В профиле фоновой почвы концентрация подвижного P_2O_5 колеблется в пределах 6 – 22 мг/100гр, что является низким для торфяных почв (рис. 11.). Низкое содержание наблюдается и в варианте 4, в который, согласно архивным данным не вносились удобрения.

В остальных вариантах его количество колеблется по шкале обеспеченности данным элементом в зависимости от генезиса горизонта (торфяной, пахотный, минеральный) как средней обеспеченности. Очень высокие значения (избыточные) обнаружены в 3 варианте рекультивации и составили около 275 мг/100г, что связано с наибольшими дозами внесенных удобрений и использованием ОСВ в формировании верхнего слоя.

Повышенные значения подвижного фосфора на глубине 50см варианта 5 обусловлено спецификой проведенной рекультивации.

Содержание подвижного калия (K_2O). Калий необходим газонным травам в течении всей вегетации для интенсивного образования побегов, он укрепляет траву и усиливает ее устойчивость к засухе, болезням и потере окраски. При осенней подкормке калий повышает устойчивость растений к морозам (Хессайон, 2006; Князева, 2004)

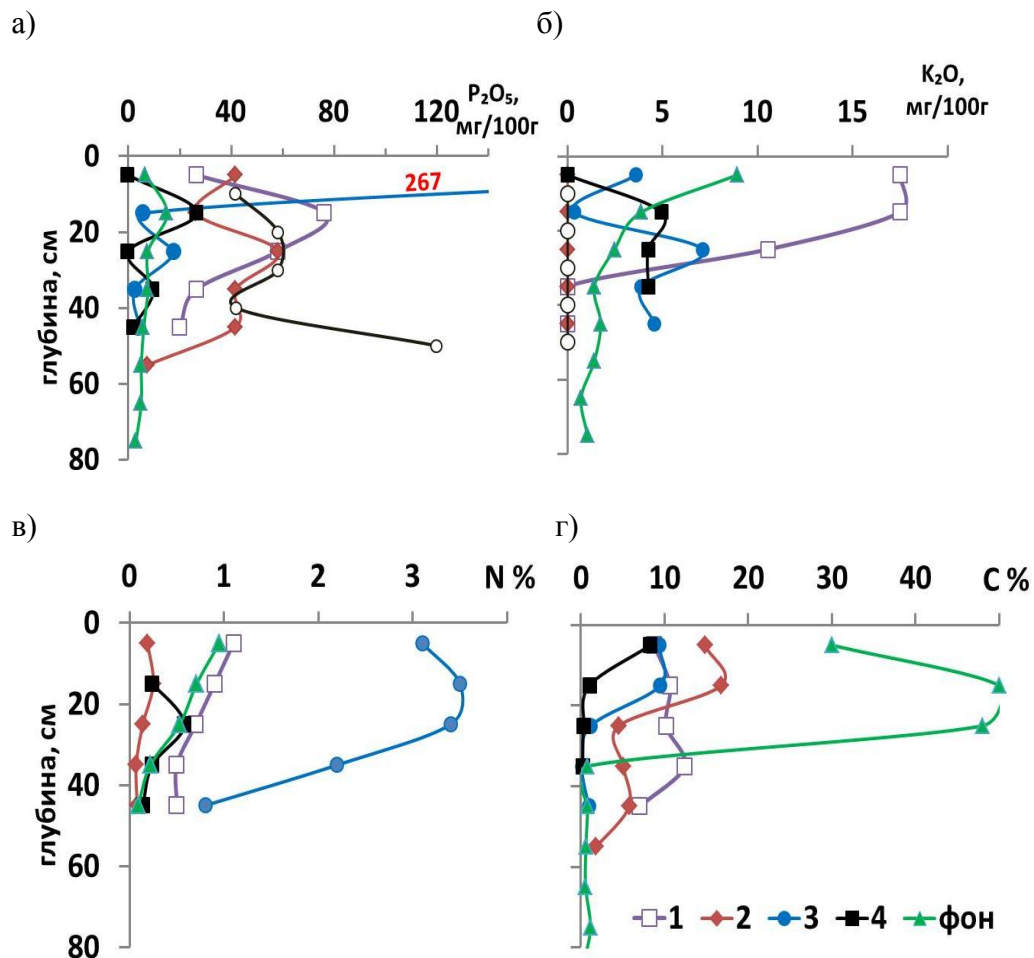


Рис. 11. Профильные распределения содержания в фоновой почве и вариантах рекультивированных почв: а) подвижного Р (в пересчете на P_2O_5); б) подвижного калия (в пересчете на K_2O); в) общего азота; г) углерода

Содержание подвижного калия в исследуемых почвах также очень низкое (рис. 11 б). В профиле фоновой почвы концентрация калия колеблется в пределах 0,7 – 2,5, что характерно для почв данного региона. Появление калия в почве может быть обусловлено антропогенным воздействием при загрязнении сырой нефтью, содержащей пластовые высокоминерализованные воды, или при внесении удобрений. Данный элемент является важнейшим биофильным элементом и его недостаток угнетает растения. Однако, в условиях переувлажнения он обладает очень высокой подвижностью вследствие высокой растворимости его соединений.

На первом участке в верхних 20 сантиметрах концентрация элемента линейно уменьшается с 17 мг/100 г почвы до нулевых значений. Это обусловлено тем, что основными удобрениями для этого способа рекультивации были хлорид калия (60% - 200 кг/га) и мочевины (34% - 350кг/га). Поскольку на 4 участке не проводили агрохимических мероприятий, можно предположить, что более высокое содержание калия в профиле варианта обусловлено остаточным содержанием калия из пластовых высокоминерализованных вод, которые являются неотъемлемой частью сырой нефти.

Содержание общего азота N, %.

Многолетние злаковые травы в первый год жизни остро нуждаются в азоте. Он улучшает окраску, способствует нормальному росту, трава становится густой, яркой окрашенной и свежей. С начала августа подкормку азотными удобрениями следует прекратить, или при осенней подкормке содержание азота в комплексном удобрении должно быть низким, так как растения в этом случае не успеют подготовиться к периоду покоя и плохо перезимуют (Хессайон, 2006; Князева, 2004).

Наибольшее содержание азота, как и углерода, приурочено к верхним горизонтам почв и составило 0,95% для незагрязненного участка и 0,19-1,1% для рекультивированных участков. Исключение составил вариант 3, в котором концентрация элемента в верхнем 20-см слое составляет 3,1-3,5 %, резко снижаясь с глубиной. Это связано с использованием, наряду с внесением минеральных удобрений, осадков сточных вод при формировании данного варианта рекультивационной почвенной конструкции, содержащих, по- видимому, высокие концентрации азота.

Содержание углерода C %.

В профиле фоновой почвы концентрация углерода составляет от 50 % в торфяном горизонте до 0,3% в его нижней части. Высокие концентрации углерода на всех участках рекультивации обусловлены наличием в составе почв остаточных количеств нефтепродуктов и внесением доломитовой муки.

Углерод и азот, их соотношение отражают общую направленность процессов биологического круговорота в экосистемах. Применительно к торфяным почвам, загрязненным нефтью соотношение содержания этих элементов указывает на условия жизнедеятельности для почвенных микроорганизмов и растительного покрова. Как следует из полученных профильных распределений, в целом обследованные участки характеризуются высоким содержанием углерода. В ряде случаев нефтяное загрязнение приводит к аномально высоким значениям углерода и обеднению азотом, что негативно сказывается на разложении УВ в загрязненных почвах, так как сильно подавляет деятельность микроорганизмов не только вследствие токсичности нефтепродуктов, но и недостатка азота.

Таким образом, исследование физических и химических свойств почв показало их сильное изменение в результате проведенных этапов рекультивации, обусловленное заменой нефтезагрязненных слоев грунтами очищенной почвой, внесением удобрений. Большинство биофильных элементов содержится в категории средних значений по их обеспеченности.

ГЛАВА 5. Содержание нефтепродуктов в почвах исследованных участков

Арктические и арктотундровые наземные экосистемы (в том числе и почвы) с их слабым потенциалом самоочищения от техногенных углеводородов в настоящее время все чаще подвергаются возрастающим техногенным воздействием. В таком случае возрастает потребность в изучении: 1) особенностей миграции органических поллютантов в почвах; 2) уровней углеводородного загрязнения арктических почв, а также факторов, ответственных за интенсивность разложения углеводородов в арктотундровых условиях (Геннадиев, Пиковский, 2007; Mosbech, 2002)

Способность к самоочищению от техногенных УВ в условиях севера, по всей видимости, определяется совокупностью следующих факторов: 1) выносом органических поллютантов с водными потоками, формой рельефа; 2) биodeградацией и уровнем исходного загрязнения; 3) условиями почвообразования (близость к многолетнемерзлотным породам, гранулометрический состав, гумусированность почв, оторфованность и др.). Наша работа включала в себя исследование содержания остаточных количеств нефтепродуктов с учетом вышеперечисленных факторов, в том числе применение физических моделей для исследования возможности миграции нефти в условиях высокой переувлаженненности почв.

5.1. Распределение техногенных углеводородов в исследуемых почвах

Во всех вариантах почв были отобраны образцы для определения фракционного состава углеводородов (УВ) нефти. Низкие значения УВ наблюдается в фоновой почве лесотундры (рис. 12.). Максимальная концентрация нефти наблюдается в верхних 20 см торфяного горизонта и составляет 370,5 мг/кг, содержание углеводородов в верхнем горизонте 238 мг/кг. Основную часть этих

величин составляет органическое вещество торфа. Данные показатели соответствуют фоновому уровню (Тетельмин, Язев, 2009).

Наиболее неблагоприятная обстановка сложилась в 4-ом варианте в верхнем горизонте, в котором был проведен лишь частичный сбор нефти с загрязненным слоем почвы, что и выявило неудовлетворительность проведенных работ. Содержание УВ достигает 60628 мг/кг (табл.6; табл. 6.п.) Однако и остальные варианты, несмотря на рекультивационные мероприятия содержатся высокие концентрации углеводородов нефти (рис.12).

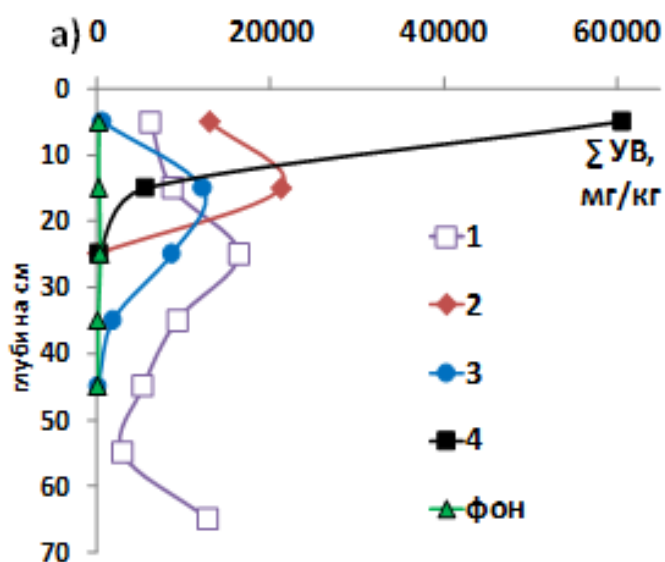


Рис.12.Профильное распределение суммарного количества углеводородов УВ нефти в фоновой и рекультивированной почвах

Кривая распределения второго варианта повторяет в нижней части профиля распределение УВ фоновой почвы.

Наиболее низкие значения этого показателя для рекультивированных почв отмечаются на большей территории 1 участка с применением очистки загрязненного грунта (min 2900 мг/кг, max 16300 мг/кг).

Концентрации на порядок выше характерны для поверхностных горизонтов вариантов 3 и 4 участков. Высокие содержания УВ характерны для 4 участка, рекультивированного частично и составляет 60000 мг/кг почвы, что значительно превышает высокий уровень загрязнения (*Тетельмин, Язев, 2009*). Несмотря на высокий уровень загрязнения на глубине 30 см варианта 3 на его основной площади содержание УВ в приповерхностном слое колеблется между низким и умеренным уровнем загрязнения.

С целью выявления особенностей и факторов радиального и латерального распределения УВ (*Баженова и др., 2012*) определяли их средне- ($C_{14}-C_{23}$) и высококипящей ($C_{24}-C_{34}$) фракции. Коэффициент отношения этих фракций ($C_{14}-C_{23}/C_{24}-C_{34}$) характеризует интенсивность миграции нефтепродуктов (НП). Повышенные значения этого параметра свидетельствуют об относительном накоплении более миграционно активных УВ среднекипящей фракции по сравнению с высококипящей, пониженное – о доминировании выноса этих веществ над накоплением. Анализ содержания остаточных количеств нефтепродуктов в почвах показал (табл. 6), что наибольшее загрязнение с присутствием фракций нефти, способных к миграции, содержится в 2, 4 вариантах почв, в которых был применен сбор нефти с поверхности. Концентрация нефтепродуктов на данных участках, по-видимому, обусловлена спецификой водного режима почв, особенностями рельефа и остаточным содержанием УВ. На 1 участке, на котором была произведена срезка загрязненного слоя, его очистка и дальнейшее возвращение на исходное место, в верхних слоях преобладают высококипящие наиболее инертные фракции нефтепродуктов. С глубиной увеличивается содержание миграционно активных среднекипящих фракций, что свидетельствует о преобладании миграции по профилю над латеральной. На территории, рекультивированной 3 методом обратная ситуация – миграция носит преимущественно латеральный характер.

Табл. 6. Содержание углеводородов в верхнем слое исследованных почв

вариант		ΣУВ мг/кг	<u>C14-C23</u> C24-C34	<u>%н-алканов</u> C14-C23	<u>C17+C18</u> Ci15-Ci16
Фон		238	0,3	15,0	1,6
1		6152	0,6	0,25	3,8
2		13009	0,3	0,1	0,07
автоморфный	3.1	5556	0,25	5,1	1,3
	3.2 раст.	599	0,26	4,3	1,6
гидроморфный	3.3	29166	0,32	5,1	1
	3.4 раст.	4889	0,28	3	0,7
4.1 центр пятна нефти		60628	0,7	1,4	0,6
4.2 край пятна нефти		15085	0,3	0,1	0,9

В варианте 3 обратная ситуация - преобладает латеральный перенос. Рассмотрим его подробно. В нем ярко выражена мозаичность растительного покрова, присутствует выраженность рельефа, в том числе и внутрипочвенного, различные условия увлажнения. Здесь были выбраны дополнительные ключевые точки, отличавшиеся наличием или отсутствием растительного покрова. Снижение концентрации поллютантов на автоморфном (3,1 и 3,2) участке вызвано интенсификацией их выноса. Увеличение их концентрации на гидроморфном (3,3 и 3,4) участке связано с преобладанием процесса накопления над выносом, о чем

свидетельствует и повышение отношения $C_{14}-C_{23}/C_{24}-C_{34}$. На покрытых растительностью участках автоморфной и гидроморфной позиции общее содержание УВ ниже, чем на участках без растительности.

5.2. Миграция нефтепродуктов в почве: модельные фильтрационные эксперименты

Для изучения возможности миграции влаги и веществ в вертикальном и латеральном направлениях варианта 3 были проведены специальные модельные эксперименты с использованием метки движения влаги - красителя BrilliantBlue. Объем поданного раствора во всех фильтрационных трубках был одинаков. После прохождения красящего раствора срезались горизонтальные площадки для изучения морфологии окрашивания, расчета площади окрашивания и смещения относительно центральной оси (рис. 13). Исследования были проведены для автоморфного и гидроморфного участков варианта.

Было выявлено, что глубина промачивания раствором увеличивалась в нижних горизонтах, что обусловлено песчаным гранулометрическим составом и высокими скоростями фильтрации влаги. При установке фильтрационных колонок на поверхность автоморфной почвы (рис. 13 а) происходило постепенное возрастание площади окрашивания, максимум был обнаружен на глубине 8 см, а затем резкое снижение во всех трех повторностях. В гидроморфной почве (рис. 12 б) такой закономерности не обнаружено.

Изучение отклонения окрашиваемых участков от центра фильтрационной трубки показало, что в уплотненном подпахотном горизонте наблюдается растекание красящего раствора с выраженной направленностью по уклону рельефа. В нижних горизонтах подобного смещения пятен окрашивания не наблюдалось (рис. 13 г): на фоне увеличения глубины промачивания окрашивание

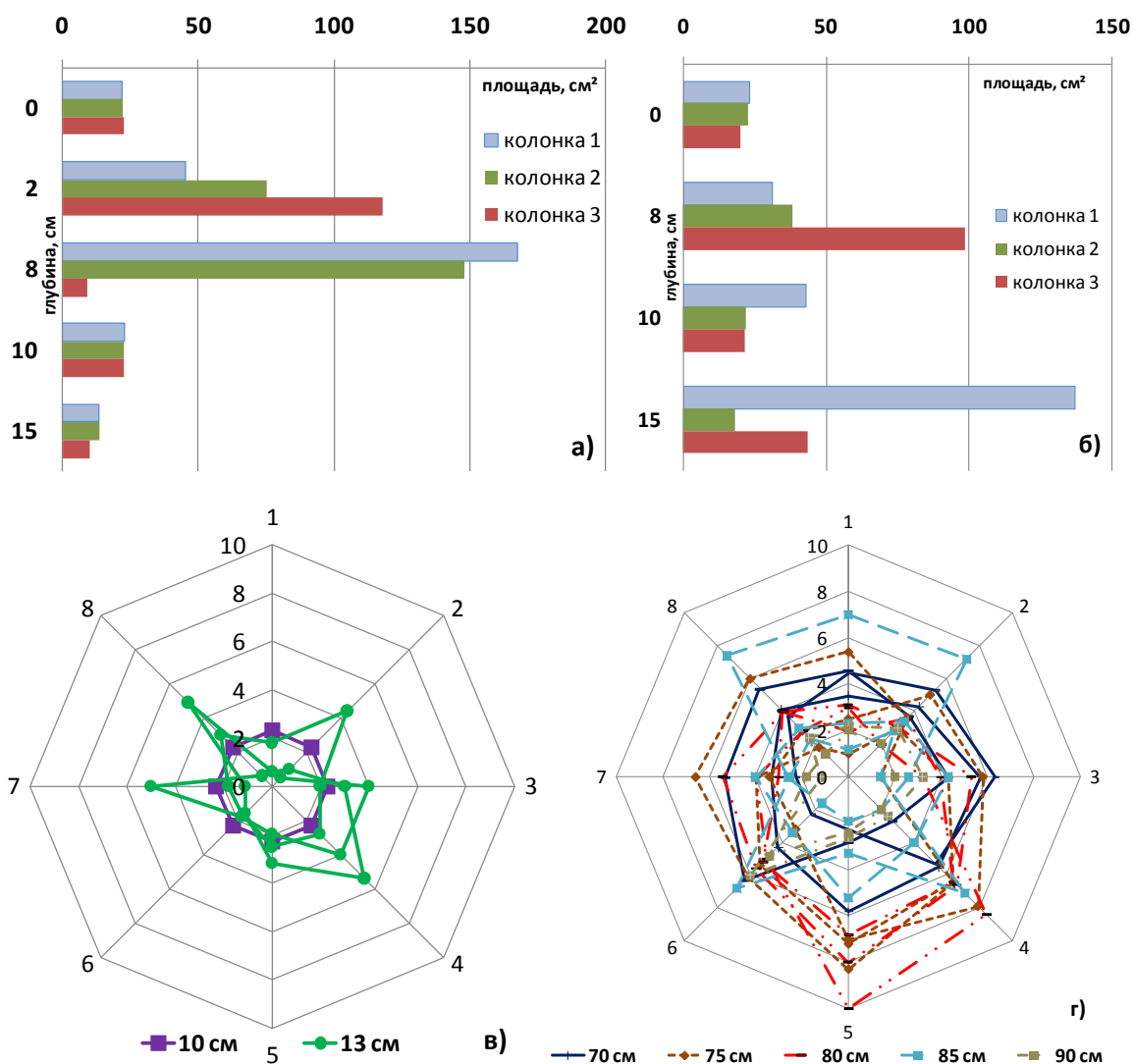


Рис.13. Профильное распределение площадей окрашивания ВВ в: а)автоморфной почве варианта 3, б) в гидроморфной почве варианта 3, Отклонение пятен окрашивания от центральной оси при установке фильтрационных трубок[см] на глубине: в) 10см, г) на глубине 70 см.

носит симметричный характер с центром, совпадающим с осью фильтрационных трубок.

Таким образом, гипотеза о возможности передвижения почвенной влаги по искусственно-созданному рельефу в поверхностном горизонте почв варианта 3 получила свое экспериментальное подтверждение.

Следующий вопрос, являющийся чрезвычайно важным, касался физического обоснования возможности миграции растворенных веществ и нефти по профилю почв, находящейся в сильно увлажненном состоянии. Значительная часть нефти является нерастворимой в воде и гидрофобной по своим свойствам, что ведет к «запиранию» нефти при высокой влажности почв. В условиях Севера основными факторами передвижения нефти являются поднятие или снижение уровня подземных вод (грунтовых или верховодки) или явления замерзания-оттаивания почв. Были проведены лабораторные фильтрационные эксперименты на монолитах минеральных горизонтов фоновой почвы с использованием хлорной метки (имитация засоленных пластовых вод) и метки BrilliantBlue, целью которых явилось исследование передвижения пластовых вод и нефти в первые часы после попадания нефти на поверхность почвы. Длина почвенных колонок составила 8 см.

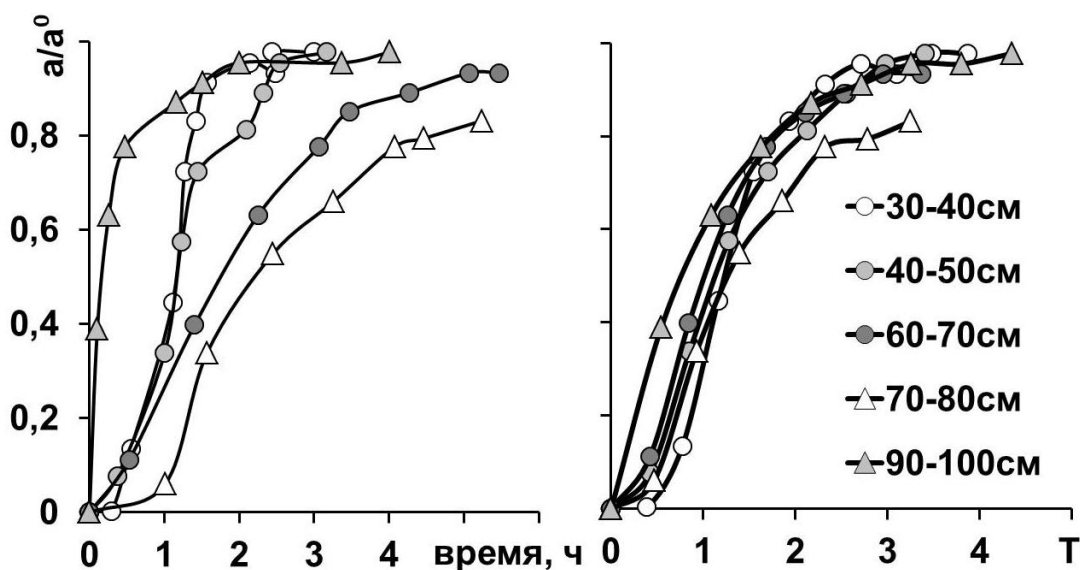


Рис. 14.Выходные кривые хлорид-иона почвенных монолитов тундровой глеевой торфянистой почвы

Измерение скорости фильтрации и передвижения хлорид-иона в почвенных колонках (рис. 14.) показали их постепенное снижение с глубиной отбора образца: если в образце с глубины 30 см концентрации подаваемого на поверхность колонки раствора и фильтрата на нижней границе сравнивались в течении часа фильтрации, то

в колонке с глубины 70-90 см через 5 часов со времени начала эксперимента относительная концентрация не превысила 0,8. Однако, при выражении выходных кривых в величинах такта обнаружена высокая гомогенность порового пространства до глубины 60 см и появление большего количества тонких пор с глубины 70 см, и затем резкое уменьшение их вклада в массоперенос в почвенных образцах из глубины 90 см.

Исследование скорости фильтрации нефти показало, что она способна достаточно быстро перемещаться вслед минерализованному поровому раствору, причем самая высокая скорость миграции была обнаружена в нижних горизонтах и достигала 200 см/сут.

Проведенный модельный эксперимент показал, что формирование условий для свободного передвижения почвенной влаги ведет к увеличению подвижности нефти и возможности ее миграции. Вероятно, к принятой технологии в северных регионах использованию явления промерзания почв для вымораживания (выдавливания) нефти, в отдельные периоды поступления значительных количеств влаги возможно ее перемещение под влиянием водных потоков. Это особенно важно в условиях рекультивации почв в северных регионах России, где предусматривается закладка дренажных систем,

ГЛАВА 6. Биологические свойства исследованных почв

6.1. Растительный покров

На 1, 3 и 5 участках рекультивации после успешного проведения фиторемедиации помимо высаженных травянистых растений на момент исследования также произрастают другие растения.

Практически все пространство дренажных канав всех вариантов занимает пушица влагалищная (*Eriophorum vaginatum* L.). Пушица влагалищная и некоторые другие виды пушиц играют большую роль в торфообразовательных процессах, составляя основную массу так называемого пушицевого торфа. Пушица влагалищная нередко в массе растет по сфагновым и осоково-сфагновым болотам, заболоченным лесам, зарастающим берегам озер, моховым торфянистым тундрам. (Юдина, 1993),

На участке, рекультивированном 1 способом, на всей территории произрастают высеянные злаки, только по периметру встречаются единичные экземпляры щавеля конского (*Rumex confertus*) (рис. 15.)

На 2 участке, рекультивированном с помощью запахивания оставшейся нефти травянистая смесь не закрепилась на поверхности варианта (рис. 15. б), однако по периметру и в пространствах дренажной канавы произрастает Пушица влагалищная (*Eriophorum vaginatum* L.).

По периметру 3 участка (рис. 15., в) помимо Иван-чая (*Chamaenerion angustifolium* L.) в единичных экземплярах встречаются Клевер луговой (*Trifolium pratense*) и Щавель конский (*Rumex confertus*).

На территории варианта 4 весь первый ярус, представленный Березой бородавчатой (*Betula pendula*) и Елью обыкновенной (*Picea abies*), погиб. Именно здесь наибольшее загрязнение верхнего горизонта нефтепродуктами (рис. 12; табл. 6). Подлесок представлен березой бородавчатой и ивой остролистной. В травянистом ярусе хвощ болотный (*Equisetum palustre* L.), проективное покрытие составило 45%, пушица влагалищная – 15%, иван-чай – 10%.

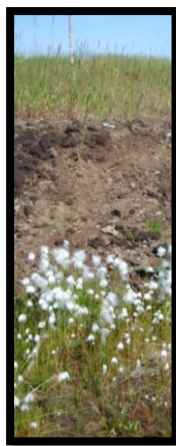
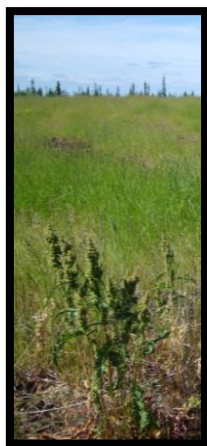
а)



б)



в)



г)



Рис. 15. Вид растительного покрова территории вариантов: а) 1; б) 2; в) 3; г) 4; д) 5.

Поверхность данного варианта характеризуется высокой мозаичностью растительного покрова и наличием большого количества нефтяных луж.

В варианте 5 (рис. 15., г)помимо пространства дренажной канавы вокруг участка Пушица влагалищная (*Eriophorum vaginatum* L.) полностью заняла замкнутую низину размером 1метр на 2 метра в центре площадки.

Т. о. различия в состоянии растительного покрова вариантов исследования условиями увлажнения и загрязненностью нефтепродуктами.

Была исследована динамика изменения растительного покрова с 2010 г в течение 4 лет. Ввиду того, что последним по времени рекультивации явился вариант 3, именно в нем происходили наиболее заметные изменения растительного покрова. В 2010 г. травянистый покров был выражен фрагментарно (рис. 16).

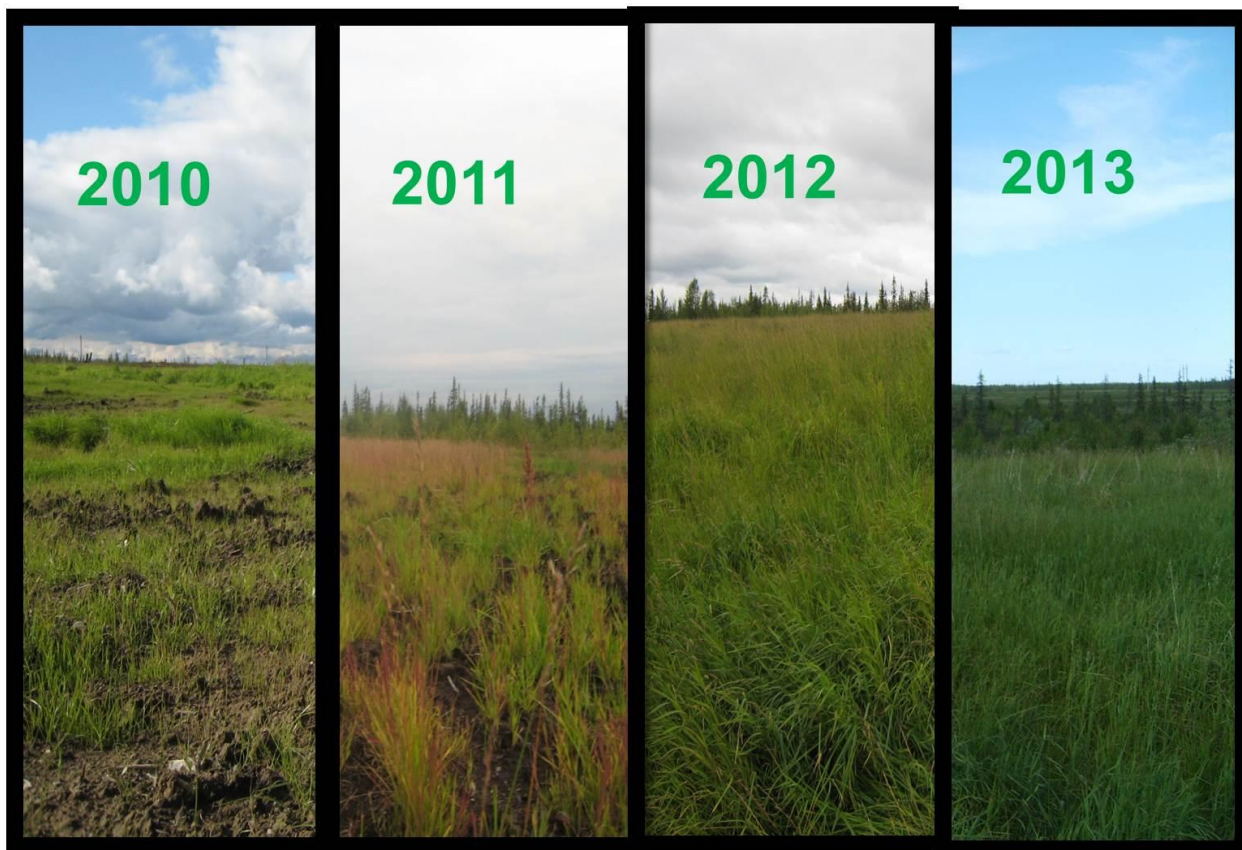


Рис. 16.Динамика растительного покрова территории 3 варианта

Поверхность без растительности имела темно-серый «обугленный» цвет с большим количеством крупных глыб темной, почти черной окраски поверхности. Описываемые почвенные глыбы неправильной формы имели визуально отличимый черный цвет поверхности и более светлый внутренней массы, что и придавало вид «сгоревшей» поверхности всей территории проплешины.

На рис. 17 представлен вид поверхности почвы с «черными глыбами» и отдельная фотография среза глыбы, где отчетливо заметна разница в цвете и структуре внешней поверхности и внутренней поверхности глыбы.



Рис.17. а) Вид поверхности проплешины в варианте 3; б) срез окрашенной глыбы из дневного слоя варианта 3

В течение 4-х лет происходило постепенное зарастание травами и сокращение площадей темно-окрашенных проплешин (рис. 17.). К настоящему времени данная территория, покрытая травянистым растительным покровом и рядовыми посадками саженцев сосен продолжает иметь пятнистость проективного покрытия растениями.

На всех остальных участках заметных изменений растительного покрова не обнаружено.

6.2. Численность бактерий и таксономический состав сапротрофных бактериальных комплексов

Было проведено изучения численности бактерий и таксономического состава сапротрофных бактериальных комплексов верхних горизонтов рекультивационных почв (табл. 7), подтвердившие гипотезу об интенсивности биodeградации НП в зависимости от уровня загрязнения и увлажненности территории.

Было обнаружено, что в 4 варианте общая численность бактерий вокруг нефтяных пятен ($9.4 \cdot 10^8$) практически на порядок превосходит численность под нефтяным пятном ($1.4 \cdot 10^8$), что свидетельствует об активном разложении нефти бактериями, а субдоминанты и минорные компоненты (под нефтяным пятном) отсутствуют. Доминантами в фоновой почве явились *Bacillus* и *Arthrobacter*, в почвах вариантов 1 и 3 с низким уровнем загрязнения НП верхнего горизонта – *Arthrobacter*, с высоким – *Bacillus* (варианты 2,4). Часто выделялись бинарные культуры, что, видимо, способствует большей выживаемости.

Табл. 2. Общая численность и таксономическая структура сапротрофных бактериальных комплексов

вариант			Общая числ. N[кл]/г	Доминанты >30%	Субдоминанты 30-20%	Группа среднего обилия 20-10%	минорные компоненты <10%
Фон			$5.9 \cdot 10^8$	<i>Bacillus</i> 58 <i>Arthrobacter</i> 31			<i>Spirillum</i> 7,4 <i>Pseudomonas</i> 7,4
1			$1,8 \cdot 10^9$	<i>Arthrobacter</i> 41	<i>Cytophaga</i> 24	<i>Myxococcus</i> 16 <i>Rhodococcus</i> 14	<i>Pseudomonas</i> 5,6
2			$3.9 \cdot 10^8$	<i>Bacillus</i> 62 <i>Pseudomonas</i> 35			<i>Myxococcus</i> 3,45
3	Автоморфный	3.1	$2,5 \cdot 10^9$	<i>Spirillum</i> 42		<i>Arthrobacter</i> 18 <i>Cytophaga</i> 16 <i>Pseudomonas</i> 15	<i>Rhodococcus</i> 6,4 <i>Bacillus</i> 2,9
		3.2 раст.	$1,1 \cdot 10^9$	<i>Arthrobacter</i> 36		<i>Rhodococcus</i> 15 <i>Streptomyces</i> 13	<i>Bacillus</i> 9 <i>Cytophaga</i> 7,5 <i>Pseudomonas</i> 4,8 <i>Myxococcus</i> 4,8 <i>Spirillum</i> 4,8

	гидроморфный	3.3	1,3*10 ⁹			<i>Artrobacter</i> 15	<i>Cytophaga</i> 8,9 <i>Rhodococcus</i> 6,9 <i>Cellulomonas</i> 1,6 <i>Serratia</i> 0,3 <i>Bacillus</i> 0,3
		3.4 раст.	1,4*10 ⁹	<i>Artrobacter</i> 48	<i>Cytophaga</i> 20	<i>Rhodococcus</i> 13 <i>Myxococcus</i> 13	<i>Pseudomonas</i> 4,7 <i>Streptomyces</i> 1,2
4	4.1 нефть		1.4*10 ⁸	<i>Bacillus</i> 91,7		<i>Cytophaga</i> 8,3	
	4.2 вокруг пятен нефти		9.4*10 ⁸	<i>Bacillus</i> 36,8	<i>Myxococcus</i> 22 <i>Cytophaga</i> 21	<i>Arthrobacter</i> 12	<i>Rhodococcus</i> 2,3 <i>Streptomyces</i> 0,6 <i>Pseudomonas</i> 0,5

Подробное исследование бактериального комплекса в варианте 3 показало, что основные различия обусловлены как степенью загрязнения, так и увлажненностью почв. Так, на автоморфных позициях на участке с отсутствием растительности и 10-кратным превышением суммарного содержания углеводов доминантой становятся *Spirillum* (42%), а *Artrobacter* снижается с 36 до 18 %, так же как и в гидроморфных почвах – с 48 до 15 %.

ГЛАВА 7. Влияние остаточных количеств углеводородов нефти на водно-физические свойства почв

Для более детального изучения влияния остаточных количеств углеводородов нефти на водно-физические свойства почв был подробно исследован 3 вариант рекультивированных почв.

Как уже было сказано, оказалось, что в понижениях на гидроморфных участках концентрации углеводородов содержание значительно выше, чем на плакорных позициях (рис. 18.).

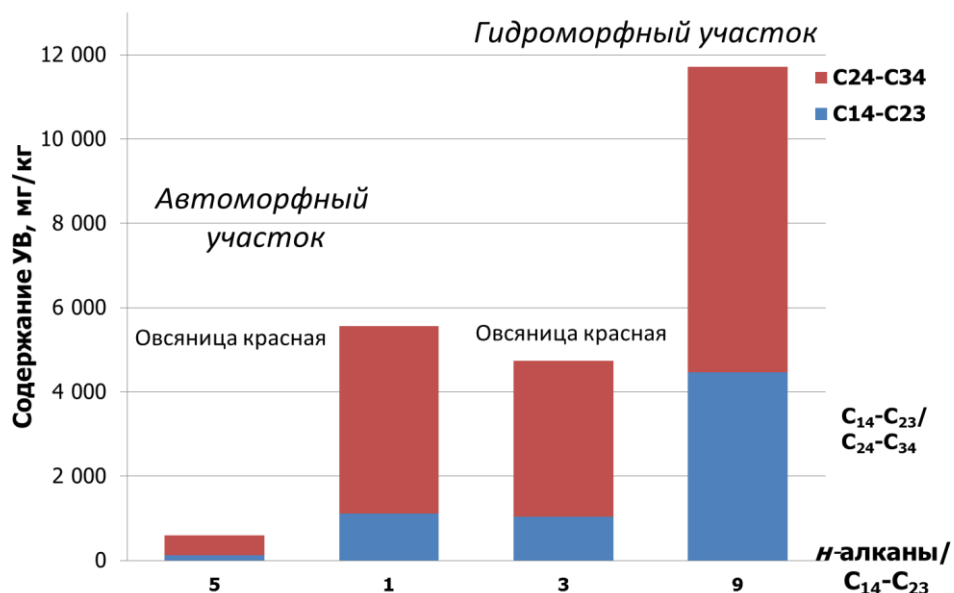


Рис. 18. Распределение фракций углеводородов в поверхностных горизонтах почв автоморфных и гидроморфных участков с растительным покровом и без растительности.

Повышение отношения C₁₄-C₂₃/C₂₄-C₃₄ в почвах гидроморфного участка без растительного покрова и пониженное – в почвах автоморфного участка указывает на относительное накопление среднекипящей фракции УВ в почвах на гидроморфном участке относительно почв автоморфного участка. Это согласуется

с данными Солнцевой (1985, 1993), указывающей на возможность относительного накопления этой фракции УВ в связи с ее более интенсивным выносом из почв вышележащих катенарных позиций.

По загрязнению остаточными углеводородами оказались близки варианты автоморфной почвы без растительности и гидроморфной под растительностью. Такое распределение углеводородов в почвенном покрове территории варианта 3, имеющего выраженный рельеф поверхности, приведший к формированию автоморфных и гидроморфных участков, может быть обусловлено основными двумя причинами: (1) латеральным передвижением углеводородов. Возможность такого перемещения обусловлена наличием внутрипочвенного рельефа, образованного в результате выраженных ровных антропогенно-сформированных границ на переходе горизонтов с различиями в величинах плотности, гранулометрического и химического составов. Определения коэффициента фильтрации методом трубок с постоянным напором в 5-кратной повторности показало резкое падение почти до нулевых значений скорости фильтрации влаги на глубине 15-25 см (рис. 19.).

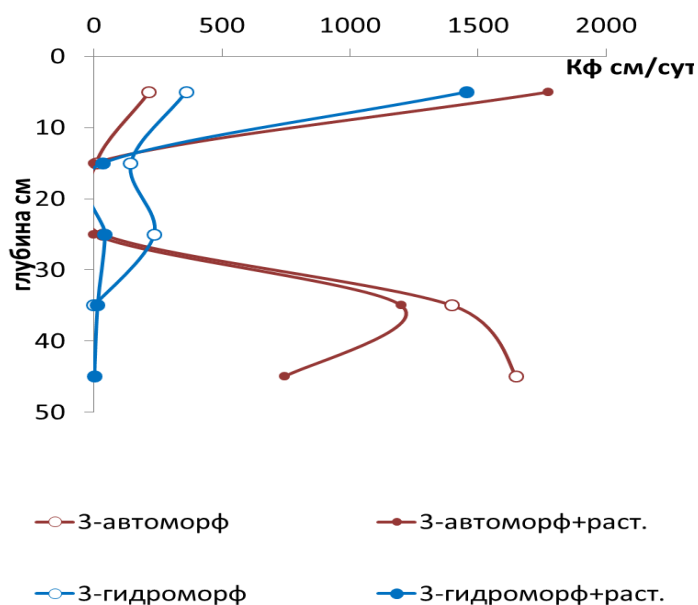


Рис. 19. Профильное распределение коэффициента фильтрации в почвах автоморфных и гидроморфных участков с растительным покровом и без растительности

Исключением явился вариант гидроморфной почвы с растительным покровом, в котором фильтрация влаги на данной глубине снизилась по сравнению с поверхностью, и составила порядка 200 см/сут. Таким образом, на границе горизонтов, где образовался водоупорный горизонт, несмотря на песчаный состав подстилаемой толщи, возможно локальное формирование переувлажнения (верховодки) с перемещением ее по внутрипочвенному рельефу.

(2) Другой причиной более высоких концентраций углеводов может быть связана со скоростями их деградации, обусловленной разницей условий, в первую очередь температурным режимом и, соответственно, численностью микробиоты, что было показано в главе 6. Однако остался невыясненным вопрос наличия большого количества проплешин на территории данного участка, что дает основания предположить о высокой неоднородности почвенного покрова по гидрофизическим свойствам почв. Нами были отобраны образцы почв под растительностью и на участках без нее в автоморфной и гидроморфных положениях территории. Причем для автоморфного участка отбор образцов осуществлялся для поверхностного слоя глыб и для его внутренней части. В полученных образцах было проведено определение содержания фракций углеводов. В образцах, кроме содержания углеводов были проведены определения изотерм десорбции паров воды и расчеты удельной поверхности почв.

Изотермы десорбции паров воды почв участка под растительностью расположены выше кривых образцов из загрязненного участка, а наиболее низкое положение занимает почва поверхности глыб (рис. 10 а).

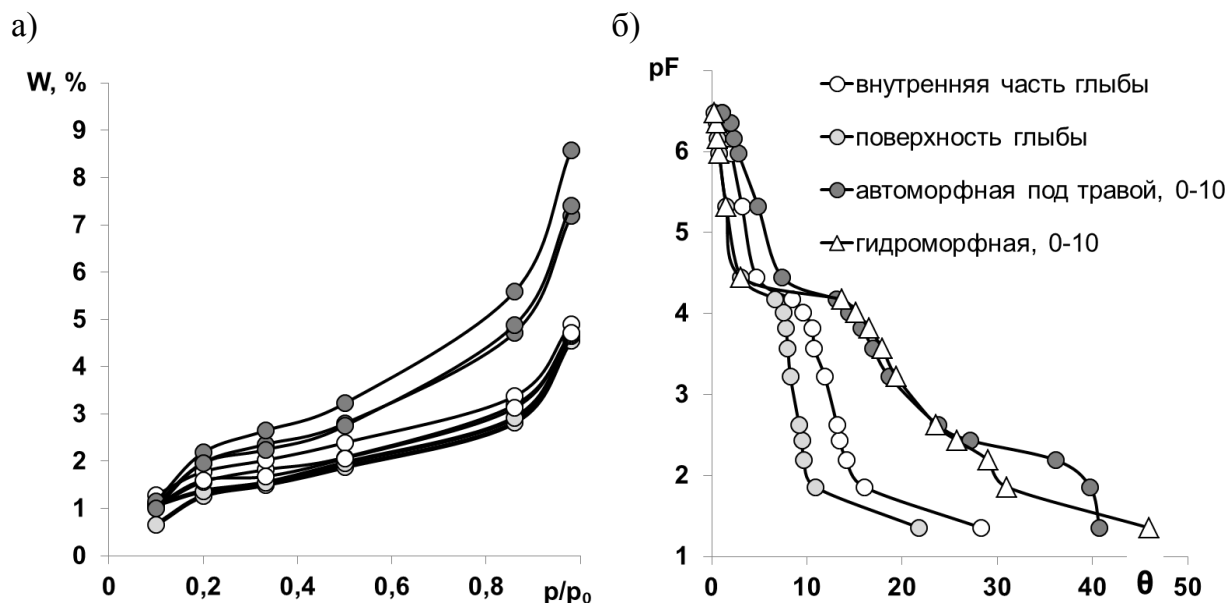


Рис.20. Гидрофизические функции почв: а) изотермы сорбции паров воды; б) ОГХ почвенных образцов разной степени загрязненности НП

Кривые ОГХ почв под растительностью значительно смещены в сторону больших значений влажности относительно кривых загрязненного участка во всем исследуемом диапазоне. Рассмотрение внутренней и внешней части глыб также выявило различия снижением водоудерживания в самом загрязненном образце, отобранном с поверхности глыб.

Расчет влажности завядания (ВЗ) и наименьшей влагоемкости (НВ) по ОГХ (Шеин, 2005) показал следующие значения констант: ВЗ: 6,5 - 8,4 - 13,2 и НВ: 9,5 - 13,4 - 26,3 в ряду: внешняя поверхность глыбы - внутренняя часть глыбы - почва под растительным покровом, соответственно. Таким образом, происходит снижение значений почвенно-гидрологических констант с увеличением степени загрязнения нефтепродуктами более, чем в 2 раза. Наряду с этим наблюдается и сужение диапазона продуктивной влаги от 13,1 до 3 %.

Это привело к сильному угнетению растительного покрова и полному выпадению травянистой растительности и саженцев сосны вследствие острой нехватки воды на автоморфных позициях. На это указывает то, что при близком уровне загрязнения (вариант 3.1 и 1.4, табл. 1) уменьшение увлажненности почв

ведет к выпадению растительности. Необходимо отметить то, что методы почвенной гидрофизики оказались весьма чувствительными к генетическим особенностям и степени загрязнения рекультивированных почв.

Таким образом, способность изученных рекультивированных почв к самоочищению от техногенных УВ определяется совокупностью факторов: 1- фракционным составом УВ и переносом органических поллютантов водными потоками; 2 - уровнем исходного углеводородного загрязнения и дальнейшей интенсивностью биodeградации, которая будет определяться, главным образом, водным и температурным режимами почв.

ГЛАВА 8. Температурный режим почв

Группы почв мерзлотных тундрово-таежных районов, расположенные в северных регионах, характеризуются длительными холодными периодами с отрицательными температурами, и коротким вегетационным периодом.

Рассмотрим гидротермические условия района по данным с метеостанции Усть-Уса (индекс ВМО 23412; 65° 58'с.ш. и 56° 55'в.д.; h=77м.; 50км. на юго-запад от исследуемого объекта), в котором функционируют рекультивированные почвы (АИСОРИ[сайт]<http://meteo.ru/it/178-aisori>).

По среднемноголетним данным (среднемесячная температура измерялась с 1940г., среднемесячные осадки - с 1966г.) самый теплый месяц – июль, среднемесячная температура воздуха +14,5 °С, а наиболее холодный месяц – январь, его среднемесячная температура составляет -18.4°С. Наиболее влажные месяцы: июль, август и сентябрь, среднемесячное количество осадков составляет 60,4 мм, 62,4мм и 60,1мм. По количеству выпавших осадков исследуемый период с августа 2012 г. по июль 2013 г. составил 78% от средних многолетних. В течение исследуемого периода осадки распределились крайне неравномерно. Хотя и по всем месяцам за исключением апреля (185% от месячной нормы) среднемесячные значения ниже средних многолетних: в августе, сентябре, октябре, ноябре и декабре 2012 г. они составили 45, 54, 26, 41 и 26% от месячной нормы соответственно. А в январе, феврале, марте, мае и июне 2013 г. – 27, 94, 51, 69 и 40% соответственно.

Можно предположить, что в исследуемом районе с высокой обводненностью территории будет наблюдаться медленное охлаждение почв, вследствие высокого содержания влаги, увеличивающей теплоемкость почв (Теории и методы физики почв, 2007), и запаздывание прогревания в теплый летний период. Кроме того, проведенные сильнейшие изменения почвенного покрова и геоморфологического строения территории при загрязнении ее нефтью и дальнейшей рекультивации с формированием рельефа, дренажных каналов и валов, предполагает выраженную

разницу в температурном и водном режимах фоновый тундрово-глеевой почвы и рекультивационных почвенных конструкций.

Подробные исследования температурного режима фоновой почвы и варианта 3 проводились с июля 2012 года по сентябрь 2013.

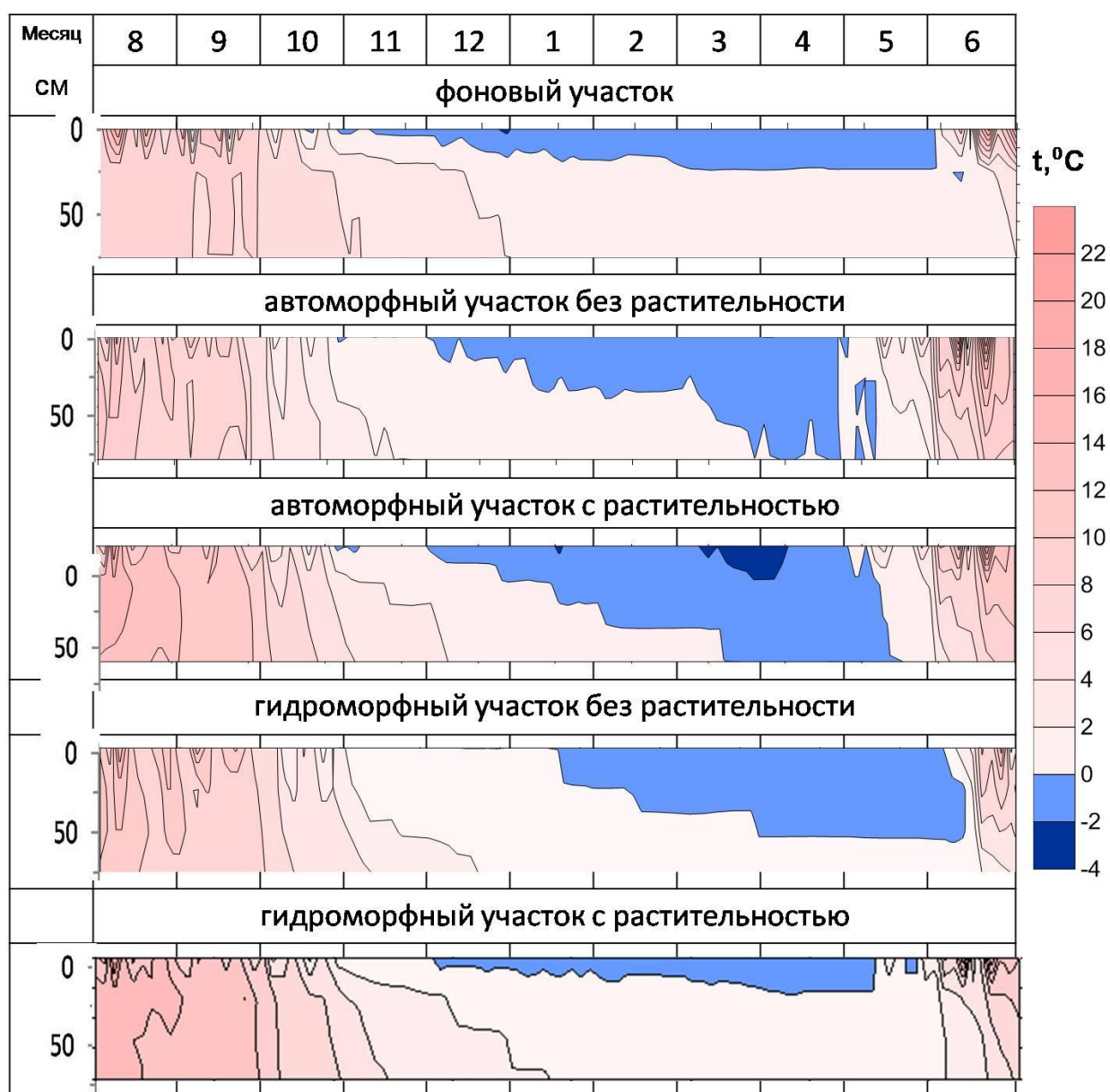


Рис.21.Изоплеты распределения температур в фоновой почве и автоморфного участка 3 варианта рекультивации в годовом цикле 2012/13 гг.

Температурные датчики были установлены с шагом 5-30 см в профиле фоновой почвы и варианта 3 рекультивированных почв в 4 разрезах (двух автоморфных и двух гидроморфных с растительностью и на проплешинах).

На рис. 21 и 22 представлены хроноизоплеты профильного распределения температуры почв. Устойчивое охлаждение почв началось с начала сентября и продолжалось до марта-апреля.

Период выраженных колебаний суточных температур продолжается с мая по август. Почва фоновой участка оказалась наиболее холодной по длительности периода с отрицательными температурами (213 дней для гл. 10 см), с наиболее низкими средними и медианными годовыми значениями температуры поверхностного горизонта(рис.21). Глубже 20 см отрицательные температуры почв не наблюдались, что обусловлено высокой обводненностью почвенной толщи и наличием 30-см торфяного слоя.

Наиболее контрастным по колебанию температуры явился вариант автоморфной почвы без растительности, годовой разброс значений температуры поверхности составил 39 градусов (в фоновой лишь 24 градуса), а абсолютные значения поверхности в летний период достигали 37 градусов, что обусловлено темным цветом поверхности. Вся 70-см исследованная толща на 46 дней зимой 2012-2013 гг. имела отрицательные значения температуры.

Наличие растительного покрова изменило температурный режим почв, в летний период температура верхнего горизонта ниже более, чем на 10 градусов, но в зимний промерзание достигло глубины 70 см (табл. 21), ни при этом количество дней с отрицательными температурами на данной глубине значительно превышает почву без растительного покрова, оттаивание в глубине профиля шло со значительным запаздыванием. Особенностью участка без растительности (пропешин) является его большая загрязненность нефтепродуктами (Табл. 5), резко снизившую его водоудерживающую способность (рис. 7.2) и температуропроводность.

Табл. 8.Продолжительность периода с отрицательными температурами(дней) в профиле фоновой почвы и профилях 3 участка рекультивации за 2012/13 сезон

см	автоморфный (без растит.)	Автоморфный (растительность)	гидроморфный (без растит.)	Гидроморфный (растительность)	фон
0	<u>25.10.12-02.05.13</u> 159	<u>24.11.12-24.04.13</u> 152	<u>22.11.12-13.05.13</u> 173	<u>27.11.12-28.04.13</u> 153	<u>24.10.12-24.05.13</u> 213
5	<u>27.11.12-03.05.13</u> 158	<u>25.11.12-02.05.13</u> 158	<u>28.11.12-17.05.13</u> 171	<u>13.12.12-03.05.13</u> 162	<u>13.12.12-30.05.13</u> 189
10	<u>30.11.12-05.05.13</u> 157	<u>01.12.12-30.04.13</u> 151	<u>16.12.12-19.05.13</u> 155	<u>27.01.13-19.05.13</u> 113	<u>22.12.12-30.05.13</u> 160
20	<u>н.о.</u>	<u>22.12.12-03.05.13</u> 133	<u>18.01.13-22.05.13</u> 125	<u>25.03.13-11.05.13</u> 48	<u>20.02.13-04.06.13</u> 104
50	<u>06.03.13-06.05.13</u> 62	<u>28.01.13-14.05.13</u> 107	<u>11.03.13-23.05.13</u> 74	<u>0</u> 0	<u>0</u> 0
70	<u>21.03.13-05.05.13</u> 47	<u>08.03.13-14.05.13</u> 68	<u>0</u> 0	<u>0</u> 0	<u>0</u> 0

Нижние позиции склона отличались меньшими амплитудами колебаний температуры, что в первую очередь обусловлено обводненностью почвенного профиля и увеличением теплоемкости влажных почв, причем вариант с растительным покровом наиболее близок фоновой почве, хотя несколько теплее по большинству показателей.

Несмотря на то, что гидроморфный участок без растительности имеет крайнюю нижнюю позицию, и уровень грунтовых вод составляет 55-60 см в вегетационный период, промерзание не достигло его глубины. Отметим, что наибольшее нефтяное загрязнение в варианте 3 имеет именно этот участок, и составляет 29000 мг/кг (Табл.6.). Именно на данном участке отмечена наиболее низкая скорость биодegradации НП по полному отсутствию бактерий в доминантах и субдоминантах. Период непрерывного охлаждения почвы гидроморфного и автоморфного участков без растительности выше (табл. 21. Рис. 22.), чем на участках с растительным покровом.

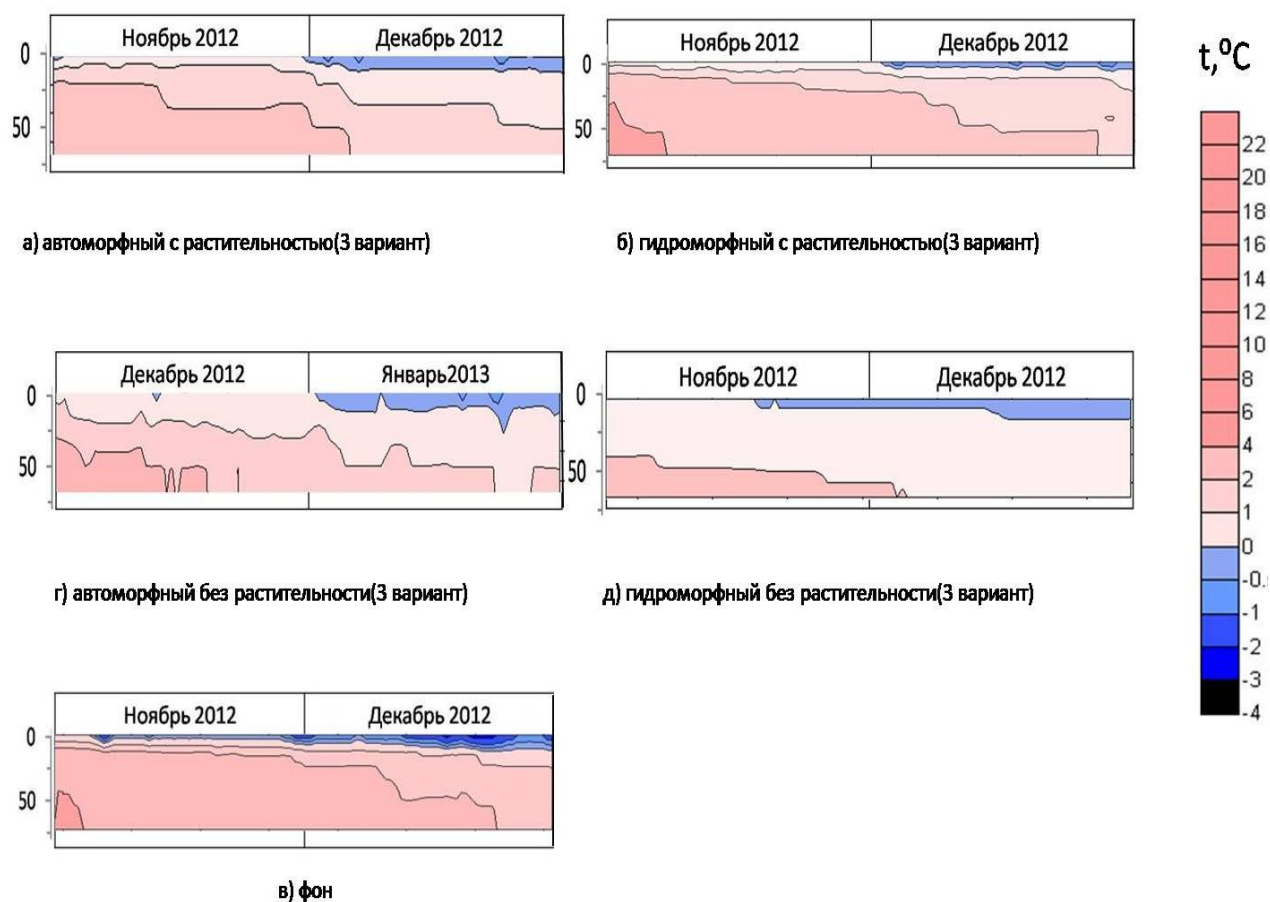


Рис.22. Изоплеты температуры фоновой почвы и почв 3 варианта в период осеннего охлаждения профиля

Обращает на себя внимание гидроморфная почва под растительным покровом, который достаточно долго продолжает удерживать слой с отрицательной температурой на глубине около 50 см.

Рассмотрим подробнее осенний период охлаждения почв (рис. 22). Необходимо обратить внимание на то, что климату данной территории присущи явления осенних оттепелей с периодическим оттаиванием поверхностных слоев.

Раньше всего охлаждение наблюдалось в фоновой почве – с первой декады ноября, автоморфный участок без растительности (проплешина) – позже всех остальных почв - только в начале января появились устойчивые отрицательные температуры в верхнем слое данного варианта. Несмотря на разницу в начале наступления периода отрицательных температур в автоморфной почве с растительностью и без нее, его продолжительность в верхних горизонтах близка по значениям, с глубиной разница увеличивается.

В гидроморфной почве разница между вариантами с растительностью и без растительности гораздо более существенна и охватывает всю почвенную толщу.

Вероятно, данный феномен связан с влиянием нефтяного загрязнения на теплофизические свойства мерзлых дисперсных пород (Р.Г. Мотенко и др., 2000). Наблюдается понижение значений коэффициентов теплопроводности загрязненных пород как в талом, так и в мерзлом состояниях, но для мерзлых пород это влияние гораздо существеннее и происходит из-за привнесения в породу низкотеплопроводного углеводородного компонента, теплопроводность которого значительно ниже значений теплопроводности других составляющих породы (исключая воздух). Однако прогрев 5-ти сантиметровой толщи участков без растительности в вегетационный период значительно выше (27°C и 21°C против 19°C и $16,5^{\circ}\text{C}$) что, видимо, связано с темным цветом поверхности и увеличенным поглощением солнечной радиации.

В целом, изучение температурного режима почв выявило сильное влияние загрязнения на температурный режим почв, заключающееся в формировании более теплых условий и снижений амплитуды колебаний температуры почв, особенно

при переувлажнении, что вероятно связано с несколькими факторами: влиянием нефти на температуропроводность почв и снижением влажности почв под растительным покровом.

ГЛАВА 9. Математическое моделирование водного режима исследуемых почв

Большое значение при изучении функционирования почвенного покрова имеет его водный режим. В отличие от температурного режима его определение сопряжено с рядом методических трудностей, в первую очередь обусловленных невозможностью использования приборов автоматического измерения в условиях высокой влажности.

Косвенным методом, позволяющим выявить различия в функционировании почвенной толщи, является использование физически обоснованных математических моделей.

В работе для прогноза водного режима почв были проведены расчеты послойные динамики влажности почв с помощью математической модели Hydrus. В качестве основных параметров были использованы следующие экспериментально определенные: плотность почвы, содержание в ней органического вещества, гранулометрический состав почв, основная гидрофизическая характеристика почв (ОГХ). Условия на верхней границе были взяты из базы данных метеостанции Усть-Уса, расположенной в 50 км на юго-запад от исследуемого объекта (АИСОРИ[сайт]<http://meteo.ru/it/178-aisori>). Начальные условия были заданы по экспериментально определенным профильным распределениям влажности почв, условия на нижней границе соответствовали постоянному значению давления почвенной влаги.

Построение изоплет влажности на три летних месяца показало высокую вероятность формирования двухярусной верховодки в фоновой почв на границе торф-песчаный слой (рис. 16 а). Подобные экспериментально полученные данные для торфяных почв представлены в работах Зайдельмана Ф.Р. (1972, 2006, 2009). Здесь, на глубине 30 см наблюдалось увеличение плотности почв, резкое снижение удельной поверхности и водоудерживающей способности.

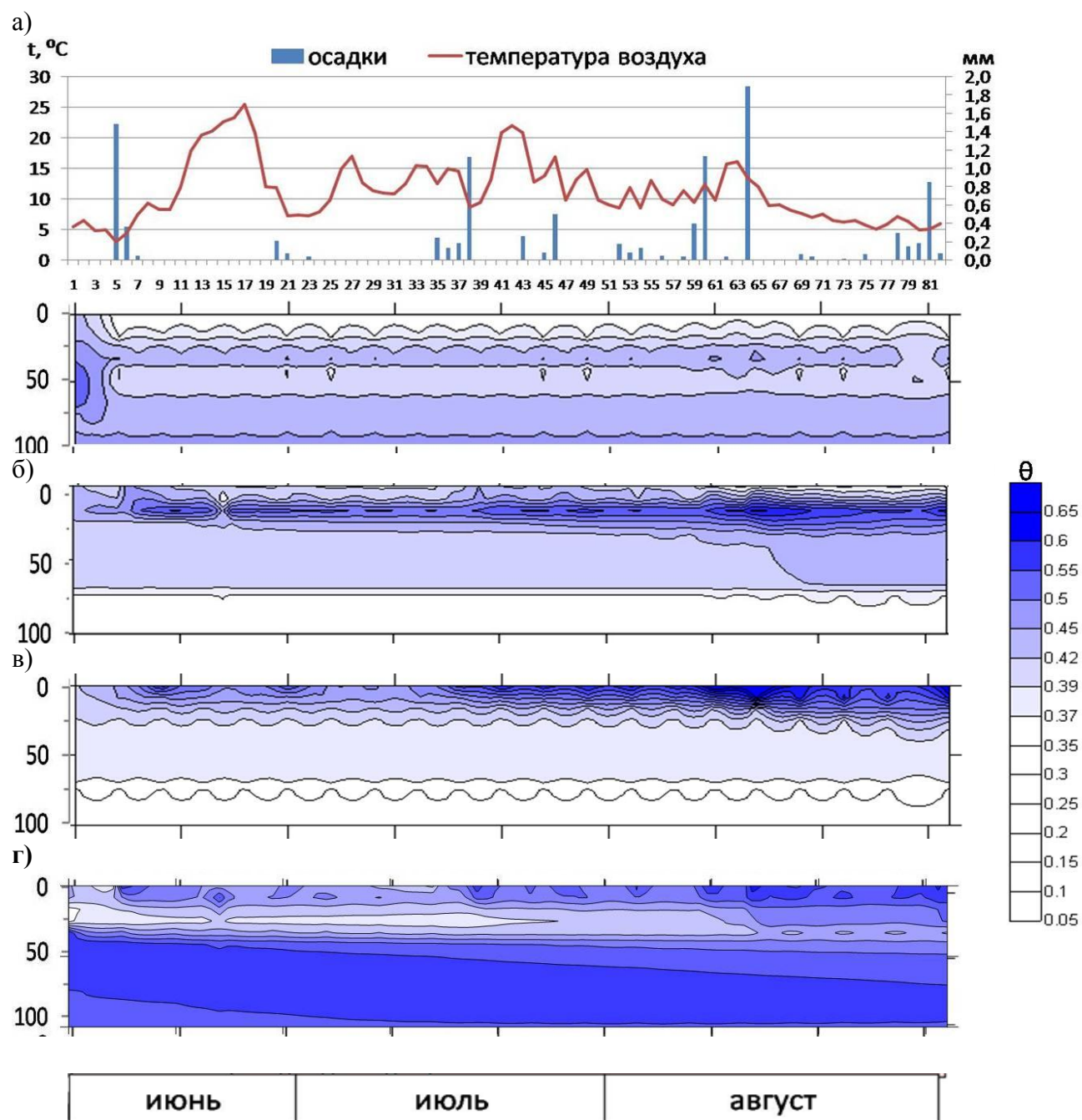


Рис. 23. Изоплеты влажности и температуры почв в летний период 2012 г: а) фоновая почва, б) вариант 3.1; в) вариант 3.2; г) варианта 3.3

Резкое изменение влажности с глубиной характерно для автоморфных и гидроморфных почв варианта 3. Для почв верхних позиций рельефа происходит

снижение влажности вниз по профилю, глубина промачивания в соответствии с количеством и продолжительностью выпадающих осадков не превысила 30-40 см. Глубже в песчаном слое влажность слабо изменяется, что обусловлено как небольшим количеством выпадающих осадков, так и наличием водоупора на глубине 10-20 см.

В гидроморфной почве наблюдается обратная картина распределения влажности – ее постепенное увеличение с глубиной в связи с близким расположением грунтовых вод. Осадки не проникали глубже 10 см, и наблюдается постепенное смещение вниз зеркала грунтовых вод.

Таким образом, во всех изученных вариантах велика возможность формирования капиллярно-подвешенной влаги на границах горизонтов.

Влияние загрязнения на водный режим почв было смоделировано для участка автоморфной почвы без растительности. Модель показала возможность формирования очень сухого поверхностного слоя, быстро сбрасывающего почвенную влагу в слой над водоупором, расположенном на глубине 10-20 см. На этой же глубине обнаружено наибольшее загрязнение нефтепродуктами, а проведенные полевые фильтрационные эксперименты показали возможность латерального перемещения влаги и растворенных веществ по поверхности данного слоя.

Важно обратить внимание на то, что на температурный режим данных почв, который был определен экспериментально для данного периода и который во многом обусловлен режимом влажности почв. Действительно, в фоновой почве колебания суточных температур не превысили глубину 30 см. Глубже, где располагался более сухой слой с меньшими значениями температуропроводности, температура почв была более постоянной. В автоморфной почве – наиболее выражены колебания температуры почвы. В ней значения влажности постепенно изменялись с глубиной, что позволяло беспрепятственному проникновению температурной волны вглубь почвенной толщи. Температурный режим данного варианта наиболее контрастен. В гидроморфной почве амплитуды колебаний

температуры меньше, хотя запаздывание температурной волны выражено меньше, чем в автоморфной иссушенной толще.

Проведенные рекультивационные мероприятия и наличие остаточного загрязнения коренным образом меняют температурный и водный режимы почв, создавая более автоморфные условия. Это ведет к иному функционированию почвенной толщи, увеличению глубин промерзания в зимний период, увеличению температуры поверхностных слоев, как вследствие изменения рельефа поверхности, наличия участков с отсутствием растительного покрова, вхождением в состав почв углеводородов нефти.

Выводы:

1) Исследованные варианты рекультивации почвенного покрова выявили значительную разницу в физических, химических и биологических свойствах в зависимости от проведенных мероприятий. Наибольшие изменения характерны для тех вариантов почв, в которых были проведены перемещения земляных масс.

- Создание резких переходов границ почвенных слоев и грунта в условиях отсутствия длительного переувлажнения, характерного для почв лесотундры, чревато формированием подвешенной влаги на переходах, смене вертикального стока на латеральный, и как следствие – периодическое сильное иссушение верхнего слоя почв, приводящего к сильному угнетению растительного покрова.

- Большинство биофильных элементов содержится в категории средних значений по их обеспеченности.

- Все варианты почв, несмотря на рекультивационные мероприятия, содержат высокие концентрации углеводородов нефти. Наиболее неблагоприятная обстановка сложилась в 4-ом варианте в верхнем горизонте, в котором был проведен лишь частичный сбор нефти с загрязненным слоем почвы, что и выявило неудовлетворительность проведенных работ.

2) Проведенные экспериментальные исследования почв республики Коми, рекультивированных после разливов нефти, показал высокую чувствительность воднофизических свойств почв к ее остаточному загрязнению углеводородами нефти, выразившуюся: снижением коэффициента фильтрации, уменьшением удельной поверхности твердой фазы, снижением сорбционной способности и капиллярной влагоемкости, сужением диапазона продуктивной влаги более, чем в 4 раза на автоморфных позициях.

3) Обнаружены различия в степени загрязнения почв, располагающихся на разных отметках рельефа, обусловленные: (1) пониженными скоростями разложения углеводородов нефти вследствие большей гидроморфности и более холодными условиями, ведущими к снижению, как общей численности бактерий, так и бактерий, участвующих в процессе разложения нефти; (2) вследствие латерального перемещения нефти в верхней толще почв.

4) Рекультивация почв, включающая механическую очистку грунтов и перемещение земляных масс, формирование резких границ горизонтов, ведет к сильнейшему изменению агрофизических свойств, которое в свою очередь меняет

температурный и водный режимы почв, увеличивая их контрастность, амплитуды колебаний показателей, продолжительность периодов промерзания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Александров А.И. Оптимизация технологии биорекультивации загрязненных нефтью почв в условиях крайнего севера. // А.И. Александров, В.К. Загвоздкин, Г.Н. Ерцев, О.В. Громова, М.Ю. Маркарова, А.И. Таскаев, В.П. Мурыгина, С.В. Лушников, В.А. Калюжин, материалы докладов международной конференции «новые технологии для очистки нефтезагрязненных вод, почв, переработки и утилизации нефтешламов», Москва, 2001.
2. Алексеева Т.П. Перспективы использования торфа для очистки нефтезагрязненных почв // Алексеева Т.П., Бурмистрова Т.И., Терещенко Н.Н., Стахина Л.Д., Панова И.И. Биотехнология. 2000. №1. С. 58-64.
3. Алехин В.Г. Биологическая активность и микробиологическая рекультивация почв, загрязненных нефтепродуктами / В.Г. Алехин, В.Т. Емцев, Е.А. Рогозина, А.И. Фахрутдинов // Биологические ресурсы и природопользование: сборник научных трудов. – Нижневартовск: Изд-во Нижневартовского пед. ин-та, 1998, Вып. 2. – С. 95-105.
4. Алешин С.А. Канадский метод рекультивации нефтезагрязненных земель [сайт] <http://www.oilnews.ru/1-1/kanadskij-metod-rekultivacii-neftezagryaznennyx-zemel/> 1999.
5. Апарин Б.Ф. Подзолистые почвы центральной и восточной частей европейской территории СССР (на песчаных почвообразующих породах). Б.Ф. Апарин, И.В. Забоева, Г.С. Липкина и др. 1981. 200с.
6. Артемьева Т.И. Влияние загрязнения почвы нефтью и нефтепромысловыми сточными водами на комплекс почвенных животных / Т.И. Артемьева, А.К. Жеребцов, Т.М. Борисович // Восстановление нефтезагрязненных почвенных экосистем. М.: Наука, 1988. С. 82-99.
7. Арчегова И.Б. Гумусообразование на севере Европейской территории СССР. / И.Б. Арчегова / Л.: Наука, 1985. 136 с.

8. Арчегова И. Б., Лиханова И. А. Проблема биологической рекультивации и ее решение на Европейском Северо-Востоке на примере республики Коми / И. Б.Арчегова, И. А. Лиханова// Известия Коми научного центра УрО РАН. Выпуск 1(9). Сыктывкар, 2012
9. Арчегова И.Б. Эффективная система природовосстановления – основа перспективного природопользования на Крайнем Севере. / И.Б. Арчегова - Сыктывкар, 1998. 12 с. (Научные доклады / Ко-ми НЦ УрО РАН; Вып. 412).
- 10.Баженова О.К. Геология и геохимия нефти и газа. / О.К.Баженова, Ю.К.Бурлин, Б.А.Соколов, В.Е.Хаин - М.: МГУ. 2012. 432 с.
- 11.Белицкий Г.А. Факторы внешней среды и генотоксичность: оценка канцерогенного риска. / Г.А. Белицкий, В.В. Худолей, А.Ф. Карамышева // Современные проблемы генетических последствий загрязнения окружающей среды и охрана генофонда. - Алма-Ата «Наука», 1989. - С. 93-105
- 12.Берне Ф. Водоочистка / Ф. Берне, Ж. Кордонье. – М.: Химия, 1997. – 288 с.
- 13.Биологическая рекультивация на Севере (вопросы теории и практики) / Под ред. И.Б. Арчеговой. Сыктывкар, 1992. 104 с.
14. Будина Т.Ю. Рекультивация земель при различных видах работ / Т.Ю. Будина [электронный ресурс]- [Охрана лесов, недр и земельных ресурсов«Справочник эколога» №3 2013](#)
- 15.Бурмистрова Т.И.Биодеградация нефти и нефтепродуктов в почве с использованием мелиорантов на основе активированного торфа / Т.И.Бурмистрова, Т.П.Алексеева, В.Д.Перфильева, Н.Н.Терещенко, Л.Д. Стахина// Химия растительного сырья. 2003. №3. С.69-72
- 16.Флоровская В. Н. и др. / Геохимия ландшафтов и география почв. М.: Изд-во МГУ, 1982. - С. 71-83.
- 17.Водный кодекс Российской Федерации от 3 июня 2006 г. N 74-ФЗ (последнее изменение 31 декабря 2014 г.)

18. Восстановление нефтезагрязненных почвенных экосистем: Сб. науч. тр. / АН СССР, Научный совет по проблемам биосферы. М.: Наука, 1988.
19. ВРД 39-1.13-058-2002 Применение бентонитовых составов в рекультивации техногенных песчаных субстратов на северных месторождениях.
20. ВСН 179-85 Инструкция по рекультивации земель при строительстве трубопроводов
21. Гайнутдинов М.З. Изменение органических свойств почв под влиянием нефтепромысловых сточных вод и их рекультивация / М.З. Гайнутдинов, М.Ю. Гилязов, И.Т. Хромов // Агрохимия. N7. 1982. С. 11-116.
22. Геннадиев А.Н. Карты устойчивости почв к загрязнению нефтепродуктами и полициклическими углеводородами: метод и опыт составления / А.Н. Геннадиев, Ю.И. Пиковский // Почвоведение. 2007 №1. С. 80-92.
23. Герасимова М. И. Микроморфология почв природных зон СССР. / М. И. Герасимова, С.В. Губин, С.А. Шоба- Пущино, 1992, С. 74., 215с.
24. Гольдберг М. Гидрогеологические основы охраны подземных вод от загрязнения. /, С. Газда- М.: Недра, 1984.
25. ГОСТ 17.5.1.02-85 Классификация нарушенных земель для рекультивации (Выбор направлений рекультивации)
26. ГОСТ 17.5.3.04-83 (1986) Общие требования к рекультивации земель
27. ГОСТ 17.5.3.06-85 Требования к определению норм снятия плодородного слоя почвы при производстве земляных работ
28. ГОСТ 17.4.3.02-85 (2003) Охрана природы. Почвы. Требования к охране плодородного слоя почвы при производстве земляных работ.
29. ГОСТ 17.5.1.01-83 (2002) Рекультивация земель. Термины и определения (Рекультивация земель — это комплекс работ, направленных на восстановление продуктивности и народно-хозяйственной ценности нарушенных земель, а также на улучшение условий окружающей среды в соответствии с интересами общества)

30. ГОСТ 17.5.1.01-83 (СТ СЭВ 3848-82) Рекультивация земель. Термины и определения.
31. ГОСТ 17.5.1.03-86 (2002) Классификация вскрышных и вмещающих пород для биологической рекультивации земель
32. ГОСТ 17.5.3.05-84 (2002) Рекультивация земель. Общие требования к землеванию
33. ГОСТ 17.5.3.06-85 (2002) Охрана природы. Земли. Требования к определению норм снятия плодородного слоя почвы при проведении земляных работ.
34. Государственный доклад о состоянии окружающей среды Республики Коми за 1993-1995 годы. Сыктывкар, 1994, 1995, 1996.
35. Грищенко О.М. Ботанические аномалии как поисково-разведочный критерий нефтегазоносности. /О.М. Грищенко//Экология, 1982. № 1. С. 18-22.
36. Гуленкова М.А. Растения болот / М.А. Гуленкова, М.Н. Сергеева– Эгмонт Россия ЛТД, 2001. – 64 с.
37. Демиденко А.Я. Пути восстановления плодородия нефтезагрязненных почв черноземной зоны Украины / А.Я. Демиденко, В.М. Демурджан // Восстановление нефтезагрязненных почвенных экосистем. М.: Наука, 1988. С. 197-206.
38. Другов Ю.С. Экологические анализы при разливах нефти и нефтепродуктов. / Ю.С. Другов, А.А. Родин - С.-Пб., 2000.
39. Забоева, И.В. Почвы и земельные ресурсы Коми АССР. / И.В. Забоева-Сыктывкар: Коми книжное изд-во, 1975. 344 с.
40. Забродина М.Н. Химические типы нефтей и превращение нефтей в природе / М.Н. Забродина, О.А. Арефьев, В.М. Макушина, А.А. Петров // Нефтехимия. 1978. т. 18. С. 280-289.
41. Звягинцев Д.Г. Методы почвенной микробиологии и биохимии / Д.Г. Звягинцев - М.: Изд-во МГУ, 1991. — 304 с

42. Земельный кодекс Российской Федерации от 25 октября 2001 г. N 136-ФЗ (последнее изменение 29 декабря 2014 г.) п. 1.6 статья 13
43. Ибрагимова, С.Т. Экологическая оценка нефтезагрязненных почв Казахстана по откликам стандартных биотест-систем. / С.Т. Ибрагимова, С.А. Айткельдиева, Э.Р. Файзулина и др. // Доклады по экологическому почвоведению, 2009. - Т. 1. - № 11. - С. 79-94.
44. Иванов, А.Н. Нефтегазовые комплексы: Учеб.пособие / А. Н. Иванов, Л.А. Рапацкая, Н.А. Буглов и др./Под. ред. А. Н. Иванова, Л.А. Рапацкой. – М.: Высш. шк. – 2009. 229с.
45. Иватанова Н.П. Актуальность и основные задачи становления региональной экологической политики республики Коми / Н.П. Иватанова, П.Н. Голованова // Известия ТулГУ. Науки о земле. 2011. Вып.1. 2011. С.418
46. Ильин Н.П. Наблюдения за самоочищением почв от нефти в средней и южной тайге / Ильин Н.П., Калачникова И.Г., Каркишко Т.И., и др. // Добыча полезных ископаемых и геохимия природных экосистем. М.: Наука, 1982, С.245-270.
47. Инструкция по проектированию, эксплуатации и рекультивации полигонов твердых бытовых отходов. 1996 с использованием мелиорантов на основе активированного торфа // Химия растительного сырья. 2003. №3. С. 69-72.
48. Калачников И.Г. Влияние нефтяного загрязнения на экологию почв и почвенных микроорганизмов / И.Г. Калачников // Экология и популяционная генетика микроорганизмов. Свердловск, 1987. С. 24-29.
49. Киреева Н. А. Биологическая активность нефтезагрязненных почв / Н. А. Киреева, В. В. Водопьянов, А. М. Мифтахова. – Уфа, Гилем, 2001.
50. Киреева Н. А. Диагностические критерии самоочищения почв от нефти / Н. А. Киреева, Е. И. Новоселова, Г. Ф. Ямалетдинова // Экология и промышленность России, декабрь, 2001.
51. Киреева Н. А. Микробиологическая оценка почвы, загрязненной нефтяными углеводородами / Н. А. Киреева // Баш. Хим. ж. – 1995. -2, № 3-4. –С. 65-68.

52. Киреева Н. А. Фитотоксичность антропогенно-загрязненных почв / Н. А. Киреева, Г. Г. Кузяхметов, А. М. Мифтахова, В. В. Водопьянов. –Уфа, Гилем, 2003.
53. Князева Т. П. Газоны / Т. П. Князева, Д. В. Князева. – М.: Вече, 2004. – 176 с.
54. Бедрина В. Ю. Комплексная оценка изменения свойств различных почв под влиянием нефтезагрязнения: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 06.01.03 / Бедрина Валерия Юрьевна - СПб.: 2004. - [19] с.
55. Коновалова Е. В. Влияние цеолитов и фитомелиоранта на агроэкологические показатели нефтезагрязненных почв в криоаридных условиях забайкалья: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 06.01.03 / Коновалова Елена Викторовна. Улан-Удэ: 2009
56. Лиханова И.А. Восстановление лесных экосистем на антропогенно нарушенных территориях подзоны крайнесеверной тайги европейского Северо-Востока России. / И.А. Лиханова, И.Б. Арчегова, Ф.М. Хабибуллина / Екатеринбург: УрО РАН, 2006. 103 с.
57. Маковский В.И. Влияние нефтезагрязнений на состояние боолтных экосистем в Сургутском Приобье/ В.И. Маковский// Сб.: Экология нефтегазового комплекса. 1 Всес. конф., г. Надым, 3-5 окт. 1988 г. М., 1988. С. 213-215.
58. Махонина Г. И. Состав гумуса почв, образующихся на буроугольных отвалах при естественном зарастании/ Г. И. Махонина //Проблемы рекультивации земель в СССР. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1974, с. 205-209.
59. Мелкозеров В.М. Применение сорбентов серии «Униполимер» для очистки водоемов и водотоков, загрязненных нефтью и нефтепродуктами / В.М.Мелкозеров, Л.Д.Нагорный, В.П.Максименко, Г.А. Самбурский// Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. 2008. № 11. С. 41-44.

60. Методические рекомендации по выявлению деградированных и загрязненных земель. 1995
61. Митчел Дж. Акватметрия / Дж. Митчел, Д. Смит. – М.: Химия, 1980.-С. 600.
62. Мотенко Р.Г., Чеверев В.Г., Журавлев И.И. Влияние нефтяного загрязнения на теплофизические свойства мерзлых дисперсных пород// Геофизические исследования криолитозоны. М.: НСКЗ РАН, 2000. С. 132–138.
63. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Сер. 3. Многолетние данные. Ч. 1-6, вып 1. Архангельская и Вологодская области, Коми АССР. Л., 1989. Кн. 1. С.484.; Кн.2. С.344.
64. Новоселова Е. И. Экологические аспекты трансформации ферментного пула почвы при нефтяном загрязнении и рекультивации: Дис. ... д-ра биол. наук :03.00.27 ; 03.00.16: / Новоселова Евдокия Ивановна. Уфа, 2008. - 334 с
65. Орлов Д. С., Гумусовые кислоты почв. – М.: изд-во МГУ, 1974. – 333 с.
66. Основные положения о рекультивации земель, снятии, сохранении и рациональном использовании плодородного слоя почвы, утвержденных Приказом Минприроды России и Роскомзема от 22.12.1995 № 525/67.
67. Отчет заседания круглого стола совета Федерации 2013 г. на тему «Проблемы рекультивации земель, загрязненных нефтесодержащими отходами» от 21 марта 2013 // Председатель комитета Г.А. Горбунов, утверждено решением Комитета Совета Федерации по аграрно-продовольственной политике и природопользованию от « 26 » апреля 2013 г.
68. Панюков А.Н. Биологическое разнообразие и продуктивность антропогенных экосистем Крайнего Севера. / А.Н.Панюков, Н.С. Котелина, И.Б. Арчегова, Ф.М. Хабибуллина /Екатеринбург, 2005. 120 с
69. Петров А.А. Углеводороды нефти. /А.А. Петров - М: Наука, 1984.
70. Пиковский Ю. И Проблема диагностики и нормирования загрязнения почв нефтью и нефтепродуктами / Ю. И. Пиковский, А. Н. Геннадиев, С.С. Чернянский Г. Н. Сахаров // Почвоведение, -№ 9. -2003. –С.1132-1140.

71. Пиковский, Ю. И. / Природные и техногенные потоки углеводородов в окружающей среде./ Ю. И. Пиковский – М.: Изд-во МГУ, 1993. – 208 с.
72. Пиковский Ю.И. Экспериментальные исследования трансформации нефти в почвах/ Ю.И. Пиковский, И.Г. Калачникова, А.И. Облоблина, А.А. Оборин// Миграция загрязняющих веществ в почвах и сопредельных средах, 1985.
73. Постановление Правительства Российской Федерации № 240 «О порядке организации мероприятий по предупреждению и ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов на территории Российской Федерации» от 15 апреля 2002 г.
74. Постановление Правительства Российской Федерации № 613 «О неотложных мерах по предупреждению и ликвидации аварийных разливов нефти и нефтепродуктов» от 21 августа 2000 г.
75. Постановления Правительства РФ от 23.02.1994 № 140 «О рекультивации земель, снятии, сохранении и рациональном использовании плодородного слоя почвы»
76. Посттехногенные экосистемы Севера. СПб.: Наука, 2002.
77. Почвенно-геологические условия Нечерноземья. –М.: Изд-во Моск. Ун-та, 1984. С 57-77, 608с.
78. Почвы Коми АССР, изд-во Академии наук СССР, 1958., 198 с.
79. Презентация на тему: "Природнадзор Югры рекультивация(восстановление) нефтезагрязненных земель" // Доклад: Руководителя Службы Пикунова С.В. г. Нижневартовск, 2011."
80. Проскуряков В.А. Химия нефти и газа / В.А. Проскуряков. – С-Пб.: Химия, 1995. –С. 448.
81. Просянкин Е.В. Влияние загрязнения нефтью на почвы Юго-Запада Нечернозёмной зоны России / Е.В. Просянкин, Е.В. Смольский, А.С. Гуца //«Агрохимия», – 2012, – № 7. – С. 74-86.

82. РД 07-35-93 Методические указания по организации и осуществлению контроля за горнотехнической рекультивацией земель, нарушенных горными разработками
83. РД 34.02.202-95 Рекомендации по рекультивации отработанных золошлакоотвалов тепловых электростанций
84. РД 39-00147105-006-97 Инструкция по рекультивации земель, нарушенных и загрязненных при аварийном и капитальном ремонте магистральных нефтепроводов
85. Розанова Е.П. Микрофлора нефтяных месторождений. /Е.П.Розанова, С.И. Кузнецов -М., 1974.С17, 197с.
86. Рудин М.Г. Общие сведения о нефтяной и газовой промышленности / М.Г. Рудин// Химия нефти и газа, 1989. С.18-30.
87. Саксонов М.А. Физико-химические и биологические методы. // М.А. Саксонов, А.Д. Абалаков, Л.В. Данько, О.А. Бархатова, А.Э. Балаян, Д.И. Стом / Иркут. Ун-т, 2005. – 114 с.
88. Салангинас Л. А. Изменение свойств почв под воздействием нефтезагрязнения и разработка системы мер по их реабилитации :Дис. ... д-ра биол. наук : 06.01.03 : / Салангинас Людмила Алексеевна. Екатеринбург, 2003. - 486 с.
89. Сафонова Г.И. Реликтовые структуры в углеводородах нефтей различных стратиграфических подразделениях/ Г.И. Сафонова - М., 1980.
90. Систематика техногенных поверхностных образований / Почвенный институт им. В.В. Докучаева [электронный ресурс]
<http://soils.narod.ru/appendices/tpo.html>
91. Серебряков И.Г. Вопросы биологии растений. / И.Г. Серебряков-М., 1960.
92. СНиП 11.01-95 «Инструкция о порядке разработки, согласования, утверждения и составе проектной документации на строительства предприятий, зданий и сооружений». Пособие к СНиП 11.01-95 «По

- разработке раздела проектной документации «Охрана окружающей среды» (издание 2010г.).
93. Солнцева Н.П. Проблемы загрязнения почв нефтью и нефтепродуктами: геохимия, экология, рекультивация / Н.П. Солнцева, Ю.И. Пиковский, Е.М. Никифорова, А.А. Оборин // Докл. Симпозиум. VII делегат. Съезда ВОП 1985г., Ташкент, Мехнат. 1985. С. 246-254
94. Солнцева Н.П. Закономерности миграции нефти и нефтепродуктов в почвах лесотундровых ландшафтов Западной Сибири/ Н.П. Солнцева, А.П. Садов // Почвоведение. 1998. №8. С.996-1008.
95. Сулин В. А. Воды нефтяных месторождений в системе природных вод./ В. А. Сулин - М., Гостоптехиздат. 1946.
96. Терещенко Н.Н. Рекультивация нефтезагрязненных почв/ Н.Н. Терещенко, С.В. Лушников, Е.В. Пышьева// Экология и промышленность. 2002. № 10. С. 17-20.
97. Тиссо Б. Образование и распространение нефти./ Б. Тиссо, Д. Вельте- М., 1981.
98. Трофимов С. С. Рекультивация и почвообразование/ Трофимов С. С., Таранов С. А., Рагим-заде Ф. К. и др. // Проблемы сибирского отделения. Новосибирск Наука. Сиб. отд-ние, 1977, с. 52-73.
99. Трофимов, С.С. Гумусообразование в техногенных экосистемах/ С.С. Трофимов, Н. Н. Паплекова, Е. Р. Кандрашин, Ф.А. Фаткулин, С. К. Стебаева— Новосибирск: Наука, 1986, 166 с.
100. Трофимов С.Я. Изменение свойств почв под влиянием нефтяного загрязнения / Трофимов С.Я., Розанова М.С. // Дegrадация и охрана почв. М., МГУ, 2002, с. 359-373.
101. Трублаевич Ж.М. Оценка токсичности почв с помощью лабораторной культуры коллембол *Folsomia Candida* / Ж. М. Трублаевич, Е.Н. Семенова // Экология, 1997. - №5.

102. ТСН 30-308-2002 Проектирование, строительство и рекультивация полигонов твердых бытовых отходов в Московской области.
103. Тюльдюков В.А. Газоноведение и озеленение населенных территорий/ Тюльдюков В.А., Кобозев И.В. и др. - М: КолосС, 2002
104. Умарова А.Б. Рабочая тетрадь. Практикум по физике почв: учебное пособие / А.Б. Умарова - Гриф и К Тула, 2000. 56 с.
105. Фахрутдинов А. И. Микробиологическая и ферментативная активность почв и грунтов при рекультивации нефтезагрязненных территорий: диссер. канд. биол. наук.: 03.00.07 / Фахрутдинов Айвар Инталович - Санкт-Петербург, 2005. - 125 с.
106. Федеральный закон от 10 января 2002 г. N 7-ФЗ "Об охране окружающей среды"(последнее изменение 29 декабря 2014 г.). П. 3 статья 37
Федеральный закон от 21 декабря 1994 г. N 68-ФЗ "О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера"(последнее изменение от 14 октября 2014 г.).
107. Федеральный закон от 23 ноября 1995 г. N 174-ФЗ "Об экологической экспертизе" (последнее изменение 12 февраля 2015 г.).
108. Федеральный закон от 24 апреля 1995 г. N 52-ФЗ "О животном мире"(последнее изменение от 7 мая 2013 г.)
109. Федеральный закон от 24 июня 1998 г. N 89-ФЗ "Об отходах производства и потребления"(последнее изменение от 29 декабря 2014 г.)
110. Федеральный закон от 30 марта 1999 г. N 52-ФЗ "О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения"(последнее изменение от 1 января 2015 г)
111. Федеральный закон от 4 мая 1999 г. N 96-ФЗ "Об охране атмосферного воздуха" (последнее изменение с 1 января 2015 г.)
112. Хессайон Д. Г. Все о газоне / Д. Г. Хессайон. – М.: Кладезь-Букс, 2006. – 128 с. издание 2-е, исправленное

113. Хомякова Д.В. Состав углеводородокисляющих микроорганизмов нефтезагрязненных почв Усинского района Республики Коми: диссер. канд. биол. наук.: 03.00.07 / Хомякова Дина Викторовна - М., 2003. - 113 с.
114. Чижов Б. Е. Рекультивация нефтезагрязненных земель Ханты-Мансийского автономного округа (практические рекомендации). / Б. Е. Чижов -Тюмень: Изд-во ТюмГУ, 2000.
115. Чугунова М.В. Особенности биodeградации нефти в почвах Северо-Запада России / М.В. Чугунова, Н.В. Маячкина, Л.Г. Бакина, Л.П. Капелькина // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. - 2011. - № 5 (1). - С. 110-117.
116. Шабад Л.М. О циркуляции химических канцерогенов в биосфере / Л.М. Шабад // Канцерогенные вещества в окружающей среде. Труды пленума комитета по канцерогенным веществам. - М., 1979. - С. 98 - 99.
117. Шилова И.И. Культурфитоценозы на нефтезагрязненных землях таежной зоны (в полевом эксперименте)/ И.И.Шилова, Н.М. Макаров // Растения и промышленная среда :Сб.научн. тр. Свердловск. 1985. С. 125-129.
118. Экологические основы восстановления экосистем на Севере / Институт биологии Коми НЦ УрО РАН; отв. ред. И.А. Арчегова. Екатеринбург: УрО РАН, 2006. 72 с.
119. Экологические принципы природопользования и природовосстановления на Севере / Коллектив авторов. Сыктывкар, 2009. 176 с.22.
120. Экологическое нормирование и управление качеством почв и земель / Под общ, ред, С.А. Шобы, А.С. Яковлева, Н.Г. Рыбальского. – М.:НИА-Природа, 2013. – 310 с.
121. Юдин Ю.П. Геоботаническое районирование/ Ю.П. Юдин // Производительные силы Коми АССР М.; Л., 1954. Т. 3., ч. 1. С. 323-359.

122. Юдина В.Ф. Сезонное развитие растений болот / В.Ф.Юдина, Т.А. Максимова - Петрозаводск, Карельский научный центр РАН, 1993. 168 с.
123. Юровская Е.М. Микробиологическая очистка промышленных сточных вод / Е. М. Юровская. - Киев: Здоров'я, 1984. - 160 с.
124. Автоматизированная Информационная Система Обработки Режимной Информации(АИСОРИ) [электронный ресурс]
<http://meteo.ru/it/178-aisori>
125. Uzoiye A.P. and Agunwamba J.C., 2011. Physiochemical Properties of Soil in Relation to Varying Rates of Crude Oil Pollution. *Journal of Environmental Science and Technology*, 4: 313-323.
126. Atlas R.M. Microbial degradation of petroleum hydrocarbons: An environmental perspective. // *Microbial. Rev.* - 1981 - Vol. 45 - P. 180-209.
127. Bates H.S. Vertical transport and sedimentation of hydrocarbons in the central Main Basin of Puget Sound, Washington. / H.S. Bates, J.D. Cline // *Environ. Sci. and Technol.* - 1984. - Vol. 18. - P. 289-305.
128. Billings W.D., Mooney H.A. The ecology of arctic and alpine plants // *Biological Reviews*. 1968. V. 43. P. 481-529.
129. Brooks T.M. Evaluation of modified bacterial mutagenicity assays for the genotoxicity testing of mineral oils. / T.M. Brooks, R.A.J. Preston, A.S. Wright, W.P. Watson. // *Mutagenesis*. - 1995. - Vol. 10 (5). - P. 409-415.
130. Bumpus J.A. Biodegradation of polycyclic aromatic hydrocarbons by 196 *Phanerochaete chrysosporium*. / J.A. Bumpus. // *Appl. Environ. Microbiol.* - 1989 - №55. - P. 154-158
131. Chinese Geographical Science December 2013, Volume 23, Issue 6, pp 708-715 Date: 14 Nov 2013 // Effects of crude oil contamination on soil physical and chemical properties in Momoge wetland of China Ying Wang, Jiang Feng, Qianxin Lin, Xianguo Lyu, Xiaoyu Wang, Guoping Wang
132. Claxton L.D. Effect of bioremediation on the mutagenicity of oil spilled in Prince William Sound, Alaska. / L.D. Claxton, V.S. Houk, R. Williams, F. Kremer

- // Chemosphere - 1991. - №23 (5). - P. 643-650. Cohen, M.M. The Child With Multiple Birth Defects. / M.M. Cohen // New York: Raven Press., 1982. - 189 p.
133. Currier H.B., Peoples S.A. Phytotoxicity of hydrocarbons // Hilgardia. 1954. Vol 23. P. 155-173.
 134. De Ong E.A., Knight H., Chamberlin J.C. A preliminary study of petroleum oil as an insecticide for citrus trees // Hilgardia. 1972.-N 2. P. 353-384.
 135. Granella M. Mutagenicity and contents of polycyclic aromatic hydrocarbons in new high-viscosity naphthenic oils and used and recycled mineral oils. / M. Granella, C. Ballarin, B. Nardini, M. Marchioro, E. Clonfero // Mutation Research. -1995. - V. 343. - №23. - P. 145-150.
 136. Granella, M. The Mutagenic Activity and Polycyclic Aromatic Hydrocarbon Content of Mineral Oils. / M. Granella, E. Clonfero.//International Archives of Occupational and Environmental Health. - 1991. - Vol. 63. - № 2. -P. 149-153
 137. Grant W.F, Higher plant assays for the detection of genotoxicity in air polluted environments. / W.F. Grant // Ecosystem Health. - 1998. -№4 (4). - P. 210-229.
 138. Griffin L.F., Calder J.A. Toxic effect of water-soluble fractions of crude, refined and weathered oils on the growth of a marine bacterium // Appl. & Environ. Microbiol. 1977. V33. №5. P. 1092-1102.
 139. Hadson R.E., Azam F., Lee R.F. Effects of four oils on marine bacterial population; controlled ecosystem pollution experiment // Bull. Mar. Sci. 1977. V27. №1. P. 119-127.
 140. Heitkamp, M.A. Pyren degradation by a Mycobacterium species: Identification of ring oxidation and ring fission product. / M.A. Heitkamp, J.P. Freeman, D. Willer // Appl. Environ. Microbial. - 1988- Vol. 54. - P. 2556-2565
 141. International Journal of Modern Engineering Research (IJMER) www.ijmer.com Vol. 3, Issue. 6, Nov - Dec. 2013 pp-3336-3342 ISSN: 2249-6645 www.ijmer.com 3336 | Page 1 oyem, Isama Lawrence Rank, 2 oyem, Isama

- Lawrence Effects of Crude Oil Spillage on Soil Physico-Chemical Properties in Ugborodo Community
142. IOSR Journal of Agriculture and Veterinary Science (IOSR-JAVS) e-ISSN: 2319-2380, p-ISSN: 2319-2372. Volume 6, Issue 3 (Nov. - Dec. 2013), PP 14-17
www.iosrjournals.org www.iosrjournals.org 14 | Page Effect of Crude Oil Pollution on some Soil Physical Properties Ewetola E. Abosede
 143. J. Appl. Sci. Environ. Manage. September, 2007 Vol. 11 (3) 147 - 152
Available Online at www.bioline.org.br/ja The Effects of Spent Engine Oil on Soil Properties and Growth of Maize (Zea mays L.)
 144. Marinescu M., Toti, M. ,Tanase, V., Plopeanu, G., Calciu, I., Marinescu, M., 2001. The effects of crude oil pollution on physical and chemical characteristics of soil. ResaerchJournalofAgriculturalScience, 43(3), 125-129
 145. Matthew J. Sagers (1994) Oil spill in Russian arctic , Polar Geography and Geology, 18:2, 95-102 [электронный ресурс]
<http://dx.doi.org/10.1080/10889379409377534>
 146. Mazzeo D. E. C. BTEX biodegradation by bacteria from effluents of petroleum refinery. / D.E.C. Mazzeo, C.E. Levy, D.F. Angelis, M.A. Marin-Morales // Science of the Total Environment. - 2010. - V. 408. - № 20. - P. 4334 - 4340.
 147. McGill W. W. Soil restoration following oil spills – a review // J/ Canad. Petrol. Technol, 1977. –V. 16, №2. P. 60-67.
 148. Mckendrick J.D., Mitchell W.W. Fertilizing and Seeding Oil-Damaged Arctic Tundra to Effect Vegetation Recovery, Prudhoe Bay, Alaska // Arctic, 1978. M.31. №3. P.242.
 149. Mosbech A. Potential environmental impacts of oil spills in Greenland. An assessment of informations status and research needs. National Environmental Research Institute, Denmark. NERI Technical Report. 2002. 118pp.
 150. Ratledge G. Degradation of aliphatic hydrocarbons // Developments in biodegradation of hydrocarbons-1. L.: Appl. Sci. Publ., 1978. P. 1-46

151. Reddy M.V. Correlation of mutagenic potencies of various petroleum oils and oil coal tar mixtures with DNA adduct levels in vitro. / M.V. Reddy, G.R. Blackburn, C.A. Schreiner C.R. Mackerer // Mutation Research. -1997. - Vol. 378. - № 1. - P. 89-95.
152. Rudd L.E. Changes in mutagenicity during crude oil degradation by fungi. / L.E. Rudd, L.L. Perry, V.S.Houk et al. //Biodegradation. - 1996. - № 7(4). - P. 335- 343
153. Tokiwa H. The Nature of the Mutagenicity and Carcinogenicity of Nitrated, Aromatic Compounds in the Environment. / H. Tokiwa, R. Nakagawa, K. Horikawa, A. Ohkubo //Environmental Health Perspectives. -1987. -V. 73. - P. 191-199.
154. Tokiwa H. The Nature of the Mutagenicity and Carcinogenicity of Nitrated, Aromatic Compounds in the Environment. / H. Tokiwa, R. Nakagawa, K. Horikawa, A. Ohkubo //Environmental Health Perspectives. -1987. -V. 73. - P. 191-199.
155. Trudgill P.W. Microbial degradation of alicyclic hydrocarbons // Developments in biodegradation of hydrocarbons-1. L.: Appl. Sci. Publ., 1978. P. 47-84.
156. Walker D., Syers J.K. the fate of phosphorus during pedogenesis // Geoderma. 1976. V. 15. P. 1-19.
157. Weintraub M.N. Biological phosphorus cycling in arctic and Alpine soils. In: Phosphorus in action. Biological processes in soil phosphorus cycling. Springer, Verlag, Berlin, Heidelberg. 2011. P. 295-316.
158. Zemanek M.G. Toxicity and mutagenicity of component classes of oils isolated from soils at petroleum- and creosote-contaminated sites. / M.G. Zemanek, S.J. Pollard, S.L. Kenefick, S.E. Hrudey. // J. Air Waste Manag. Assoc.- 1997. - Vol. 47. - № 12. - P. 1250 - 1258.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Таблица 1.п.Статистики температуры горизонтов, рекультивированной почвы
(Вариант 3, автоморфный участок без растительности).

	0см	5см	10см	20 см	50см	70см
максимум	37	27	24,5	н.о.	16	14,5
минимум	-2	-2	-2	н.о.	-0,5	-0,5
медиана	0	0	0,5	н.о.	1,5	1,5
среднее	3,3	3,4	3,5	н.о.	3,9	3,8
разброс	35	25	23	н.о.	16	14
кол-во дней с отриц. t°C	200	167	167	н.о.	61	46

Таблица 2.п.Статистики температуры горизонтов, рекультивированной почвы
(Вариант 3, автоморфный участок с растительностью).

	0см	5см	10см	20см	50см	70см
максимум	26	19	19	17	15,5	14
минимум	-3,5	-4	-2,5	-2	-0,5	0
медиана	0	0	1	0,5	1,5	1,5
среднее	2,7	2,6	3,4	3,5	3,9	3,9
разброс	23	15	17	15	15	14
кол-во дней с отриц. t°C	199	205	192	180	153	142

Таблица 3.п.Статистики температуры горизонтов, рекультивированной почвы
(Вариант 3, гидроморфный участок без растительности).

	0см	5см	10см	20см	50см	70см
максимум	27,5	21	20	16	13	11,5
минимум	-1,5	-1	-1	-0,5	0	0
медиана	-0,5	0	0,5	0,5	1,5	2
среднее	2,5	2,9	3,1	3	3,3	3,5
разброс	26	20	19	16	13	12
кол-во дней с отриц. t°C	204	200	204	208	126	0

Таблица 4.п.Статистики температуры горизонтов, рекультивированной почвы
(Вариант 3, гидроморфный участок с растительностью).

	0см	5см	10см	20см	50см	70см
максимум	19,5	16,5	16	14,5	12,5	12,5
минимум	-1,5	-1	-0,5	0	0,5	0
медиана	0	1	1	1,5	2	2,5
среднее	2,8	3,7	3,7	3,9	4	4,1
разброс	18	16	16	15	12	13
кол-во дней с отриц. t°C	184	173	141	69	0	0

Таблица 5.п.Статистики температуры горизонтов, рекультивированной почвы
(Фоновая почва).

	0см	5см	10см	20см	50см	70см
максимум	20	13	11	8	6,5	6,5
минимум	-5	-1	-0,5	0	0,5	0,5
медиана	-0,5	0	0,5	1	1,5	1,5
среднее	1,4	1,8	2,1	2,2	2,5	2,6
разброс	15	12	11	8	6	6
кол-во дней с отриц. t°C	213	155	146	89	0	0

Таблица 6.п.Профильное распределение углеводородов нефти исследуемых почв

	глубина, см	Σ УВ, мг/кг	%н-алканов/ C14-C23	C14-C23/ C24-C34	C17+C18/ C15+C16
Вариант 1	0-10	6151,9	0,6	0,6	1,6
	10-20	8702,5	0,8	0,4	
	20-30	16377,6	7,2	0,5	1,8
	50-60	9290,2	5,8	0,8	
	70-80	5314,7	2,3	0,9	
	80-90	2900,0	1,3	0,9	
	90-100	12728,2	6,2	1,0	
Вариант 2	0-10	13009,4	0,1	0,3	0,1
	10-20	21239,6	0,0	0,4	0,8
	20-30	107,4	6,1	0,5	2,4
Вариант 3, автоморфный участок без растительности	0-10	5556,0	0,4	0,3	1,3
	10-20	45691,6	5,9	0,5	1,3
	20-30	55218,7	11,5	0,6	0,9
	50-60	1265,2	8,1	0,5	
	70-80	638,3	9,9	0,5	
	140-150	113,2	6,4	0,4	1,5
	150-160	52,3	4,7	0,4	
Вариант 3, автоморфный участок с растительностью	0-10	599,1	4,3	0,3	1,6
	10-20	12205,5	1,0	0,2	0,6
	20-30	41800,9	10,0	0,6	0,7
	50-60	1869,1	10,4	0,2	
	70-80	56,3	3,5	0,4	
Вариант 3, гидроморфный участок без растительности	0-10	29166,0	5,1	0,3	1,0
	10-20	11709,0	6,3	0,6	1,4
	20-30	8672,2	16,9	0,6	1,8
	50-60	6340,3	17,7	0,9	2,5
	70-80	10217,3	17,0	0,5	
Вариант 3, гидроморфный участок с растительностью	0-10	4888,9	3,0	0,3	
	10-20	7297,7	4,6	0,4	
	20-30	1782,1	2,9	0,3	
	50-60	16094,7	10,6	0,6	0,9
	70-80	15129,4	6,8	1,0	
Вариант 4	в луже нефти				
	0-10	60628,0	1,4	0,7	0,6
	10-20	5559,2	0,6	0,6	0,0
	20-30	267,8	2,4	0,5	0,5
	вокруг нефтяной лужи				
	0-10	15084,6	0,1	0,3	0,8
	10-20	2173,7	1,9	0,3	0,9
	20-30	58,8	5,6	0,6	3,9

фон	0-10	238,2	15,0	0,3	1,6
	10-20	210,2	15,0	0,2	1,5
	20-30	370,5	13,3	0,2	1,8
	30-40	99,6	8,4	0,4	3,3
	50-60	83,3	12,9	0,4	