

Российская академия наук
Уральское отделение
Коми научный центр
ИНСТИТУТ БИОЛОГИИ

**ПРИРОДООХРАННЫЕ РАБОТЫ
НА ПРЕДПРИЯТИЯХ НЕФТЕГАЗОВОГО КОМПЛЕКСА**

**ЧАСТЬ I
РЕКУЛЬТИВАЦИЯ ЗАГРЯЗНЕННЫХ НЕФТЬЮ ЗЕМЕЛЬ
В УСИНСКОМ РАЙОНЕ РЕСПУБЛИКИ КОМИ**

Сыктывкар 2006

Коллектив авторов. Природоохранные работы на предприятиях нефтегазового комплекса. Часть I. Рекультивация загрязненных нефтью земель в Усинском районе Республики Коми. – Сыктывкар, 2006. – 208 с. – (Коми научный центр УрО РАН).

Табл. 29. Илл. 24. Фото 49.

В настоящее время в России накоплен огромный научный материал и практический опыт в ликвидации последствий аварийных разливов нефти, предупреждению аварийных ситуаций на трассах нефтепроводов, в области переработки различных отходов нефтяной и газовой промышленности.

Монография открывает цикл изданий, посвященных анализу накопленного материала и включает в себя основные результаты рекультивационных работ в Республике Коми. Проанализированы архивные и рабочие материалы о ликвидации аварийного разлива нефти на трассе «Возей–Головные сооружения» (1994 г.), данные о проведении природовосстановительных работ в период с 1994 по 2005 г., материалы выполнения корпоративной программы ОАО «Коминетфть» и ОАО «ЛУКОЙЛ» в Республике Коми. В работе приводятся некоторые результаты полевых и лабораторных исследований технологий рекультивации с использованием биопрепаратов и информация о нормативной базе по приемке нефтезагрязненных земель.

Работа предназначена для специалистов и участников природовосстановительных работ на предприятиях нефтегазового комплекса.

Авторы

Р.У. Маганов, М.Ю. Маркарова, В.В. Муляк,
В.К. Загвоздкин, И.А. Заикин

Редакционная коллегия

В.А. Черешнев (отв. редактор), А.И. Таскаев (зам. отв. редактора),
И.В. Рапота (отв. секретарь), В.А. Безносиков, А.П. Боровинских,
М.В. Губинова, В.Г. Иванов, Н.И. Хорошкев, А.С. Яковлев

ISBN 5-89606-299-0

© Коллектив авторов, 2006
© Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, 2006
© ОАО «ЛУКОЙЛ», 2006
© ООО «ЛУКОЙЛ-Коми», 2006

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	8
Хронология работ	10
Глава 1. КРАТКИЙ ОБЗОР	22
1.1. Природные условия Усинского района	22
1.2. Воздействие нефти на почву и влияние внешних факторов на процессы самоочищения	27
1.3. Подходы к восстановлению загрязненных нефтью земель, принятые в мировой практике	33
Глава 2. ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ И ПРИЕМЫ РЕКУЛЬТИВАЦИОННЫХ РАБОТ, ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ В РЕСПУБЛИКЕ КОМИ	47
Глава 3. ВОССТАНОВЛЕНИЕ ЗЕМЕЛЬ НА ОБЪЕКТАХ АВАРИЙНОГО РАЗЛИВА 1994 г.	65
Глава 4. ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОТ И ВОССТАНОВЛЕНИЕ ЗАГРЯЗНЕННЫХ НЕФТЬЮ ЗЕМЕЛЬ В ПЕРИОД С 2000 ПО 2005 г.	107
4.1. Организация работ	107
4.2. Разработка нормативной базы рекультивационных работ в Республике Коми	122
4.3. Основные приемы рекультивации земель на территории Усинского района в период с 2000 по 2005 г.	128
Глава 5. ОПЫТНЫЕ РАБОТЫ И НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ	141
ЛИТЕРАТУРА	198

ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ

АНО	– автономная некоммерческая организация
АО	– акционерное общество
АСФ	– аварийно-спасательное формирование
БКНС	– блочно-кустовая насосная станция
в.с.в.	– воздушно-сухое вещество
в.с.п.	– воздушно-сухая почва
ГИС	– геоинформационная система
ГО И ЧС	– гражданская оборона и чрезвычайные ситуации
ГУП	– государственное унитарное предприятие
д.в.	– действующее вещество
ДНС	– дожимная насосная станция
ЕБРР	– Европейский банк реконструкции и развития
КМВХП	– Комимелиоводхозпроект
КЧС	– комиссия по чрезвычайным ситуациям
ЛАРН	– ликвидация аварийных разливов нефти
ЛЭП	– линии электропередач
МБРР	– Мировой банк реконструкции и развития
МО ГО	– муниципальное образование городского округа
МО МР	– муниципальное образование муниципальный район
МПР	– министерство природных ресурсов
НАО	– Ненецкий автономный округ
НГДУ	– нефтегазодобывающее управление
НИПИИ	– научно-исследовательский проектно-изыскательский институт
НИР	– научно-исследовательская работа
НПО	– научно-производственное объединение
НСЖ	– нефтесодержащая жидкость
НТО	– научно-техническое объединение
НТЦ	– научно-технический центр
ОАО	– открытое акционерное общество
ОДК	– ориентировочно допустимая концентрация
ООО	– общество с ограниченной ответственностью
ПАВ	– поверхностно-активные вещества
ПАУ	– поверхностно-активные углеводороды
ПДК	– предельно допустимая концентрация
ПЭБ	– программа экологической безопасности
РАН	– Российская академия наук
РАСХН	– Российская академия сельскохозяйственных наук
РК	– Республика Коми
РФ	– Российская Федерация
РЦРНЗ	– Республиканский центр по рекультивации нарушенных земель
СВБ	– сульфатовосстанавливающие бактерии
СПАСФ	– специализированное аварийно-спасательное формирование
ССЦ	– Сибирский спасательный центр
СУБД	– система управлений базами данных
ТЭК	– топливно-энергетический комплекс
ФГУП	– федеральное государственное унитарное предприятие
ЦДНГ	– цех добычи нефти и газа

ОРГАНИЗАЦИИ – УЧАСТНИКИ РАБОТ

ОАО «Коминедель», г. Усинск. Генеральные директора: 1990-1994 гг. – Леонидов В.З., 1994-1996 гг. – Якимов А.А., 1997-1998 гг. – Панкратов Е.М., 1998 г. – Клиничев В.А., главный инженер – Байдинов Ю.Н., начальник отдела охраны окружающей среды – Лукашов В.Н.

НК «КомитЭК», г. Усинск. Президенты: 1998-1999 гг. – Гуревич Г.С., 1999-2001 гг. – Зарубежнов В.Н.

ООО «Лукойл-Коми», г. Усинск. Генеральные директора: 2001-2002 гг. – Зарубежнов В.Н., с 2002 г. по наст. время – Муляк В.В. Начальник службы экологии с 2002 г. – Иванов В.Г.

ОАО «ЛУКОЙЛ», г. Москва. Маганов Р.У. – первый вице-президент, Александров А.И. – начальник управления ПБ, ОТ, ОС и ЧС (до 2002 г.), Заикин И.А. – начальник департамента ПБ, экологии и научно-технических работ, Загвоздкин В.К. – начальник отдела ООС.

МО «ГОРОД Усинск»: глава администрации Марков Ф.О., зам. главы администрации Брезгун А.И., начальник земельного комитета Стрельцов В.Э.

ТПП «ЛУКОЙЛ-УсинскНефтегаз», г. Усинск. Директор до 2004 г. – Беньяминов А.Б., с 2004 г. – Казаков А.А., начальник отдела экологии – Лукашов В.Н.

Министерство по делам ГО и ЧС, г. Сыктывкар. Министр – Нуйкин А.Ф., член комиссии по приемке земель – Рябова Л.А.

Министерство природных ресурсов РК, г. Сыктывкар. Министр – Боровинских А.П., зам. министра, председатель комиссии по приемке земель – Хорошкеев Н.И.

Государственный комитет Коми АССР по охране природы, г. Сыктывкар. Председатель – Балин Н.Н.

Главное управление природных ресурсов ООС МПР России по РК, г. Сыктывкар. Начальник – Попов А.Н. С 2004 г. – руководитель Управления Росприроднадзора по РК. Члены комиссии по приемке земель: Конкин П.И., Мамонтов И.З., до 2001 г. – Антонов С.А.

Усинский городской комитет по охране природы, г. Усинск. До 1994 г. начальник – Полшведкин В.В. с 1994 г. – Новоскольцева Т.И.

ФГУ Комирыввод, г. Сыктывкар. Директор – Самойленко П.В. Члены комиссии по приемке земель – Губинова М.В., Цибенко С.М.

Отдел водных ресурсов Печорского БВУ, г. Сыктывкар. Начальник – Антонов Л.Д.

Усинский Лесхоз, г. Усинск. Директор – Зайцев Ю.А.

ТОО СПАСФ «Природа», г. Усинск (до 2000 г. – ТОО, с 2000 г. – специализированное аварийно-спасательное формирование (СПАСФ). Генеральный директор – Курченко А.Б.

ФГУП «Комимелиоводхозпроект», г. Сыктывкар. С 1992 г. – Коми государственный проектно-изыскательский институт, государственное унитарное предприятие (ГУП). С 2002 г. – федеральное государственное унитарное предприятие научно-исследовательский проектно-изыскательский институт (ФГУП НИПИИ), с 2005 г. – ОАО НИПИИ «Комимелиоводхозпроект». Директор – Ерцев Г.Н.

Основные исполнители – Аржанников В.П., Уляшов А.И., Мальцева Н.В., Петренко А.И., Николаев А.К., Громова О.В., Елфимов Е.А., Иванов А.Н., Коптелов А.Г., Ерцев А.Г., Ерцев П.Г., Ерцева В.Н., Травин В.В., Морозова Н.В. и др.

ООО «Сыня», г. Усинск. Директор – Хаматнуров Р.М.

ООО «Могилевводстрой», г. Могилев. Директор – Зюзин Е.К. Бригадиры – Тихонов В.Т., Харкевич Г.М.

ООО «РЦРНЗ», г. Сыктывкар. Директор – Брусов В.В.

НТО «Приборсервис», г. Томск. Генеральный директор – Лушников С.В., технический директор – Пишта В.А.

АСФ ССЦ «Сибирский спасательный центр», г. Томск. Директор – Колесников И.Е., технический директор – Дружининский М.А.

ООО «КомиОйл», ЗАО ИЭЦ «ГенЭко», «ЗАОГенТранс», ЗАО «Генстрой», г. Усинск. Генеральный директор – Зарипов Г.Г., технический директор ЗАО ИЭЦ «ГенЭко» с 1994 по 1996 г. – Полшведкин В.В. с 1996 по 1998 г. – Якупов Р.Х.

ЗАО «КомиАрктикОйл», г. Усинск. Генеральный директор – Лескин Е.Г., начальник отдела охраны окружающей среды – Титаренко Т.В.

Институт биологии Коми НЦ УРО РАН, г. Сыктывкар. Директор – Таскаев А.И. Основные исполнители: Захаров А.Б., Шубин Ю.П., Маркарова М.Ю., Евдокимова Т.В.

Главе Республики Коми
В.А. Торлопову

Уважаемый Владимир Александрович,

в соответствии с соглашением о сотрудничестве между Республикой Коми, ОАО «ЛУКОЙЛ» и ОАО «КомиТЭК» от 9 июля 1999 г. была разработана и согласована с Правительством Республики Коми «Корпоративная программа работ ОАО «Коминепть» по экологической реабилитации загрязненных территорий и предотвращению аварийных разливов нефти на 2000-2005 гг.».

Основной задачей программы являлось, прежде всего, ликвидация последствий аварийных разливов нефти и снятие статуса «зоны экологического бедствия» с загрязненных территорий Усинского района, пострадавших в результате аварии 1994 г.

В результате выполнения программных мероприятий 8 сентября 2004 г. постановлением № 1220 главы муниципального образования г. Усинск Ф.О. Маркова с зоны аварии 1994 года снят статус «зоны экологического бедствия».

За период 2000-2005 гг. прежним землепользователям возвращено 1592.75 га земель, из которых на площади 891 га проведена биологическая рекультивация, в том числе на площади 383 га проведены лесовосстановительные работы. Рекультивировано и сдано республиканской комиссии 718.65 га восстановленных нефтезагрязненных земель. Переработано (утилизировано) более 230 тыс. тонн нефтесодержащих отходов. Заменено 878.7 км трубопроводов, построены и введены в эксплуатацию два гидрозатвора на ручьях Безымянный-2 и Безымянный-3, проведена реконструкция гидрозатвора на р. Варгаель и двух гидрозатворов на левом и правом притоках р. Бадью. В результате в указанные годы не было допущено попадание нефти и нефтесодержащей жидкости в водотоки в период паводков.

Компания сформировала необходимую нормативную базу – разработаны и прошли необходимые согласования:

- требования к технологиям рекультивации загрязненных нефтью земель в условиях Крайнего Севера;
- регламенты по приемке земель и водных объектов после проведения восстановительных работ с обоснованием нормативов остаточного содержания нефти и нефтепродуктов в грунтах.

Результаты работ по инструментальному контролю состояния объектов окружающей среды подтвердили положительную динамику снижения уровней загрязнения атмосферного воздуха, водных объектов и почвы.

Организованы и проведены три научно-практические конференции, которые позволили не только обсудить ход выполнения «Корпоративной программы...», но и наметить направления научных исследований в области

восстановления объектов природы Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции.

Всего на выполнение природоохранных мероприятий в Республике Коми в период 2000-2005 гг. компанией было направлено более 4.6 млрд. рублей.

Опыт экологической реабилитации территорий Республики Коми, подвергшихся нефтяным загрязнениям, рассмотрен и одобрен в октябре 2004 г. на заседании Комитета по экологии Государственной Думы Федерального Собрания Российской Федерации. Правительством Российской Федерации этот опыт рекомендован для распространения и использования в интересах других нефтедобывающих регионов страны.

Таким образом, задания, определенные «Корпоративной программой...», полностью выполнены.

Владимир Александрович, разрешите мне от имени компании поблагодарить Вас и в Вашем лице руководство Республики Коми за оказанное содействие ОАО «ЛУКОЙЛ» и ООО «ЛУКОЙЛ-Коми» в выполнении работ по восстановлению природных объектов.

Хочу также выразить благодарность коллективам Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Коми (А.П. Боровинских, Н.И. Хорошкеев), Управления Росприроднадзора по Республике Коми (А.Н. Попов), Территориального управления Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Республике Коми (Л.И. Глушкова), Агентства лесного хозяйства по Республике Коми (Ю.А. Зайцев), Россельхознадзора по Республике Коми (П.Л. Самойленко, М.В. Губинова), Усинского комитета по охране окружающей среды (Т.И. Новоскольцева), Института биологии Коми НЦ УрО РАН (А.И. Таскаев, М.Ю. Маркарова), а также администрации МО «Город Усинск» (Ф.О. Марков).

Владимир Александрович, накопленный за прошедшие годы опыт совместной работы ОАО «ЛУКОЙЛ» и Республики Коми по решению сложнейших производственных, экологических и социальных проблем вселяет уверенность в плодотворное сотрудничество в будущем.

С уважением,

президент ОАО «ЛУКОЙЛ»
В.Ю. Алекперов

ВВЕДЕНИЕ

Объем нефтедобычи в России ежегодно увеличивается. Особую опасность представляют аварийные разливы нефти, происходящие как на самих месторождениях, так и во время транспортирования нефти. Аварии, главным образом, возникают в результате человеческих ошибок и нарушения правил выполнения работ, а также вследствие стихийных природных явлений и из-за изношенности оборудования. Количество аварийных разрывов труб с масштабными утечками нефти достаточно велико и составляет 0,3-0,4 случая на 1000 км/год. При разрушении нефтепроводов диаметром, например, 720 и 1020 мм на ландшафт может вылиться соответственно до 250 и 1500 тонн нефти в сутки. Наносимый материальный и экологический ущерб измеряется сотнями миллионов, а то и миллиардами рублей. Негативное воздействие на окружающую природную среду нефтяных углеводородов, обладающих высокими токсическими и канцерогенными свойствами, выражается в выведении из хозяйственного оборота части используемых земель, изменении ландшафтов и рельефа местности, сложившихся природно-геологических условий, трансформации локальных и глобальных климатических характеристик. Объектами отрицательного воздействия нефтяных загрязнений становятся практически все компоненты природной среды: почвы, атмосферный воздух, поверхностные и подземные воды, недра, многолетнемерзлые породы, животный и растительный мир и сам человек.

Необходимость поиска и обоснованного применения эффективных способов рекультивации загрязненных земель вызвана тем, что, к сожалению, при современном состоянии промышленного оборудования и технологий добычи и транспортировки нефти избежать аварий практически невозможно. Наибольшая результативность в ликвидации тяжелых экологических, социальных и экономических последствий аварийных разливов нефти может быть достигнута только при системном подходе, разработке и применении комплекса современных наукоемких технических, технологических и управленческих решений. Актуальность проблемы и своевременность постановки задачи подтверждается выходом в свет постановления Правительства Российской Федерации (№ 240 от 14 апреля 2002 г.) «О порядке организации мероприятий по предупреждению и ликвидации последствий разливов нефти и нефтепродуктов на территории Российской Федерации».

Республика Коми является одним из основных регионов северо-запада России по добыче нефти. Из-за недостаточно развитой инфраструктуры для ее промышленной переработки значительные объемы углеводородов в сыром виде под высоким давлением транспортируются за пределы территории. В Республике Коми проложено более 15 тыс. км нефтепроводов, в том числе около 700 км – магистральных. Большая часть трубопроводов приходится

на заболоченные территории и подвергается дополнительным воздействиям, вызванным смещением грунтов, торфа, просадками, пучинистыми и мерзлотными явлениями и т.п., что увеличивает и вероятность возникновения аварийных ситуаций. Особенностью основной части территории Республики Коми является чрезвычайно высокая уязвимость ее экосистем, связанная с суровыми природно-климатическими условиями Крайнего Севера. Вегетационный период короткий, продуктивность биоценозов и биовосстановительный потенциал экосистемы характеризуются как крайне низкие.

Авария (весна-лето 1994 г.) в Усинском районе Республики Коми на нефтепроводе «Возей–Головные сооружения» в зоне деятельности ОАО «Коминнефть» привела к масштабному загрязнению территорий, на которых сформировалась, по существу, зона экологического бедствия. Нефтепровод (рабочее давление 4.0 МПа, диаметр 720 мм) «Возей–Головные сооружения» введен ОАО «Коминнефть» в эксплуатацию в мае 1975 г. С июля 1988 г. на нефтепроводе стали появляться многочисленные утечки из-за внутренней коррозии труб. К 1994 г. по нефтепроводу перекачивалось 16000 тонн нефтесодержащей жидкости в сутки. По разным данным в результате аварии на территории около 120 га было разлито от 100000 до 200000 тонн нефти.

К моменту аварии в Коми не было опыта ликвидации такого масштабного загрязнения. Выполнение первоочередных мероприятий по улучшению экологической ситуации устранило только часть экологических последствий, основные же работы по реабилитации нефтезагрязненных территорий, которые включали не только зону аварии 1994 г., но и многочисленные участки не столь масштабных промысловых аварийных разливов, начались после 1999 г. В результате проведенного в 1998-1999 гг. экологического обследования нефтепромыслов на территории Усинского района Республики Коми было выявлено 350 участков нарушенных и загрязненных нефтью и нефтепродуктами земель общей площадью в 745.65 га. Основываясь на полученных данных инвентаризации была разработана «Корпоративная программа работ ОАО «Коминнефть» по экологической реабилитации загрязненных территорий и предотвращению аварийных разливов нефти на 2000-2005 гг.» (далее – Корпоративная программа).

В мировой практике вопросам восстановления нефтезагрязненных земель уделяется пристальное внимание. Однако большая их часть касается методов и принципов ведения работ в более благоприятных климатических условиях. Используемые в республике способы ликвидации последствий нефтеразливов отличаются от известных в отечественной и мировой практике комплексным подходом к решению задачи в специфических условиях Севера. Состав комплекса работ включает в себя локализацию нефтеразлива на рельефе, оперативное ограничение распространения нефти по водотокам, сбор нефтесодержащей жидкости в передвижные инвентарные емкости с доставкой на установки очистки и подготовки нефти, комплексную техническую и биологическую рекультивацию на участках разливов. Технологию подбирают с учетом специфики каждого из объектов работ. Комплекс восстановительных работ включает оценку состояния участков до начала рекультивации и сдачу земель республиканской комиссии по приемке земель в соответствии с требованиями регионального регламента.

Практическое освоение комплекса технологий ликвидации экологических последствий масштабных разливов нефти в Республике Коми позволило накопить ценный опыт противодействия возникновению и ликвидации последствий аварийных ситуаций в процессе добычи и транспортировки нефти и нефтепродуктов, достичь конкретных результатов, позволяющих снять в 2004 г. статус «зоны экологического бедствия» с загрязненных территорий Усинского района.

В новых социально-экономических условиях накопленный опыт ликвидации последствий катастрофических нефтяных загрязнений в Республике Коми с учетом его высокой социально-экономической значимости в октябре 2004 г. был рассмотрен на заседании Комитета по экологии Государственной Думы Федерального Собрания Российской Федерации, одобрен и рекомендован для широкого распространения.

Целью издания настоящей работы было обобщение накопленного в Республике Коми опыта рекультивации загрязненных нефтью земель в дополнение к материалам ранее изданной коллективной монографии «Опыт ликвидации аварийных разливов нефти в Усинском районе Республики Коми» [52], а также сравнение полученных результатов с работами мирового уровня.

Проходит время, многое стирается в памяти – поэтому авторы представляемой читателю книги посчитали необходимым восстановить напряженный ритм тех, как теперь уже можно сказать, исторических событий.

ХРОНОЛОГИЯ РАБОТ

До 1994 года

Добыча нефти в районе бассейна р. Колва началась в середине 70-х годов одновременно с разработкой Усинского и Возейского, а позднее и Харьгинского месторождений. Добываемая нефть с этих месторождений подается через внутренние системы сбора и транспортировки нефти в основной нефтепровод «Харьга–Усинск», который предназначен для транспортировки нефти с пластовой водой с нефтяных месторождений на комплекс по подготовке нефти на Головных сооружениях. Утечки нефти в системе нефтепроводов (внутренние системы сбора и транспортировки нефти в магистральный нефтепровод) происходили в течение многих лет. Аварийные ситуации возникали не только на объектах ОАО «Коминетфть».

Ликвидация локальных нефтеразливов на промыслах предприятий нефтедобывающего комплекса Республики Коми проводилась без определенной системы. Основными приемами ликвидации последствий разливов нефти были засыпка загрязненных участков песком, реже торфом, уборка нефти в амбары, сгребание замазученного грунта и вывоз его в шламонакопители, а на воде – локализация с помощью гидрозатворов, насыпей, запаней. Часто использовался прием сжигания нефти, разлитой на поверхность почвы и воды.

Но уже в период с 1990 по 1994 г. на некоторых предприятиях («КомиАрктикОйл», «НобельОйл», «Северная нефть», «КомиОйл») совместно со специалистами ведущих научных организаций приступили к отработке приемов восстановления нефтезагрязненных земель на опытных участках для условий Крайнего Севера.

1994 год

Весной-летом 1994 г. с незначительным временным интервалом в Усинском районе Республики Коми на нефтепроводе «Возей–Головные сооружения» возникло несколько аварийных ситуаций – разгерметизация нефтепровода в 23 местах на участке протяженностью 52 км в труднодоступной болотистой местности. Добыча нефти с южно-девонской залежи Возейского месторождения была прекращена 26 августа 1994 г., а с 6 сентября – на всех северных месторождениях, разрабатываемых в Усинском районе Республики Коми и Ненецком автономном округе Архангельской области.

В результате аварий было загрязнено и затем нарушено в ходе локализации и ликвидации последствий 270 га земель. По данным специалистов фактически на землю вылилось более 100 тыс. тонн нефти, по некоторым данным – более 200 тыс. тонн. Авария вошла в книгу рекордов Гиннеса (1999) как самое значительное загрязнение земли. Для задержания нефти были построены временные дамбы и плотины, однако осенью 1994 г. из-за низкого качества выполненных работ и в результате разрушения защитных сооружений это закончилось большим сбросом нефти в р. Колва.

Постановлением Усинской городской администрации (№ 1670 от 1 октября 1994 г.) было объявлено «О чрезвычайной ситуации на р. Колва». Указом Главы Республики Коми Ю.А. Спиридонова от 1 ноября 1994 г. была образована Комиссия по чрезвычайным ситуациям Республики Коми (далее КЧС РК) и утверждено положение о ней. В решении заседания КЧС РК было указано, что причиной аварии явилось «неудовлетворительное техническое состояние нефтепроводов ввиду их полной амортизации», а ее масштабы обусловлены несвоевременным оповещением государственных и природоохранных органов о факте аварии. КЧС РК также признала ситуацию в районе р. Колва и на прилегающей к ней территории в Усинском районе чрезвычайной.

В октябре 1994 г. для оценки степени загрязнения земель в зоне аварии группа специалистов АО «НордЭко Инк.» совместно со специалистами аэрокосмической лаборатории государственного гидрологического института (Санкт-Петербург), а также представителями Архангельского и Ненецкого комитетов по охране окружающей среды вылетела к месту аварии и выполнила комплекс полевых исследований по трассе аварийного нефтепровода, расположенного в бассейне р. Колва, протяженностью 45 км от руч. Пальник-Шор до Головных сооружений. По результатам выполненных аэрофотосъемочных работ, аэровизуальных наблюдений, дешифрирования аэрофотоснимков были оговорены разливы нефти на поверхности, что позволило подсчитать площадь, залитую нефтью, для каждого порыва, и количество аварийной нефти.

Выполненные работы подтвердили, что часть нефти, попавшей в руч. Пальник-Шор, р. Хатаяха, унесена водой в реки Колва и Уса и далее в р. Печора. Наступившие холода временно приостановили миграцию нефти в водотоке. В это время КЧС РК приняла решение о локализации участков разлива для предотвращения дальнейшего загрязнения ручьев и рек и попадания нефти в р. Печора весной 1995 г. Аварийная замена средней секции нефтепровода была завершена в декабре 1994 г. Сбор нефти, находящейся под толщей снега на многих удаленных друг от друга участках, за зимний период был невозможен, поэтому основным направлением по предотвращению загрязнения рек Колва, Уса и Печора было выбрано направление по локализации нефти при помощи ограждающих дамб, а при попадании ее в ручьи и мелкие водотоки – локализация плотинами со специальной конструкцией водосброса (гидрозатворами).

Работы по локализации нефтяного разлива проводились с осени 1994 г. до лета 1995 г. и заключались в строительстве дорог, отсыпке нефтезагрязненных участков песчаными и глиняными дамбами, откачке нефти из зоны водотоков, массовом сооружении амбаров временного хранения нефтешламов. На этом этапе ликвидации аварии в работе принимали участие практически все крупные нефтяные компании Усинского района. Общие усилия были направлены на снижение воздействия нефтеразлива на сопряженную территорию, в первую очередь, на систему крупных водотоков. Для этого вели стро-

ительство ограждающих дамб и гидрозатворов на руч. Безымянный, правом притоке руч. Хатаяха, на руч. Пальник-Шор и в районе руч. Большой Кенью. Большинство гидрозатворов было построено без проектов с нарушениями норм и правил гидротехнического строительства и без учета гидрологических характеристик водотоков. Однако режим чрезвычайной ситуации требовал немедленных действий и они были реализованы всеми возможными на тот момент средствами.

1995 год

На заседании Правительства Российской Федерации 23 февраля 1995 г. под председательством В.С. Черномырдина был рассмотрен вопрос «О ликвидации последствий Усинской аварии 1994 г.», где было принято решение о срочном содействии в финансировании работ по локализации и ликвидации нефтяного разлива. К марту 1995 г. была разработана программа о выделении чрезвычайного займа МБРР для выполнения первоочередных мероприятий по ликвидации аварии.

В марте в рамках «Проекта экстренного обезвреживания последствий и восстановления окружающей среды после аварийного разлива нефти в Республике Коми» подписан контракт между ОАО «Коминепфть» и СП «AES/Hartec», которые и осуществляли дальнейшее руководство работами. Инженерное обеспечение работ и подготовку проектной документации вел ГУП «Комимелиоводхозпроект», локализацией нефти, строительными и рекультивационными работами занимались АО «Поиск», ТОО «Природа», СУМР, ЗАО «Генстроймеханизация», ЗАО ИЭЦ «ГенЭко», ЗАО «Генстрой», ЗАО «Гентранс» и ЗАО «КомиАрктикОйл».

Чтобы упорядочить начавшиеся работы по ликвидации аварии и определить общие правила и требования к их оценке, был разработан и утвержден «Временный регламент приемки нарушенных и загрязненных нефтью и сопутствующими пластовыми водами земель после проведения восстановительных работ для Усинского района Республики Коми» и «Временный регламент приемки нарушенных и загрязненных нефтью водоемов и водотоков после проведения восстановительных работ для Усинского района Республики Коми».

Специалистами предприятия «Комимелиоводхозпроект» были выполнены работы по определению площадей нарушенных и загрязненных земель в районе аварии и на 201.8 га оформлены землеотводные дела. В это время продолжают работы по строительству дамб, гидротехнических сооружений, подъездных дорог к участкам нефтяного разлива, начинается массовое восстановление загрязненных земель. После прорывов гидрозатворов на ручьях Безымянный и Пальник-Шор операции по снижению риска загрязнения рек Уса и Колва, имеющих самую высокую приоритетность, были завершены к февралю и сентябрю 1995 г. соответственно. На Возейском (участок № 5) и Усинском месторождениях построены и введены в действие две установки по переработке жидких нефтешламов (ТОО «Природа»).

Проведен мониторинг и составлено рекогносцировочное заключение о влиянии аварии 1994 г. на нефтепроводе «Возей–Головные сооружения» на сельскохозяйственные угодья в поймах рек Колва, Уса, Печора. Обследованы строящиеся гидрозатворы на притоках р. Колва. Выполнены расчеты гидрологических характеристик девяти створов водотоков, по которым возможно попадание нефти в реку, собраны материалы обследования загрязненных нефтью лугов в поймах рек, определена стоимость проектно-изыскательских, природоохранных, мелиоративных и строительных работ, связанных с ликвидацией последствий аварии, для дальнейшего предотвращения попадания нефти в речные акватории. В этих работах приняло участие 14 научных организаций.

Специалистами ГУП «Комимелиоводхозпроект» начат «Вегетационный опыт по определению способности произрастания трав на загрязненных нефтью землях». В результате получены данные, характеризующие степень интенсивности вегетации многолетних трав на почвах различной нефтезагрязненности. Изучено воздействие препарата

NutriCat и кормовых дрожжей на нефтезагрязненную почву с торфяным и минеральным грунтами с целью ускорения процессов ее экологического восстановления. Исследования показали более высокую эффективность торфа как биорекультивационного компонента при восстановлении минеральных почв. В это же время ЗАО «КомиАрктикОйл» с привлечением сотрудников Института биологии Коми НЦ УрО РАН организованы комплексные полевые исследования по теме «Отработка приемов биовосстановления загрязненных нефтью земель в условиях Крайнего Севера». Начат долгосрочный опыт с определением устойчивых к нефтяному загрязнению трав-рекультивантов, оценке эффективности различных приемов очистки торфяных, глеевых и песчаных субстратов от нефти при разных дозах начального загрязнения, отработка приемов переработки твердых нефтешламов. Разрабатываются и испытываются биопрепараты нефтеокисляющего действия на основе аборигенной микрофлоры. Рассматривается возможность использования альтернативных торфу органических удобрений на основе отходов лесоперерабатывающей промышленности и сельского хозяйства.

С 1995 г. началось создание автоматизированной геоинформационной кадастровой системы Республики Коми, информационные ресурсы которой включали подсистему охраны окружающей среды и экологический мониторинг. Также начинаются работы по совершенствованию и развитию информационно-аналитического программного комплекса (ИАК) Arctic-GIS. В настоящее время ИАК включает в себя ГИС и реляционную базу данных и состоит из тематических разделов, характеризующих флору, растительность и почвы. К одной из важных составляющих ИАК следует отнести раздел, характеризующий состояние поверхностных вод.

Осенью 1995 г. на заседании КЧС РК отмечено, что проведена локализация очага загрязнения, продвижение нефти в крупные реки остановлено, возможность расширения замазученных земель ликвидирована, но опасность попадания нефти в р. Колва в период весеннего паводка 1996 г. остается.

1996 год

В соответствии с протоколом заседания КЧС РК (№ 3 от 06.03.1996 г.) и протоколом совещания (от 19.04.1996 г.) в г. Усинск по обсуждению «Программы по ликвидации аварии на нефтепроводе «Возей–Головные сооружения» на апрель–сентябрь 1996 г. был разработан «Чрезвычайный проект по ликвидации нефтяного загрязнения и уменьшению его последствий в Усинском районе Республики Коми». Под этот проект были привлечены средства МБРР и ЕБРР. Работы по ликвидации последствий включали в себя три этапа: локализацию разлитой нефти, сбор нефти и проведение работ по технической и биологической рекультивации.

Проводится очистка участков на территории выделенных зон четвертого и пятого участков нефтеразлива (самые сложные объекты аварийного разлива 1994 г.). На участке 4Д применена система сбора нефти с помощью аэролодок, боновых ограждений и нефтесборщиков (ОАО «Коминетфть»), на участке 4С успешно реализована технология глубокой очистки водоемов и заболоченных территорий от нефти и нефтепродуктов с применением аэраторов, нефтесборщиков и биопрепаратов без нарушения водного режима территории (ЗАО ИЭЦ «ГенЭко», Институт биологии Коми НЦ УрО РАН). На участке 5 проводится очистка локализованных заболоченных участков методом драгирования (ТОО «Природа»). Ведется очистка ручьев от поверхностной нефти и зачистка береговых зон водотоков.

По заданию ОАО «Коминетфть» Институт биологии проводит исследования факторов стимулирования и ингибирования процессов очистки загрязненных нефтью почв Усинского района. Выявлено, что избыточные дозы минеральных удобрений, также как и традиционное в более южных регионах России раскисление почв, приводит к резкому снижению потенциала самовосстановления нефтезагрязненных почв Севера. Ингибирующим процессы нефтеокисления и дальнейшего восстановления естественной раститель-

ности является нарушение водного режима как в сторону его повышения, так и понижения. Активизация разложения нефти происходит после этапа технической рекультивации (частичное снижение исходного уровня нефтяного загрязнения) при умеренных дозах минеральных удобрений, а при высоком уровне загрязнения – только при внесении в почву либо биопрепаратов нефтеокисляющего действия, либо чистого торфа или плодородной почвы. Самыми трудными для проведения рекультивационных работ признаны территории горельников, на которых формируется мощный биологически мертвый нефтезагрязненный слой.

Несмотря на то, что к осени 1996 г. темпы работ и объемы очистки площадей были значительно сокращены из-за снижения объемов финансирования через займы МБРР и ЕБРР, землепользователям были возвращены 77.49 га земель, в том числе 29.25 очищенных от нефтяного загрязнения.

1997 год

Работы по ликвидации последствий аварии были продолжены под руководством группы по Чрезвычайному проекту, созданной при ОАО «Коминнефть». Производится сбор нефти, работы по технической и биологической рекультивации. Несмотря на неблагоприятные в этом году погодные условия, Усинскому лесхозу было возвращено 70.49 га рекультивированных земель, в том числе 20.91 га очищенных от загрязнения.

Выполнено выборочное обследование и отбор образцов пойменных сельскохозяйственных угодий в различных районах при активном содействии местных органов исполнительной власти и населения, что стало важной составной частью общей программы социально-экономического восстановления территорий, пострадавших от нефтяных разливов.

Всего было обследовано 13900 га пойменных сенокосов и пастбищ. Для повышения урожайности пойменных земель и уменьшения опасности загрязнения были разработаны предложения, согласно которым хозяйствам впоследствии была оказана соответствующая материально-техническая помощь. Ход и результаты проведения изыскательских работ стали предметом обсуждения в администрации г. Усинск и Правительстве Республики Коми.

Возможные пути попадания аварийной нефти в организм животных изучались в ходе работ по проекту «Ветеринарные исследования домашнего скота в населенных пунктах», при этом было выявлено неблагополучное состояние животноводства по заболеваниям и падежу скота, отмечено резкое повышение смертности и понижение плодовитости животных во всех категориях хозяйств по сравнению с условно «чистыми» районами.

Проведено экологическое обследование растительного покрова пойменных угодий некоторых районов для выявления загрязненных участков сенокосов и пастбищ, определение видов загрязняющих веществ и степени загрязнения растительной продукции. По результатам составлен отчет «Изучение местной растительности в населенных пунктах», подготовлены рекомендации для улучшения состояния угодий, в частности, по целесообразности проведения культуротехнических мероприятий, при активном участии ГУП «Комимелиоводхозпроект». Сотрудниками Института биологии завершены работы по обоснованию основных параметров регламента очистки нефтезагрязненных грунтов для условий (нефтей и почв) Верхневозейского нефтяного месторождения.

К концу 1997 г. практически были израсходованы кредиты мировых банков, и работы по реабилитации нефтезагрязненных территорий были частично приостановлены. Рекультивировали только наиболее экологически опасные объекты.

1998 год

Выполняется проект «Составление крупномасштабных карт загрязненных территорий в зоне аварии на нефтепроводе «Возей–Головные сооружения». Такая постановка вопроса объяснялась значительными объемами аварии, растеканием аварийной нефти

на больших площадях и необходимостью в связи с этим картографического отображения контуров разливов, уровней загрязнения почв, последовательности выполнения восстановительных работ и возврата в хозяйственный оборот очищенных земель. Картографическая информация также позволила учесть многообразие и эффективность применяемых технологий по очистке загрязненных территорий. Анализ полученных данных позволил оценить динамику уменьшения количества загрязненных площадей, эффективность применяемых на тот момент методов технической и биологической рекультивации на участках разливов нефти.

При выполнении заданий в рамках темы «Мониторинг водной среды водохозяйственных систем и сооружений в бассейнах рек Усинского района Республики Коми» проводились отборы проб воды и донных отложений для определения состояния биоты и уровня загрязнения рек. В результате мониторинга установлено неудовлетворительное состояние гидротехнических сооружений на некоторых водотоках, оценена степень негативного влияния загрязненных водных объектов на животный мир и население прибрежных сел.

1999 год

НК «КомиТЭК», ведущая разведку и разработку месторождений, добычу нефти и газа на территории Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции (РК и НАО), вошла в состав крупнейшей нефтяной компании России ОАО «ЛУКОЙЛ». Начинается новый этап работ по реабилитации загрязненных нефтью территорий Усинского района республики.

Проведена экологическая экспертиза разливов нефти в зонах добычи и транспорта нефти различных нефтедобывающих предприятий на территории Усинского района на 350 участках с общей площадью загрязненных земель 745 га.

Исследование показало, что несвоевременная локализация аварийных разливов повлекла загрязнение сопредельных территорий, произошло полное нарушение почв и растительного покрова в местах нахождения аварийной нефти. Некоторое количество нефти мигрировало в водотоки. Не все разливы были локализованы. Кроме загрязнения нефтью почв, водотоков и водоемов наблюдалось заболачивание, скопление вод под трассами линейных сооружений, развитие промоин, оврагов, а также галогенезное (солевое) загрязнение. Для всех предприятий и участков нефтедобычи были составлены «Заключения о загрязнении земель...» (ГУП «Комимелиоводхозпроект»). В них содержались: краткая характеристика зоны добычи нефти, расчеты количества нефти, впитавшейся в грунт, а также на разливе, на поверхности воды и почвы, оценка степени загрязнения земель и водотоков в зоне добычи нефти, картографические и топографические материалы. На основании указанных данных в последующем были разработаны и осуществлены меры по очистке и восстановлению нарушенных и загрязненных земель.

ТОО СПАСФ «Природа» проводит работы и исследования по переработке жидких и твердых нефтешламов.

Институт биологии Коми НЦ УрО РАН завершил разработку биопрепарата нефтеокисляющего действия «Универсал», ведется отработка приемов переработки буровых отходов и нефтешламов.

2000 год

По заданию ОАО «ЛУКОЙЛ» подготовлена и согласована в установленном порядке Корпоративная программа работ ОАО «Коминетфть» на 2000-2005 гг., определяющая сроки реализации, объемы и стоимость мероприятий по экологической реабилитации загрязненных территорий, переработке нефтяных шламов, научному и инженерному обеспечению природоохранных работ и снятия, в конечном счете, статуса зоны чрезвычайной ситуации с территориями Усинского и Возейского нефтяных месторождений и земель, пострадавших от аварии 1994 г.

В Корпоративной программе были предусмотрены мероприятия по разработке и внедрению системы оповещения об аварийных разливах нефти на реках Колва и Уса. Для ОАО «КомиТЭК» Государственный центр водохозяйственного мониторинга, согласно предусмотренным мероприятиям, представил научно-технические предложения по автоматизированной системе раннего обнаружения и мониторинга аварийных разливов нефти на водных объектах (далее – Система), принятые к рассмотрению, но по ряду причин не реализованные на практике. Предлагаемая Система должна была обеспечить получение экспресс-информации о разливах нефти и пластовых вод на водных объектах и последующего мониторинга. Основными функциями Системы должны были стать:

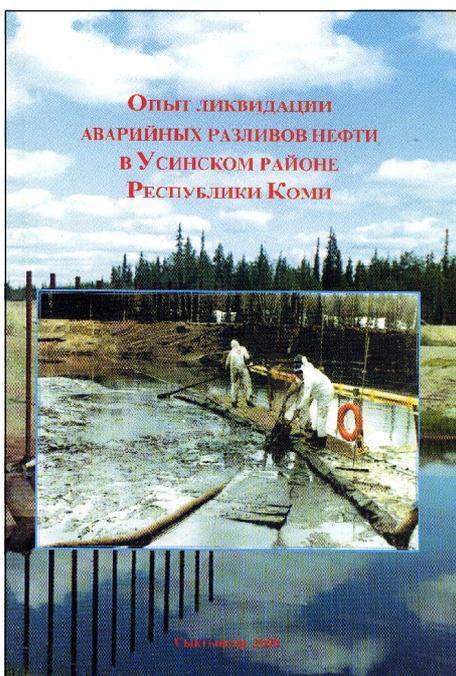
- постоянный мониторинг загрязнения нефтью и нефтепродуктами вод, начиная с фоновых значений, характерных для данного водного объекта;
- регистрация динамики превышения уровня фонового загрязнения при способности с высокой степенью надежности классифицировать это превышение как следствие аварийной ситуации;
- обнаружение аварийной ситуации на ранней стадии ее развития;
- обнаружение аварийного разлива нефти и пластовых вод независимо от специализированных средств технологического контроля параметров работы трубопровода, находящихся, как правило, в ведении его владельцев;
- осуществление мониторинга в процессе ликвидации экологических последствий аварии с целью поддержки управленческих решений по оптимизации этого процесса;
- осуществление мониторинга на всей территории реального и потенциального экологического влияния объекта нефтяной индустрии.

В республику приглашены и привлечены к выполнению работ организации, имеющие и опыт по очистке нефтезагрязненных земель в России, и необходимое техническое оснащение: НТО «Приборсервис» (Томск), ООО «Могилевводстрой» (Могилев), ООО «Республиканский центр по рекультивации нефтезагрязненных земель» (Сыктывкар), АСФ «Сибирский спасательный центр» (Томск). НТО «Приборсервис» впервые в республике использовало для проведения биовосстановления нефтезагрязненных земель вездеходную технику (болотоход Ишимбай), оборудованную фрезой для интенсивной обработки почвы. ООО «Республиканский центр по рекультивации нефтезагрязненных земель» и его подрядчик АСФ «Сибирский спасательный центр» – болотоход шагающий (БШ). ООО «Могилевводстрой» начал строительство дренажных каналов, чтобы подготовить труднодоступные территории к рекультивации.

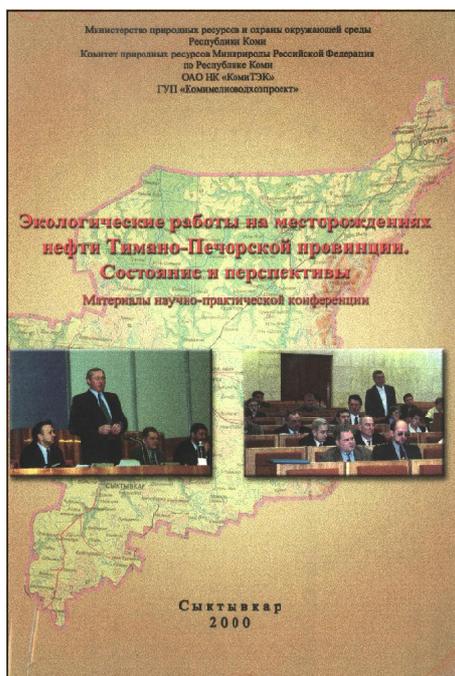
В Усинском районе возобновляются рекультивационные работы в зоне аварийного разлива 1994 г., а также начинается восстановление участков старых и новых нефтеразливов на Возейском и Верхневозейском нефтяных месторождениях.

Выполняется проект по локализации разливов нефти и защиты водотоков от попадания аварийной нефти. Составлены технические характеристики территорий нефтедобычи (гидрологические условия, дорожная сеть, местные строительные материалы). Дана оценка состояния водотоков, участков аварийных разливов нефти. Разработана система мероприятий по организации работ по локализации аварийных разливов нефти, сбору аварийной нефти, хранению, переработке и утилизации шламов, рекультивации земель и водотоков. Определена потребность в материальных ресурсах, финансировании, представлена прогнозная оценка улучшения состояния окружающей среды после осуществления проекта.

Разработан регламент по технологиям восстановления загрязненных нефтью земель, который устанавливает основные требования к проведению работ по биологической рекультивации нефтезагрязненных земель и предусматривает проведение рекультивационных работ, ускоряющих разложение нефти и восстановление почв до экологически приемлемого состояния. В почвах действуют механизмы самоочищения и адаптации, но при сильном загрязнении они подавлены, и земли длительное время остаются загрязненными. С учетом наличия остаточной нефти, требуемого уровня очистки земель,



Подведены основные итоги выполненных за шесть лет работ, материал обобщен в монографии «Опыт ликвидации аварийных разливов нефти в Усинском районе Республики Коми» [52].



Проведена I научно-практическая конференция «Экологические работы на месторождениях нефти Тимано-Печорской провинции. Состояние и перспективы». Изданы материалы конференции.

последующего использования и нанесения минимального ущерба окружающей среде от ликвидационных работ, регламентом предусматривается составление технологических карт, которые служат основой для подготовки проектов и проведения рекультивации земель.

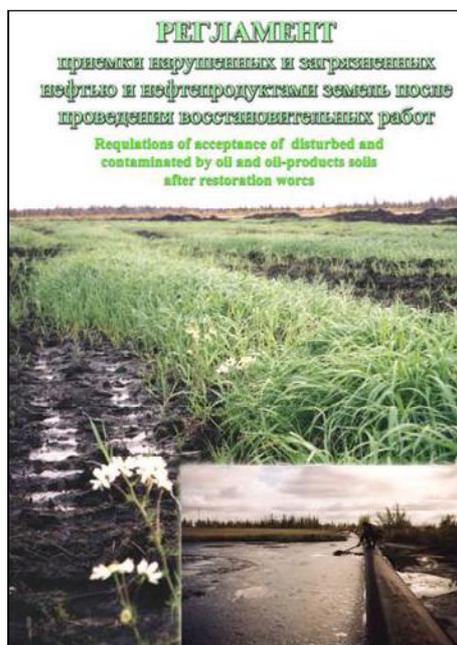
2001 год

В 2000-2001 гг. проведен анализ состояния окружающей среды в зоне деятельности дочерних предприятий ОАО «ЛУКОЙЛ» в Тимано-Печорской провинции, составлены соответствующий обзорный материал и характеристики влияния производственной деятельности промышленных объектов на природу, дана оценка состояния воздушной и водной среды, рассмотрены проблемы сбросов и выбросов загрязняющих веществ, образования отходов и их переработки, вопросы водоотведения и водопотребления.

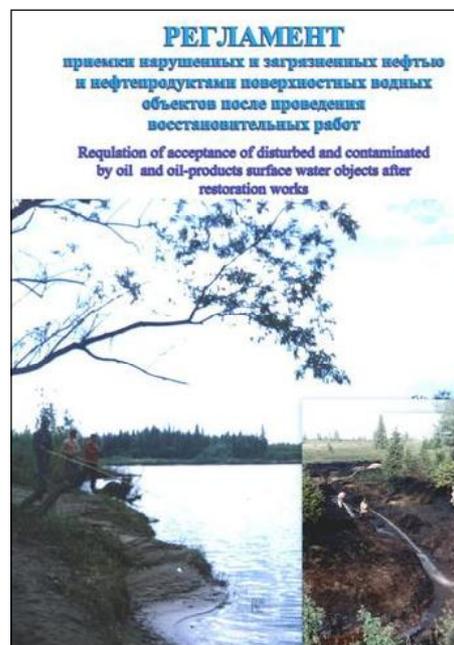
Начаты научно-исследовательские работы по испытанию технологий биовосстановления нефтезагрязненных земель с привлечением российских научных организаций. По результатам вегетационных опытов составлены рекомендации для подбора оптимальных технологий биологической рекультивации нефтезагрязненных земель в природно-климатических условиях Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции. Изучается действие различных химических и биологических препаратов на процессы деструкции нефти и нефтепродуктов в почвах и их влияние на повышение способности почв к самовосстановлению в условиях Крайнего Севера.

С учетом изменений земельного, лесного и природоохранного законодательства Российской Федерации, подготовлены и введены в действие Регламенты приемки нару-

шенных и загрязненных нефтью и нефтепродуктами земель и поверхностных водных объектов после проведения восстановительных работ.



«Регламент приемки нарушенных и загрязненных нефтью и нефтепродуктами земель после проведения восстановительных работ» предполагает дифференцированный подход к оценке состояния природной среды после проведения восстановительных работ с учетом дальнейшего использования земель.



«Регламент приемки нарушенных и загрязненных нефтью и нефтепродуктами поверхностных водных объектов после проведения восстановительных работ» устанавливает природоохранные (экологические) требования к поверхностным водным объектам, порядок приемки нарушенных и загрязненных нефтью и нефтепродуктами поверхностных водных объектов после проведения восстановительных работ.

2002 год

Разработана и начала осуществляться целевая программа научно-исследовательских работ по теме «Проведение опытно-промышленных испытаний технологий восстановления нефтезагрязненных земель с применением агротехнических методов, биопрепаратов, сорбентов и разработка технологического регламента работ по рекультивации почв в условиях Крайнего Севера» с последующей апробацией новых технологических разработок, в условиях, максимально приближенных к производственным. В испытаниях с собственными разработками принимают участие научные и производственные организации России и Чехии.

Правительство Республики Коми приняло постановление (№ 126 от 27 августа 2002 г.) «Об организации мероприятий по предупреждению и ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов на территории Республики Коми», которым утверждены «Требования к разработке планов по предупреждению и ликвидации аварийных разливов нефти и нефтепродуктов на территории Республики Коми», решено создать реестр загрязненных нефтью и нефтепродуктами территорий и водных объектов, определить наносимый при этом ущерб и потенциальную опасность для населения и окружающей природной среды.

Начинаются работы по восстановлению нефтезагрязненных земель в Ухтинском и Вуктыльском районах республики.

2003 год

Для специалистов научных, проектных, природоохранных и промышленных предприятий и обществ выпущена книга «Техническая рекультивация земель. Технологические схемы работ по восстановлению нарушенных и загрязненных аварийной нефтью земель» [133]. В ней представлены данные о технической и биологической рекультивации земель, механизмах и оборудовании для производства работ по локализации и сбору аварийной нефти, приведены технологические схемы проведения работ, дана нормативная документация, связанная с ликвидацией аварийных разливов нефти, восстановлением и приемкой земель, контролем качества природоохранных работ.

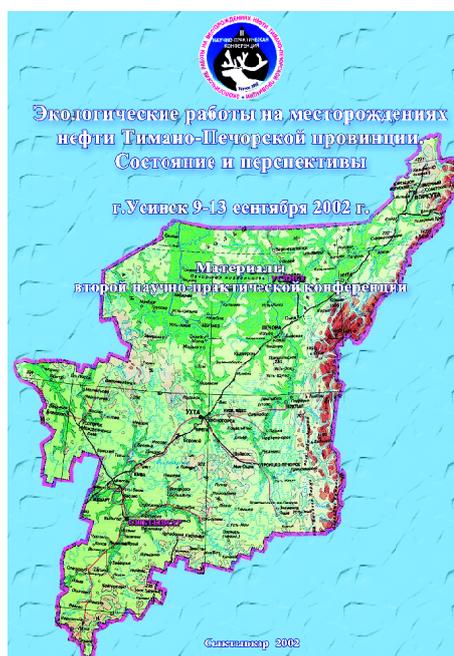
Практическим пособием для использования в лабораториях, выполняющих измерения в области мониторинга загрязнения окружающей среды и количественного химического анализа, является разработанный и введенный в действие с 2003 г. руководящий документ «Методические указания. Гравиметрический метод определения массовой доли нефтепродуктов в почве» [61], который представляет собой методическую основу выполнения измерений массовой доли нефтепродуктов в минеральных, органогенных и органо-минеральных почвах гравиметрическим методом.

Обзор разработанных и используемых в настоящее время технологий очистки и восстановления земель и водных объектов, переработки и утилизации нефтяных шламов на стационарных установках и по технологиям компостирования и биоремедиации содержится в изданной в 2003 г. книге «Технологии восстановления нарушенных территорий и водных объектов в Республике Чехия и Пермской области». В обзоре также освещены вопросы применения машин, механизмов, оборудования в процессе ликвидации последствий разливов нефти и нефтепродуктов, представлен перечень основных законодательных и нормативно-правовых актов, регулирующих отношения в области ликвидации экологических последствий загрязнения почв и земель нефтью и нефтепродуктами. Показаны принципиальные особенности ведения природоохранных и восстановительных работ в районах нефтедобычи в суровых условиях Крайнего Севера.

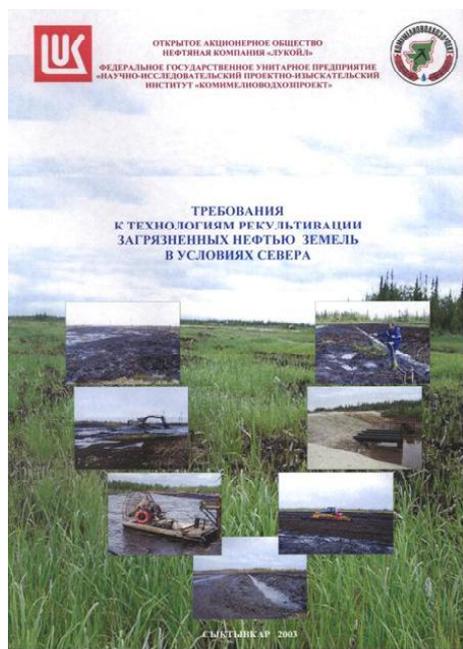
Для выполнения расчетов по оценке эффективности проведения рекультивационных работ различными методами разработана специальная «Электронная таблица расчета ожидаемых конечных концентраций нефти и нефтепродуктов в грунтах», позволяющая получать расчетные данные о концентрации нефти на глубинах от 0 до 0,4 м, площади загрязнения и плотности грунта.

В настоящее время после утверждения в установленном порядке их действие распространяются на все предприятия, выполняющие работы по ликвидации аварийных разливов нефти и нефтепродуктов и рекультивации земель в условиях Крайнего Севера.

Выполнен комплекс работ по «Исследованию воздействия на водные биоресурсы остаточных донных отложений нефти после проведения реабилитационных работ».



В период с 9 по 13 сентября 2002 г. в г. Усинск проведена II научно-практическая конференция «Экологические работы на месторождениях нефти Тимано-Печорской провинции. Состояние и перспективы».



Выполнение научно-исследовательских работ по теме «Проведение опытно-промышленных испытаний технологий восстановления нефтезагрязненных земель с применением агротехнических методов, биопрепаратов, сорбентов и разработка регламента работ по рекультивации почв в условиях Севера» дало возможность научно обосновать и разработать «Требования к технологиям работ по рекультивации земель, загрязненных нефтью и нефтепродуктами».

– предложить МПР России, МЧС России, Ростехнадзору, Росгидромету комплексно рассмотреть проблему организации наблюдения и контроля за состоянием окружающей природной среды (в особенности почв и водоемов) и потенциально опасных объектов, прогнозирования чрезвычайных ситуаций с тяжелыми последствиями с точки зрения обеспечения конституционных прав коренного населения и разработки дополнительных мер по сохранению материальных и природных богатств северных территорий России.

– рекомендовать МЧС России рассмотреть возможность использования на международном уровне разработанных и апробированных ОАО «ЛУКОЙЛ» передовых технологий по реагированию при чрезвычайных ситуациях, связанных с аварийными разливами нефти и нефтепродуктов.

– рекомендовать Российской академии наук, Министерству образования и науки Российской Федерации, научным и исследовательским институтам страны соответствующего профиля включить в программы работ изучение проблемы нефтяных загрязнений, ликвидации повреждения природных систем и разработки эффективных мер их защиты и восстановления с использованием прогрессивных научно-технических и организационно-методических решений.

2004 год

ОАО «ЛУКОЙЛ» разработана и утверждена «Методика оценки экологических рисков влияния загрязнения земель нефтью и нефтепродуктами на окружающую среду».

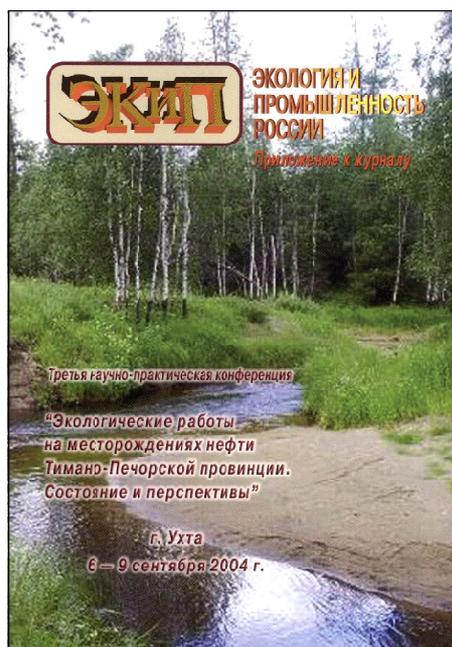
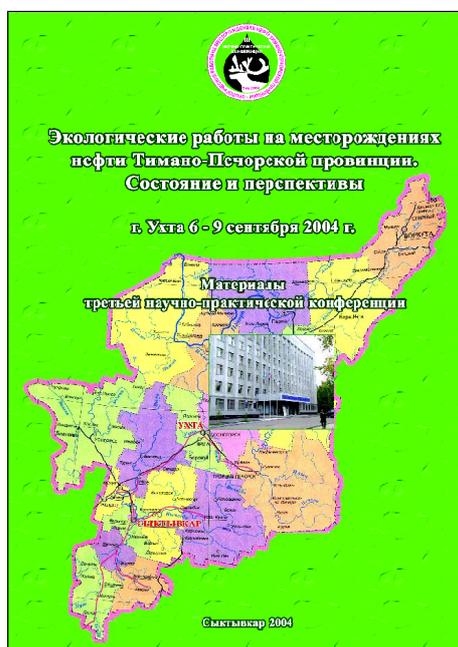
В том же году на I международной выставке «Экоэффективность-2004», а также в конкурсе «Национальная экологическая премия» за 2004 г. ООО «ЛУКОЙЛ-Коми» награждено дипломом за вклад в укрепление экологической безопасности и устойчивое развитие России.

Накопленный опыт комплексного решения в новых социально-экономических условиях экологических проблем ликвидации последствий катастрофических нефтяных загрязнений в Республике Коми с учетом его высокой социально-экономической значимости рассмотрен в октябре 2004 г. на заседании Комитета по экологии Государственной Думы Федерального Собрания Российской Федерации, одобрен и рекомендован для широкого распространения.

В частности, Комитет решил обратиться в Правительство Российской Федерации со следующими предложениями:

– разработать и утвердить нормативно-правовую документацию обеспечения работ, связанных с экологической реабилитацией нефтезагрязненных территорий;

– поручить МПР России уточнить эколого-экономические нормативы и критерии по обоснованию объемов инвестирования природоохранных и эколого-восстановительных мероприятий на нефтезагрязненных территориях.



К III научно-практической конференции «Экологические работы на месторождениях нефти Тимано-Печорской провинции. Состояние и перспективы» (Ухта, 6-9 сентября 2004 г.) подготовлен специальный выпуск журнала «Экология и промышленность России» (ЭКИП, 2004).

2005 год

Работы по рекультивации загрязненных нефтью территорий, запланированные Корпоративной программой, практически завершены.

ФГУП «Комимелиоводхозпроект» и Институт биологии Коми НЦ УрО РАН ведут мониторинг состояния рекультивированных объектов, оценивают эффективность технологий и отдельных технологических этапов.

Разработан проект «Требований к остаточному содержанию нефти и нефтепродуктов в воде и грунтах после проведения рекультивационных работ в природно-климатических условиях Республики Коми» и создан реестр загрязненных земель Республики Коми (ФГУП «Комимелиоводхозпроект»).

По результатам Всероссийского смотра-конкурса, который проводился в рамках конференции «Новая государственная экологическая политика в реальном секторе экономики» 22 ноября 2005 г. в Кремлевском Дворце (Москва), ООО «ЛУКОЙЛ-Коми» признано лидером природоохранной деятельности России.

В декабре 2005 г. ЗАО «Бюро Веритас Русь» провело сертификационный аудит на соответствие действующей в ООО «ЛУКОЙЛ-Коми» Системы менеджмента в области охраны окружающей среды, промышленной безопасности и охраны труда требованиям международных стандартов ISO 14001 и OHSAS 18001, по результатам которого ООО «ЛУКОЙЛ-Коми» выданы соответствующие сертификаты.

Глава 1 КРАТКИЙ ОБЗОР

1.1. Природные условия Усинского района

Ресурсный потенциал в Республике Коми является основой развития ее производительных сил. Потенциальные геологические ресурсы нефти и газа в пределах республики составляют более 6 млрд. усл. тонн, извлекаемых – 3 млрд. усл. тонн, из них 24 % разведаны и переданы в промышленные категории. Большинство открытых месторождений приурочено к Харьяга-Усинскому и Ярейюскому нефтеносным районам (34.9 % общих запасов и 75.6 % добычи) и, видимо, этот район с прилегающей частью Харейверской впадины еще длительное время будет являться основой нефтедобычи на европейском севере России. Этим обусловлена и неизбежность увеличения уровня техногенной нагрузки на экосистемы при нефтедобыче.

Усинское и Возейское нефтяные месторождения Усинского района Республики Коми расположены в бассейне нижнего и среднего течения р. Колва в Усинско-Колвинском елово-лесотундровом округе в подзоне лесотундры и крайнесеверной тайги Печорско-Уральской подпровинции. Естественные ландшафты территории представлены двумя основными видовыми группами. Плоско-волнистая поверхность бореальных ландшафтов низменных озерно-ледниковых песчаных равнин сложена песками и супесями, высоты поверхности рельефа колеблются от 40 до 85-90 м. На плакорах преобладает сочетание участков ивняково-крупноерниковой кустарничково-зеленомошно-лишайниковой, травяно-сфагнуовой и пушицево-осоково-сфагнуовой тундр; бугристых, зеленомошно-сфагновых и грядово-мочажинных травяно-сфагновых болот и редкостойных елово-березовых лесов, местами с участием лиственницы и сосны. Дренированные приречные урочища покрыты лесами с сосной, елью, березой и напочвенным мохово-лишайниковым покровом.

На описываемой территории главная р. Колва принимает восемь притоков слева, в том числе крупные притоки – реки Хатаяха, Малый и Большой Кенью, и четыре ручья справа. Долины притоков узкие и глубокие, врезаются до 20 м. Руслу их сильно извилистые. Истоки их, как правило, расположены в болотах на высотах около 100 м слева и 60-80 м – справа. Река Колва и ее притоки имеют смешанное снеговое (60-80 %), дождевое (10-30 %) и грунтовое (5-10 %) питание. Характерны высокое весеннее половодье, низкая зимняя межень. Дождевые паводки бывают в летне-осенний период.

Формирование стока происходит в условиях невысокого годового количества осадков (474 мм) и испарения (260 мм). На большей части территории развита верховодка, водупором для которой являются горизонты оглеения. На водоразделах верховодка выходит на дневную поверхность, обуславливая заболачивание. Поверхностная заболоченность водосборов составляет до 60-70 % в ландшафтах группы низменных озерно-ледниковых равнин, а в пределах территории распространения ландшафтов группы низменных моренных равнин она существенно ниже. Собственно болота занимают около 10 % территории. Озер мало.

Климат территории вследствие положения в высоких широтах (65-67° с.ш.) и удаленности от Атлантического океана характеризуется суровостью и континентальностью (рис. 1). Его главные особенности определяются воздействием арктической циркуляции. Тип климата – умеренно-континентальный с выраженными временами года: длинной суровой зимой, короткой и холодной весной, прохладным коротким летом, продолжительной сырой осенью.

По условиям теплообеспеченности данная территория входит в Печорскую провинцию, Полярный агропромышленный район, Нижнеколвинский мелиоративный район. Среднегодовая температура воздуха составляет –3.2 °С. Зима морозная, продолжительная – 200-210 дней. Погода со среднесуточными температурами ниже –5 °С устанавливается в третьей декаде октября и длится 180 дней (до второй декады апреля). Наиболее холодный месяц – январь, его среднемесячная температура составляет –18.1 °С. Снежный покров залегает 200 дней. Он устанавливается в среднем с третьей декады октября и сохраняется до второй декады мая. Средняя высота покрова – 48 см. Приход весны фиксируется переходом среднесуточных температур воздуха через 0 °С обычно в первой декаде мая. Длительность безморозного периода – 90-120 дней. Период с температурами выше 0 °С длится 150 дней (до второй декады октября), со среднесуточной температурой выше +5 °С – 110 дней. Массовое возобновление вегетации начинается в первой декаде июня, в этот период нередко возвраты холодов. Вторжения арктического воздуха обуславливают частые и резкие колебания температур и возникновение поздних весенних (вплоть до конца первой декады июня) и ранних осенних (в конце первой декады сентября) заморозков. Заморозки до –5...–7 °С (в среднем –2...–4 °С) возможны в любой из летних месяцев. Лето прохладное, длится около 70 дней. Сумма активных температур воздуха (выше +10 °С) составляет +871 °С, данный период длится с 15 июня по 25 августа. Устойчивого перехода через +15 °С обычно не бывает. Самый теплый месяц – июль. Среднемесячная температура воздуха составляет +13.8 °С.

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 июня по октябрь.

В течение зимы преобладают восточные, юго-восточные и южные ветры, весной и летом – западные и северо-западные [48].

По геоботаническому районированию Ю.П. Юдина [79] в Усинском районе представлены четыре геоботанических округа в подзонах лесотундры и крайнесеверной тайги. Лесотундра занимает северную часть района до среднего течения р. Колва и представляет собой южную окраину Большеземельской тундры. Первое место по площади занимают сообщества бугристых, верховых сфагновых, осоковых, травяно-кустарничково-мохово-лишайниковых болот с характерными видами: цетрария исландская, кладония оленевидная, сфагнум дубравный, багульник болотный, пушица влагилищная, морошка. В мочажинах встречаются сфагнум боль-

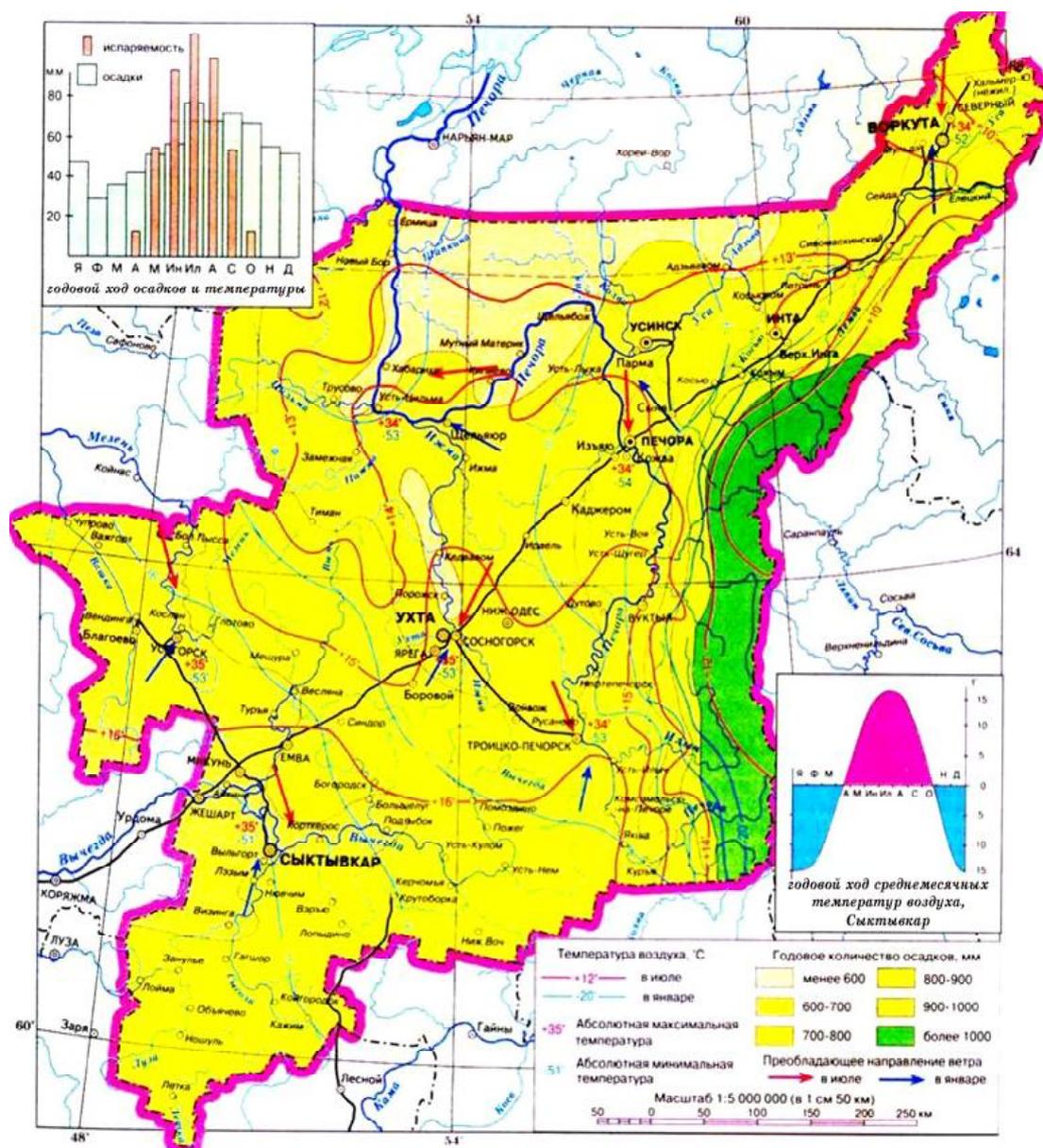


Рис. 1. Климатическая карта Республики Коми [5].

шой, дрепанокладус бесколечковый, осока кругловатая, пушица рыжеватая.

Второе место занимают тундровые группировки (до 25 %): ивняково-мелкоерниковые с разреженным ярусом из низкорослых кустарничков, березы карликовой, ивы сизой; осоково-кустарничковые с господством гипоарктических кустарничков. Реже встречаются мохово-лишайниковые и лишайниковые (на песчаных почвах) тундры, для которых обычны цетрария снежная, кладония лесная, политрихум обыкновенный, дикраниум удлиненный, ракомитрум шерстистый.

Разреженные еловые, березовые, елово-березовые и лиственничные леса занимают до 20 % общей площади, наиболее часто встречаются в долинах рек и на склонах холмов. Распространены еловые леса из ели сибирской с участием березы извилистой, обычно с подлеском березы карликовой и мозаичным зеленомошно-лишайниковым и кустарничковым покровом, состоящим из плеуроциума шребери, гилокомиума блестящего, политрихума обыкновенного, кладонии оленевидной, кладонии лесной, кладонии приальпийской, брусники, толокнянки альпийской, водяники гермафродитной, черники. Представлены березово-еловые низкорослые леса – с куртинным подлеском ив и ерника с мозаичным долгомошно-сфагновым, а также осоково-кустарничковым ярусом (с багульником болотным и осокой шаровидной).

Болота приурочены, главным образом, к древнеозерным низинам, сложенным осадками приледниковых водоемов, и к широким долинам древнего стока. Площади отдельных болот значительны – до 1520 км² (Усинское болото) с группировками типа «аапа», представляющими собой травяно-сфагнуво-гипновые, ерниково-морошко-сфагновые, кустарничково-пухоносово-лишайниково-сфагновые сообщества на грядах с характерными видами сфагнумов (узколистным, магелланским), морошкой, водяникой и березкой карликовой. В низинах с разнотравьем (иногда на обнаженном торфе) разрастаются пушица многоколосковая, осока топяная, вахта трехлистная. Лиственница сибирская местами образует участки лесов и редколесий с подлесками из березы карликовой, ивы серой и ивы лопарской с мозаичным мохово-лишайниковым и кустарничковым покровом из бореальных и гипоарктических кустарничков: голубики, водяники гермафродитной, брусники, с участием толокнянки альпийской.

Согласно почвенно-географическому районированию [60] основная часть территории Усинского района относится к Печоро-Усинскому округу болотно-подзолистых, глееподзолистых, тундрово-болотных и болотных торфяных почв. Почвообразующие породы представлены моренными суглинками, 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 преобладают болотно-подзолистые и болотные почвы. Поверхностная заболоченность территории составляет примерно 70 %. На дренированных приречных участках водоразделов и бровках склонов увалов, сложенных суглинками и

двучленными породами, под зеленомошными и лишайниково-зеленомошными ельниками развиты глееподзолистые почвы. По химическим свойствам торф болот по всему профилю кислый ($\text{pH}_{\text{вод}} 3.7-4.3$), высока гидролитическая кислотность. Главной и характерной чертой почв дренированных территорий тундры и северотаежной подзоны является резкое их 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.

Как известно, устойчивость биоценозов к техногенным воздействиям и скорость их восстановления определяются индивидуальными почвенно-климатическими особенностями территорий [6]. Существует ряд факторов, определяющих степень устойчивости экосистем к нарушениям экологического равновесия и, соответственно, влияющих на скорость их восстановления. Агрохимические свойства почвы (кисотно-основные характеристики, запасы органического вещества) являются существенным фактором устойчивости к техногенным нарушениям [10, 28]. Физическая устойчивость почв, включая устойчивость поверхности и противоэрозионную стойкость почв, определяет сохранность среды для микрофлоры [1-3]. Эти факторы устойчивости зависят от таких параметров, как мощность органогенного и гумусово-аккумулятивного горизонта, запаса корней, оструктуренности и гранулометрического состава почвы [10]. Буферные возможности почв связаны с количеством и качеством опада и подстилки [10, 65].

Тундровые и лесотундровые ландшафты, к которым приурочены основные месторождения нефти в Республике Коми, характеризуются низкой степенью устойчивости к нарушениям экологического равновесия [62]. Это связано с условиями формирования тундровых почв и биоценологических связей. По температурному режиму эти почвы относятся к группе холодных с длительным сезонным промерзанием, находятся в мерзлом состоянии 7.0-7.5 месяцев [19]. Глубина промерзания по годам колеблется от 0.6 до 1.2 м. Период активного почвообразовательного процесса равен 2.5-3.0 месяцам. Содержание перегноя в среднем составляет 1-2 %, очень редко достигает 8 %. Почвенный раствор беден минеральными соединениями. Условия криогенеза влияют на качественный состав почвы, прежде всего, на ее гранулометрический состав, увеличивая долю мелкодисперсных частиц, что в известной мере создает анаэробные условия в почве, усиливающиеся при нефтяном загрязнении [47, 66, 72].

Одной из важных особенностей тундровых почв является малая мощность органического горизонта, определяющая высокую степень уязвимости их к техногенным нарушениям [62]. По уровню продуктивности тундровый биогеоценоз относят к «очень малопродуктивным» [22], а биологический круговорот может быть охарактеризован как застойный с низким потенциалом самоочищения почвы, длительным разложением в ней органических веществ (от 1-2 до 10 и более лет). Такое структурное строение биогеоценотической системы обуславливает очень

медленное ее возобновление и высокую чувствительность к малейшему техногенному воздействию [28].

Неоднородность состава и структуры почв Севера, высокая степень их заболоченности определяют контрастность накопления поллютантов в почвенном профиле. Наблюдается четкая дифференциация распределения углеводородных компонентов нефти в почвах тундр и активный разнос поллютантов, которые усиливаются вследствие фракционирования нефти при ее миграции: перемещение более легких компонентов вглубь почв и вниз по рельефу приводит к ее выходу в фоновые почвы и расширению площади первичного очага загрязнения, выходу в водотоки и водоемы [65]. В тундровых почвах углеводороды могут сохраняться многие десятилетия [122]. За счет переувлажненности происходит сдвиг в сторону процессов анаэробного разложения, в ходе которого накапливаются продукты полураспада нефти. Это вызывает ингибирование процессов биодеградации нефти [109].

В районах нефтедобычи на Севере среди наиболее характерных нарушений почвенного покрова выделяют по степени нарушенности три типа: слабонарушенные – трассы трубопроводов и ЛЭП, участки производственных сооружений, дороги, построенные на песчаной отсыпке; средненарушенные – участки передвижения гусеничного транспорта, где отмечается развитие эрозионных процессов на рельефных склонах и участках растепления вечной мерзлоты; сильнонарушенные – площадки после бурения с котлованами, на которых отсутствует поверхностный слой почвы и растительности и участки разливов нефти и пластовых вод [71].

На средне- и слабонарушенных участках основную опасность представляют эрозионные процессы на рельефных склонах и участках растепления вечной мерзлоты. На таких участках обычно интенсивны процессы самозарастания [31]. Сильнонарушенные участки являются основными в районах нефтедобычи. На них практически уничтожен растительный покров, почва пропитана нефтью, из-за высокой ее концентрации процессы естественного восстановления подавлены.

Итак, с одной стороны, на севере республики сосредоточены крупные действующие месторождения нефти, при эксплуатации которых увеличивается уровень техногенной нагрузки на экосистемы. С другой – тундровые почвы характеризуются низким уровнем устойчивости к техногенным нарушениям и слабым потенциалом самовосстановления. Загрязнение нефтью, происходящее на локальных участках, сопровождается значительным увеличением ареалов из-за высокой степени переувлажненности тундровых почв.

1.2. Воздействие нефти на почву и влияние внешних факторов на процессы самовосстановления

Нефть, как органическое вещество, оказывает на почву как физическое, так и токсическое воздействие. Изменение физико-химических

свойств почвы под влиянием нефти характеризуется тем, что происходит агрегирование почвенных частиц, в связи с чем содержание глыбистых (более 10 мм) частиц увеличивается, а содержание агрономически ценных структурных единиц уменьшается [59]. Это ведет к снижению пористости, увеличению плотности, нарушению водного, воздушного, теплового, окислительно-восстановительного, микробиологического и питательного режимов почв, к изменению биохимической активности и ухудшению почвенного плодородия [14].

Немаловажно при проведении исследований нефтезагрязненных почв и оценке состояния почвенной биоты учитывать такой фактор, как концентрация нефти. Как отмечается большинством авторов, при низких концентрациях (до 1-3 %) нефть может оказывать стимулирующее воздействие на почвенную микрофлору, так как является энергетическим субстратом для большой группы микроорганизмов [16, 24]. При низких дозах нефти в почве не происходит существенного нарушения физико-химических свойств субстрата, а концентрация соединений, токсичных для отдельных групп почвенных микроорганизмов, незначительна. Соответственно и процессы деструкции углеводов и самоочищения почв от загрязнения не представляют собой сложности. Следует отметить, что под низкой дозой нефти в почве подразумеваются концентрации ее, не превышающие 2-3 % массы почвы. Высокие концентрации нефти способны существенно изменить физико-химические характеристики почвы – усиливается гидрофобность [65, 77], снижается парциальное давление кислорода, связываются основные элементы питания почвенной микрофлоры [59, 63].

Непосредственную токсичность нефти обычно определяют по наличию в ней летучих ароматических фракций (толуола, бензола, ксилола и т.п.), сложных ароматических соединений, нафталинов [104, 108]. К токсичным компонентам также относят нафтеновые соединения, легкие парафины [120, 122]. Степень токсикогенности разных нефтей для живых объектов зависит от исходного и последующего содержания в ней легких (бензиново-керосиновых фракций), ароматических и полиароматических соединений. Характер отрицательной физической нагрузки нефти на почву определяется количеством смолистых и маслянистых фракций, присутствие которых даже в незначительных количествах приводит к нарушению структурных свойств почвы и ее водно-воздушного режима, что в свою очередь ингибирует биологические процессы. Соотношение тех или иных фракций в составе нефти отличается от месторождения к месторождению (даже в пределах одной нефтеносной провинции), а также изменяется в процессе самоочищения природных субстратов. Возраст разлива и его объем определяет и потенциальную способность природной среды к дальнейшему очищению. При одних и тех же показателях остаточного содержания нефти в почвах разного возраста загрязнения уровень техногенного влияния на окружающую среду резко отличен между участками свежих и старых нефтеразливов. Рекультивационные работы при рассмотрении только этого фактора уже дифференцируются по степени слож-

ности. И в этой ситуации очень важно найти определяющие параметры, которые можно использовать на практике.

Для почв среднего Предуралья было сформулировано положение о трех основных этапах процесса естественной деградации нефти в почве, которые показывают закономерную последовательность изменений химических свойств нефти, загрязняющей почву, и изменения почвенного микробного сообщества [14, 27, 28]. Позднее это положение было подтверждено для загрязненных нефтью почв Усинского района [40, 67, 69].

На первом этапе происходит физико-химическое разложение нефти, при котором, в первую очередь, наблюдается разложение углеводов с длиной цепи углеродных атомов C_{12-16} . Скорость процесса определяется почвенно-климатическими условиями. В этот период деятельность микрофлоры обычно подавлена, поскольку даже комплекс углеводородокисляющей микрофлоры испытывает токсическое воздействие. С уменьшением токсичности почв резко увеличивается численность бактерий, в основном парафинокисляющих [27, 63].

Второй этап определяется процессами микробиологической трансформации нефтяных углеводов. Происходит деструкция *n*-алканов (C_{17-30}) и начинается окисление простейших ароматических углеводов. Концентрация остаточной нефти к этому периоду сокращается до 90 %. Появляются различные метаболиты. Химические исследования остаточной нефти свидетельствуют о снижении доли парафиновых структур, уменьшении длины полиметиленовых цепочек, на этом этапе начинается окисление ароматических соединений [13, 14].

На третьем этапе в составе нефти остаются наиболее устойчивые высокомолекулярные соединения, плохо поддающиеся микробиологической атаке. В этот период почвы характеризуются высокой численностью углеводородокисляющих микроорганизмов, т.е. после процессов биодеградации остаточной нефти в почве складывается свой биоценоз, отличный от фонового [29, 44].

Очевидно, что продолжительность отдельных этапов очищения почв от нефти будет определяться целой группой факторов, влияющих на скорость разложения нефти и нефтепродуктов в почве: наличие адаптированных к нефтяным углеводородам углеводородокисляющих микроорганизмов, температура почвы, наличие кислорода в почве, влажность и кислотность почвы, состав и концентрация нефти. Почвы в естественном состоянии содержат углеводородокисляющие микроорганизмы в количестве менее 1 % микробной популяции, в нефтезагрязненных грунтах их доля часто достигает 10 % [81].

Сообщества микроорганизмов, подвергавшиеся нефтезагрязнениям, становятся адаптированными к ним, т.е. обладают более высоким углеводородокисляющим потенциалом [116]. Длительность адаптационного периода сильно различается в разных климатических условиях и также зависит от концентрации нефти в почвах.

Значение адаптации сообществ микроорганизмов к нефтезагрязнениям отмечается многими исследователями. Вэлкер и Колвелл [121] на-

блюдали большую скорость деградации гексадекана планктонными бактериями из загрязненных мест, нежели микроорганизмами, взятыми из незагрязненных участков. Скорость биодеградации нафталина, антрацена, бенз(а)антрацена и бенз(а)пирена в осадках нефтезагрязненных пресных вод в 10-400 раз выше, чем в незагрязненных [114, 115].

Химический состав различных типов нефти и нефтепродуктов также влияет на скорость биодеградации. Были проведены сравнения скорости биодеградации различных типов сырой нефти: высококачественных и содержащих значительное количество серы, ароматических углеводородов, смол и асфальтенов. Большая степень биодеструкции наблюдалась у высококачественных высокопарафинистых нефтей с низким содержанием серы [102, 110, 121].

Считается, что углеводороды нефти располагаются по чувствительности к воздействию микроорганизмов в следующем порядке: н-алканы → изоалканы → низкомолекулярные ароматические углеводороды → циклические алканы [81, 114].

Берtrand, используя метод непрерывной ферментации и ассоциации культур морских бактерий, наблюдал одновременную деградацию всего состава сырой нефти: предельных углеводородов на 97, ароматических на 81, полярных соединений – на 52 и асфальтенов – на 74 % [85]. В отдельных трудах представлены микроорганизмы, способные к биодеградации полициклических ароматических соединений [85, 97, 110]. Перри с соавт. [110] предположил, что биодеградация смол, асфальтенов и соединений, считающихся устойчивыми к биоразложению, может быть объяснена соокислением. Деградация асфальтеновых соединений в смешанных бактериальных культурах зависела от присутствия в среде C_{12} , C_{18} и н-алканов [89]. Биодеградация 4- и 5-кольцевых ароматических углеводородов в почве так же происходит вследствие соокисления.

Важным этапом в утилизации нефтяных углеводородов является способность микроорганизмов к синтезу внеклеточных веществ биосурфактантов, увеличивающих эмульгирование нефти [33, 81]. Многими авторами показано, что культуры морских и почвенных бактерий, эффективно деградирующие сырую нефть, обладают высокой эмульгирующей способностью. Мутанты, которые не продуцируют сурфактанты, дают слабый рост на нефтяных углеводородах.

Основные различия между нефтезагрязнениями в водных и почвенных экосистемах связаны с движением и распределением нефти по горизонтальным и вертикальным фронтам. Инфильтрация нефти в почву препятствует испарению летучих углеводородов, которые токсичны для микроорганизмов. Частицы почвы за счет адсорбции могут уменьшить токсичность компонентов нефти, однако это способствует образованию устойчивых к разрушению комплексов почвенных частиц с нефтью [105, 106]. Скорость биодеградации многих органических соединений в воде и почве обычно пропорциональна концентрации этих соединений в среде и как правило зависит от их растворимости в воде и эмульсификации, т.е. доступности для использования микроорганизмами [105].

Температура среды влияет на скорость биodeградации углеводов, так как от нее зависят как физическое состояние, так и химический состав нефти, а также скорость углеводородного метаболизма. При низких температурах увеличивается вязкость нефти, уменьшается испарение короткоцепочечных токсичных алканов и увеличивается их растворимость в воде, что задерживает начало биodeградации нефти [83]. Сама скорость биodeградации также замедляется, что связывают с уменьшением скоростей энзиматической активности клеток [81]. Повышение температуры увеличивает скорость углеводородного метаболизма до максимума, который обычно наступает при 30-40 °С. При более высоких температурах увеличивается токсичность углеводородов для мембран [105]. Климат и сезон года всегда влияют на отбор среди популяций углеводород-окисляющих микроорганизмов. Биodeградация нефти идет быстрее в жаркий летний период, однако отмечены высокие скорости деградации сырой нефти смешанными культурами морских бактерий при 3-5 °С [91, 105]. Имеются сообщения о незначительной биodeградации нефти в холодных почвах тундры и арктическом льду [105]. Низкие зимние температуры являются лимитирующим фактором для биodeградации полиароматических углеводов [115].

Кислород является лимитирующим фактором для биodeградации нефти. Наличие кислорода в почве зависит от типа почвы, скорости его потребления живыми организмами и присутствия других утилизируемых субстратов, которые могут связывать кислород. Первоначальные ступени в биodeградации алифатических, циклических и ароматических углеводов бактериями и грибами включают окисление субстрата оксигеназами [81], поэтому на этой стадии биodeградации аэробные условия необходимы. Анаэробная биodeградация углеводов нефти существует, хотя скорость ее очень низка. К настоящему времени известно, что анаэробная деструкция возможна при сульфат-, нитрат-, Fe(III)-редукции и в процессе метаногенеза. Отмечена биodeградация незамещенных и алкилзамещенных (бензол, толуол, нафталин, ксилен, 1,3-диметилбензол аценафтен), окисленных (бензоат) и галогенированных (галобензоаты, хлорофенолы, полихлорированные бифенилы) ароматических соединений [101, 106].

Известно, что для бактериального роста необходимо около 10 частей углерода на одну часть азота. Если это соотношение больше, то рост бактерий и утилизация источника углерода будут замедлены [102]. К настоящему времени установлено, что для превращения 1 г углеводорода в клеточный материал требуется 150 мг азота и 30 мг фосфора.

Исследования влияния солей азота и фосфора на утилизацию сырой нефти и нефтепродуктов в природных условиях были достаточно многочисленными и показали, что недостаток данных солей лимитирует биodeградацию углеводорода в морских, пресных и подземных водах, илах и арктических прудах и почвах [84]. Неорганические соли азота и фосфора эффективны в закрытых системах, но в природных условиях имеют тенденцию к вымыванию, поэтому сейчас предпочтение отдается медленно-

растворимым олеофильным удобрениям, поступление которых в водную фазу можно было бы контролировать. Так, например, специально разработано для внесения в нефтезагрязнения гидрофильное удобрение F-1, содержащее 18 % азота и 10 % фосфора.

Азот и фосфор могут выступать лимитирующими факторами и при ликвидации нефтезагрязнений в почвах. Стимуляция биodeградации сырой нефти и газолена внесением в почвы фосфатной мочевины, солей аммония и фосфата, азотно-фосфоро-калийных удобрений показана в нескольких работах [46, 84].

Влажность или водный потенциал имеет значение для почвенных экосистем. В водных экосистемах водный потенциал постоянен и равен 0.98, а в почвах колеблется от 0 до 0.99 [105, 106]. При изучении разложения дизельного топлива в почве при влажности от 6 до 75 % отмечено, что скорость биodeградации возрастает с увеличением влажности [99]. Подобные результаты были получены и при изучении утилизации нефти. Оптимальная скорость биodeградации наблюдается при 30-90 % влажности [105].

Величина рН в почвах может меняться от 2.5 в горных породах до 11.0 в пустынных щелочных почвах. Большинство гетеротрофных бактерий предпочитают нейтральную среду, грибы являются толерантными к кислым условиям. В литературе отмечается, что для биodeградации сырой нефти и нефтепродуктов оптимальным является значение рН среды 5.0-7.8 [106].

Таким образом, внешние факторы оказывают огромное влияние на интенсивность разрушения нефти в почве, поэтому при выборе современной технологии рекультивации нефтезагрязненных почв необходимо создавать оптимальные внешние условия для работы, в первую очередь, живой фазы почвы. Для активации процессов аэрации и удаления летучих высокотоксичных фракций нефти необходимо проводить вспашку нефтезагрязненной почвы. При недостатке влаги в засушливый период следует проводить дополнительный полив рекультивируемого участка. Все эти мероприятия интенсифицируют современные технологии рекультивации нефтезагрязненных земель.

Районы Крайнего Севера, к которым относится и Тимано-Печорская нефтегазоносная провинция, в отличие от других климатических зон, характеризуются крайне неблагоприятными климатическими и почвенными условиями. Непродолжительный теплый период года с положительными температурами (2.5-3.0 месяца), преобладание почв с повышенной кислотностью обуславливают очень низкую продуктивность тундровых биоценозов и скорость их восстановления. Любое, даже незначительное техногенное воздействие способно вызывать длительные негативные последствия. Почвы тундры характеризуются низким самовосстановительным потенциалом, довольно скудным содержанием основных биогенных элементов и крайне медленной трансформацией растительной органики.

1.3. Подходы к восстановлению загрязненных нефтью земель, принятые в мировой практике

В практике восстановления нефтезагрязненных почв технологии рекультивации классифицированы в категориях *ex situ* и *in situ* (рис. 2), их широко используют на обширных территориях Центральной и Восточной Европы [70] и в России.

Технологии ex situ применяют для обработки загрязненной почвы, предварительно удаленной с поверхности выделенного участка земли. Такие методы требуют использования технологических приемов, таких как экскавация, транспортирование и размещение удаленных грунтов. Следует иметь в виду, что экскавация земель может вызвать искажение морфологической структуры обрабатываемого участка и нарушения течения как поверхностных, так и подземных вод. Кроме того, во время транспортировки загрязненных материалов персонал, вовлеченный в работу, может быть подвержен воздействию загрязняющих веществ. Тем не менее, изоляция и обработка загрязненных материалов вне участка позволяют применять особо сложные приемы обработки, которые могут быть более эффективными и быстродействующими, а также более безопасными для грунтовых вод, животного и растительного мира и местных жителей.

Технологии in situ имеют преимущество вследствие непосредственного применения их на месте загрязнения. Это снижает риск воздействия загрязняющих веществ на человека и окружающую среду во время извлечения, транспортировки и восстановления загрязненных почв, что, в свою очередь, обеспечивает экономию средств. Основным недостатком данных технологий является гетерогенная природа субстрата участка восстановления как с геологической точки зрения, так и с точки зрения распространения загрязнения. Выбор и применение технологий *in situ* осуществляют только на основании полученных данных о качестве обрабатываемой почвы. Кроме того, может потребоваться специализированная очистка загрязненной зоны, а наличие преференциальных потоков воздуха и воды может привести к неадекватной обработке рассматриваемого участка. При неблагоприятных окружающих условиях могут также возникнуть сложности по отношению к устойчивым загрязняющим веществам [70].

Рассмотрим более подробно каждый из технологических подходов в категориях *ex situ* и *in situ*, когда производство работ предполагает выполнение технического и биологического этапов рекультивации.

На техническом этапе рекультивации используют методы обеих категорий. В категории *ex situ* применяют экскавацию и вывоз загрязненного грунта на специально отведенные площадки для последующей утилизации, нейтрализации, переработки или полной очистки грунта различными методами, включая сжигание, промывку и т.п.

Экскавация и последующий вывоз загрязненной почвы или грунта широко применяется для очистки почвы от любых видов загрязнителей.

Часть 1. Рекультивация загрязненных нефтью земель в Усинском районе Республики Коми

При этом почву снимают и помещают в специальные резервуары, в некоторых случаях проводится дополнительная обработка почвы, предшествующая ее транспортировке, переработке или захоронению. Однако данная технология имеет существенные недостатки. Стоимость работ по очистке

EX SITU	
Физико-химические методы	
Сжигание при 850-2200 °С	Печи: барабанные, циклонные, распылительные
Термическая десорбция	При 100-550 °С
Экстракция паром	В вакуумной камере
Промывка земель	В промывных барабанах под высоким давлением (универсальный метод +ПАВ)
Затвердевание, стабилизация	В загрязненный грунт добавляют цемент, битум
Экстракция растворителем	Смешивают в реакторе летучие растворители. Экстракцию проводят в промывных барабанах с последующей обгонкой паром
Химические методы	
Дегалогенирование	Для малых объемов загрязнений грунт смешивают с полиэтиленгликолем и нагревают (высокая стоимость)
Химическое восстановление (окисление)	В качестве реактивов используют озон, пероксид водорода, гипохлориды, хлор и диоксид хлора
Биологические методы	
Сельскохозяйственная обработка	Вспашка, дискование, фрезерование, рыхление, доступ кислорода
Использование биореакторов	Грунт перемешивают с водой, реагентами и помещают в реактор периодического действия. Затем после окончания процесса грунт обезвоживают, а жидкость используют вторично
Механические методы	
Механическое разделение	Гравитационное или циклическое разделение (ситы, сетки, машины)
Экспкавация и вывоз загрязнений	Загрязненный грунт вывозят и после очистки возвращают или используют для других целей
IN SITU	
Биологические методы	
Биоремедиация	Активизация разложения нефти с применением биопрепаратов нефтеокисляющего действия
Фитомелиорация	Посев стойких к загрязнению и активизирующих почвенную микрофлору растений
Естественное разложение	Использование самоочищающейся способности почв
Мелиоративная технология восстановления почв	Состоит из технического и биологического этапов
Механические методы	
Системы сдерживания, барьеры	Бентониты, глины и т.д.
Изолирование загрязнения	Цемент, асфальт, битум
Физико-химические методы	
Экстракция почв паром	Для летучих соединений, нагнетает и собирает пар
Промывка почвы	Вода со специальными добавками
Стабилизация (затвердевание)	Перемешивание грунта с цементом

Рис. 2. Классификация технологий рекультивации нефтезагрязненных почв [70].

может быть весьма высокой. В данном случае не происходит естественного восстановления плодородного почвенного слоя, а очищенный грунт после восстановления необходимо или помещать в исходное место экскавации, или использовать каким-либо иным способом. Также возможно общественное неодобрение по поводу транспортировки и захоронения загрязненной почвы вблизи населенных пунктов [70].

При сжигании собранной с поверхности почвы нефти, а также других органических загрязнителей применяются печи кипящего слоя, барабанные, циклонные и распылительные, в которых для более полного удаления и сжигания вредных органических отходов в потоке кислорода используются высокие температуры около (850-2200 °С). Сжигание в печах является одним из наиболее хорошо изученных и известных методов обработки. Недостатком применения данного метода является наличие в составе нефти и пластовых вод тяжелых металлов, которые остаются в твердом остатке сжигания или в дымовых газах, а также могут реагировать с хлором с образованием соединений, более летучих или токсичных, чем первоначальный загрязнитель.

Термическая десорбция осуществляется при 100-550 °С. Благодаря нагреванию до умеренно высоких температур вода и органический загрязнитель улетучиваются из загрязненного грунта. В отличие от процесса сжигания газообразные продукты переработки скапливаются и обрабатываются в сепараторе. Низкотемпературный процесс подразумевает меньшие затраты энергии на единицу массы перерабатываемого вещества.

Экстракция загрязненной почвы паром проводится следующим образом. Определенный объем почвы помещается в вакуумную камеру для концентрирования летучих органических соединений. Пары улавливаются и обрабатываются в низкочастотном аппарате. Преимуществом данной технологии является простота ее исполнения. В некоторых случаях загрязняющие вещества могут быть выделены в качестве полезного продукта. Однако этот метод имеет и существенные недостатки, а именно:

- применим не ко всем типам почв;
- препятствует удалению летучих органических соединений из-за высокого содержания органического вещества;
- может быть не полным удаление из грунта нелетучих или низколетучих органических веществ.

Промывка – хорошо освоенный и универсальный метод физико-химической очистки загрязненных почв от нефти, в котором десорбция загрязняющего вещества из почвы осуществляется в промывных барабанах под высоким давлением. Для более полной десорбции органических веществ в воду добавляют выщелачивающие реагенты и поверхностно-активные вещества. Но их использование приводит к значительному удорожанию процесса и, кроме того, требует дополнительной очистки почвы от реагентов и ПАВ. Недостатком данной технологии также является то, что метод промывки эффективен только для грубых и песчаных почв. Возможны сложности с удалением низкодисперсных частиц (ил, глина) из промывных вод. Кроме того, полученные промывные воды необходимо подвергать дополнительной обработке и утилизации.

При применении технологии затвердевания/стабилизации загрязняющие вещества связываются путем перемешивания их с малопроницаемой массой (затвердевание), а также посредством химических реакций с использованием стабилизирующих агентов для демобилизации (стабилизации) загрязняющих веществ. Для затвердевания при механическом перемешивании загрязненной почвы используют цемент или битум/асфальт, чтобы образовалась прочная масса с низкой скоростью выщелачивания. Эта технология проста в применении. В то же время, в результате демобилизации загрязняющих веществ не происходит их удаления из очищаемого субстрата. Объем конечной массы может быть вдвое больше, чем первоначальная загрязненная почва. Образующаяся масса может проявлять некоторые токсические свойства и поэтому нуждается в контроле.

Экстракция растворителем загрязняющего вещества – один из немногих способов физико-химической очистки загрязненной почвы, который может быть использован для удаления широкого спектра загрязняющих веществ. Однако для удаления высокомолекулярных органических веществ, к которым относится нефть, данный метод неэффективен.

Существующие на сегодняшний день химические методы очистки перемещенной загрязненной почвы практически не распространены, так как крайне сложны в применении из-за высокой стоимости необходимых реагентов, невозможности обработки больших объемов загрязненной почвы или обработки почвы, содержащей высокие концентрации загрязняющих веществ.

В категории *in situ* принципиальное отличие методологии производства работ на техническом этапе состоит в том, что на загрязненных объектах не производится выемка грунта, а основными задачами данного этапа являются предотвращение распространения загрязнения на сопредельную территорию и проведение первичной очистки загрязненных субстратов. Для этого используют системы сдерживания/барьеры [70], которые обычно располагают так, чтобы предотвратить распространение загрязнения с водным потоком. Для образования сдерживающих систем применяют, как экстренный способ, обваловку разлива грунтом, по возможности тяжелого гранулометрического состава. Например, смесь бентонита (глинистого минерала) или цеолитов (алюмосиликаты, содержащие воду) и почвы. В данном случае бентонит или цеолиты используются как адсорбенты, позволяющие воде просачиваться, сдерживая при этом загрязнение путем адсорбции.

Системы барьеров могут представлять собой широкие полосы сцепленных заграждений, замороженные твердые стены или специальные средства, которые, затвердевая, блокируют течение жидкости. Установка блокирующих систем выполняется достаточно быстро, а оценка распространения загрязнения требует относительно небольшого времени. Применение данной технологии не требует комплексного исследования загрязненной территории.

В то же время, система блокирования – это всего лишь механическое сдерживание загрязнителя в источнике его образования, которое ис-

пользуется до момента разработки плана восстановления территории и требует постоянного контроля, так как повреждение системы барьеров снижает их эффективность. Необходима также оценка состояния подземных вод для правильного проектирования системы блокирования.

Для изоляции разлива загрязнителя над загрязненной областью устанавливают непроницаемый слой (цемент, асфальт, нефтяной битум или более сложные системы, состоящие из асфальтовых веществ с наполнителями). По результатам последующего мониторинга принимается решение об удалении загрязнения. Преимуществом данного метода является его относительная дешевизна. Использование такой технологии позволяет быстро изолировать небольшой источник загрязнения, предотвратив его распространение в пределах земельных угодий ценной категории. Недостаток технологии – метод не позволяет восстанавливать загрязненную территорию, кроме того, его применение ограничивает потенциальное использование изолированного участка в будущем.

Для механической уборки нефти с поверхности почв на месте разлива и локализованных нефтяных пятен на водной поверхности применяют различные нефтесборные устройства, которые в настоящее время имеются в достаточном ассортименте.

Экстракция почвы паром применяется многие годы в практике зарубежных стран в качестве физико-химического метода очистки почв от нефти на месте ее разлива при небольших площадях загрязнения. Так же, как и в категории *ex situ*, применение данной технологии требует дополнительного источника тепла.

Промывка почвы применяется на месте разлива. Для этого используют воду (со специальными добавками), которую впоследствии собирают и очищают. Данный метод применяется для быстрой очистки недавно образовавшегося загрязнения, однако в условиях *in situ* он имеет ряд недостатков. Например, в результате неправильной обработки на поверхности почвы могут образовываться микропонижения, задерживающие остаточное загрязнение, а использование активирующих веществ для увеличения подвижности загрязнителя может потребовать дополнительной обработки почвы, чтобы удалить сами активаторы. И самое главное, метод практически не эффективен для почв с низкой проницаемостью.

Метод стабилизации/затвердевания в категории *in situ* технологии применяют не часто. Затвердевание достигается при многократном перемешивании загрязненной почвы с цементом (это является наибольшей сложностью в применении к *in situ*). После завершения процесса образуется масса с низкой степенью выщелачивания. В результате стабилизации либо образуются менее подвижные соединения, либо загрязнения связываются в субстрат. Это – быстрый и дешевый способ фиксации загрязняющих веществ на поверхности, но окончательная очистка становится более сложной. Загрязнение не утилизируется, а только превращается в менее подвижное. Объем массы затвердевания удваивается по сравнению с первоначальным объемом загрязненной почвы. При применении

данной технологии необходим контроль качества конечной массы, так как на продолжительность ее применения оказывают влияние факторы окружающей среды. В свою очередь, для определения совместимости процесса с качеством загрязнения и окружающими условиями требуется проведение дополнительных исследований.

В настоящее время активно обсуждается метод отжига нефтяных загрязнений на месте их образования.

Первые неудачные попытки сжигания разлитой в море нефти были предприняты, когда сели на мель танкеры «Торри Каньон» (1967 г., Англия), «Уркьюла» (1967 г., Испания), «Арго Мерчант» (1976 г., о-в Нантукет, США), «Амоко Кадиз» (1978 г., Франция). К середине 80-х годов метод сжигания аварийно разлитой нефти на месте был признан надежным при условии удержания пятна нефти достаточной толщины на месте. В 1988 г. на открытой воде у берегов Норвегии были проведены успешные испытания: 80 м³ нефти удерживали огнеупорным боном длиной 91 м и подожгли с помощью желеобразного газолена. За 30 минут 95 % нефти было уничтожено.

В 1989 г. на второй день после аварии танкера «Эксон Валдиз» 4800 м³ нефти выгорели за 45 минут на 98 % (поверхностный воспламенитель подплыл к огражденному пятну и поджег его). В августе 1993 г. более 25 агентств из Канады и США провели у берегов Канады успешные испытания по сжиганию на месте более 3200 м³ аварийно разлитой нефти. Затраты с участием 20 судов, семи самолетов, 230 человек составили 7 млн. долл. США, т.е. сжигание 1 м³ нефти обошлось 2187.5 долл. США.

В 1996 г. на Северном море проведено два отдельных сжигания 640 м³ нефти на месте (при участии Английской компании) с использованием огнеупорных боновых ограждений, вертолетного факела и желеобразного газолена.

Как правило, при разливе нефти на водной поверхности планируется применение традиционного ограждения нефтяного пятна огнеупорными болами, механический сбор нефти, сжигание нефти и/или применение сорбента. Для более полной ликвидации разлитой нефти возможно применение лазерного сканера мощностью 25-150 кВт. Сканер устанавливается на судах-нефтеборщиках, пожарных судах и, как утверждают разработчики, обеспечивает мгновенное и полное сгорание пленки нефти с утилизацией продуктов сгорания. Следует отметить, что практически отсутствует информация, освещающая влияние на гидробионты (бактерии, простейшие животные, рыбы и растения) подъема температуры сканером на водной поверхности до 800-900 °С даже на несколько секунд.

В России тоже сжигают аварийно разлитую нефть, главным образом, на грунтах и болотах. Нефтегазодобывающие предприятия полагают, что таким способом дешевле ликвидировать последствия аварийных разливов нефти и отказываются подсчитывать, в какую сумму денежных средств обходится такая работа. Однако можно привести пример разработки технико-экономического обоснования глубоких технологий обезвреживания техногенных загрязнений окружающей природной среды в

Новосибирском научно-инженерном центре «Геоэкология» МПС РФ. Было показано, что глубокие технологии, очищающие грунт от нефти до уровня ПДК, в 8 раз дешевле суммарной стоимости применяемых в настоящее время мероприятий по замене загрязненных грунтов «чистыми» и платы за загрязнение окружающей природной среды. Следует отметить, что в ТЭО учтены затраты на проведение соответствующих мероприятий по ликвидации загрязненных нефтью грунтов, размер платежей за загрязнение окружающей среды и стоимость разработанной технологии очистки.

Основным моментом, который дискутируется по поводу сжигания нефти, является вопрос об экологических последствиях отжига. Известно, что именно в местах выжигания нефтяных пятен резко увеличивается содержание бенз(а)пирена, а почвенные поверхности после аварийных разливов нефти и процедуры отжига для дальнейшего восстановления являются наиболее проблемными объектами.

Для России злободневной является ликвидация нефтяных разливов, которые происходят в зимнее время (например, разлив нефти на р. Белая). Так, в связи с предполагаемым освоением шельфа арктических морей в Печорском (Приразломное месторождение нефти) и Баренцевом (Штокманское месторождение газа) морях разработана программа предупреждения и ликвидации аварийных разливов нефти в зимнее время. Программа предусматривает экологический мониторинг состояния окружающей среды, систематический аналитический контроль химического состава морской воды, воздуха, состояния атмосферы, ледового покрова и его движения, а также чистоты сбрасываемых вод.

При разливе нефти на ледовой поверхности ее собирают механическим способом или специальными сорбентами, или сжигают, однако в случае разлива нефти подо льдом сценарий ее сбора и утилизации детально еще не разработан, а только намечен. Так, если разлив небольшой (до 100 тонн), рекомендуется прорезать траншею под углом 50-60° к оси движения нефтяного пятна, очистить траншею ото льда, механическим способом собрать нефть или сжечь ее. Несожженную часть нефти предлагается собирать сорбентом – пылевым порошком палмилоном (пластмассовые микробаллоны из специальных органических смол, изобретение БашНИПИ нефть).

При обширном разливе подо льдом (более 100 тонн нефти) планируется проложить с помощью ледокола один-три прохода на пути движения нефтяного пятна. Всплывшую нефть можно собрать механическим путем, сжечь или собрать сорбентом палмилоном. Разработчики предпочитают сжигание, полагая, что в условиях полыньи нефть не будет сильно эмульгирована из-за отсутствия волнения.

Биологический этап рекультивации земель включает меры по восстановлению плодородия почв и осуществляется после технической рекультивации. В биологическом этапе принято выделять биоремедиацию почв и биорекультивацию с последующим фитовосстановлением. Главная цель биологического этапа – максимально возможная доочистка зе-

мель от оставшегося после технической рекультивации загрязнения и создание благоприятных условий для восстановления или самовосстановления природных биоценозов. Под термином *биоремедиация* принято понимать применение технологий и устройств, предназначенных для биологической очистки почв и водоемов, т.е. для удаления из почвы и воды уже находившихся в них загрязнителей. Применение устройств и мероприятий, предназначенных для защиты окружающей среды от вредных выбросов и стоков (фильтры, очистные сооружения, отстойники, коллекторы и т.д.), под значение этого термина не попадают [11]. К основным принципам технологий биоремедиации почв относятся биостимуляция *in situ*, биостимуляция *in vitro* и биоаугментация.

Биостимуляция in situ (биостимуляция на месте загрязнения). Этот подход основан на стимуляции роста природных микроорганизмов, естественно содержащихся в загрязненной почве и потенциально способных утилизировать загрязнитель, но не способных делать это эффективно из-за отсутствия полного набора пищевых компонентов (недостаток соединений азота, фосфора, калия и др.). В этом случае в ходе лабораторных испытаний с использованием образцов загрязненной почвы устанавливаются, какие именно добавки и в каких количествах следует внести в загрязненную почву, чтобы стимулировать рост микроорганизмов, способных утилизировать загрязнитель. Некоторые фирмы располагают запатентованными биодобавками, которые, согласно рекламной информации, оказывают универсальное стимулирующее действие на широкий спектр микроорганизмов, способных к утилизации большого количества загрязнителей. Данный подход может применяться только в том случае, если потенциальная активность микрофлоры загрязненной почвы высока. Как правило, это определяется несколькими факторами, главными из которых являются концентрация загрязнителя в субстрате и характер предварительной обработки субстрата на техническом этапе.

Биостимуляция in vitro. Отличие этого подхода от вышеописанного в том, что биостимуляция естественной микрофлоры загрязненной почвы или воды проводится сначала в лабораторных или промышленных условиях (в биореакторах или в ферментерах). При этом в биореакторах обеспечивается преимущественный и избирательный рост тех микроорганизмов, которые способны наиболее эффективно утилизировать данный загрязнитель. Затем таким образом «стимулированную» (специально селекционированную, обогащенную) микрофлору вносят в загрязненную почву. При этом одновременно со «стимулированными» микроорганизмами вносят и необходимые пищевые добавки, повышающие эффективность утилизации загрязнителя. Иногда бывает необходимо обеспечить принудительную аэрацию загрязненной почвы, чтобы повысить скорость микробного окисления загрязнителей.

Недостаток этого подхода состоит в определенном санитарно-эпидемиологическом риске, поскольку состав активизированной микробной массы практически невозможно учесть. Среди активных микроорганизмов-нефтедеструкторов, которые развиваются на нефтеразливах, нередко

отмечают виды, патогенные или условно патогенные для человека и животных (среди наиболее распространенных на нефтяных месторождениях можно назвать, например, представителей родов *Pseudomonas* и *Rhodococcus*, некоторые из них являются возбудителями заболеваний человека и животных).

Биоаугментация (биоулучшение). В этом случае в загрязненную почву вносят относительно большие количества специализированных микроорганизмов, которые заранее были выделены из различных загрязнений и/или генетически модифицированы [11]. Специализированные научные коллективы и экологические фирмы могут иметь достаточно большие коллекции микроорганизмов, способных утилизировать различные группы и виды загрязнителей. В этом случае на предварительных этапах проекта из коллекции выбирают именно тот организм, который наиболее эффективно утилизирует данный загрязнитель. Выбранная таким образом культура микроорганизмов затем размножается в ферментерах в условиях, приближенных к условиям загрязненной почвы (как правило, в ферментатор в качестве «стимулирующего», т.е. селективного, агента добавляется данный загрязнитель). Размноженные микроорганизмы в необходимых объемах вносят в загрязненную почву. При этом можно вносить и пищевые добавки. Биоаугментацию целесообразно применять при следующих обстоятельствах:

- загрязнитель плохо поддается разложению микрофлорой даже в том случае, если для нее созданы оптимальные условия роста (биостимуляция оказалась неэффективной);
- концентрация загрязнителя в почве или относительно высока (естественная микрофлора «не справляется с количеством загрязнителя»), или низка (естественная микрофлора «не справляется с качеством загрязнителя»);
- загрязнитель попал в почву в результате недавнего разлива органических соединений;
- физико-химические характеристики места загрязнения делают невозможным (или ингибируют) рост естественной микрофлоры;
- есть реальная возможность ускорить время биоремедиации и (или) улучшить ее качество (т.е. достигнуть более низких значений остаточной концентрации загрязнителя);
- необходимо максимизировать надежность достижения конечного результата.

Принято считать, что физико-химические методы очистки окружающей среды более надежны и эффективны, чем соответствующие биотехнологические методы. Эффективность физико-химических методов, как правило, мало зависит от конкретных характеристик загрязненной почвы (воды) и практически не зависит от климатических условий в месте загрязнения. Для методов биоремедиации влияние этих мало контролируемых факторов может быть решающим. При использовании физико-химических методов ремедиации загрязненный грунт извлекают, измельчают и помещают в специальные камеры, где проводят либо экстракцию загрязнения, либо его вымывание.

Этот метод извлечения почвы может применяться и при биоремедиации. В этом случае почву помещают в специальный биореактор (ферментер), переводят в жидкую фазу и затем ферментируют за счет микроорганизмов. Этот подход при биоремедиации считается более надежным, так как процесс утилизации загрязнителя при ферментации в биореакторе можно достаточно эффективно контролировать (аэрация, температура, биодобавки, специализированные микробы, длительность ферментации). Но эффективность этой методики для крупных нефтеразливов сомнительна, несмотря на то, что ремедиация за счет физико-химических методов может длиться от нескольких дней до нескольких недель (в зависимости от масштаба загрязнения), а биоремедиация может продолжаться от нескольких месяцев до нескольких лет. При этом стоимость биоремедиации (на рынке США) на 10-40 % ниже, чем стоимость аналогичного проекта, выполненного физико-химическими методами.

В России при производстве рекультивационных работ на больших загрязненных нефтью территориях по некоторым причинам (как экологического, так и экономического характера) предпочтение отдается двум направлениям биологического очищения почв: активизации естественного разложения нефти агротехническими приемами и рекультивации с использованием биопрепаратов нефтеокисляющего действия. Широко применяют сочетание обоих методов.

Главная особенность технологий, направленных на усиление самоочищающей способности почв, состоит в том, что они активизируют аборигенную микрофлору загрязненных почв за счет улучшения субстратных условий.

Применение минеральных удобрений способствует оптимизации соотношения питательных элементов в почвенном растворе и созданию определенной буферной емкости нефтезагрязненной почвы, что является важным фактором для обменных процессов и условий биоокисления нефти.

Для улучшения воздушного режима в загрязненных почвах применяют различные структураторы и природные сорбенты органического происхождения (торф, мох, чернозем, сажка, уголь) [26]. Торф при биорекультивации нефтезагрязненных земель в северных районах России действует как сорбент и компонент, улучшающий физические свойства почвы. Даже влажный торф способен поглощать нефть в значительном количестве. Являясь прекрасным поглотителем нефти, торф сорбирует твердые, жидкие и газообразные вещества [73]. Модифицированные термообработкой и химическими реагентами формы торфа имеют высокую поглотительную способность по отношению к диспергированным и растворенным нефтепродуктам, органическим и минеральным примесям [38].

В качестве природных сорбентов широко применяют глины и глинистые минералы (криноптиллолит, вермикулит и монтмориллонит на легких почвах) с высокой емкостью поглощения по отношению к загрязнителям [18, 75]. Они могут быть использованы для иммобилизации углеводородокисляющих микроорганизмов [75]. Предлагается также исполь-

зовать для ускорения биodeградации нефти целлюлозосодержащие отходы – солому, опилки и т.д. Положительное влияние соломы связано с сукцессионными процессами, протекающими при разложении органических остатков [14, 15, 107].

Особый интерес для ускорения очистки почв от нефтяного загрязнения представляет использование различных биологических добавок и соединений, которые легко доступны для микроорганизмов и способствуют соокислению в процессе биodeградации нефти [83]. Например, рыбная мука, которая совместно с диамоний-фосфатом усиливала скорость биodeградации нефти до 400 % [119].

Одним из методов, обеспечивающих диспергирование нефти и улучшающих контакт нефтеокисляющих микроорганизмов с поллютантом, является внесение в почву ПАВ. Имеются разнообразные вещества, которые используются в качестве эмульгаторов для борьбы с нефтяными загрязнениями [80, 117]. Почвенные бактерии, главным образом, обитают в водной фазе, и ПАВ, вызывая диспергирование углеводородов нефти, обеспечивают наибольшую площадь поверхности соприкосновения на единицу массы и соответственно более высокую активность микроорганизмов-деструкторов нефти [76]. Кроме того, обработка нефтезагрязненных почв ПАВ способствует снижению их гидрофобности [85, 96, 118]. Однако использование ПАВ в каждом отдельном случае должно быть строго обосновано, чтобы ни сами ПАВ, ни продукты их разложения не стали дополнительным источником загрязнения биосферы и не оказывали токсического действия на почвенный биоценоз [14].

При использовании биогенных ПАВ (био-ПАВ) в микробиологической очистке почвы от углеводородов нефти микробную суспензию наносят на поверхность почвы в виде биопены, достигая значительной интенсификации этих процессов. Био-ПАВ обладают преимуществом перед синтетическими веществами, так как легко подвергаются биодеструкции. Для очистки почвы от нефти использовали био-ПАВ двух типов. Био-ПАВ-I получали из микробной биомассы активного ила очистных сооружений щелочным гидролизом (5-7 % -ным раствором KOH) при температуре 21-28 °C в течение 20 ч с последующей нейтрализацией ортофосфорной кислотой. Био-ПАВ-II – путем обработки мелассного раствора с концентрацией сухих веществ 12 % на флотаторе со скоростью 100 мл/мин. при pH 5. Выход био-ПАВ составил 5 % объема раствора. Полученные био-ПАВ обладали высокой эмульгирующей и пенообразующей способностью, гораздо большей, чем у известных промышленных ПАВ («Ламепон» и ПАВ КТР). Полученные ПАВ использовали для приготовления биопены, которой орошалась нефтезагрязненная почва с содержанием нефти 20 % масс.

Некоторые ПАВ часто токсичны для растений – при увеличении уровня ПАВ до 5 % ингибируется активность углеводородокисляющей микрофлоры и стимулируются процессы денитрификации [72, 76]. На Севере, при высокой степени обводненности почв, неизбежна миграция ПАВ за пределы рекультивируемой площади и загрязнение сопредельной территории.

В условиях Севера рыхление (фрезерование) способно усилить процессы естественной биодеструкции в 4-6 раз [41, 74]. Однако основным ограничением для успешного применения методов активизации естественного очищения почвы от нефти является потенциальная активность естественного микробного сообщества. Так, после отжига нефти, отмывки паром, использования токсичных реагентов и ПАВ, при высоких дозах нефтяного загрязнения и т.п., активизация нефтеокислительного процесса агротехническими средствами дает крайне слабый результат, что связано с практически нулевой активностью естественных микробных сообществ [39, 67-69].

Использование микробиологических препаратов часто рассматривают как альтернативу агротехническим способам биорекультивации. Существуют ситуации, когда использование специальных микробиологических препаратов просто необходимо [35]. В частности, это оправдано для районов с непродолжительным теплым периодом, где внесение интродуцента может искусственно усилить процессы биодеструкции нефти в почве. В последнее время предложена широкая гамма композиций (препаратов) на основе углеводородокисляющих микроорганизмов.

При благоприятных условиях среды (оптимальная температура, соленость, рН, достаточная степень аэрации, обеспеченность элементами минерального питания) удачно подобранная культура или смесь штаммов способны за короткое время практически полностью утилизировать десятки тонн нефтяных углеводородов, трансформируя их в органическое вещество собственной биомассы, углекислый газ и безвредные для окружающей среды продукты [14].

Первым официально признанным биопрепаратом нефтеокисляющего действия в России был «Путидойл» [9], действующим компонентом которого являются бактерии рода *Pseudomonas*. Эти бактерии практически всегда встречаются в загрязненных нефтью почвах и воде. Использование высокой углеводородокисляющей активности и эмульгирующих свойств этих бактерий известно и в других препаратах. Например, на Аляске для удаления нефтяных пленок в арктической водной экосистеме использовали смешанную культуру, состоящую из бактерий родов *Pseudomonas* и *Flavobacterium* [87].

Многие исследователи в последнее время все больше обращают внимание на приспособленность интродуцентов к внешним условиям и, в частности, отмечают, что у бактерий рода *Pseudomonas* происходит существенное снижение уровня активного метаболизма при понижении температуры окружающей среды до 4-6 °С [35, 64]. Положительный эффект применения препаратов с *Pseudomonas* на Аляске для очистки нефтезагрязненных территорий [87] некоторые исследователи приписывают не углеводородокисляющим микроорганизмам, а примененной минерально-органической композиции на основе мочевины и органических жиров с поверхностно-активными свойствами [35]. Эта композиция могла способствовать смыву морской водой нефтяных пятен с суши в море. Положительное влияние на разложение нефти препарата «Путидойл» неодно-

кратно освещалось в опубликованных работах, но важно отметить, что в основном использовали его в климатически благоприятных условиях (самое северное исследование проведено в зоне средней тайги в Тюменской области [9]).

Препараты «Биодеструктор» и «Деворойл» в отличие от «Путидойла» – комплексные, т.е. состоят из нескольких видов углеводородокисляющих микроорганизмов, поэтому обладают большим запасом приспособительных реакций к изменениям условий окружающей среды и способны окислять более широкий спектр нефтяных соединений [9, 33-35]. «Олеворин», «Руден», «Биоприн» отличаются высокой степенью эффективности в широком диапазоне почвенно-климатических условий [17, 78]. Эти препараты использовались для очистки загрязненных мазутом почв при исходной концентрации нефтепродукта до 19 %, а эффект очистки достигал 58-70 % [78]. Одним из действующих компонентов этого препарата были представители бактерий рода *Rhodococcus*.

В последнее время все более широкую популярность приобретает использование бактерий этого рода для ускорения разложения нефти в почвах. Они обладают выраженными углеводородокисляющими и поверхностно-активными свойствами. Отмечается, что *Rhodococcus* способны поглощать углеводородный субстрат всей поверхностью клетки, не затрачивая на это энергии, и сохранять при низких температурах высокую метаболическую активность в отличие от *Pseudomonas*, что дает им преимущество в росте и развитии [33, 35].

«Деворойл» был испытан на болотных и техногенно-перемещенных грунтах (в Тюменской области на торфяно-глеевых техногенно-нарушенных почвах), которые характеризуются низкой самоочищающей способностью от нефтепродуктов: кислотностью почвы (рН 3.5-5.5), низкой обеспеченностью гумусом и азотом. При однократном использовании 1 %-ного препарата в почве с загрязнением 0.6 л нефти/м² в течение двух месяцев при двукратной подкормке минеральным удобрением произошло почти 100 %-ное разрушение углеводов в почве.

Мнения специалистов в отношении целесообразности использования микробиологических методов рекультивации загрязненных нефтью земель для районов Крайнего Севера, к которым относится и исследуемый, Усинский район, разделились. Одни считают, что суровый климат, характеризующийся коротким периодом положительных температур воздуха и длинной холодной зимой, будет причиной неэффективности биологических методов. Аргументом в пользу этого утверждения является то, что для очистки почвы с использованием микробных препаратов необходим большой промежуток времени с температурой окружающей среды выше 10 °С. Как правило, преобладающее большинство исследований эффективности биопрепаратов нефтеокисляющего действия проведено в районах с более благоприятным климатом. Альтернативное предложение для проведения рекультивации на этапе доочистки почвы после технической рекультивации – использование агротехнических приемов (обработка почвы минеральными удобрениями, внесение торфа, посев трав с большой нормой высева).

Другие исследователи считают, что методы биовосстановления нефтезагрязненных почв с использованием биопрепаратов на основе углеводородокисляющих микроорганизмов будут наиболее перспективными как раз для районов с холодным климатом. И аргумент в пользу этого прямо противоположен мнению оппонентов – именно по причине короткого летнего периода требуется применение микробных препаратов. Естественные биоценозы северных территорий обладают слабым самовосстановительным потенциалом, поэтому необходимо искусственное увеличение численности нефтеокисляющей микрофлоры загрязненных нефтью почв путем внесения биопрепаратов. К этому можно добавить, что для района исследования остро стоит вопрос об источниках органических удобрений, таких как отходы сельского хозяйства (животноводства и растениеводства), способных существенно улучшить субстратные условия бедных органикой тундровых почв.

Снизить концентрацию нефти в почве до безопасных для окружающей среды значений только техническими приемами крайне сложно и дорого. После уборки поверхностной нефти останется пропитанный нефтью грунт, глубина этой пропитки будет зависеть от типа субстрата, величины увлажнения. Концентрация остаточного загрязнения будет зависеть от нефтеемкости грунтов. Успешность доочистки почвы на биологическом этапе в основном будет определяться целой группой факторов, из которых важнейшим будет именно биологический, напрямую зависящий от концентрации загрязнения, и активности субстратной микробиоты.

В последние годы технологические предложения по восстановлению нефтезагрязненных почвенных и водных объектов после аварийных разливов нефти все чаще основываются на комплексном подходе к решению проблемы – научно-обоснованном оптимальном сочетании технических и биологических приемов рекультивации, подобранных с учетом специфики восстанавливаемых объектов.

Глава 2 ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ И ПРИЕМЫ РЕКУЛЬТИВАЦИОННЫХ РАБОТ, ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ В РЕСПУБЛИКЕ КОМИ

Рекультивация нефтезагрязненных земель – это комплекс мероприятий, целью которых является ликвидация негативных последствий нефтяного загрязнения, очистка почв и вод от нефтяных углеводородов, обеспечение условий для развития биоты и восстановления почвенно-растительного покрова. Как показал опыт работ по ликвидации аварийного разлива нефти в Усинском районе, характер нефтяных загрязнений сильно отличается на разных участках. Одни и те же технические и биологические приемы могут на одних объектах способствовать эффективной рекультивации и созданию благоприятных для дальнейшего самовосстановления земель условий, на других – оказывать негативное влияние на весь ход работ и усугубить последствия аварий.

Для правильного подбора технологических приемов важно знать исходные характеристики подлежащих рекультивации земель. В этой связи планирование и проведение работ должны, на наш взгляд, основываться на следующих принципах:

- комплексной оценке состояния земель перед началом работ, в том числе оценке агробиологического состояния почв, степени активности субстратной биоты, количественного и качественного состава нефти, глубины загрязнения;
- определении оптимального комплекса приемов природовосстановления на конкретном объекте, вплоть до расчета доз и видов вносимых минеральных удобрений;
- проведении самих работ по принципу природных процессов;
- выполнении комплексного мониторинга состояния земель во время работ и после их завершения;
- анализе получаемых результатов и расчете эффективности проведенных мероприятий по технологическим этапам для дальнейшего совершенствования планирования и ведения работ с целью получения более эффективных результатов природовосстановления в будущем.

Рассмотрим подробнее выдвигаемое положение на примере научно-практического опыта восстановления земель в республике. Самоочищение окружающей среды от нефти – это взаимодействие физических, физико-химических и биологических факторов. Углеводороды из почвы испаряются, вымываются, подвергаются ферментативному преобразованию. Основную роль в превращении их в биологически безопасные соединения играет почвенная микрофлора.

Процессы самоочищения длительны, особенно при высокой степени загрязнения, от этого потенциально опасны, так как их следствием является постоянное растянутое во времени распространение продуктов распада нефтяных соединений на большие расстояния. Привязать рекультивационные мероприятия к основным процессам самоочищения, на наш взгляд, очень важно. Понимание и использование принципов природных процессов позволяет с наименьшим ущербом для окружающей среды восстанавливать пострадавшие территории. Меры технической рекультивации по существу аналогичны процессам физического очищения почв и способствуют их ускорению. Биорекультивация – это активизация физико-химического и биологического этапов восстановления земель (рис. 3).

Рассматривать в комплексе рекультивационных работ только техническую рекультивацию или только биовосстановление нельзя. Все взаимосвязано и влияет одно на другое. Качество работ по технической рекультивации определяется уровнем остаточного загрязнения. И, как показывает практика, только ее методами не удастся достичь параметров приемки земель по количественному показателю остаточного загрязнения. Нефтезагрязненные территории в Усинском районе – это на 70 % торфяные болота, где после нефтеразливов глубина пропитки почвы мо-



Рис. 3. Факторы самоочищения нефтезагрязненных почв и основные направления рекультивации земель.

жет достигать 50 и более сантиметров. Отмывать торфа крайне сложно из-за их мощной адсорбирующей способности, снимать грунт мощностью до полуметра экологически неоправданно (идет накопление объемов шламов и нарушение естественных почвенных и гидрологических условий). Можно только убирать поверхностную нефть настолько, насколько это возможно, и далее доочищать почвы биометодами. В естественных условиях эту работу выполняют природные ассоциации нефтеокисляющих микроорганизмов, которые переводят углеводороды нефти в доступные для растений и почвенных микроорганизмов соединения. При биорекультивации ускорение этих процессов достигается путем внесения биопрепаратов и минеральных удобрений при слабой естественной активности почвы [69], и только внесением удобрений при достаточной естественной активности почвы.

Организации работ по рекультивации земель предшествует этап проведения инженерных геодезических, геологических, гидрометеорологических и экологических изысканий. При инженерно-геодезических изысканиях получают данные об аварийном разливе нефти на рельефе местности в цифровой, графической, фотографической и иных формах. Они необходимы для комплексной оценки местных природных и техногенных условий и обоснования выбора технологий производства работ по ликвидации экологических последствий разливов нефти. Обоснованный выбор технологии производства работ состоит в привязке полученных материалов к подобному предыдущему опыту. В Усинском районе инженерное сопровождение работ осуществляли специалисты предприятия «Комимелиоводхозпроект». Инженерно-геологические изыскания выполняются в соответствии с установленными требованиями СНиП и, в частности, предусматривают: изучение инженерно-геологических условий района аварии, сбор и обработку материалов изысканий прошлых лет, организацию маршрутных наблюдений (рекогносцировочное обследование), гидрогеологических исследований, полевых и лабораторных исследований грунтов, составление технического отчета. С целью получения данных о загрязненности почвы и потенциальной способности их к очистке перед работами по восстановлению нефтезагрязненных территорий и по их завершению производится отбор проб грунта для оценки степени загрязненности и уровня биологической активности. Отбор проб проводится по створам, обозначенным на картосхемах обследуемого участка в виде линий. На линии створа закрепляют маркерные точки отбора проб. В отдельных случаях, по поручению заказчика, места отбора проб фиксируют с помощью геодезических приборов. Подробная оценка состояния земель перед началом работ позволяет дифференцировать объекты по технологиям производства работ и определить экономические затраты на их проведение, а на стадии приемки земель определяет и оценку качества выполненных работ как формально (по Регламентным нормам приемки), так и объективно, т.е. по категории их сложности.

Мероприятия по рекультивации загрязненных нефтью территорий проводятся в несколько этапов. Сроки их проведения зависят от масш-

табности и характера загрязнения, давности разлива, типа почвы, степени ее биологической активности и состояния растительности на конкретном участке. Содержание этапов будет различаться в зависимости от вида и степени сложности участка для производства работ.

Цель и задачи **технического этапа рекультивации** – снижение риска распространения загрязнения за пределы очага выброса нефти, уборка поверхностной нефти, максимально возможное снижение уровня избыточного загрязнения почвы. Технический этап работ приобретает особую значимость после серьезных аварий, при большом количестве разлитой на ландшафт нефти, когда она глубоко проникает в почвенный слой, масса ее остается на поверхности загрязненного грунта. Как показал анализ работ в области восстановления нефтезагрязненных земель, этой стадии в литературе уделяется крайне малое внимание. Между тем, опыт работ в условиях Севера свидетельствует, что без уборки избытка нефти с поверхности почв и вод, урон, наносимый окружающей среде, усугубляется, и не только самим фактом локального разлива, но и активной миграцией загрязнения по системе открытых и закрытых водотоков. Особую актуальность это приобретает на сильно заболоченных территориях с развитой речной сетью, к каким относятся и Усинский район.

В конечном итоге на техническом этапе идет подготовка загрязненных участков к биологической рекультивации или их самовосстановлению.

Практически во всех технологиях, применяемых для полного восстановления загрязненных нефтью почв и акваторий, общим является локализация разлившейся нефти с целью предотвращения ее дальнейшего распространения, сбор с поверхности водоемов, болот, грунтов различными техническими средствами и последующее восстановление объектов.

К средствам ограничения распространения загрязнений в результате нефтяного разлива за пределы его возникновения, разработанным и реализованным на территории Усинского района, относятся системы сдерживания – барьеры, дамбы, гидрозатворы.

Устройство дамб

Устройство локализующих сооружений проводят по рабочим чертежам, разработанным при составлении планов ЛАРН, или по индивидуальным проектам, разработанным специализированной организацией.

Комплекс работ по возведению земляных дамб насыпным способом можно разделить на группы: подготовительные работы в карьерах и строительство землевозных путей, подготовка основания, разработка и транспортировка грунта, укладка грунта и его уплотнение, планировка и крепление откосов, устройство проезда по гребню дамбы, рекультивация карьера.

Карьер выбирают в границах залегания пригодных грунтов, по возможности ближе к месту укладки грунта. Для предотвращения затопления карьера поверхностными и грунтовыми водами предусматриваются



Фото 1. Фрагмент откоса дамбы, закрепленного нетканым полотном.

мероприятия по водопонижению. Форму карьера в плане принимают прямоугольной для удобства работ.

В основании дамбы бульдозерами или скреперами снимают и перемещают растительный слой в валы, далее грузят его экскаватором или погрузчиком в транспортные средства. При отсутствии растительности подготовка основания заключается в уплотнении грунта катками после предварительного рыхления на глубину от 15 до 30 см.

Для разработки и транспортировки грунта в дамбу возможно применение скреперов, при больших расстояниях применяют автосамосвалы с разработкой и погрузкой грунта экскаваторами. Привезенный грунт разравнивают и уплотняют послойно. В зимний период не допускается попадание мерзлого грунта и льда в тело дамбы.

Далее следует планировка и крепление откосов земляных дамб. С крутых откосов (коэффициент заложения менее 2) грунт срезают периодически, по мере возведения насыпи на высоту 1.0-1.5 м с использованием прицепных грейдеров и тракторных откосопланировщиков. Пологие откосы при коэффициенте заложения более 2 планируют бульдозерами с перемещением грунта снизу вверх, а при меньшем заложении – вдоль откоса. После возведения насыпи откосы обычно крепят нетканым полотном (фото 1) и засевают почвозадерживающими травами [135].

Локализацию нефтеразлива проводят в максимально короткие сроки. Перед весенним потеплением и во время снеготаяния проводится проверка надежности дамб.

Открытые каналы и отстойники

Для локализации аварийной нефти и отвода избыточной воды на переувлажненных землях и болотах было предложено (ООО «Могилевводстрой», предприятие «Комимелиоводхозпроект») прокладывать открытые каналы с системой отстойников, предназначенных для улавливания и сбора аварийной нефти. Для решения технологических задач, связанных с составлением проектов организации и производства работ по каналам, необходимо иметь следующие данные, получаемые в результате выполнения проектно-изыскательских работ: план системы каналов, продольные профили по оси каналов, поперечные сечения каналов на различных участках, геологические и гидрогеологические характеристики грунтов по трассе каналов (механический состав, влажность, наличие и режим уровней грунтовых вод, наличие и характер включений), профильные объемы работ.

Строительство открытых каналов ведут землеройными машинами, реже взрывным способом или способами гидромеханизации. Наиболее распространено производство работ по каналам землеройными машинами.

Разрабатываемый грунт укладывают в односторонние или двусторонние кавальеры (фото 2). В местах будущих отводов от магистрального канала младших каналов или притока поверхностных вод в кавальерах оставляют разрывы. На косогорных участках в кавальерах оставляют разрывы для организации сброса в канал вод поверхностного стока с водосборной площади, расположенной выше канала, где устраивают водосбросные колонки.

Размеры и форма кавальера определяются многими факторами: полосой отчуждения, рабочими параметрами машин, условиями въездов и съездов при отсыпке, предполагаемым использованием кавальеров, статической устойчивостью их откосов, устойчивостью против размыва их атмосферными осадками.



Фото 2. Устройство открытого канала на участке № 20 (ЦДНГ-4).

В системах открытых водотоков ведут строительство гидрозатворов. Гидрозатвор по своему назначению является природоохранным сооружением, выполняет функции локализации аварийной нефти, позволяет осуществлять ее сбор, защищает водотоки от попадания нефти, песчаных наносов, плавающих предметов и мусора.

Основным элементом гидрозатвора, гарантирующим защиту от выноса нефтесодержащих вод в водотоки, является ограждающая дамба (фото 3). Отметка уровня гребня дамбы определяется с таким расчетом, чтобы при весеннем половодье не было перелива через верх сооружения и его размыва при максимальных уровнях воды.



Фото 3. Фрагмент гидрозатвора с ограждающей дамбой в верхнем бьефе для локализации и сбора нефти.

Для улавливания и сбора нефти устраивают площадку для техники и оборудования. Гидрозатвор не относится к промышленным объектам, находится вне жилой зоны. В районе строительства гидрозатвора максимально сохраняется лесокустарниковая растительность. Водохранилище является аккумулялирующей емкостью для локализации, сбора и удаления аварийной нефти. При снижении скоростей в отстойнике устанавливается спокойный режим водного потока, в результате чего не будет происходить перемешивания нефти с водой и проскакивания его через трубчатый водосбор. Нефть и взвешенные вещества скапливаются в верхнем бьефе сооружения. По мере накопления нефти ее собирают с помощью нефтесборного оборудования, закачивают в вакуум-бочки и вывозят в шламо-накопители.

Для пропуска воды через створ дамбы устраиваются водопропускные трубы (фото 4). Для исключения выноса пленочной нефти из верхнего бьефа трубы выполняются с изломом в вертикальной плоскости.

Заложения откосов приняты в соответствии с нормативами для типа грунта и подлежат закреплению экологически чистым материалом ПИМ (геотекстиль) с засевом трав и подсыпкой грунта или торфа. Выполняет-



Фото 4. Фрагмент гидроза-
твора.

ся крепление нижнего бьефа сооружения, что предотвращает возникновение эрозионных процессов. При проведении технического этапа рекультивации по границе разлива нефти прокладывают ограждающий канал. В устье канала устраивают нефтеловушку с отстойником, где на поверхности воды накапливается аварийная нефть.

Нефтеловушка состоит из ограждающей дамбы, водопропускного сооружения и отстойника. Для сбора и перевозки нефти предусматривается устройство площадок и подъездов.

Водопропускное сооружение нефтеловушки состоит из металлических труб диаметром от 330 до 720 мм. Для обеспечения отвода воды из среднего слоя отстойника трубы укладываются с обратным уклоном или приваривается колено. Количество труб рассчитывается проектной организацией в зависимости от максимальных весенних расходов воды.

Безаварийная эксплуатация нефтеловушки возможна при выполнении правил и норм технической эксплуатации, осуществлении постоянного и тщательного ухода за сооружениями и своевременного выполнения текущих ремонтов. При эксплуатации нефтеловушки в зимний период требуется своевременно проводить очистку и пропаривание труб ото льда и снега, контролировать пропуск паводковых вод, собирать и вывозить из отстойника перед весенним паводком аварийную нефть и загрязненные снег, лед, донные отложения.

Работы по устройству нефтеловушки разделяют на этапы, в том числе: выполнение подготовительных работ в карьерах; строительство железнодорожных путей; подготовку основания под дамбу и водосбросное сооружение; разработку грунта в карьере, его транспортировку и укладку в насыпь дамбы; устройство трубчатого водосброса; планировку и крепление откосов; устройство покрытия дороги; рекультивацию карьеров. При устройстве насыпи дамбы особое внимание уделяется засыпке и уплотне-

нию грунта между трубами водосброса. Для послойного уплотнения грунта применяют катки, трамбующие или вибрационные машины. Для перемещения нефти по водной поверхности болот и в отстойниках нефтеловушек применяются боны, что позволяет оперативно задерживать аварийную нефть и проводить ее сбор. Первый ряд локализирующих бонов устанавливают на расстоянии не менее трех метров перед водосбросными трубами, второй – в удалении от водосбросных труб для направления аварийной нефти к месту сбора. В отдельных случаях для направления нефти и обеспечения передвижения по болотам применяются деревянные боны, состоящие из скрепленных между собой бревен, аналогично лесосплавным бонам, применяемым на реках.

Для локализации и сбора аварийной нефти на водотоках и водной поверхности болот применяют боновые заграждения, которые позволяют оперативно перекрывать водоток и задерживать нефть и нефтепродукты, находящиеся на поверхности воды, и направляют нефть к месту сбора. Для локализации аварийной нефти на водотоках и водоемах используют береговые (секция 21 м), речные (секция 10 м), заградительные (секция 30 м), портовые и болотные боны. Данные о технологиях и применяемом оборудовании для сбора аварийной нефти с поверхности указывают на их достаточную эффективность (табл. 1). Для сбора и перекачки аварийной нефти используются разные виды нефтесборщиков. Например, установка «Дезми» (фото 5а, б) применяется для сбора нефти с поверхности воды и состоит из насоса на поплавках и силового блока, терминаторы – для сбора вязкой аварийной нефти с поверхности воды. Аппарат состоит из плавающего насоса и силового агрегата, перекачивающих нефть с поверхности воды в нефтесборщик, и рассчитан на перекачку густой нефти.

В Усинском районе для уборки нефти с поверхности заболоченного грунта успешно применяется метод драгирования – сгребания поверхностной нефти скребками и драгами (фото 6). Работа с учетом климатического фактора осуществляется в зимний и весенний периоды и приводит к последовательному очищению территории от наличия подвижной нефти (разработка ТОО СПАСФ «Природа»).

При рекультивации земель для устройства водоотводящей сети, нефтеловушек, дамб, сбора нефтешлама используют (табл. 2) общестроительные универсальные одноковшовые и специальные экскаваторы (на переувлажненных торфяных грунтах применяют экскаваторы на болотном ходу).

В зависимости от размеров выемки применяют различные способы разработки грунта драглайнами, которые используются для разработки грунта с погрузкой в транспортные средства, но менее успешно, чем экскаваторы с другими видами рабочего оборудования. Глубина резания грунта драглайном зависит не только от длины стрелы и угла ее наклона, но и от положения экскаватора по отношению к выемке и вида разрабатываемого грунта.

Экскаваторы с рабочим оборудованием «обратная лопата» применяют, главным образом, для разработки грунта в нешироких каналах, не-

Технологии и оборудование для сбора аварийной нефти

Метод	Описание
	Сбор нефти с поверхности воды
Локализация	<p>Канатный скиммер – особый тип скиммера, использующий длинные ленты нефтеадсорбирующего материала, плавающего на поверхности воды. Канатный скиммер протаскивается по замазученной поверхности воды одним или двумя шкивами, закрепленными на определенных отметках, для адсорбции плавающей нефти. Канатный скиммер продергивается через проушину для удаления нефти и сбора ее в емкости.</p> <p>Локализация бонами и их буксировка для передвижения нефти и нефтепродуктов к пунктам сбора. Боны могут буксироваться как с берега, так и с лодок, что эффективно для водоемов и болот.</p> <p>Аэролодка используется для сбора и перемещения аварийной нефти на затопленных участках, водотоках, на поверхности которых имеется вязкая нефть. Аварийную нефть при помощи установленного впереди лодки отвала перемещают по поверхности обводненного участка или водотока к местам ее сбора.</p>
Уборка нефти	<p>Производится с использованием различных нефтесборщиков и электронасосов в емкости для перевозки.</p> <p>Барабанные нефтесборщики устанавливаются в месте сбора нефти. Аварийная нефть при помощи аэролодки и боновых заграждений перемещается к ленте барабанного нефтесборщика, которая впитывает нефть и перемещает ее на отжим в контейнеры. Используется свойство прилипания нефти к поверхности цилиндрического барабана. Барабан скиммера вращается в нефтесодержащей жидкости, нефть пристаёт к поверхности барабана и соскабливается в отстойник, откуда она затем откачивается. Существуют разные виды скиммеров, предназначенные для сбора нефтей различной вязкости.</p> <p>Вакуумная откачка производится с использованием передвижных вакуумных насосов и емкостей для откачки нефти с поверхности воды на легкодоступных участках с небольшим содержанием нефти</p>
	Сбор нефти с поверхности почвы
Заводнение	<p>Заполнение понижения (или участка между локализирующими дамбами) водой, что позволяет собирать нефть с поверхности воды, смывать ее брандспойтами с поверхности земли.</p>
Зумпфы	<p>Зумпфы – это небольшие специально подготовленные углубления на участке. Зумпфы обеспечивают достаточную глубину и объем для сбора нефти насосами. Зумпфы устраиваются в районах сбора нефти с учетом уклона участка в нижней его части.</p>
Водоотводящие каналы	<p>Устраиваются в зимне-весенний период для отвода грунтовых вод на переувлажненных участках. Обеспечивают прохождение техники для производства рекультивационных работ, отводят поверхностную нефть к местам ее сбора в отстойной зоне нефтеловушек.</p>
Драгирование	<p>Используется на болотах. Механическое удаление нефти с использованием заваренной с торцов трубы, которую протаскивают по загрязненным землям, подгоняя нефть к местам сбора. Заполнение трубы водой позволяет изменять давление на грунт.</p>

Метод	Описание
Смыв водой	
холодной	Предусматривает использование высоконапорных насосов, шлангов и брандспойтов для удаления, мобилизации и перемещения аварийной нефти к местам сбора. Во время смыва производится только удаление нефти и замазученных лесосечных отходов без удаления верхнего слоя грунта. Давление воды регулируется в зависимости от особенностей грунта.
горячей	Вода предварительно нагревается для снижения вязкости аварийной нефти и оптимизации процесса.
Сбор при помощи скребка	Скребок изготавливают из разрезанной трубы, эффективен при наличии по-аварийной нефти верхностной вязкой аварийной нефти. Трактор через лебедки перемещает скребок с аварийной нефтью к местам сбора. Перемещение трубы и скребка выполняется при помощи троса, прикрепленного к лебедкам двух тракторов, находящихся на локализующих дамбах.
Снятие загрязненного грунта	Проводится с использованием техники для удаления нефтезагрязненного слоя грунта как при замершем, так и оттаявшем грунте. Важным условием является способность грунта выдерживать тяжелую технику.

больших котлованах, траншеях с крутыми откосами. Обратные лопаты черпают грунт ниже уровня своего стояния, что позволяет использовать их для разработки грунтов, залегающих ниже уровня грунтовых вод. Это свойство обратных лопат дает возможность применять их при устройстве и очистке осушительных каналов. Разрабатываемый обратной лопатой грунт отсыпается чаще всего в отвал.

На техническом этапе рекультивации земель значительные объемы работ выполняют с применением бульдозеров. На переувлажненных торфяных участках применяются бульдозеры на расширенной (болотной) гусенице.



Фото 5. Установка «Дезми» состоит из насоса на поплавках (а) и силового блока (б).



Фото 6. Очистка поверхности загрязненного нефтью болота методом драгирования с последующей экскавацией и вывозом загрязненного грунта.

Траншеи в зимний период разрабатываются одноковшовыми экскаваторами с прямой и обратной лопатой при предварительном нарезании щелей баровыми или дискофрезерными рабочими органами или рыхлении диагонально-перекрестными движениями рыхлителями статического действия. В зависимости от глубины промерзания грунта каналы в минеральных и торфяных грунтах разрабатывают одноковшовыми экскаваторами с рабочим оборудованием «обратная лопата» или драглайн. Мерзлый грунт рыхлят клин-бабами на экскаваторе или клыками, фрезами на гусеничных тракторах.

Нефтяные разливы, как правило, приводят к полной гибели древесной растительности, образованию зон сухостойного леса. Сухостой явля-

Таблица 2

Применение одноковшовых экскаваторов

Вид оборудования	Основной вид выполняемых работ	Особенности применения
Драглайн	Разработка загрязненного грунта в каналах, отстойной зоне нефтеловушек; Разработка загрязненного грунта с погрузкой в транспортные средства; Отсыпка дорог, земляных дамб; Сбор нефти с поверхности.	Разработка грунта только ниже уровня стояния; Возможна экскавация сухих, переувлажненных грунтов и из-под воды; Требуется рыхление мерзлых и плотных грунтов; Сбор грунта (аварийной нефти при низких температурах) в отвал; Погрузка нефтешлама на транспортные средства.
Обратная лопата	Разработка нефтезагрязненного грунта в выемках каналов в отвал; Снятие нефтезагрязненного грунта с перемещением в отвал; Устройство отстойников, погрузка грунта, нефтешлама; Сбор нефти с поверхности.	Разработка грунта только ниже уровня стояния; Возможная экскавация грунтов любой влажности, в том числе черпание из-под воды; Снятие слоя нефтезагрязненного грунта в отвал.

ется серьезным препятствием для производства рекультивационных работ, а возобновление жизни лесообразующих пород здесь возможно только после полной ликвидации загрязнения.

Корчевка древесной растительности проводится корчевателями-собираателями. Перед началом работ участок разлива нефти разбивают на загоны шириной 10-15 м, которые должны иметь направление с востока на запад с тем, чтобы валы древесины были расположены с севера на юг для улучшения условий сушки выкорчеванной древесины.

На разных типах почвенных субстратов глубина проникновения загрязнения и его концентрация сильно варьируют из-за ряда субстратных особенностей.

В массу песчаного субстрата нефть может проникать достаточно глубоко. Сдерживают ее проникновение либо водоупорный слой глины или суглинка, либо вода. Песок слабо сорбирует нефть. Максимальный уровень загрязнения, который может быть зафиксирован в песчаной массе, достигает 5-10 %. Фиксация загрязнения в песке происходит только за счет налипания ее на поверхность песчинок. Нефть хорошо вымывается из песчаного слоя, и малейшие колебания уровня грунтовых вод приводят к ее просачиванию на поверхность, т.е. нефть в песчаных грунтах мигрирует следом за водой как в вертикальном, так и в горизонтальном направлениях. Эта особенность физического взаимодействия с песком резко ограничивает его использование как рекультиванта, но является полезным при его отмыве от нефти, например, на этапе переработки твердых нефтешламов [43].

Торфяные грунты обладают мощным сорбционным потенциалом. После аварийного разлива глубина проникновения нефти в торфяной слой будет зависеть от исходного насыщения торфяного участка водой. Нефть легче воды, и при достаточной исходной насыщенности торфа водой нефтяная масса будет занимать пограничную зону между обводненным торфом и сухим или открытым пространством. При выполнении работ на заболоченных территориях строительство отводных каналов – часто наиболее целесообразный прием технической рекультивации. Без предварительного осушения использование тяжелой техники на топких участках сильно усложняется. Основная масса нефти при этом уходит в каналы и далее удаляется из зоны нефтеотстойника или гидрозатвора, но часть ее может уйти и вглубь торфяного слоя участка и надолго там зафиксироваться. Нефтяная масса, адсорбированная торфом, практически не извлекаема техническими мерами. На этой стадии становится актуальным проведение работ по активизации биоразложения нефтяных углеводородов.

Задачи биологического этапа рекультивации – доочистка почв от остаточного нефтяного загрязнения, создание условий для почвенной биоты и восстановления растительного покрова. Главными причинами низкой скорости биоразложения нефти в почвах Севера являются:

- наличие больших концентраций токсичных углеводородов и высокие дозы нефти в почве в первые годы после загрязнения нефтью;

- низкое содержание основных биогенных элементов, необходимых для увеличения численности нефтеокисляющих микроорганизмов после этапа технической рекультивации;

- образование на поверхности загрязненных участков битумных корок, высокий процент смолисто-асфальтовых соединений в массе загрязненного нефтью почвенного слоя, низкий уровень доступных для микроорганизмов кислорода и воды на участках старых нефтеразливов и после осушения участков на этапе технической рекультивации;

- накопление в почве мощных ксенобиотиков, ингибирующих развитие биоты, практически уничтоженный биопотенциал (нулевая микробиологическая активность) в зоне горельников.

Таким образом, при разном развитии событий на предыдущих стадиях рекультивации почв необходимо учитывать такой фактор, как уровень биологической активности рекультивируемых субстратов в дальнейшем.

Разрушение битумных корок, повышение уровня растворенного кислорода, увеличение количества доступной микрофлоре влаги, частичное разбавление сконцентрированного на поверхности почвы (до 5 см) сильно загрязненного слоя с менее загрязненной почвой (до 30 см) успешно осуществляется таким приемом, как фрезерование. С учетом мощности нефтезагрязненного дернового слоя, вида и густоты растительного покрова выполняют либо глубокую первичную вспашку с последующей обработкой пласта, либо фрезерование верхнего нефтезагрязненного почвенного слоя, либо обработку тяжелыми тракторными боронами [115].

После первичной вспашки проводят разделку пласта для создания однородного структурного рыхлого слоя грунта путем обработки вспаханной поверхности поля тяжелыми дисковыми боронами (дискование). Закустаренные торфянистые нефтезагрязненные грунты при наличии погребенной древесины обрабатываются машинами глубокого фрезерования. Установленные на них ножи тарельчатой формы размельчают нефтезагрязненный грунт вместе с кустарником, корневыми остатками и хорошо перемешивают всю массу при отбросе ее назад. На подготовленных фрезерованием землях проводят внесение извести, удобрений и биорекультивантов, выполняют посев трав.

В настоящее время ведутся серьезные споры о том, когда, на какой стадии рекультивационных работ и при каких показателях загрязненности почвы целесообразно фрезерование. Как показала практика работ в Усинском районе, фрезерование почв целесообразно и эффективно только если:

- поверхностный слой нефти отсутствует или наблюдается только фрагментарно;

- мощность загрязненного слоя почвы не превышает 10-15 см;

- уровень загрязнения почв на участках свежих нефтеразливов после уборки поверхностного загрязнения до значений, не превышающих 100 мг/г (например, участок 4В аварийного разлива 1994 г. рекультивирован ТОО СПАСФ «Природа» в 2000 г.), на участках старых нефтераз-

ливов с концентрацией загрязнения нефти в почве до 350 мг/г, (например, участок 32 ЦДНГ-4 рекультивирован НТО «ПриборСервис» в 2000-2001 гг.).

Совершенно очевидно, что задачи работ при фрезеровании земель – не перемешивание нефти с загрязненным грунтом, а разбавление загрязнения и улучшение субстратных условий для активизации последующего биологического очищения почв.

Использование биопрепаратов нефтеокисляющего действия необходимо на объектах с низким самовосстановительным потенциалом, когда уровень естественной нефтеокисляющей активности почв низок, т.е. недостаточен для активизации естественного разложения остаточной нефти.

В настоящее время производятся три основные формы биопрепаратов нефтеокисляющего действия – жидкая (несепарированная биомасса после ферментации с массовой долей влаги до 99 % и титром 10^7 - 10^8 живых клеток/см³), пастообразная (сепарированная биомасса с массовой долей влаги до 30 % и титром до 10^9 - 10^{10} живых клеток/см³) и сухая (лиофилизированная или распылительно высушенная в токе теплого воздуха биомасса с влажностью от 3 до 5 % и титром 10^9 - 10^{11} клеток в 1 г препарата). Перед внесением в почву, согласно рекомендациям разработчиков, требуется предварительная активизация биопрепаратов для приготовления рабочих растворов, которые затем наносят на обрабатываемую поверхность. Для внесения биопрепарата на небольших площадях загрязнений используются пожарные машины, мотопомпы, опрыскиватели, дождевальные аппараты и машины, на более крупных – агрегаты с большим объемом резервуара. Другой вид внесения в загрязненные почвы биопрепаратов – на носителях, в качестве которых используют торф, биотехнологические переработанные отходы лесной промышленности, различные сорбенты, минеральные вещества и т.п. Так, в Усинском районе НТО «Приборсервис» (Томск) использовал биологический препарат на торфоносителе, Институт биологии (Сыктывкар) – на минеральном носителе и на лигносорбенте [39, 40, 43].

В практике рекультивационных работ при очистке нефтезагрязненных земель использование биопрепаратов нефтеокисляющего действия занимает не последнее место. В настоящее время ведутся непрерывные дискуссии об их эффективности, целесообразности применения, возникают вопросы сравнительной эффективности в широком спектре предлагаемых разработок. Но как показывает опыт, в той или иной степени эффективны практически все препараты. Вопрос в том, для каких нефтей, каких почвенно-климатических условий они разрабатывались исходно и в каком диапазоне концентраций загрязнения они активны, другими словами, где более эффективны одни биопрепараты, а при каких условиях лучше работают другие.

Биопрепараты разрабатываются на основе нефтеокисляющей микрофлоры, которая в отличие от микроорганизмов незагрязненных почв более устойчива к высоким дозам нефтяных загрязнений. Основная их

роль при производстве рекультивационных работ состоит в том, чтобы активизировать разложение токсичных для почвенной биоты соединений остаточной нефти, осуществить за короткое время разложение миграционно-активных фракций, подготовить субстрат для дальнейшего самоочищения естественной микрофлорой. Это не панацея от нефтяных загрязнений. Использование биопрепаратов нефтеокисляющего действия может быть целесообразно и эффективно только при определенных условиях. Микроорганизмы в составе биопрепаратов, так же, как и любые другие живые объекты, испытывают негативное прямое и косвенное влияние углеводов нефти. Их активная работа начинается после создания определенных субстратных условий на этапе технической рекультивации: достаточного количества свободной и связанной воды, присутствия кислорода, наличия в почве в достаточном количестве биогенных элементов, вносимых, например, в составе минеральных удобрений.

Внесение минеральных удобрений при производстве рекультивационных работ необходимо в любом случае. Содержащиеся в них водорастворимые соединения азота, фосфора, калия и микроэлементов необходимы как на стадии активизации разложения нефти в почве, так и для обеспечения нормального развития высеваемых трав. Нормы внесения минеральных удобрений рассчитывают, исходя из общепринятой в сельскохозяйственной практике нормы – 60-90 кг/га д.в. по азоту, фосфору и калию, а расчет производится в соответствии с характеристикой использованного удобрения по ГОСТ.

На стадии биоремедиации почв внесение удобрений и биопрепаратов совмещают в едином приеме. Одновременно проводится фрезерование обрабатываемых земель. При правильно подобранном комплексе минеральных удобрений эффект от их применения может составлять до 25-30 % в общей картине очищения почв от нефти. Эффект очистки почв за один полевой сезон при использовании биопрепаратов может достигать 60-80 % при условии соблюдения требований по их применению (норм и частоты внесения, рекомендованных разработчиками).

В практике рекультивационных работ в основном принято завершать их высевом однолетних и многолетних травосмесей. Посев трав целесообразно осуществлять после достижения приемлемого для начала развития растений уровня остаточного загрязнения почв нефтью. При этом особое значение приобретает такой параметр, как состав остаточной нефти после проведения работ на техническом и биологическом этапах.

Для однолетних растений диапазон токсичности сырой нефти с различных месторождений Усинского района характеризуется концентрацией в торфяных почвах от 20 до 80 мг/г, в песчаных субстратах – от 5 до 20 мг/г. Входящие в состав нефтей парафины способны ингибировать развитие высеваемых злаков на торфе при концентрации в нем нефти до 15 мг/г и на песке при уровне загрязнения до 3 мг/г. Асфальтены способны оказать негативное влияние на рост трав при содержании до 200 мг/г на торфах и до 50 мг/г на песке. Смолы в два раза токсичнее асфальтенов и оказывают ингибирующее влияние на рост трав при содержании их до

15 и 90 мг/г соответственно в песчаном и торфяном субстрате. Нефтепродукты, такие как бензин и керосин, в 75-100 раз токсичнее самой нефти и оказывают заметное ингибирующее рост растений воздействие в диапазоне концентраций от 0.2 до 1.5 мг/г на песках и торфах соответственно [68, 69].

Чем ниже удельная масса нефти или меньше молекулярная масса ее производного компонента, тем выше степень миграционной активности – скорости распространения в окружающей среде. При этом малотоксичные для растений смолисто-асфальтовые вещества обладают крайне низкой степенью миграционной активности, сильно-токсичные бензиново-керосиновые фракции и ароматические соединения, хорошо растворяясь в воде, способны мигрировать на значительные расстояния в горизонтальной плоскости и глубоко распространяться по почвенному профилю.

Анализ торфяно-глеевых субстратов, подвергавшихся нефтяным загрязнениям в Усинском районе, показал, что через пять-восемь лет после загрязнений в верхнем загрязненном торфяном слое основная массовая доля приходится на миграционно-неактивные смолисто-асфальтовые соединения. В зависимости от количества излитой нефти, мощность этого слоя может составлять от нескольких миллиметров до 5-7 см. В нижележащих слоях наблюдается следующее распределение соединений: тяжелые парафиновые и маслянистые соединения распространяются до 5-10 см в толщу торфяного субстрата, легкие парафины и полиароматические соединения далее, на глубину еще 3-8 см, ароматические соединения и бензиново-керосиновые фракции проникают в нижележащий слой на глубину до 30-60 см. Естественным упором для распространения последних в естественных условиях может служить глей или глина. Проникновение углеводородов в эти субстраты очень незначительно и характеризуется их пропиткой до 3-5 см.

Полагаем, что для объективной оценки качества выполняемых рекультивационных работ целесообразнее было бы оценивать на этапе приемки работ содержание мигрирующих водорастворимых соединений по тем их количественным характеристикам, которые способны оказывать негативное влияние на рост трав. Это, например, подтверждается тем, что при проведении рекультивации на участках старых нефтеразливов при остаточном содержании нефти в почве более 80 мг/г (критерий приемки для торфоболот) рост и развитие растений происходит нормально, а дальнейшее зарастание аборигенной растительностью идет быстрыми темпами. В то же время на участках свежих нефтеразливов после рекультивации при остаточном загрязнении до 40 мг/г торфяных субстратов наблюдается ярко выраженное угнетение роста высеваемых однолетних и многолетних трав [43, 67].

На песчаных субстратах эти цифры несколько иные, токсикогенный фактор более выражен. Это связано с физическими свойствами минеральных грунтов, для которых свойственна высокая плотность, они легко связываются нефтью, практически лишаясь при этом гидро- и аэрофильности. Кроме этого, проницаемость песчаных субстратов для высокотоксич-

ных легких соединений высока, и соответственно скорость распространения загрязнения из них значительна [67].

По опыту работ в Усинском районе можно сказать, что посев трав как прием рекультивации позволяет: выявить характер реакции растений на свойства грунта, очищенного на подготовительном (техническом) и биологическом (биоремедиационном) этапах, на растительные объекты, т.е. быть наглядным индикатором качества очистки почвы.

Рост и развитие многолетних трав способствуют закреплению грунта и предотвращению его размывания и ускоряют разложение остаточного углеводородного загрязнения в более глубоких слоях почвы.

Посев трав осуществляется из расчета 30-40 кг/га смеси многолетних трав при условии окончания этапа биовосстановления грунта на этапе восстановления растительного покрова. В примерный ассортимент трав можно включить мятлик полевой, лисохвост луговой, канареечник тростниковидный, вейник или любые другие районированные сорта многолетних злаков. Из испытанных в Усинском районе трав часто используют хорошо зарекомендовавших себя на участках нефтеразливов овсяницу луговую, овсяницу красную, полевицу белую, тимофеевку луговую, ежу сборную, костер безостый, пырей сизый, пырей бескорневищный, житник гребенчатый, клевер белый, донник желтый и др. Из однолетних трав используют овес посевной из расчета 100 кг/га.

Правильный выбор оптимальных сроков посева семян многолетних трав повышает их полевую всхожесть. Злаковые травы, как правило, высевают в летне-осенние сроки, тогда они дают дружные всходы и успевают укорениться до ухода в зиму. Бобовые травы высевают весной, при их высеве в летне-осенние сроки нормы высева повышаются на 10-15 %.

Мероприятия по уходу за посевами направлены на скорейшее формирование и устойчивое существование травостоя и включают подкормку минеральными удобрениями. Подкормку производят весной через год после посева в дозах 50-100 кг д.в. по азоту, фосфору и калию на 1 га, а также и дополнительный подсев на участках, где высеянные травы не прижились.

Глава 3 ВОССТАНОВЛЕНИЕ ЗЕМЕЛЬ НА ОБЪЕКТАХ АВАРИЙНОГО РАЗЛИВА 1994 г.

В 2000 г. вышла монография коллектива авторов «Опыт ликвидации аварийных разливов нефти в Усинском районе Республики Коми» [52]. В работе довольно широко освещался ход работ на участках аварийного разлива нефти 1994 г., поэтому рассмотрим только основные события и дополним их.

В настоящее время многим нефтедобывающим компаниям и предприятиям, занимающимся рекультивацией земель, может показаться, что и объем разлива 1994 г., и площади загрязненных земель являются сравнительно небольшими. Но особенности местоположения территории определяют особую опасность последствий аварии для экологии северных рек и морей.

Чрезвычайность ситуации требовала немедленно и любой ценой решить главный вопрос – не допустить распространения разлива на заболоченных территориях и попадания нефти в систему крупных водотоков. Загрязнение основных водных артерий Усинского района – рек Колва, Уса и Печора могло стать причиной серьезного экологического кризиса для республики, России и стран Баренцева региона. Отсутствие опыта ликвидации последствий столь значительных аварий определило единственные в то время доступные и возможные меры для решения основной задачи. Оценку работ и последствия принятых решений можно было про-

Из документальных материалов личного архива В.В. Полшведкина (до сентября 1994 г. – председателя Усинского городского комитета по охране природы) – данные пресс-службы Социально-экологического союза*.

Масштабы аварии в Усинском районе Республики Коми.

...Американские оценки количества разлитой в Усинском районе нефти могут быть верными. В окружающую среду могло попасть порядка 318 тыс. тонн нефтесодержащей жидкости, количество нефти в которой может достигать 150 тыс. тонн. Коэффициент износа нефтепроводов составляет 55 % в целом по России. Половина подземных переходов не соответствует нормам эксплуатации.

Динамика аварий на объектах «Коминнефти»: 1986 г. – 51, 1987 г. – 148, 1989 г. – 492, 1990 г. – 515, 1991 г. – 700, 1992 г. – 800, 1993 г. – более 900.

Трубопровод «Возей–Головные сооружения» действует с июля 1975 г. Первый серьезный прорыв произошел в июле 1988 г. С первого января 1991 г. обслуживание трубопровода осуществляет предприятие АО «Этан» (договор до 1994 г.). С июня 1988 г. по сентябрь 1994 г. произошло более 30 прорывов, из них более 20 – в августе 1994 г. ➡

* Материалы любезно предоставлены Р.В. Полшведкиным и приводятся в исходном виде.

водить уже потом, но на тот момент выбор был небольшой, и как оказалось, сделан он был верно.

Объекты аварии 1994 г. были выделены в шесть участков, каждый из которых разделен на зоны и подзоны (рис. 4). Разработана программа рекультивационных мероприятий [128], которая представлена в сводной таблице (табл. 3). Первоочередным мероприятием по ликвидации последствий аварии предшествовало строительство дорог к местам аварийных разливов, затем были локализованы загрязненные участки насыпными дамбами, чтобы предотвратить расползание нефтяных пятен по территории, проведены работы по очистке ручьев и рек. В ряде случаев нефть выжигали. Когда главная опасность загрязнения крупных водотоков миновала, начались основные работы по рекультивации земель.

Участок № 1

Загрязнение территории произошло из-за разрыва нефтепровода в четырех местах в зоне водосборной площади руч. Безымянный (рис. 5а). В 1995 г. площадь загрязнения была определена в 21.79 га. Кроме того, 51.63 га земель были нарушены в ходе подготовительных и очистных работ (карьеры, дороги, обваловки). Был загрязнен нефтью руч. Безымянный с притоками А, В, С и Е. Источниками проникновения нефти в водотоки были четыре разлива, обозначенные как 1А, 1В, 1С и 1Е [52, 126].

Разлив 1А площадью 3.3 га расположен в районе притока руч. Безымянный на трансэлювиально-аккумулятивном ландшафте с болотными низинными торфянисто-глеевыми почвами и трансупераквальном с болотными низинными перегнойно-торфяными почвами на мелких, средних и глубоких торфах. После аварии слой нефти на поверхности достигал 30 см. Глубина пропитки торфяной массы колебалась на сухих в верхней и средней части участка фрагментах от 50 до 90 см, на переувлажненных (в нижней части участка) – до 10-20 см. Участок расположен под

23.08.94 г. на нефтепроводе «Возей–Головные сооружения» обнаружено 14 прорывов магистрального нефтепровода в районе р. Хатаяха. На рельеф местности и в прилегающий ручей было сброшено 64256 тонн нефти. Акт госкомприроды г. Усинск составлен в присутствии представителя НГДУ «Усинсктермнефть». Расчет осуществлен в соответствии с принятыми методиками и на основе нормативных документов, действующих в стране.

25.08.94 г. в районе руч. Безымянный-2 (левый приток Хатаяхи) обнаружены два участка, загрязненных нефтью. Объем сброшенной нефти составил 113 тонн. Акт от 25.08.94 г. составлен в присутствии представителя НГДУ «Усинсктермнефть».

Тюю же комиссией 25.08.94 г. составлен акт на 24.5 тонн нефти, сброшенной в руч. Безымянный-1.

Оценочные расчеты потерь нефти за три месяца по счетчикам предприятий составил 14033 тонны. Однако в документе с расчетами сказано, что окончательное значение потерь должно определяться, а также сопоставляться с замерами и расчетами на местах разлива. Согласно расчетам, проведенным на местах, количество разлитой нефти на 25.08.94 г. составило 64393.5 тонны, что в 4.5 раза превышает общее количество разлитой нефти, приведенное нефтяниками.

05.09.94 г. в районе пос. Возей в 10 часов утра произошел сброс нефти в прилегающее болото и руч. Пальник-Шор. Акт составлен в присутствии сотрудника НГДУ «Усинсктерм-

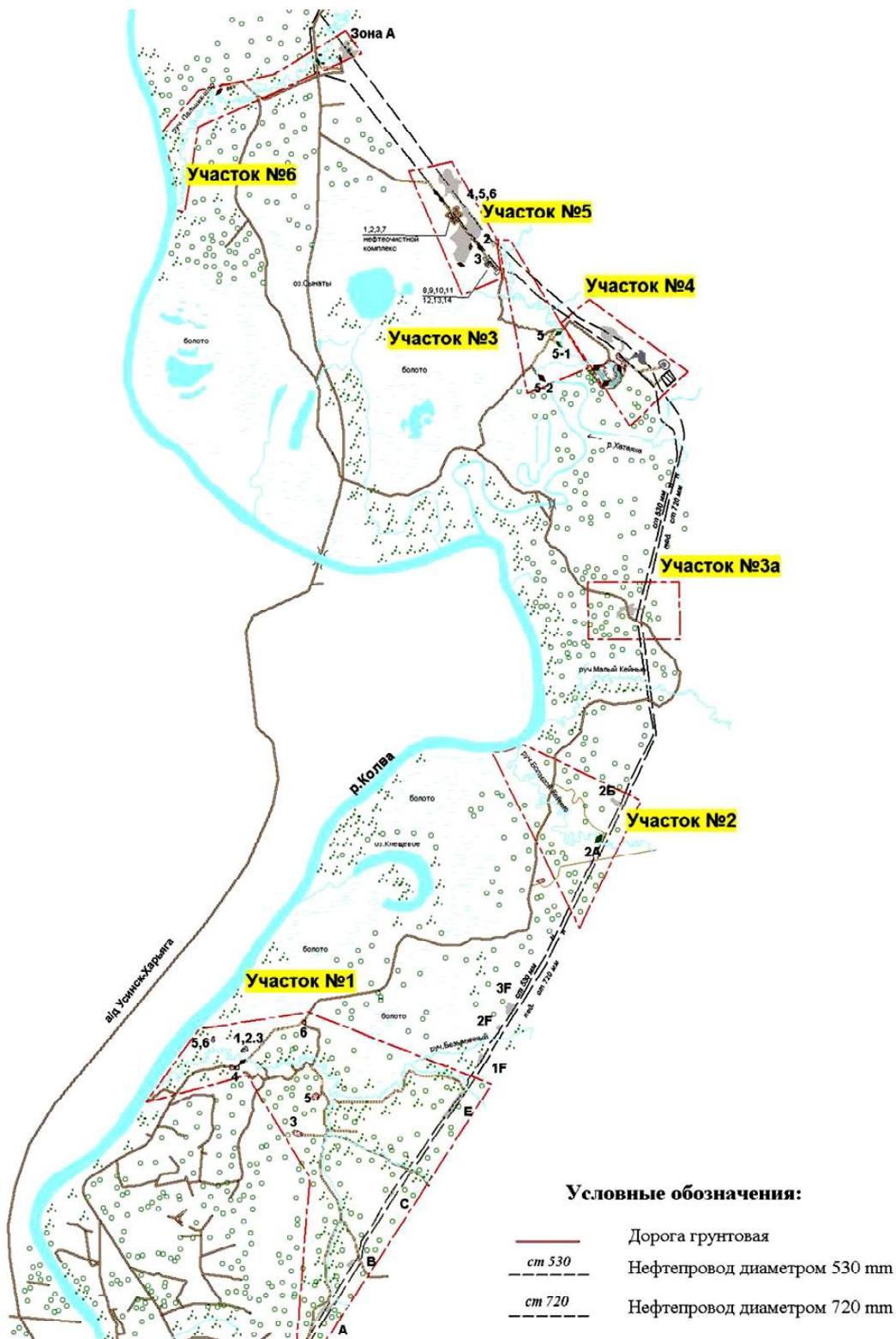
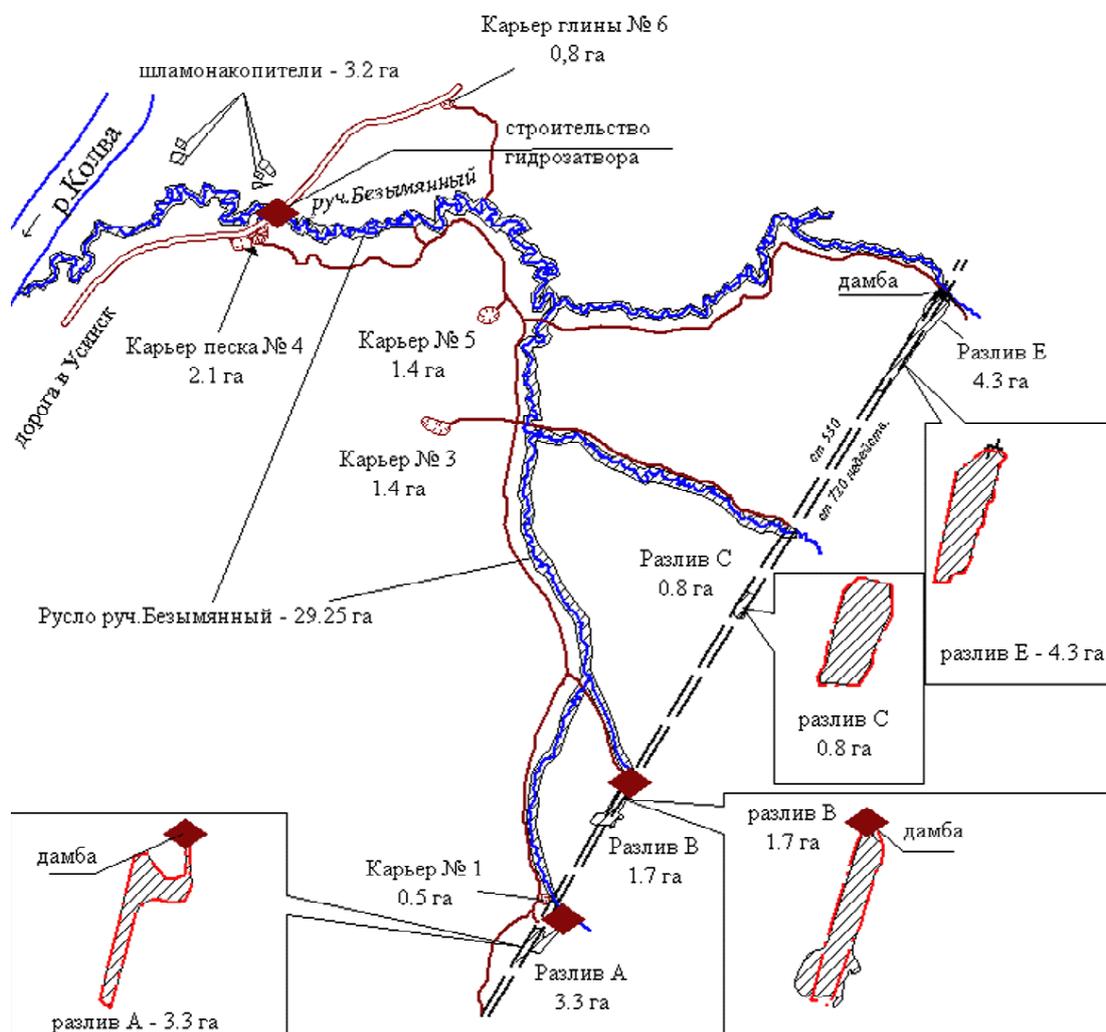


Рис. 4. Расположение участков по локализации нефтеразливов в зоне аварии 1994 г.

Часть 1. Рекультивация загрязненных нефтью земель в Усинском районе Республики Коми



Условные обозначения. Здесь и далее:

- граница разлива нефти
- земли, переданные в лесной фонд после проведения восстановительных работ
- нарушенные и загрязненные нефтью земли
- карьер
- разобранный гидрозатвор
- существующий гидрозатвор
- ЛЭП
- ст 530 нефтепровод диаметром 530 мм
- ст 720 нефтепровод диаметром 720 мм
- дорога грунтовая
- каналы

Рис. 5а. Участок № 1 (разливы 1А, 1В, 1С, 1Е) по состоянию на 1995 г.

уклоном, что определило активную миграцию не адсорбированной торфом массы нефти в нижнюю его часть и далее в ручей. На поверхности ручья в нижней части участка в 1995 г. отмечен слой нефти до 20 см. После уборки нефти в нижней части участка площадью 1.47 га уровень загрязнения оставался еще высоким (по разным данным – от 65 до 300 мг/г почвы). В верхней и средней частях участка в зимний период с помощью экскаватора провели перемешивание почвы на глубину до 50-70 см.

Весной 1998 г. были выполнены работы по водоотведению и строительству гидрозатвора, позволившие прекратить миграцию углеводородов в ручей, собрать поступающую нефть в отстойнике перед гидрозатвором и организовать ее откачку и вывоз.

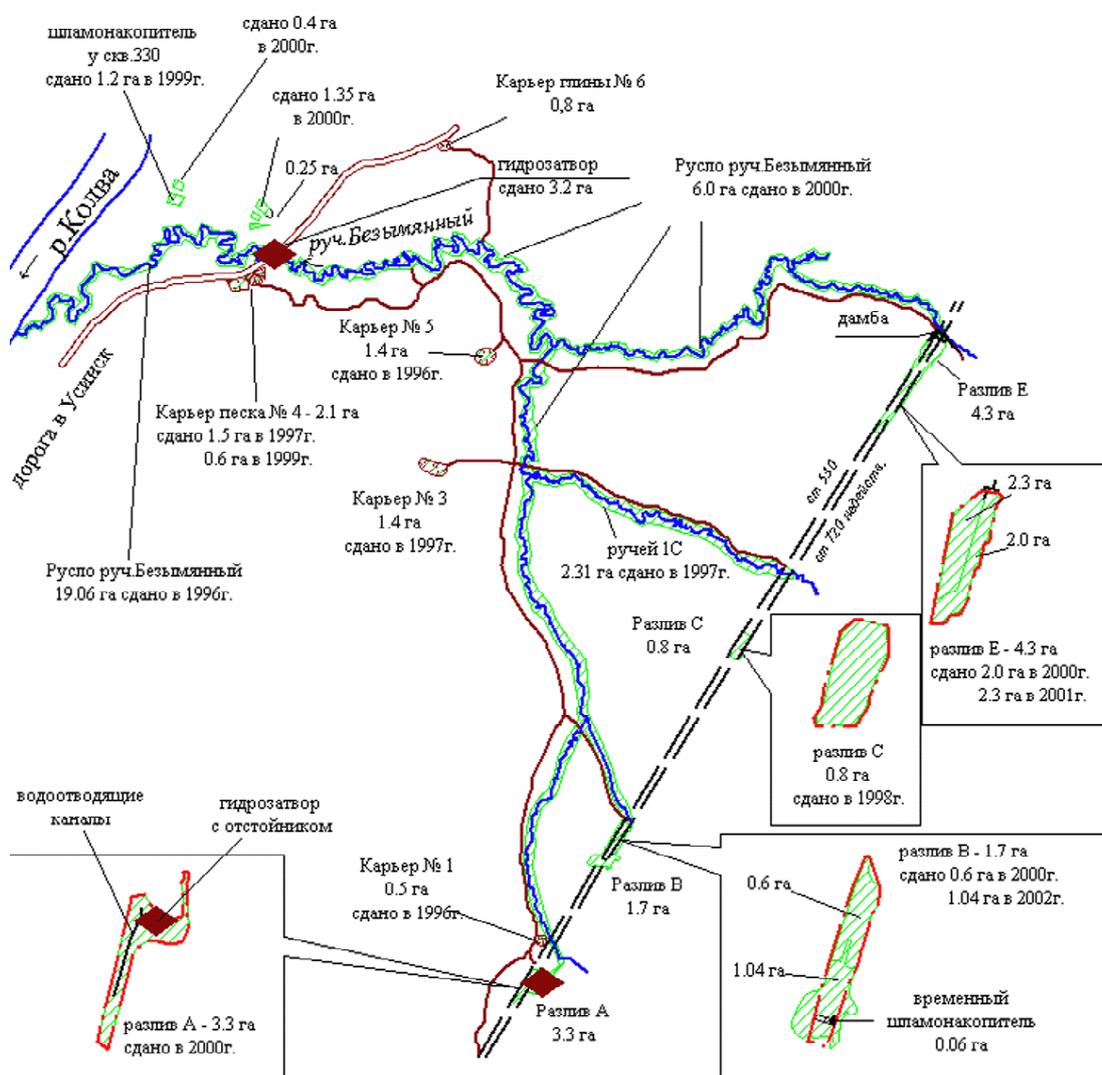


Рис. 5б. Участок № 1 (разливы 1А, 1В, 1С, 1Е) по состоянию на 2004 г.

Таблица 3
Выполнение работ, проводимых в рамках технической и биологической рекультивации на участках нефтеразлива аварии 1994 г.

Схема	Метод работ	Территория участка					
		1	2	3	4	5	6
		1995 год					
Выжигание	-	-	2А – 0.8 га	Вверх по ручью	Зона В	Зона II: отрезки 5-8 – 7.66 га	-
Локализация	Строительство гидрозатворов, защитных дамб, каналов, подъездных дорог, организация запаней	Берега ручья Безымянный 1А	2А – 0.7 га	Гидрозатвор № 5 5-1, 5-2 – 1.22 га	Зоны В, С, D	Зона I-III	-
Очистка первичная	Механическая очистка почв, улавливание нефти и почвы и воды роликowymi драгами и стрелами. Вырубка и сжигание деревьев и кустарников. Сбор нефти установками Desmi	Там же 1С – 0.8 га	2А – 0.7 га	Берега ручья 4.8 га 3А – 3.0 га	Зона В – 6.7 га Зона С – 3.9 га Зона D – 6.4 га Зона В, D – 11.3 га	Зона II: отрезки 1-4 – 6.5 га	5.7 га
вторичная	Промывка речных берегов, вырубка и сжигание остатков. Сбор и закачка нефти насосами, отделяющими нефть от дренажных вод	Там же 1А – 0.4 га 1В – 0.2 га	Берега ручья 3А – 1.8 га	Там же 4.8 га Зона D – 6.4 га	Зона D – 6.4 га	Зона II: отрезки 2-4	10.4 га
Биорекультивация	Засевание травой	-	-	-	-	-	0.6 га
		1996 год					
Выжигание	-	-	-	-	-	-	-
Локализация	Строительство гидрозатворов, каналов	-	-	-	Зона В	-	Разлив нефти 6А
Очистка первичная	Демонтаж гидрозатворов	-	0.2 га	Гидрозатвор № 5 – 0.98 га	-	-	-

Окончание табл. 3

Схема	Метод работ	Территория участка					
		1	2	3	4	5	6
вторичная	Промывка речных берегов, вырубка и сжигание остатков. Сбор и закачка нефти насосами, отделяющими нефть от дренажных вод	Безымянный 1В – 0.2 га	Берега ручья – 1.73 га 2А – 0.7 га	3А – 1.75 га	Зона D – 9.6 га	Зоны I и III – 5.3 га	–
Биорекультивация	Применение удобрений, засевание травами и ивами, саморекультивация	Колодцы № 1 – 0.5 га, № 5 – 1.4 га	2А – 0.2 га Гидрозатвор № 5 – 0.98 га	Зона С1 – 1.6 га	Зона III – 5.3 га	10.4 га	
Выжигание	–	1997 год					
Локализация	Строительство гидрозатворов, каналов	1А	–	–	Зона А: шламоохранилище – 7.8 га Зона В	–	–
Очистка первичная	Демонтаж гидрозатворов	–	–	–	–	–	–
вторичная	Промывка речных берегов, вырубка и сжигание остатков. Ручная расчистка лопатами/скребками. Сбор нефти насосами, отделяющими нефть от дренажных вод	Берега ручья Безымянный 1С – 0.8 га	–	Берега ручья – 4.8 га	Зона С: отрезок С2 – 22 га Зона D2 – верхняя часть	Зона I: отрезки 2.4-2.2 га Зона II: отрезки 3 и 4А – 7.2 га отрезки 4b и 7В – 1.6 га	Участок земли – 0.5 га
Биорекультивация	Применение удобрений, засевание трав и ив, саморекультивация	1С – 0.8 га Колодцы № 3 – 1.4 га № 4 – 1.5 га Ручей Безымянный (приток С) – 2.3 га	1.73 га	–	Зона D: карьер – 0.8 га шламоохранилище – 7.8 га	Зона II: отрезки 2,3 и 4А – 7.2 га	5.7 га

Примечание. Прочерк – работы не проводили.

В 1999 г. на участке 1А была достроена осушительная сеть. В 2000 г. с участка удалили сухостой, провели сбор и удаление накопившейся в отстойной зоне нефти. Далее была проведена планировка поверхности почвы, внесены минеральные удобрения и высеяны травы. За период работ уровень загрязнения почвы нефтью понизился и составил к концу 2000 г. около 4 мг/г почвы. Земли участка были возвращены лесному фонду.

Разлив 1В произошел в результате разгерметизации нефтепровода на болотистой местности, загрязнению подверглись болотные переходные торфяно-глеевые почвы. Первоначальная площадь загрязнения определена в 1.7 га. Уклон на участке не выражен. В 1995 г. площадь разлива в результате миграции поверхностной нефти составила 2.13 га, из которых 0.8 га – с очень высоким уровнем загрязнения (до 300 мг/г), 1.33 га – с нефтью на поверхности (глубина пропитки до 20 см, концентрация загрязнения до 150 мг/г). Загрязнение участка привело к полной гибели растительности. В 1996 г. после проведения технической рекультивации на 0.57 га наблюдалось незначительное снижение содержания нефти в почве участка. В 1997 г. рекультивационные работы на участке не проводились. По результатам анализов максимальное содержание нефти (80-200 мг/г) было сконцентрировано в верхнем (0-10 см) слое почв. На участке из-за плохой локализации нефтяного загрязнения произошла миграция ранее локализованной нефти на очищенную территорию [52].

Разлив 1С произошел на склоне водораздела. Площадь разлива составила 0.8 га, нефтесодержащая жидкость по временному водотоку мигрировала в ручей (левый приток руч. Безымянный). Контур площадью 0.02 га использовался для временного складирования нефтезагрязненного грунта. На большей части участка песчаный грунт был пропитан нефтью не более чем на 10 см, концентрация загрязнения на 90 % площади колебалась от 0.175 до 2.735 мг/г. Почвы с уровнем загрязнения до 10 мг/г занимали незначительную площадь (0.08 га). После биорекультивации участка в 1998 г. земли были возвращены Усинскому лесхозу.

нефть». По ручьям была создана система гидрозатворов, сдерживавших дальнейшее растекание нефти. Расчеты по этой аварии произведены не были. По нашей оценке – разлив не менее 470 тонн.

В ночь с 27 на 28 сентября 1994 г. произошел размыв гидрозатворов, сдерживавших нефть, в результате чего нефть попала в руч. Пальник-Шор близ поселка Возей и в руч. Безымянный на первом промысле НГДУ, а также в р. Колва. Разлив пытались ликвидировать путем выжигания (Акт от 29.09.94 г.).

В результате этой аварии нефтью были загрязнены реки Колва и Уса. На левом берегу р. Колва близ с. Колва нефть лежала слоем 10-15 см, шириной 1-3 м. В отдельных местах ширина составляла 30 м. Загрязненными оказались 1.5 км берега (Акт составлен в присутствии представителя НГДУ 30.09.94 г.). По нашим оценкам в реки попало не менее 1600 тонн нефти.

03.10.94 г. при облете мест, пострадавших от аварии 27-28 сентября, комиссией было обнаружено, что от устья руч. Пальник-Шор по левому берегу р. Колва до впадения в р. Уса (приток Печоры) плавает нефть тонкой пленкой шириной от одного до трех метров. В устье р. Хатаяха обнаружено пятно нефти 15×15 метров. В районе с. Колва замазучено 2-3 км левого берега толстым слоем нефти. На р. Уса от устья р. Колва на протяжении 10 км вниз по течению по правому берегу лежит толстый слой нефти шириной 1-3 м. ➡

Фото 7. Разлив 1Е по состоянию на июль 1995 г.



Разлив 1Е располагается на двух сопряженных элементарных ландшафтных системах слабоволнистой задровой равнины: трансэлювиально-аккумулятивной с торфянисто-мелкоподзолистыми иллювиально-гумусово-железистыми грунтово-глеевыми песчаными почвами и трансупераквальной с болотными переходными торфяными почвами на мелких и средних торфах. Уточненная площадь разлива составила 4,3 га. Участок располагался под уклоном в $2,5^\circ$, что способствовало постепенному распространению основной массы нефти вниз по уклону.

Обследование участка в 1995 г. показало, что растительность практически полностью погибла (фото 7). На площади 3,0 га (средняя и нижняя по уклону части участка) нефть осталась на поверхности, проникла в почву на глубину от 15 до 60 см. В нижней части на площади 0,49 га уровень загрязнения достигал 600 мг/г, в средней – колебался от 50 до 200 мг/г. Незначительным уровнем загрязнения характеризовались наиболее возвышенные участки общей площадью 0,31 га. В 1996 г. участок

03.11.94 г. произошел еще один разлив нефти, представленный нефтяниками как плановый ремонт перемычки на трубопроводе «Возей–Головные сооружения». Площадь загрязнения на рельефе местности составила 240 кв.м. при толщине слоя 23 см, на руч. Безымянный нефть лежала на территории 3000 кв.м. толщиной 13,3 см. С 5 по 7 ноября было проведено выжигание нефти НГДУ «Усинсктермнефть». Расчеты по количеству разлитой нефти не было выполнено, так как при составлении акта не присутствовал представитель НГДУ «Усинсктермнефть». По акту от 08.11.94 г. было сброшено 300 тонн нефти и 40 куб. м нефти сожжено.

ВЫВОДЫ

За период с 23 августа по 3 ноября 1994 г. выявлена и закреплена актами серия аварий на магистральном нефтепроводе «Возей–Головные сооружения», которую условно можно разбить на три группы аварий:

до 25 августа;

авария 5 сентября с загрязнением руч. Пальник-Шор и близлежащего болота; ➡

авария 3 ноября.

А также одна авария, связанная с размывом гидрозатворов и загрязнением рек Колва и Уса.

был частично дренирован водоотводящими каналами вниз по уклону. В нижней части участка был сооружен гидрозатвор с зоной нефтеотстойника, откуда постоянно откачивали накапливающуюся нефть.

Рекультивационные работы на объекте начались только в 2001 г. К этому времени картина сильно изменилась. По системе водоотводящих каналов большая часть нефти ушла вниз по ландшафту в зону нефтеотстойника. Концентрация загрязнения в верхней и средней частях участка составила в среднем 30-80 мг/г. Глубина пропитки нефтью почв на этих фрагментах так же изменилась. Мощность загрязненного слоя почвы была от 5 до 20 см. Более подвижные нефтяные фракции, сосредоточенные ранее в глубоких слоях почвы, со временем «подтянулись» к поверхности и были вынесены с паводковыми водами в дренажные каналы. Произошло частичное самовосстановление растительности на менее загрязненных фрагментах. Подрядчик работ ТОО СПАСФ «Природа» выполнил доочистку участка от поверхностной нефти, ее откачку в нижней части участка из нефтеловушки, фрезерование почвы, обработку почвы минеральным удобрением с последующим посевом трав.

Практически вся зона участка № 1 располагалась в пойме руч. Безымянный, левого притока р. Колва, который, являясь постоянным водотоком, протекает по равнинной местности, занятой комплексом лесотундровых редколесий и ерниково-кустарничковых зеленомошно-лишайниковых ассоциаций с верховыми и переходными болотами. В среднем течении прорезает задровую равнину. Пойма ручья извилистая, неполноразвитая, гривисто-притеррасная, с многочисленными руслами временных и постоянных водотоков, формирующихся на окружающей водосборной площади. Ручьи глубоко врезаны, склоны крутые, заболочены грунтовыми и поверхностными водами, что существенно осложняло работы. Водный режим водотоков характеризуется высоким весенним половодьем, низкой зимней и относительно высокой летне-осенней меженью за счет дождевых паводков.

Только в первой группе аварий расчетный разлив нефти составил 64393.5 тонн. В двух других группах расчеты произведены не были. Однако в экспресс-отчете АО «Геополис» о результатах радиолокационной съемки в районе нефтепровода «Возей–Головные сооружения» от 03.11.94 г. отмечено, что выявлено более двадцати разливов нефти общей площадью 7 кв.км. Количество разлитой нефти по оценкам фирмы «НордЭко» на 12 октября 1994 г. составило 101 тыс. тонн. Таким образом общее количество разлитой нефти за период до 3 ноября 1994 г. могло составить по грубым подсчетам от 70 до 100 тыс. тонн нефти или около 200 тыс. тонн нефтесодержащей жидкости.

Американские оценки масштабов аварии в 318 тыс. тонн могут быть реальны, если речь идет о нефтесодержащей жидкости. Количество чистой нефти по этим оценкам может составить до 150 тыс. тонн.

Расчеты, осуществленные экспертом Социально-экологического союза, показали, что погрешность приборов, отмечающих количество нефти, перекачиваемой по нефтепроводу, может составлять до 4.4 %. С учетом того, что, фактически количество перекачиваемой в течение суток нефтесодержащей жидкости по нефтепроводу «Возей–Головные сооружения» превышает объявленные 25 тыс. тонн и составляло около 30 тыс. тонн до октября и около 37 тыс. тонн в октябре, ежемесячные потери нефти, которые могут пройти незамеченными, составляют до 20 тыс. тонн нефти. За три месяца – до 60 тыс. тонн. ➡

В весенний период 1995 г. на ручье был постороен гидрозатвор для удержания и сбора аварийной нефти в верхнем бьефе (отстойнике). В весенне-осенний период 1995 г. интенсивно проводили техническую рекультивацию, а именно:

- вырубку по берегам ручья замазученной кустарниковой растительности и сжигание порубочных остатков;
- сбор нефти с поверхности почвы вручную лопатами с выносом, погрузкой и вывозкой в шламонакопители для дальнейшей переработки;
- гидросмыв с последующей уборкой нефти вакуум-бочками с поверхности воды в верхнем бьефе (отстойнике) гидрозатвора.

Сбор нефти с поверхности водотока продолжался несколько лет. С территории было вывезено более 450 м³ нефти. В процессе ее сбора по берегам ручья местами был практически уничтожен растительный покров. Однако уже в 1996-1999 гг. на береговой полосе наблюдалось активное возобновление трав и кустарников, не было зафиксировано фактов значительного проявления процессов эрозии почвы вдоль берега ручья, оставшиеся после уборки пятна нефти частично перекрывались перекладывающимися песками (вблизи русла ручья) или битуминизировались (в прибрежной зоне).

В 2000 г. с целью оценки степени загрязнения пойменной территории, береговых откосов, воды и донных отложений было проведено экологическое обследование руч. Безымянный от устья левого притока (А) до гидрозатвора. Результаты обследования показали, что происходило активное восстановление естественной растительности вдоль берега водотока. Береговые откосы ручья местами еще были пропитаны полуокисленной и битуминизированной нефтью, однако истечения ее в водоток уже не происходило. Пойменная часть к этому времени практически очистилась.

С 1998 г. началось активное обсуждение целесообразности более интенсивной очистки водотока, а именно – ликвидации нефти из массы

К вопросу о загрязнении Печоры. По существующим актам в течение двух недель с 31 мая по 16 июня 1994 г. в районе сел Няшабож, Мутный Материк и Кипиево наблюдалось нефтяное загрязнение поверхности р. Печора. В различные дни нефтяная пленка покрывала от 10 до 90 % поверхности реки. Эта информация позволяет сделать предположение, что аварии на нефтепроводе «Возей–Головные сооружения» происходили зимой 1993-1994 г. Эти аварии были либо скрыты, либо прошли незамеченными. Нефтяное загрязнение ликвидировано не было, и нефть попала в р. Печора. Что касается рассматриваемых событий, то в результате аварии 27-28 сентября нефть могла попасть в Печору.

Подобная ситуация складывается на протяжении по крайней мере 10-15 лет. По данным гидрометслужбы, превышение ПДК по нефтепродуктам обнаруживается не только в русле Печоры, Печорской губе, но и юго-восточной части Баренцева моря. В Печорской губе загрязнение превышает ПДК в 45 раз. В ряде случаев зафиксированы зоны загрязнения с концентрациями, превышающими ПДК в 100 и более раз (письмо Минводхоза РСФСР от 25.01.82 г.).

Экологическая ситуация и ее влияние на здоровье населения должно стать предметом отдельного исследования, так как возможна прямая связь между нефтяным загрязнением пастбищ, содержанием нефти в пробах молока из с. Колва (акт межрайонной ветеринар-

донных отложений. Дело в том, что в процессе работ по гидросмыву нефти в воду ручья часть ее зафиксировалась в массе донных отложений, осталась погребенной под наносными слоями смытого с берегов грунта. На участке провели мониторинг вод по динамике концентрации растворенных углеводов и состоянию гидробионтов. В процессе уборки поверхностной нефти уровень растворенных в воде углеводов достигал 12-20 мг/дм³. После завершения рекультивационных работ содержание водорастворенных фракций стало резко падать. На протяжении двух лет, следующих после рекультивации, уровень растворенных углеводов держался в пределах 2 ПДК (около 0.1 мг/дм³). Несмотря на еще достаточно большое содержание углеводов в массе донных отложений (до 5-7 мг/г), в результате активного заиливания дна фактически произошла прочная консервация смытой нефти в донном грунте. С каждым годом слой ила над нефтезагрязненным субстратом увеличивался. Без механического воздействия на донные отложения миграция нефтепродуктов в воду ручья была слабой. Включились механизмы самоочистки вод за счет естественных процессов нефтеокисления и миграции. Биоразнообразие донной фауны оставалось скудным. Возврат экосистемы ручья к нормальному функционированию будет постепенным и длительным. По мнению специалистов, если провести сейчас дополнительные работы по зачистке донного грунта, ущерб, нанесенный природной среде, будет существенно большим, чем тот, который имеет место в настоящее время. Необходимо продолжать наблюдения за восстановлением экосистем мелких водотоков на участках бывших нефтеразливов, требуется тщательный и долгосрочный мониторинг, чтобы поставить точку в дискуссиях о том, до какого предела следует вести природовосстановительные работы на участках открытых водотоков.

В 2000 г. сданы землепользователю 6 га очищенного от загрязнения русла руч. Безымянный. В 2002 г. работы на участке были полностью завершены. Республиканской комиссии по приемке восстановленных земель и водных объектов сданы 7.5 км ручья. В целом на участке № 1 в 2000-2002 гг. восстановлено соответственно 15.65, 4.18 и 1.04 га нефтезагрязненных земель (рис. 5б).

ной лаборатории) и смертностью от онкологических заболеваний в с. Колва. От заболеваний в с. Колва в 1990-1993 гг. умерло 10 человек. Из них семь человек умерло от онкологических заболеваний: 4 человека – рак желудка; 1 человек – рак крови; 1 человек – рак легких; 1 человек – рак челюсти (справка от октября 1994 г.). Село Колва – 200 дворов. Особую опасность может представлять применяемый нефтяниками метод выжигания нефти, так как при низких температурах горения нефти образуются канцерогенные вещества.

Предприятия «Коминьфти» не смогут самостоятельно ликвидировать последствия аварии до апреля 1995 г. Применяемые ими методы выжигания и присыпания нефтяных пятен песком экологически опасны и не решают проблему загрязнения. С весенним паводком нефть может попасть в Печору и Баренцево море.

В настоящее время на нефтепроводе «Возей–Головные сооружения» возможны новые аварии, так как работы по строительству нового нефтепровода замедлились из-за отсутствия финансирования со стороны АО «Коминьфти». При этом нагрузки на нефтепровод в октябре месяце увеличились в связи с подключением к нефтепроводу предприятия «Полярное Сияние»...

Участок № 2

Разлив 2А (рис. 6а) расположен на верхней части выположенного склона задровой равнины и представлен подстилично-подзолистыми грунтово-глеевыми почвами элювиального ландшафта, формирующимися на мощных (более 2 м) флювиогляциальных пылеватых песках. В процессе сбора аварийной нефти произошло механическое повреждение почвенного покрова и уничтожение естественной растительности на площади 0.62 га. В 1995 г. на части участка площадью 0.1 га на поверхности почвы была нефть, уровень загрязнения верхнего (0-20 см) слоя почвы достигал 25 мг/г. С учетом типа субстрата (песок) этот уровень загрязнения достаточного высок и вызывает резкое угнетение развития растительности.

В зимний период 1995-1996 гг. разлив локализовали, построили нефтеловушки, летом провели зачистку береговой зоны руч. Большой Кенью. В 1999 г. на участке была проведена рекультивация, земли возвращены землепользователю.

Разлив 2Б расположен на ровной надпойменной террасе р. Колва. Почвенный покров загрязненной территории представлен торфяными болотными переходными и болотно-подзолистыми почвами, сложенными мощными песчаными отложениями, перекрытыми местами органогенными отложениями (торфом). Грунтовые воды залегают на глубине около 0.3 м, местами смыкаются с поверхностными. Общая площадь загрязнения составила 2 га.

До аварийного разлива нефти растительный покров был представлен ерниково-пушицево-сфагновыми растительными сообществами с еловым низкобонитетным редколесьем, наличием торфяно-моховых кочек и приствольных повышений. В результате аварийного разлива растительность почти полностью погибла: сохранилась только на повышениях рельефа (мхи, береза карликовая, отдельно стоящие деревья).

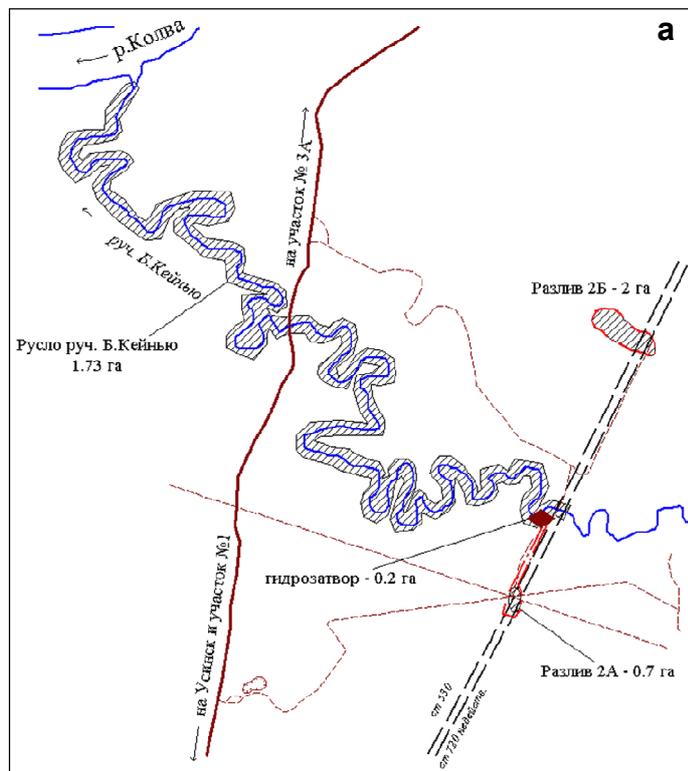
По данным «НордЭко» на участке № 2Б в октябре 1994 г. разлилось около 400 тонн нефти. В 1995 г. участок локализовали земляной отсыпкой. На площади 1.31 га уровень загрязнения почвы в слое 0-20 см достигал 350-400 мг/г, на поверхности участка местами фиксировали слой нефти до 5-30 см. В период с 1996 по 1999 г. работы на участке не велись, уровень загрязнения почв не изменился. Процессы самоочищения были полностью подавлены, травянистая и древесная растительность уничтожены разливом.

В 2002 г. была проведена рекультивация участка на площади 1.91 га. Осталось 0.09 га под площадкой временного размещения нефтешламов (рис. 6б).

Участок № 3 (правый приток р. Хатаяха)

Загрязнение правого притока р. Хатаяха произошло в результате разлива нефти в районе оз. Сына-ты (участок № 5) и болота вблизи р. Хатаяха (участок № 4). Водный режим водотока характеризуется высоким весенним половодьем и относительно высокой летней и осенней меженью. Пойма извилистая, берега низкие – от 1.0 до 2.5 м. Дно неустойчи-

Часть 1. Рекультивация загрязненных нефтью земель в Усинском районе Республики Коми



вое, заиленное. Почвообразующие породы представлены мощными (более 2 м) аллювиальными песками, покрытыми местами маломощным слоем суглинка. Растительный покров поймы водотока представлен хвойными лесами, в устьевой части преобладает ивово-ольховое мелколесье. В 1994 г. в период аварии нефть двигалась по склонам надпойменной террасы, тальвегам и попадала в ручей, оседая на берегах и задерживаясь на зарослях кустарника и мелколесья. В 1995 г. содержание нефтепродуктов в грунтах береговой и русловой части ручья колебалось от 0.03 до 18.6 мг/г почвы. Уборка аварийной нефти с прибрежной полосы проводилась с помощью лопат, скребков и гидросмывом в ручей. Местами нефть выжигали. В период с 1995 по 1997 г. проводились локализационные и рекультивационные работы в русловой зоне ручья. Построено четыре гидрозатвора, которые в период с 1996 по 2002 г. были разобраны, земли рекультивированы и переданы землепользователю (рис. 7а, б).

Разлив 3А произошел в районе ручья, впадающего в болото, находящееся в водосборе руч. Малый Кеню. По склону нефтесодержащая жидкость мигрировала в ручей и накапливалась на заболоченной территории. На склоне водораздела в почвенном покрове преобладали торфянисто-подзолистые поверхностно-глеевые почвы, формирующиеся на двухчленных отложениях: пески водно-ледникового происхождения подстилаются с глубины 0.4-0.8 м моренными суглинками. Развитие почв происходило под березово-еловыми лесами с кустарничково-сфагновым наземным покровом.

В 1995 г. площадь разлива 3А была определена в 3.6 га, из них 3.0 га загрязнены вследствие аварийного разлива нефти, а 0.6 га использовались для временного складирования загрязненного грунта (рис. 8а).

К моменту полевого обследования нефть с поверхности не была убрана на площади 1.17 га. На территории, где проводилась техническая рекультивация (2.17 га), содержание нефти в слое 0-20 см составило от 27 до 417 мг/г. Дерновый слой, в котором сконцентрировалась изначально основная масса нефти, был снят и вывезен, в результате обнажился песчаный грунт. Уничтожение почвенного покрова усилило эрозионные процессы, образовались промоины. На склоне, где нефть выжигали, древесно-кустарниковая растительность была полностью уничтожена. Выполненные мероприятия по локализации нефтеразлива не устранили угрозу растекания нефти. При обследовании были выявлены контура с подвижной нефтью, наблюдалась миграция нефти по склону.

В 1996 г. в центральной части участка, где после проведения механического сбора нефти с поверхности произошло снижение уровня загрязнения до 8.5 мг/г почвы, были высажены черенки ивы и посеяны семена многолетних трав. Приживаемость черенков не превысила 50 %, всходы многолетних трав были изреженными. Через несколько лет из прижившихся ивовых черенков осталось только 20 %. Высеянные травы не закрепились, на участке началось развитие сорно-пионерных сообществ (иван-чай, крестовник, ромашка, мать-и-мачеха).

Часть 1. Рекультивация загрязненных нефтью земель в Усинском районе Республики Коми

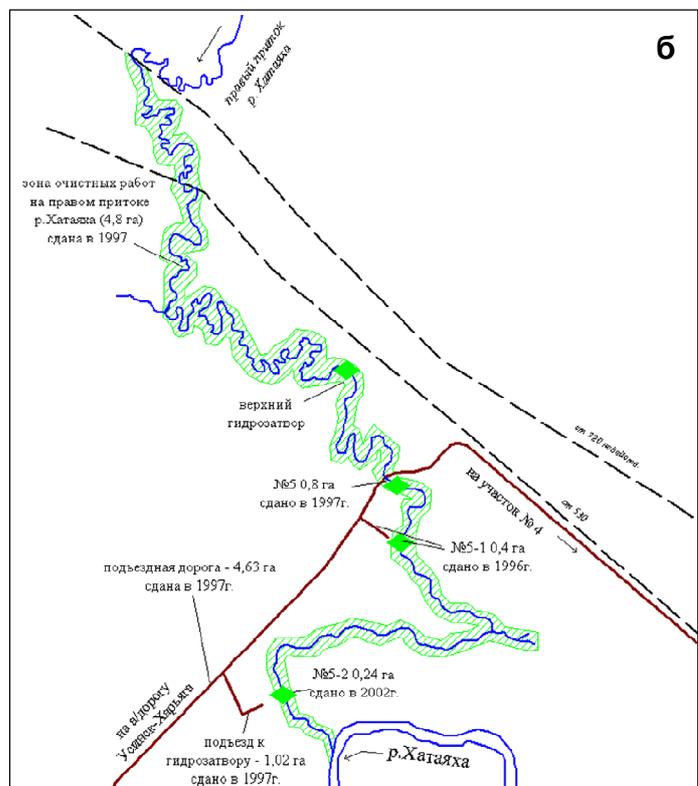
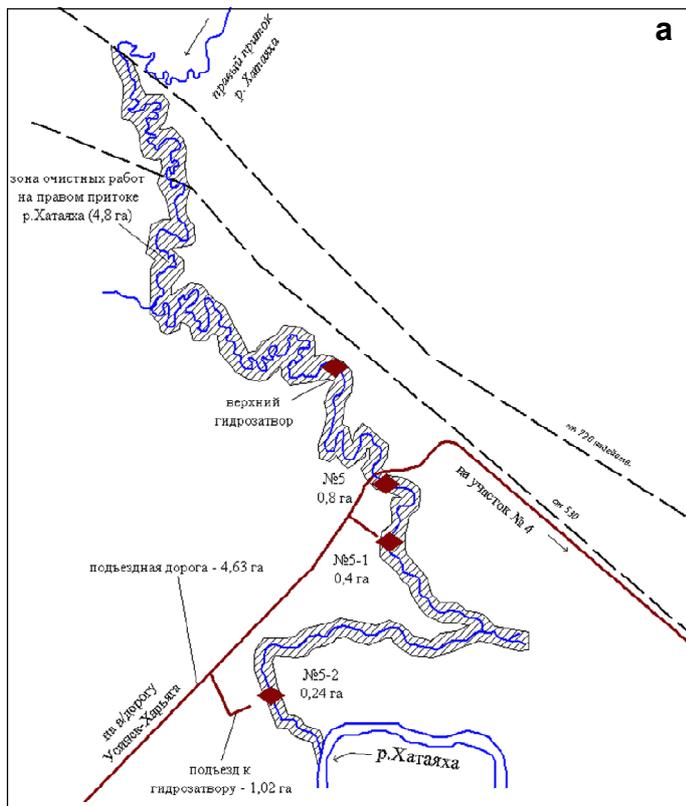


Рис. 7. Участок № 3 по состоянию на 1995 (а) и 2004 (б) гг.

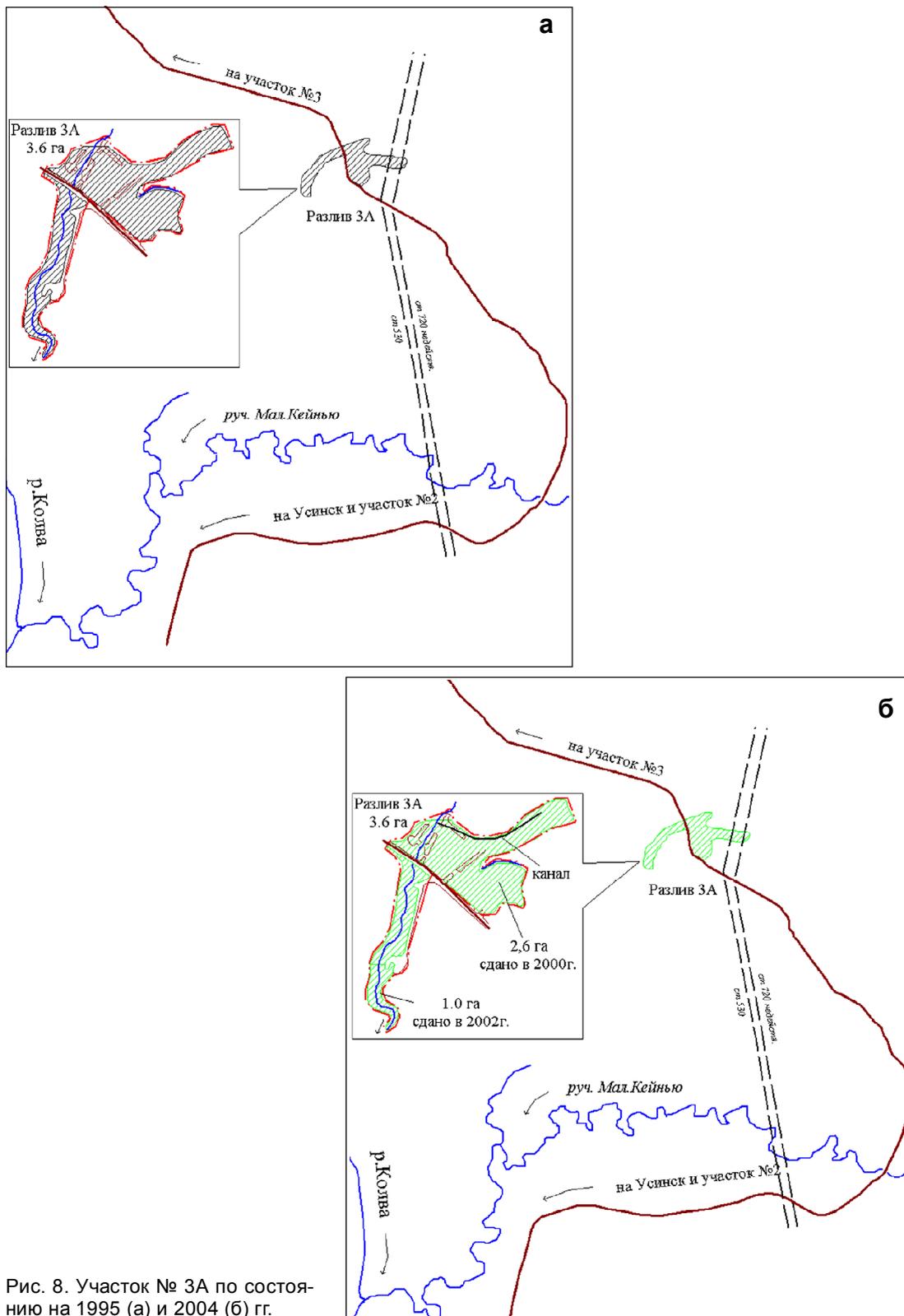


Рис. 8. Участок № 3А по состоянию на 1995 (а) и 2004 (б) гг.

Техническая рекультивация земель в 1997 г. не была завершена, имелись участки с нефтью на поверхности, отмечалась полная гибель растительности. Глубина пропитки почв нефтью достигала 10-15 см.

Работы по рекультивации земель разлива ЗА были завершены только в 2002 г. На разливе ЗА участка № 3 восстановлено 2.6 и 1.24 га земель соответственно в 2000 и 2002 гг. (рис. 8б).

Наиболее сложными для производства восстановительных работ в зоне аварийного разлива 1994 г. были участки № 4 и 5. Это связано и с масштабом загрязнения территорий этих участков, и с их природными особенностями.

Участок № 4

Разливы нефти произошли в районе р. Хатаяха на ровной сильно обводненной надпойменной террасе реки с общим уклоном на юг и состояли из двух контуров. В дальнейшем нефть по ручьям, ложбинам и тальвегам по краю болота проникла в мелкие озера и поступила в ручей – правый приток р. Хатаяха. Максимальная аккумуляция нефти произошла на болоте и в озере. Осенью 1994 г. были предприняты срочные меры для локализации разливов: построены дамбы и два гидрозатвора, на озере были установлены боновые ограждения. При выполнении работ территория участка была разделена на четыре зоны: А – места временного хранения собранной нефти и загрязненного грунта (шламонакопители), В и С – непосредственно места разлива, Д – загрязненные озера. Площадь участка № 4 составила 61.61 га, из них загрязненных – 25.47 и нарушенных – 36.14 га земель (рис. 9а).

Разлив 4А. На его территории в период ликвидации аварии на нефтепроводе был устроен траншейный полигон и шламонакопитель для временного складирования аварийной нефти. Траншейный полигон общей площадью 7.8 га (из них загрязнено 3.5 и нарушено 4.3 га) в 1997 г. был рекультивирован (фото 8). Загрязненную площадь засыпали песком, вдоль участка устроили несколько каналов для стекания и сбора нефти. Шла-



Фото 8. Траншейный полигон участка 4А после технической рекультивации, 1996 г.

Фото 9. Шламонакопитель на участке 4А.



монакопитель, устроенный в 1995 г. в существовавшем карьере суглинка, представлял собой котлованы, заполненные водой и локализованные земляными дамбами (фото 9).

Котлован на оставшейся невозстановленной площади был заполнен нефтешламом. Проведение рекультивационных работ на площади 3.0 га стало возможно только после откачки и уборки нефти. В 2000 г. на рекультивированном участке площадью 1.4 га проведены очистка и вылаживание краев котлована. К этому времени на откосах началось естественное зарастание травами. По состоянию на сентябрь 2000 г. вода в котлованах чистая, содержание нефтепродуктов – 0.21-0.24 мг/дм³. Средняя концентрация нефти в пробах донных отложений котлованов составляла 1.7 мг/г почвы.

Разлив 4В. Разлив находился вдоль трассы аварийного нефтепровода и располагался на двух сопряженных, существенно различных, элементарных ландшафтных системах: элювиальной (водораздельная поверхность) и трансупераквальной (обширное понижение с торфяными почвами). Площадь составила 8.37 га. При обследовании в 1995 г. было установлено, что 80 % территории составили земли с очень высоким уровнем загрязнения. Условия для производства работ на этом объекте были крайне сложными по нескольким причинам. Содержание нефти в почве было высоким – до 500 мг/г, поверхность участка неровная, сам участок топкий, переувлажненный. Осложнения для восстановления участка создало и то, что часть его была выжжена. В 1996 г. провели частичную уборку нефти с поверхности почвы. Дальнейшие восстановительные работы возобновились только в 2000 г. (ТОО СПАСФ «Природа»). Участок, который в ходе технической рекультивации был предварительно дренирован отводными каналами, после откачки нефти подвергли однократному фрезерованию, затем двукратной обработке биопрепаратом (препарат «МУС-1» [39], минеральными удобрениями, засеяли травосмесью однолетних и многолетних трав.

В ходе работ на участке были выполнены исследования (Институт биологии, Сыктывкар), которые позволили в определенной мере оценить вклад отдельных приемов рекультивации в общую картину очистки участка от нефти.

Перед началом работ почва участка характеризовалась крайне низким самовосстановительным потенциалом, практически нулевым уровнем нефтеокисляющей активности. Это было связано не только с высоким уровнем нефтяного загрязнения, но и с характером предыдущих работ. Отжиг поверхностной нефти привел к существенному снижению биологически значимых параметров, в первую очередь активности естественной микрофлоры, за счет термического воздействия и концентрирования высокотоксичных углеводородов в верхнем слое почвы. К моменту начала работ по биовосстановлению в 2000 г. нефть была сконцентрирована в слое почвы от 10 до 40 см, уровень загрязнения на разных фрагментах колебался от 10 до 450 мг/г. Содержание бенз(а)пирена составило более 100 ПДК.

За счет дренирования участка (2000 г.) произошло частичное осушение почвы, что создало условия для использования тяжелой техники, оборудованной фрезой (болотоход Ишимбай). Отбор проб с участка сразу после фрезерования показал, что за счет разбавления загрязнения (смешения верхнего, более загрязненного и нижнего, менее загрязненного слоев почвы) концентрация нефти в слое 0-20 см снизилась в среднем в 1.5-2.0 раза и составила 5-250 мг/г. Биологическая обработка почвы препаратом и удобрениями привела к постепенному в течение двух месяцев снижению содержания нефти в почве до 0.5-50 мг/г. Как показали данные отбора проб в сентябре 2000 г., уровень бенз(а)пирена также снизился до 10 ПДК, а по результатам анализа проб, отобранных в 2004 г., достиг 1.5 ПДК.

В процессе выполнения работ на участке одновременно с очисткой почвы наблюдалось и снижение растворенных углеводов в воде дренажных каналов. Так, перед началом рекультивации содержание растворенных углеводов в воде достигало 27 мг/дм³, через месяц после завершения рекультивации – 0.66 мг/дм³.

В качестве трав-рекультивантов были использованы многолетние и однолетние злаки, проективное покрытие которыми к моменту сдачи объекта Республиканской комиссии по приемке земель составляло до 65 % (фото 10). Уровень биологической активности почвы за время работ увеличился на четыре порядка, что определило возможность дальнейшего самоочищения почвы участка без дополнительных мер по рекультивации.

Разлив 4С. Его площадь непосредственно примыкает к трассе аварийного нефтепровода. С целью локализации разлива и упрощения работы с фрагментами участка зона загрязнения была отсыпана песчаными дамбами, которые разделили зону на три секции (фото 11). Часть нефти в результате осталась погребенной под насыпными дамбами. При растекании нефти во время аварии наибольшая ее часть пришлась на зоны, обо-

Фото 10. Состояние участка 4В в сентябре 2000 г. перед сдачей земель Республиканской комиссии.



значенные далее как секции 4С-1 и 4С-2. В сентябре 1995 г. на 5.46 га слой нефти на поверхности участка достигал 40 см. Пропитка торфяной массы достигала метра. В течение 1995 г. – начала 1996 г. секции 4С-1 и 4С-2 заполнились на 1.0-1.5 м водой (естественным путем в результате сезонных осадков и таяния снега). Концентрация нефтяного загрязнения в почве под водой к моменту начала работ на секциях была от 450 до 550 мг/г. На секциях 4С-1 (1996 г.), 4С-2 (1997 г.) и 4С-3 (2000 г.) провели рекультивацию земель разными методами. Эффективность очистки и последующее состояние объектов определялись видом работ.

На секции 4С-1 (фото 12а) была опробована новая технология по глубокой очистке водоемов и заболоченных территорий от нефти и нефтепродуктов (разработчики – Институт биологии Коми НЦ УрО РАН и ЗАО ИЭЦ «ГенЭко» [42]). Работы по рекультивации на этом участке продолжались в течение 2.5 месяцев. Средняя дневная температура за этот период составляла 10 °С. Перед началом активизации процесса десорбции

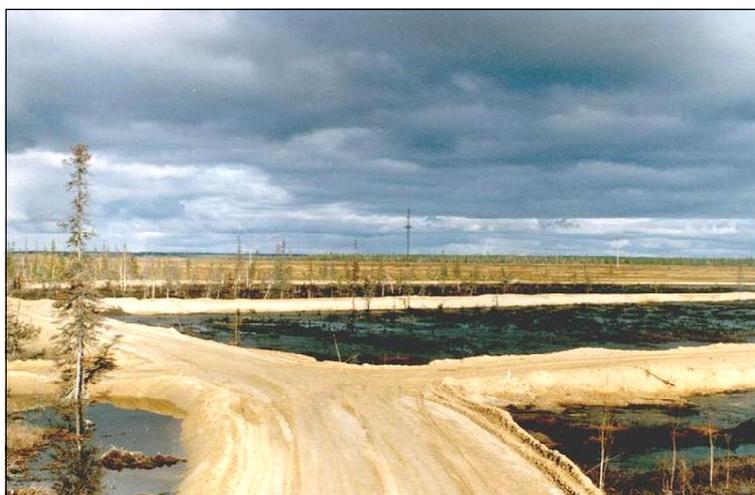


Фото 11. Локализация нефтяного пятна насыпными дамбами на участке 4С.



Фото 12. Смыв (а) поверхностной нефти и ее локализация и уборка (б).

нефти из толщи грунта в воду и перед активизацией биоразложения углеводородов с водной глади участка с помощью нефтесборного оборудования убрали поверхностную нефть (фото 12б). Уборка производилась путем сгона нефти струей воды на доступные для откачки фрагменты участка, локализации боновыми ограждениями нефтяного пятна и последующей откачки НСЖ вакуум-бочками. В процессе первичной уборки нефти с поверхности участка 4С-1 было вывезено около 500 м³ НСЖ.

После удаления основной массы поверхностной нефти на водную поверхность в пяти точках участка установили аэрирующие устройства [58], соединенные с насосной системой пожарной машины (Хаски). В процессе активной аэрации (фото 12в) загрязненной воды происходило насыщение ее кислородом. Эффективность аэрации определялась увеличением уровня растворенного кислорода в 60-70 раз в течение суток на объем воды не менее 20000 м³. В целом за период работ в 1996 г. аэраторы работали один месяц в течение 6-8 ч ежедневно. Перед запуском аэрирующих уст-



Фото 12 (окончание). Аэрация воды (в), осушение, драгирование, внесение удобрений и обработка биопрепаратом (г), современное состояние участка 4С-1 (д). Общее проективное покрытие растительностью 100 %, уровень остаточного нефтяного загрязнения – около 0.75 мг/г. Образование водорастворимых соединений не происходит.

ройств на всю площадь участка с помощью помпы внесли раствор биопрепарата «Универсал» и минерального удобрения. Концентрированная суспензия биопрепарата характеризовалась титром 10^9 клеток/мл. На участок 2 га внесли 20 л суспензии препарата, предварительно разведенной в бойлере в 5 м³ воды. Разбрызгивание раствора осуществляли равномерно на всю площадь участка. Минеральное удобрение (нитроаммофоска) брали в количестве 700 кг, из расчета по 350 кг/га, и вносили вручную разбрасыванием равномерно по всей поверхности затопленного водой участка.

Через одну неделю после начала аэрации и обработки препаратом и минеральным удобрением в водоеме зафиксировали значительное увеличение (в 600-1000 раз) численности микрофлоры (рис. 10), наряду с этим наблюдали увеличение в воде концентрации растворенных нефтепродуктов (рис. 11). Это было связано с тем, что за счет внесенного препарата и удобрений в воде и донном грунте активизировались процессы микробиологической деятельности, которые привели к изменению качественного состава остаточной нефти. Анализ нефти показал увеличение содержания растворимых соединений, сопровождающих микробиологическое разложение тяжелых углеводородов. Максимальное содержание в водоеме растворенных нефтепродуктов отмечено в период с 18 по 30 июня, т.е. первый период активизации микрофлоры после внесения препарата, удобрений и начала работы аэраторов.

Одновременно с увеличением содержания в воде растворенных нефтепродуктов наблюдали активное всплывание окисленной нефти со дна на поверхность водоема. Всплывающую на поверхность нефть по мере накопления собирали нефтесборщиками. На второй стадии уборки поверхностной нефти с участка вывезли еще около 1500 м³ НСЖ.

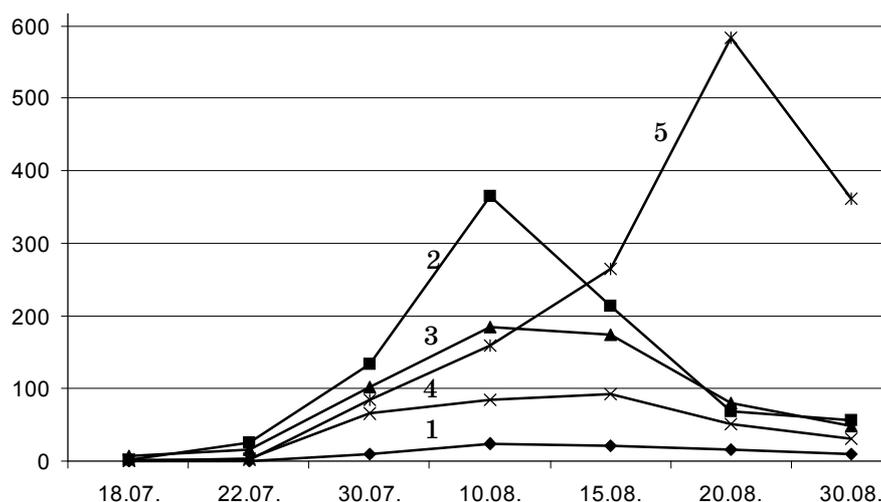


Рис. 10. Динамика численности (млн. клеток/г почвы) углеводородокисляющей микрофлоры (1), аммонификаторов (2), олиготрофов (3), олигонитрофилов (4) и водорослей, тыс. шт. (5) в толще грунта участка 4С-1. Здесь и далее по горизонтали указаны даты отбора проб в 1996 г.

В июле наблюдали интенсивное образование пленок микрофлоры в местах скопления нефтяной массы на поверхности воды. Уровень биологической активности почвы был максимальным в первой половине июля. Активизации аборигенных микроорганизмов в почве и воде участка способствовало снижение степени токсичности субстратов для биоты за счет уменьшения массы нефти на участке. Потребление из воды растворимых соединений азота, фосфора и калия происходило очень быстро. В течение всего полевого сезона вносимые на участок минеральные удобрения расходовались в течение одной-двух недель. К окончанию работ в воде обнаружены лишь следовые количества азота и фосфора.

Количество хлоридов, присутствовавших в воде, в течение всего периода наблюдений практически не изменилось по массе и составило 180-200 мг/100 мл воды. Уровень кислотности также практически не изменился и оставался в кислом интервале. Высокая биологическая активность на участке в июле показывает, что кислая реакция среды (рН 3.5-3.7) не ингибировала нефтеокисляющую активность.

На участках, свободных от воды или слабо затопленных, снижение загрязнения нефтью отмечено до середины августа. Это обусловило и начало возобновления растительности на участке – осоки, вахты, пушиц, на карликовой березке началось отрастание листьев. В конце лета нефтяная пленка на дне и поверхности водоема отсутствовала. Наряду с этим было отмечено цветение вахты на открывшихся участках почвы, на карликовой березке отсутствовала нефтяная пленка, происходило нормальное развитие листьев. В водоеме появились водоросли, которых не было в начале сезона и которые отсутствовали на соседних участках, загрязненных нефтью. Уровень растворенных в воде углеводов на участке снизился до значений 0.05-0.07 мг/дм³ (рис. 11) и оставался в этих пределах до момента спуска с секции воды в 2000 г. Спуск воды осуществляли, разрушая часть отсыпки, в отводной канал. Отсутствие финансирования в 1998-1999 гг. определило остановку работ на данном участке. За это время оставшаяся в глубине торфяной массы под водой нефть «подтянулась» к верхнему слою ранее очищенного донного грунта.

На этапе завершения работ на участке подрядчиком работ выступало ТОО СПАСФ «Природа». После спуска воды через отводной канал на

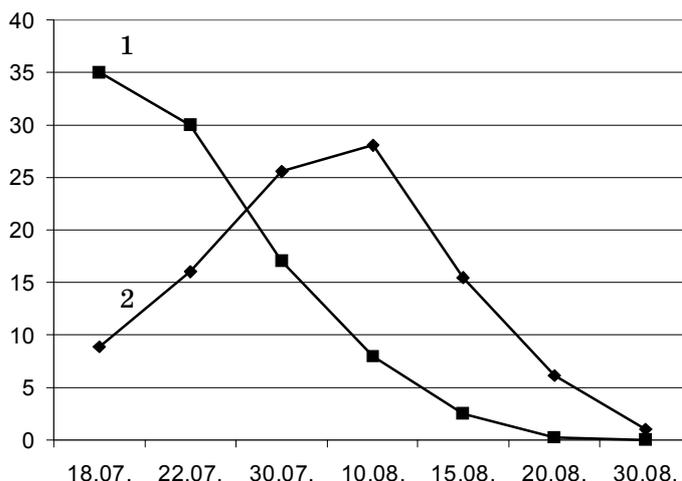


Рис. 11. Динамика содержания нефти в почве, % (1) и растворенных в воде нефтепродуктов, мг/л (2) на первом этапе работ на участке 4С-1.

участке местами была зафиксирована нефть. Глубина пропитки почвы не превышала 3-5 см. С целью ее уборки провели драгирование, фрезерование, повторную обработку участка препаратом и внесли минеральные удобрения (фото 12г). Через полтора месяца в почве участка концентрация загрязнения нефтью не превышала 3.5 г/кг в слое 0-20 см, началось нормальное развитие высеянных однолетних и многолетних трав. В настоящее время на участке полностью восстановилась естественная растительность (фото 12д), в том числе и древесная (береза карликовая, ива).

При выполнении работ на этом участке была оценена эффективность каждого технологического этапа. Снижение уровня загрязнения на участке за два года работ за счет технических методов (десорбция с применением аэрации, откачка нефти, драгирование) составило 50-55 %, а разложение углеводородов в почве и воде за счет применения биопрепарата и минеральных удобрений – 35-40 %. Вода участка очистилась от растворенных углеводородов только за счет совокупного эффекта – активизации разложения нефти биопрепаратом на фоне высокого уровня растворенного в воде кислорода и достаточного количества основных биогенных элементов. Очистка глубоких слоев почвы стала возможной за счет активной десорбции нефти из толщи торфа в результате значительного повышения растворенного кислорода и избыточного увлажнения.

Участок 4С-2 в 1997 г. был обработан препаратом и удобрением, аэрация была менее интенсивна, чем на участке 4С-1, и заключалась в гидроразмыве донного грунта с помощью струи воды, подаваемой пожарной машиной «Хаски» и частичном аэрировании. Всплывающую нефть локализовывали, откачивали и вывозили с участка (фото 13а, б). В 2000 г. воду спустили в отводной канал через разрушенный фрагмент отсыпки, участок подвергли драгированию (фото 13в), обработали биопрепаратом «Универсал», минеральными удобрениями и засеяли многолетними травами. Современное состояние объекта удовлетворительное, в воде сохранившихся местами дренажных каналов отсутствуют нефть и радужные пленки (фото 13г), состав растительного покрова близок к таковому секции 4С-1, но степень общего проективного покрытия травами несколько ниже – 65-75 %. Высейные злаки на площади не закрепились (фото 13д).

Секция 4С-3 в отличие от двух первых была не затоплена водой (фото 14). Пропитка нефтью торфяного субстрата колебалась в зависимости от глубины залегания глеевого горизонта почвы от 30 до 70 см. В толщу глеевого горизонта нефть не попала. Техническую и биологическую рекультивацию проводили в течение одного сезона, и заключалась она в том, что с помощью помп проводили гидроразмыв загрязненной почвы, нефть последовательно откачивали, грунт драгировали. Затем участок был обработан минеральными удобрениями и засеян однолетними и многолетними травами. На секции 4С-3 в отличие от участков 4С-1 и 4С-2 глубина загрязнения оставалась значительной и после проведенных восстановительных работ достигала 40-70 см в 2004 г. Концентрация нефти в почве колебалась в разных точках участка от 6.5 до 150 мг/г. Уровень биологической активности почвы по численности нефтеокисляющей и



Фото 13. Локализация (1997 г.) нефти (а) и откачка вакуум-бочками нефтесодержащей жидкости (б), спуск воды (2000 г.), драгирование и высев трав (в).



Фото 13 (окончание). Состояние участка 4С-2 в 2004 г. (г). Фрагмент дренажного канала (д) через четыре года после рекультивации. Поверхностная нефть отсутствует, уровень растворенных в воде углеводородов – 0.06 мг/дм³.



гетеротрофной микрофлоры был на два-три порядка ниже, чем на участках 4С-1 и 4С-2.

Как показали результаты мониторинга секций участка 4С через четыре года после завершения рекультивационных работ, при восстановленном исходном гидрологическом режиме высеянные многолетние злаки закрепились только на сухих фрагментах отсыпки. На основной площади восстановленной территории искусственные посевы практически полностью заместились пушицево-осоковыми и сорно-пионерными растительными группировками, характерными и для фоновой территории. Технологии, примененные на данных секциях, группа международных экспертов признала приоритетными среди других методов восстановления заболоченных и затопленных участков в зоне аварии 1994 г. [128, 129]. На



Фото 14. Участок 4С-3 перед началом рекультивационных работ в 1999 г. (а). Через четыре года после их завершения (б) в дренажном канале (в) на воде нефть слоем до 1 см. Высачивание идет из-под песчаной отсыпки. Уровень растворенных в воде углеводов – 14.5 мг/дм³.

этом же участке выделяли участок 4С-4, как переходный фрагмент (фото 15) к участкам аварийных разливов 4В и 4Д. Работы по рекультивации здесь вели и в период 1996-1997 гг. (ООО «Сыня» – локализация и уборка поверхностной нефти), и в 2000 г. (ТОО СПАСФ «Природа» – доочистка участка и биорекультивация). Все работы по восстановлению секций и не выделенных фрагментов участка 4С были завершены в 2000 г. (рис. 9б).

Участки зоны разлива 4Д (рис. 9а). В период ликвидации последствий аварии здесь были расположены карьер песка, фрагменты 4Д-1, 4Д-2 и 4Д-3 и водозащитная дамба на площади 11.0 га (общая площадь участка около 62 га). Для предотвращения попадания аварийной нефти в р. Хатаяха, по периметру озера в зимний период 1995 г. была построена локализующая дамба протяженностью 1100 м с гидрозатворами. Нефте-содержащая жидкость передвигалась по ручьям в притеррасную часть р. Хатаяха скапливалась у гидрозатворов, где был организован ее сбор. На территории участка 4Д были проведены работы по устройству водорегулирующей сети, сбору поверхностной нефти, гидросмыву нефти и забору нефтесодержащей жидкости (фото 16). На свободных от воды фрагментах поверхностную нефть убирали методом драги-



Фото 15. Участок 4С-4 в сентябре 2000 г. после завершения комплекса работ по рекультивации – вода в дренажных каналах без радужных разводов (а), на очищенных почвах и на сухих фрагментах отвалов (б) происходит интенсивный рост высеванных однолетних трав (овес), что указывает на отсутствие фитотоксичного эффекта.

рования (ТОО СПАСФ «Природа»). На части территории провели фрезирование с последующим высевом многолетних трав и внесением минерального удобрения (фото 16г, д). На бывшем карьере песка выполнили лесовосстановительные работы. Рекультивация участков зоны 4В была в



основном завершена в 2000 г. (рис. 9б). К этому времени концентрация растворенных углеводородов в зоне размещения основного гидрозатвора (фото 16е) достигла значения 0.7-0.9 мг/дм³ (в 1996 г. уровень растворенных углеводородов на этом фрагменте участка достигал 25 мг/дм³). При этом в массе донных отложений в заиленном состоянии масса нефти была еще значительной и достигала 30-45 мг/г. Впоследствии,

Фото 16. Дамба и гидрозатвор на участке 4Д (а) в 1995 г.; локализация (1996 г.) поверхностной нефти на фрагменте озера участка с использованием аэролодок, в носовой части закреплен скребок для сгона нефти (б); смыв нефти с поверхности озера к зонам локализации и откачки на участке (в).



Фото 16 (окончание). Фрагменты рекультивированных участков (г) в 2000 г. и фрагмент участка через месяц после завершения рекультивационных работ (д), дамба и гидрозатвор на участке 4Д (е).

Глава 3. Восстановление земель на объектах аварийного разлива 1994 г.

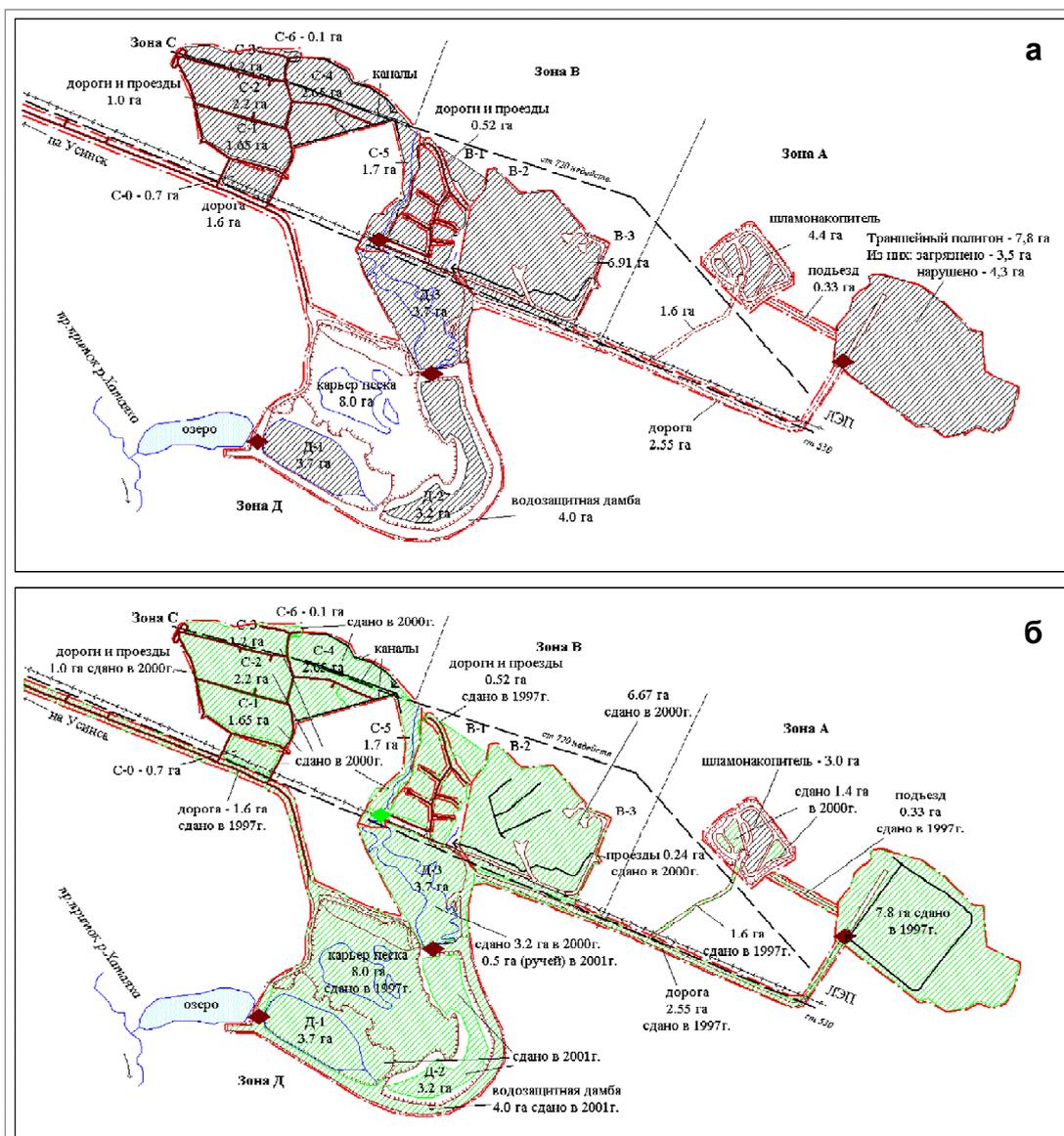


Рис. 9. Участок № 4 по состоянию на 1995 (а) и 2004 (б) гг.

проведенный в 2004 г. анализ проб воды и донного грунта показал, что содержание нефти в донном грунте достигло значений 10-15 мг/г, уровень растворенных углеводов составлял 0.09 мг/дм³. Так же, как и для большинства водотоков участка № 1 аварийного разлива, на участке 4Д оставшаяся в массе донного грунта нефть не оказывала заметного влияния на содержание углеводов в воде.

Участок № 5

Местоположение разлива – болото в районе оз. Сына-ты, водосборная площадь ручья, правого притока р. Хатаяха. Почвенно-климатические условия территории вызвали формирование на участке торфов с низкой зольностью и бедных элементами питания для растений. Максимальная мощность болотных отложений – 3.5 м. Верхние горизонты торфяной залежи состоят из сфагновых слаборазложившихся, сильноокислых, малозольных, сильнообводненных переходных торфов мощностью 50-70 см, ниже залегает хорошо разложившийся переходный торф. Торфоподстилающие породы – мощные (более 4 м) аллювиальные пески, местами перекрытые слоем суглинков мощностью от 80 до 100 см. Нижним водопором служат глинистые отложения.

Предварительно определенная в 1994 г. площадь нефтезагрязнения составила 29 га, в 1995 г. после уточнения площадь была определена в 76.55 га, из них загрязненных – 40.31, нарушенных – 36.24 га (рис. 12а). Слой нефти на поверхности болота достигал 30 см, в понижениях рельефа – до 50 см. Глубина пропитки почв сильно колебалась в зависимости от степени увлажненности – на переувлажненных фрагментах она не превышала 10-15 см, на сухих – достигала одного метра и более [52]. В сентябре 1995 г. при обследовании участка № 5 было установлено, что более 60 % площади покрыто нефтью. Среди объектов аварии 1994 г. данная территория была самой сложной для производства работ и представляла собой огромную залитую нефтью площадь болота (фото 17). Были построены локализующие дамбы из песка, разделившие участок на три зоны, каждая из которых подразделялась на секции. Сбор нефти и рекультивация земель на участке № 5 были начаты в 1995 г. и продолжались вплоть до 2005 г. (рис. 12б). Главный эффект очистки при проведении восстановительных работ на секциях участка № 5 достигался путем использования следующих технологических подходов: гидросмыв поверхностной нефти с участка в траншеи (фото 18), расположенные по периметру отсыпанных песчаными дамбами секций, ее откачка и вывоз, уборка нефти из верхних слоев почвы методом драгирования*. После уборки поверхностной нефти почву на секциях участка № 5 обрабатывали мине-

* Основным подрядчиком работ на этом участке выступало ТОО СПАСФ «Природа». Технология драгирования позволяет очищать грунты механическим способом в весенне-осенний период, не задевая зачатков растений в нижних слоях загрязненных нефтью участков. Очистка осуществляется за счет выдавливания нефтяной массы из верхних слоев тяжелыми катками, перемещающимися по участку с помощью трелевочных агрегатов. Глубина очистки почв – до 10-15 см. Наиболее эффективна технология на торфяных болотах с сохраненным гидрологическим режимом. Метод может рассматриваться как альтернатива бульдозерной уборки нефти на труднодоступных для тяжелых механизмов территориях.



Фото 17. Фрагмент загрязненного нефтью болота в районе участка № 5.

ка почвы от нефти техническими и биологическими методами и последующее самовосстановление территории (самозарастание естественной растительностью). Как показали результаты обследования рекультивированных в период 1995-1998 гг. секций участка № 5 [129], через три-пять лет они практически заросли пушицево-осоковой растительностью, характерной для фоновой территории. Высеянные злаки закрепились местами только на песчаной отсыпке. На участке № 5 в 2000, 2001 и 2002 гг. было восстановлено соответственно 1.24, 18.21 и 12.12 га земель.

Секции 5 и 8 участка № 5 (зона II разлива на данном участке), где в 1995 г. производилось сжигание нефти, оставались сильно загрязненными на протяжении всего периода консервации, без каких либо признаков самовосстановления. Физическому самоочищению почвы препятствовала корка полуокисленной в результате выжигания нефти, сквозь которую невозможно было ни испарение, ни вымывание части углеводородных соединений из почвы. По степени биологической активности субстраты с



Фото 18. Смыв нефти с поверхности локализованного заболоченного участка в траншеи.

этого участка можно было характеризовать как стерильные, т.е. с нулевой нефтеокисляющей и микробной активностью. Пропитка почвы нефтью достигала 10-15 см, микропонижения были заполнены густой нефтью слоем до 30 см.

В отчете АЕК/Хартек [126] кратко описаны основные участки выжигания. Было отмечено, что самое значительное воздействие имело место на участках № 3 и 5 (секция 8). На участке № 5 продолжавшийся в течение 20 ч. огонь «создал фактически такой тепловой эффект, что нефть вытеснилась глубоко в торфяную толщу». Остатки выжигания на верхней части торфяной подушки представляли собой чрезвычайно вязкий и маслянистый материал, который не позволял продолжать мероприятия по очистке. На поверхности почвы по всей площади участка № 3 фиксировали чрезвычайно вязкий маслянистый остаток, смешанный с несожженной нефтью.

В целом данные о горельниках свидетельствовали как о снижении концентрации нефти на поверхности, так и об увеличении глубины подповерхностной нефти. При исходной глубине загрязнения почвы до 10-40 см после горения слой эмульсии (смесь «горячей нефти и воды») проник еще на 15 см глубже, в прикорневую зону болотной растительности.

В отчете отмечено, что в то время как происходило выжигание, наблюдалось кипение поверхностных вод со значительным вспениванием. Это происходило в соответствии с механизмами выжигания, описанными для нефти на воде. На некоторых территориях выжигания наблюдали определенное фазовое разделение. Первая фаза (самая большая) состояла из коричневой вязкой и эмульгированной нефти, которая находилась под тонким слоем золы и распространялась вглубь до слоя подповерхностных вод. Вторая фаза (приблизительно 10 % оставшейся несгоревшей нефти), которая находилась в виде тонкого слоя над подповерхностными водами, была черной, маловязкой, с низкой температурой вспышки и высокой воспламеняемостью и имела характеристики, подобные бензину.

По заданию АЕК/Хартек было проведено полевое исследование с использованием разведочных шурфов, отбора и анализа проб с участков выжигания. На основании его результатов был сделан вывод о «неудачности выжигания» как метода восстановления. Были подожжены разливы нефти, что привело к разделению нефти на отчетливо различающиеся слои. Один из них, образовавшийся после сжигания, представлял собой очень подвижную и легкую фракцию, которая затем воспламенилась и дала зольный остаток. Небольшое количество подвижной и легкой фракции было снято с поверхности воды во время горения. Вода, находившаяся под нефтью, закипела, часть ее превратилась в пар, что привело к интенсивному уничтожению всей микрофлоры. Другой образовавшийся слой представлял собой тяжелую вязкую массу, которая погрузилась на дно резервуара. После обезвоживания участков сжигания и снятия с участка всей плавучей нефти, участок покрылся частично высушенным осадком золopodobной и очень вязкой маслянистой массы, который проявил значительное сопротивление разрушению. Этот осадок нельзя повторно

привести в жидкое состояние и направить обратно в трубопровод. Негативные последствия выжигания участков нефтеразливов усугубляются также токсичными выбросами в атмосферу продуктов горения, мощным тепловыделением, опасностью вертикальной миграции нефти в глубокие почвенные слои.

Типичные выбросы при горении нефти состоят преимущественно из двуокиси и окиси углерода, частиц сажи, газовых примесей типа SO_x и NO_x . Другие выбросы, представляющие опасность, содержат диоксины и фураны как из нефти, так и из древесины и растительности, горящей на участках вместе с нефтью. Тепло, выделяющееся в результате выжигания, губительно воздействует на всю биоту, вызывает деэмульгирование нефтяных соединений и усиление вертикальной миграции нефти и ее компонентов в почвах. Участки выжигания могут представлять собой источник продолжающегося загрязнения.

Любое решение о сжигании должно основываться на оценке его потенциального влияния на окружающую среду и возможных альтернатив. Если выжигание препятствует дальнейшему распространению или растеканию пролитой нефти, снижает риск попадания в водоемы, а альтернативные методы очистки могут нанести больший ущерб на большей территории, то выжигание может стать предпочтительным способом. В этой связи его следует рассматривать только как аварийный процесс «сдерживания», а не восстановления. Оно может быть оправдано только тогда, когда продолжение разлива грозит большим риском окружающей среде. Ясно, что работы по выжиганию необходимо тщательно планировать, координировать и контролировать [130].

Участок № 6

В 1995 г. на участке № 6 были построены шламонакопитель для временного хранения нефтесодержащей жидкости и шлама и три гидрозатвора. В 1996 г. был сдан землепользователю гидрозатвор (верхний) – 0.6 га и очищена зона ручья общей площадью 10.4 га. В 1997 г. был передан для использования в лесном хозяйстве шламонакопитель, состоявший из двух котлованов. Общая площадь шламонакопителя составляла 0.5 га, загрязненных нефтью земель было 0.2 га, нарушенных без загрязнения – 0.3 га (рис. 13а). На рекультивируемой территории (песчаные почвы без древесно-кустарниковой растительности) были проведены следующие очистные мероприятия: нефтезагрязненные почвы вынимали из котлована экскаваторами, грузили в автосамосвалы и вывозили на растепплительный комплекс для переработки; земляные выемки, очищенные от нефти, были засыпаны грунтом из отвалов, вынутым при копке котлованов; проведена грубая строительная планировка поверхности; выполнены посев семян трав и посадка черенков ивы. При строительстве временного гидрозатвора (нижнего) было нарушено 2.0 га земель лесохозяйственного фонда. В период ликвидации последствий аварийного разлива нефть перед гидрозатвором с поверхности воды собиралась при помощи насосов. Позже (1997-1999 гг.) была проведена планировка откосов

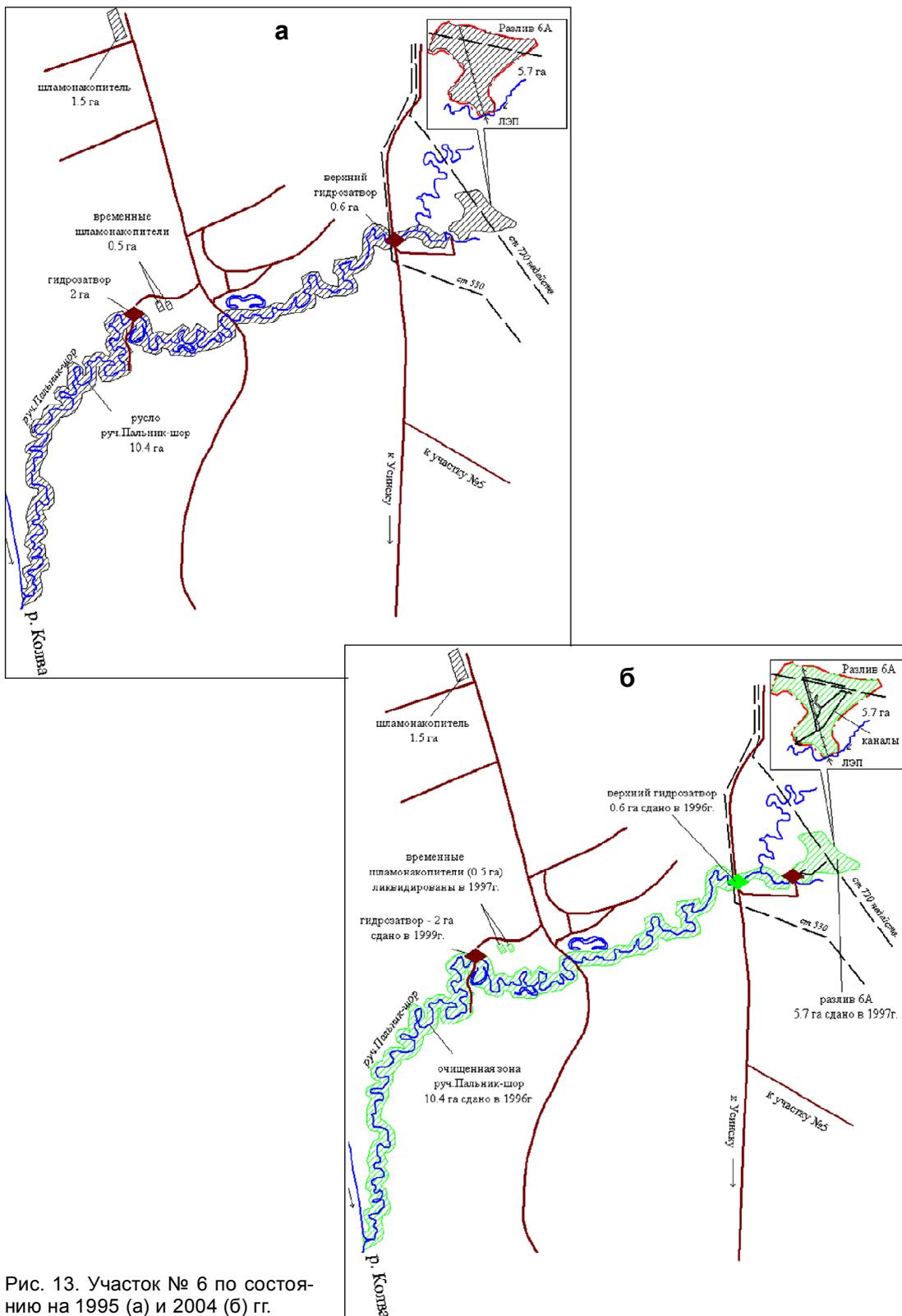


Рис. 13. Участок № 6 по состоянию на 1995 (а) и 2004 (б) гг.

дамбы, высеяны семена многолетних трав для создания дернового слоя. Дамба гидрозатвора была оставлена для осуществления проезда через ручей.

Разлив 6А произошел на ровной надпойменной террасе р. Колва с общим уклоном на юго-запад. Почвообразующими породами являются мощные (более 2 м) древнеаллювиальные пески. Грунтовые воды залегают на глубине до 40 см. До аварийного разлива нефти растительный покров состоял из комплекса лесотундровых редколесий и ерничково-кустарничковых зеленомошно-лишайниковых ассоциаций. Аварийная нефть попала в руч. Пальник-шор и дальше по ручью достигла р. Колва.

Рекультивационные работы проводили в период с 1995 до 1997 г., в том числе – устройство сети для отвода воды, механическое удаление нефти с частью нефтезагрязненной почвы, нанесение на загрязненную площадь торфа, посадку черенков ивы и посев семян многолетних трав в предварительно удобренную минеральными удобрениями почву. Для задержания нефти на ручье были построены нефтеловушки, плотины были отсыпаны из песка, но весной 1995 г. они были смыты. В 1995 г. в результате работы бульдозеров и экскаваторов верхний загрязненный слой смешался с нижним, незагрязненным. При этом часть верхнего слоя почвы была вывезена в шламонакопитель. Глубина загрязнения обнажившегося песчаного грунта колебалась от 15 до 40 см, содержание нефти достигало 40.7 мг/г. Растительность не восстанавливалась. Нефть также накапливалась в микропонижениях, при подъеме уровня грунтовых вод вытеснялась водой на поверхность. Нефть на поверхности находилась около аварийного нефтепровода на северо-западном (400 м²) и северо-восточном (600 м²) участках. Толщина слоя нефти на поверхности составляла от 1 до 10 см. Максимальное ее количество содержалось в антропогенно-измененном слое мощностью до 40 см, в нижележащих слоях до глубины 2.0 м ее содержание не превышало фоновых значений, что свидетельствует о низкой миграции нефти вниз при высоком уровне грунтовых вод.

В 1996 г. после дополнительной очистки земель от нефти, строительства каналов, планировки поверхности, внесения торфа и минеральных удобрений на части площади в экспериментальном порядке были посеяны многолетние травы и высажены черенки ивы (фото 19). Большая часть черенков ивы не прижилась из-за высокого содержания нефти в грунте.

В конце 1997 г. после проведения комплекса рекультивационных работ на площади 4.27 га содержание остаточной нефти было ниже допустимого уровня загрязнения – от 0.22 до 4.08 мг/г почвы, на площади 1.35 га – в пределах низкого уровня загрязнения от 1.53 до 1.77 мг/г (в основном торфяные почвы) и на площади 0.08 га осталось относительно высокое содержание нефти – 15 мг/г почвы.

К 1999 г. растительность на участке развивалась нормально, высота ивняка достигала 80 см, трав – до 40 см. В массе травостоя заметное площадное распространение получили пушица и кипрей. Встречались отдельные растения клевера розового. В 1997 г. восстановленные земли были переданы землепользователю (рис. 13б).

Фото 19. Фрагмент участка 6А. Биорекультивация выполнена по методике «Комимелиоводхозпроект». На песчаную почву нанесен слой торфа, внесены минеральные удобрения и известь, посеяны многолетние травы.



В целом, в результате аварии 1994 г. на нефтепроводе «Возей–Головные сооружения» в Усинском районе и в ходе ее ликвидации на 01.01.96 г. было нарушено и загрязнено примерно 270 га земель. За 1996-2002 гг. было восстановлено и возвращено землепользователю 256.35 га. В настоящее время в зоне аварии на участках, находящихся на учете, нарушенных и загрязненных земель практически не осталось.

Все мероприятия по ликвидации последствий аварии осуществлялись в условиях чрезвычайной экологической ситуации. С зоны аварии 1994 г. статус «Чрезвычайной ситуации» был снят в 2004 г. – спустя 10 лет после разлива.

Часть технологий, использованных при ликвидации аварии, были традиционными и широко применяемыми в мировой практике, но они в основном потребовали модификаций с учетом специфики природных условий в зоне аварии. Часть реализованных технологий были оригинальными и пионерными. К числу таких относятся системы защиты водных объектов (ГУП «Комимелиоводхозпроект», г. Сыктывкар), уборка поверхностной нефти на непроходимых заболоченных участках методом драгирования и сгонка нефти с поверхности воды к нефтесборным зонам аэролодками (ТОО «Природа», г. Усинск), очистка от нефти затопленных участков, их донных отложений и очистка воды от растворенных углеводородов (ЗАО ИЭЦ «ГенЭко», г. Усинск; Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар).

В этой работе мы подробно не обсуждаем вопрос о системах защиты водотоков, которые были разработаны и реализованы при ликвидации последствий аварии 1994 г. Эта тема достаточно отражена в работе «Опыт ликвидации...» [52] и в материалах четырех научно-практических конференций «Экологические работы на месторождениях нефти Тимано-Печорской провинции. Состояние и перспективы», прошедших в г. Сыктывкар

(2000 г.), г. Усинск (2002, 2006 гг.), г. Ухта (2004 г.). Но хочется еще раз отметить и подчеркнуть, что в Усинском районе была разработана уникальная трехуровневая система защиты водотоков, позволяющая снижать риск попадания и распространения нефти из зоны нефтяных разливов в открытые водотоки. На первом уровне – это локализация нефти в зоне разлива. На втором – снижение риска распространения нефти в ручьи и малые реки за счет гидрозатворов, на третьем – создание системы ограждений на крупных реках (сбор плавучих фракций с поверхности водотока с помощью судна-нефтесборщика и боновых заграждений). Эта система показала свою эффективность при ликвидации аварии 1994 г., подтвердила целесообразность длительного существования противоаварийных нефтеловушек на участках с высоким аварийным риском.

Метод очистки заболоченных территорий (драгирование) используется и в настоящее время при проведении рекультивации в РК, чем только подтверждается его эффективность. Благодаря этому методу были очищены самые сложные аварийные участки в зоне разлива № 5.

Способ очистки от нефти донных отложений и воды от растворенных углеводородов, реализованный на участке 4С, в настоящее время рекомендован для очистки ливневых вод на АЗС, промывных вод при переработке нефтешламов, в биотехнологических модификациях эффективен при очистке от органических загрязнений донных отложений различных очистных систем, котлованов и шламонакопителей. В 2004 г. аналогичный метод был успешно апробирован на оз. Щучье в Усинском районе при очистке его донных отложений от нефти (НТО «ПриборСервис», Томск).

Также хочется подчеркнуть, что метод выжигания практически не применяется в Коми в настоящее время, что можно характеризовать и как правильно сделанный вывод из уроков аварии. Того набора технологических приемов, которые были проверены многолетней практикой ликвидации разлива 1994 г., достаточно, чтобы выбрать более экологичные и эффективные методы.

Глава 4 ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОТ И ВОССТАНОВЛЕНИЕ ЗАГРЯЗНЕННЫХ НЕФТЬЮ ЗЕМЕЛЬ В ПЕРИОД С 2000 ПО 2005 г.

4.1. Организация работ

К 1997 г. средства чрезвычайных займов МБРР и ЕБРР, выделенные для проведения работ по ликвидации аварийного разлива 1994 г. были полностью израсходованы. Из 270 га загрязненных и нарушенных земель на участках аварии 1994 г. было рекультивировано 163 га, осталось 106,5 га. Во временных котлованах на участках аварии размещалось более 100 тыс. м³ нефтесодержащих отходов, образовавшихся в процессе сбора нефти с мест разливов и срезки пропитанного грунта [36]. За это время была в основном обеспечена защита бассейнов рек от прямого и вторичного загрязнения нефтью и продуктами ее распада благодаря строительству гидротехнических сооружений (дамб, гидрозатворов).

В 1999 г. ОАО «ЛУКОЙЛ» приобрело активы ОАО «КомиТЭК» и ОАО «Коминепть». Начинается новый виток работ по восстановлению загрязненных нефтью территорий Усинского района республики. Руководство компании, по согласованию с администрацией Республики Коми, поставило задачу: решить весь комплекс проблем, связанных с загрязнением территорий Тимано-Печорской провинции, включая и зону аварии 1994 г. в Усинском районе. В соответствии с требованиями международного стандарта ISO 14001 к системам управления охраной окружающей среды был организован экологический аудит территорий. В результате обследования было выделено еще 350 контуров нефтезагрязненных земель на площади 745 га и более 200 тыс. тонн нефтесодержащих отходов, размещенных во временных котлованах. Кроме этого, было установлено, что несвоевременная локализация аварийных разливов привела к загрязнению сопредельных территорий, на загрязненных участках произошла полная или частичная деградация почвенно-растительного покрова. Часть нефти мигрировала в водотоки. Последствиями дорожного строительства в зонах межпромысловых трубопроводов стало заболачивание, наблюдалось скопление вод под трассами линейных сооружений и образование промоин и оврагов. Отмечено было также и загрязнение почв и водотоков высокоминерализованными пластовыми водами.

Для всех предприятий и участков нефтедобычи были составлены заключения о загрязнении земель с краткой характеристикой зоны добычи нефти, расчетами количества нефти на разливах, на поверхности водотоков, почвы, в том числе и впитавшейся в грунт нефти, картографиче-

скими и топографическими материалами. Полученные данные явились основой для разработки «Корпоративной программы работ ОАО «Коми-нефть» по экологической реабилитации загрязненных территорий и предотвращению аварийных разливов нефти на 2000-2005 гг.». Помимо мероприятий по рекультивации загрязненных и нарушенных земель программой предусматривался комплекс работ по переработке нефтешламов, организационно-технические и научно-исследовательские работы. Главной целью Корпоративной программы стала разработка и реализация мероприятий по очистке и восстановлению нефтезагрязненных земель, ручьев и рек, минимизация экологического ущерба от текущих аварийных разливов нефти, снятие статуса чрезвычайной ситуации с зоны аварии 1994 г.

При разработке программы были учтены результаты выполнения разработанного в 1996 г. «Чрезвычайного проекта по ликвидации нефтяного загрязнения и уменьшения его последствий в Усинском районе Республики Коми» и выполнявшейся с 1998 г. «Программы работ ОАО «Коми-нефть» на 1998-2000 гг. по очистке и рекультивации загрязненных и нарушенных земель на промыслах Усинского и Возейского месторождений» [124]. Помимо Корпоративной программы, мероприятия по обеспечению экологической безопасности при добыче и транспортировке нефти в Республике Коми выполнялись на основании «Программы экологической безопасности предприятий ОАО «ЛУКОЙЛ», осуществляющих деятельность в Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции на 2001-2005 гг.», а с 2004 г. – «Программы экологической безопасности организаций Группы «ЛУКОЙЛ» на 2004-2008 гг.» [125].

Начинаются масштабные работы по реабилитации нефтезагрязненных территорий в республике Коми: возобновляются рекультивационные работы в зоне аварийного разлива 1994 г., а также проводится восстановление участков старых и новых нефтеразливов на различных месторождениях Усинского района и НАО (Харьягинское месторождение).

В Усинский район приглашены и привлечены к выполнению работ организации, имеющие опыт по очистке нефтезагрязненных земель в других нефтедобывающих районах России и оснащенные необходимой спецтехникой: НТО «Приборсервис» (Томск), ООО «Могилевводстрой» (Белоруссия), ООО «РЦРНЗ» (Сыктывкар), ТОО АСФ «Сибирский спасательный центр» (Томск). По данным обследований, проведенных предприятием «Комимелиоводхозпроект», до начала восстановительных работ на участках аварийных разливов находилось около 83.2 тыс. тонн нефти, в том числе поверхностной – 58.3 и в массе почвы – 24.9 тыс. тонн. К концу 2003 г. после рекультивации земель количество нефти в почвах обследованных участков в среднем уменьшилось в 33 раза. Экологическая эффективность проведенных восстановительных работ на загрязненных землях за этот период может быть оценена различными методами, в частности, отношением начального содержания нефти к ее содержанию после проведения восстановительных работ (табл. 4). Сравнительную экологическую эффективность применяемых подрядчиками тех-

Глава 4. Организация работ и восстановление загрязненных нефтью земель в период с 2000 по 2005 г.

нологий по восстановлению загрязненных нефтепродуктами земель можно охарактеризовать относительными показателями и выразить уровнем снижения исходной суммарной массы нефти к остаточному содержанию ее в почве и процентной долей земель с допустимым и низким уровнем загрязнения (табл. 5).

Таблица 4

Характеристика загрязненных земель до и после проведения восстановительных работ в 2000-2003 гг.

Год	Восстановлено земель, га		Уровень загрязнения, мг/кг (масса нефти т/га)	
	всего	загрязненных (нарушенных)	исходный	остаточный
2000	127.70	115.04 (12.66)	– (–)	– (менее 3.0)
2001	141.02	119.16 (21.86)	34932.4 (293.2)	843.8 (6.2)
2002	106.06	103.61 (2.45)	19247.4 (185.7)	823.7 (8.0)
2003	145.39	145.39 (нет)	– (–)	859.5 (5.9)

Примечание: прочерк – не определяли.

Таблица 5

Экологическая эффективность технологических решений, применяемых подрядными организациями на загрязненных землях в 2000-2003 гг.

Наименование организации	Масса нефти до (после) рекультивации, т/га	Площадь, га
ООО «Сыня»	144.4 (4.0)	60.26
ООО НТО «Приборсервис»	294.1 (5.8)	72.01
ОАО «Могилевводстрой»	356.7 (6.1)	85.46
ООО РЦРНЗ	185.0 (7.9)	116.16
СПАСФ ТОО «Природа»	181.1 (8.1)	54.81
ООО «КомиЮст»	– (2.4)	4.30
Всего	225.9 (6.9)	392.47

Примечание: прочерк – массу нефти до рекультивации не определяли.

В период с 2000 по 2005 г. в ходе реализации Корпоративной программы было рекультивировано более 700 га нефтезагрязненных земель, в том числе 96 га в зоне аварии 1994 г., кроме этого переработано более 200 тыс. тонн нефтесодержащих отходов, из них 20 тыс. тонн, образованных на объектах аварии 1994 г. Задание (факт) по Корпоративной программе на период 2000-2005 гг. в Усинском районе было выполнено полностью:

2000 г.	2001 г.	2002 г.	2003 г.	2004 г.	2005 г.	2000-2005 гг.	%
127.07 (127.70)	127.28 (141.02)	98.09 (106.06)	152.44 (145.39)	122.63 (107.44)	75.0 (91.06)	745.65 (718.67)	96.38

По различным причинам Республиканская комиссия отклонила (не приняла) после проведения рекультивационных работ: в 2003 г. – 5.0, 2004 г. – 13.01 и 2005 г. – 10.08 га. В 2006 г. было сдано Республиканской комиссии 63.86 га, таким образом, отставание от задания Корпоративной Программы было ликвидировано.

Важным результатом реализации различных направлений Корпоративной программы стали разработка и реализация технологий принятия оперативных управленческих решения по локализации и ликвидации аварийных разливов нефти.

Предложенный вариант схемы построения системы принятия решений по предотвращению разливов нефти на магистральных трубопроводах, расположенных на олиготрофных болотных массивах (рис. 14), позволял предотвращать аварийные разливы нефти благодаря своевременному выявлению повреждений трубопроводов, оповещению и реагированию.

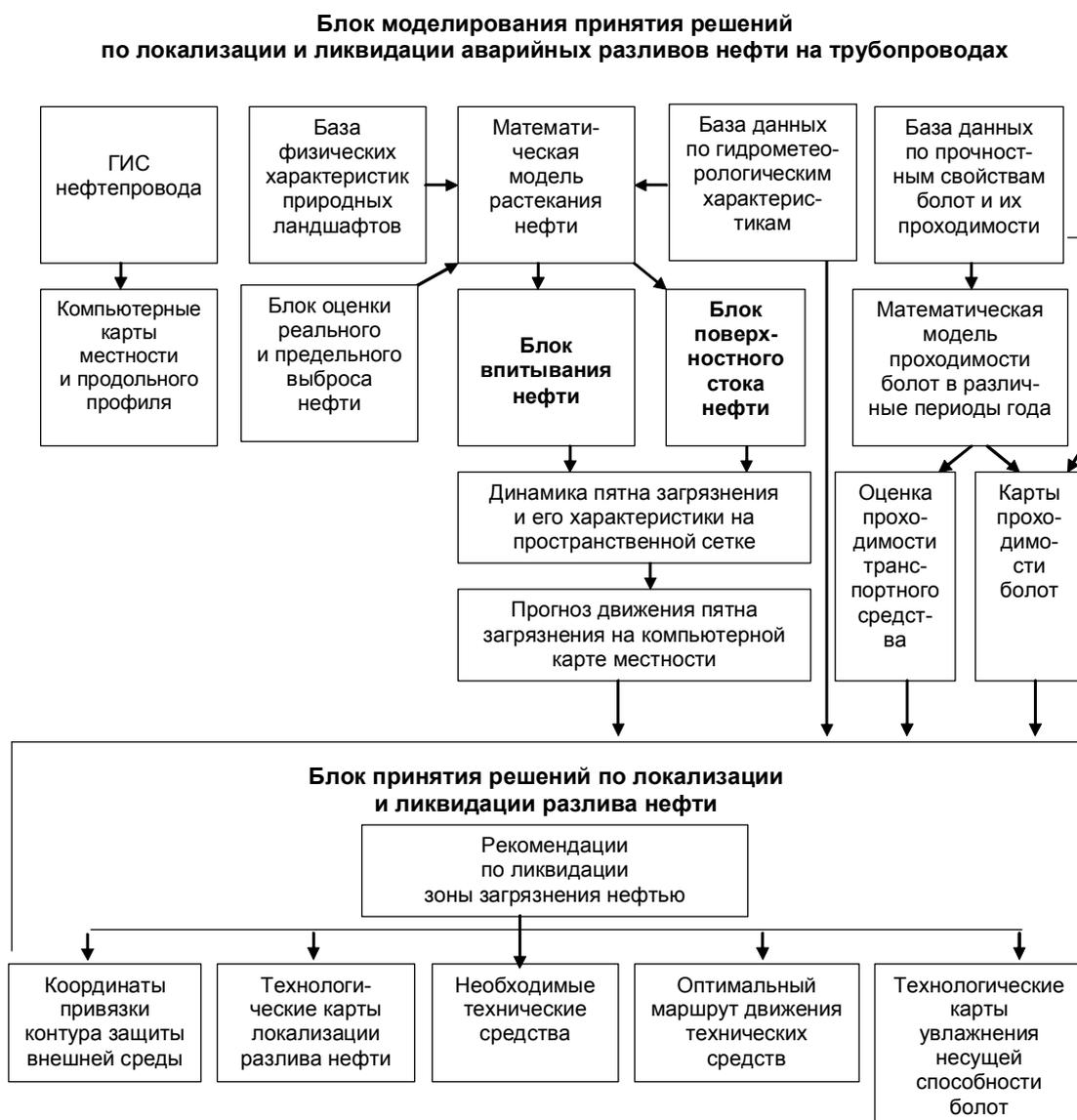


Рис. 14. Схема информационно-прогностической системы принятия решений по локализации и ликвидации разливов нефти на олиготрофных болотных массивах.

В ОАО «ЛУКОЙЛ» действует стандарт «Планы предупреждения и ликвидации аварий, чрезвычайных ситуаций» (приказ № 668 от 29 декабря 2000 г.) и «Положение о системе предупреждения и ликвидации аварийных разливов в ОАО «ЛУКОЙЛ» (приказ № 149 от 17 июля 2001 г.). Ими определяются единые требования к порядку разработки, построения, изложения и оформления документов, а также требования к расчету размеров нефтяного пятна, сил и средств для ликвидации разливов нефти (рис. 15).

По инициативе Комитета по делам ГО и ЧС РК в целях создания на территории республики системы защиты населения и окружающей природной среды от негативного влияния производственной деятельности предприятий нефтяной отрасли указом Главы Республики Коми (№ 455 от 31 декабря 1998 г.) была создана республиканская служба по ликвидации последствий разливов нефти и нефтепродуктов. В ее состав было включено СПАСФ «Природа». Специалисты этого формирования участвовали в разработке системы защиты бассейна р. Печора от нефтяных загрязнений, обусловленных аварийными разливами нефти в зонах водосбора притоков реки, которая включала в себя систему локализационных сооружений на ручьях, протекающих через территорию нефтяных промыслов, в местах возможного попадания нефти в результате аварии на нефтепроводе, а также комплекс специализированных судов и многорядных боновых заграждений различной модификации, установленных на р. Колва [50].

Для создания единой системы реагирования на аварийные разливы нефти была разработана программа, в которой предусматривалось:

- определение потенциально опасных участков для каждого предприятия на основании анализа риска нефтяного загрязнения;
- расчет площадей максимально возможного разлива нефти по водной поверхности и скорости распространения нефтяного пятна;
- развертывание постоянных или временных рубежей локализационных сооружений для защиты водотоков на всех потенциально опасных участках;
- заблаговременная доставка собственных или привлеченных сил и средств к месту аварии.

Создание такой системы позволило оперативно реагировать на возникающие чрезвычайные ситуации и не допускать распространения нефти по водной поверхности.

В республике были созданы формирования постоянной готовности к ликвидации последствий аварийных разливов нефти. Кроме СПАСФ «Природа», к силам постоянной готовности относятся профессиональное аварийно-спасательное формирование «Северо-Западная противоданная военизированная часть» и государственное учреждение Республики Коми «Управление фонтанной безопасности». Организационной работой при ликвидации аварийных разливов нефти и нефтепродуктов стали планы ЛАРН.

На территории республики в «Перечень» предприятий и организаций, обязанных разрабатывать планы ЛАРН, включено семьдесят четыре

Часть 1. Рекультивация загрязненных нефтью земель в Усинском районе Республики Коми

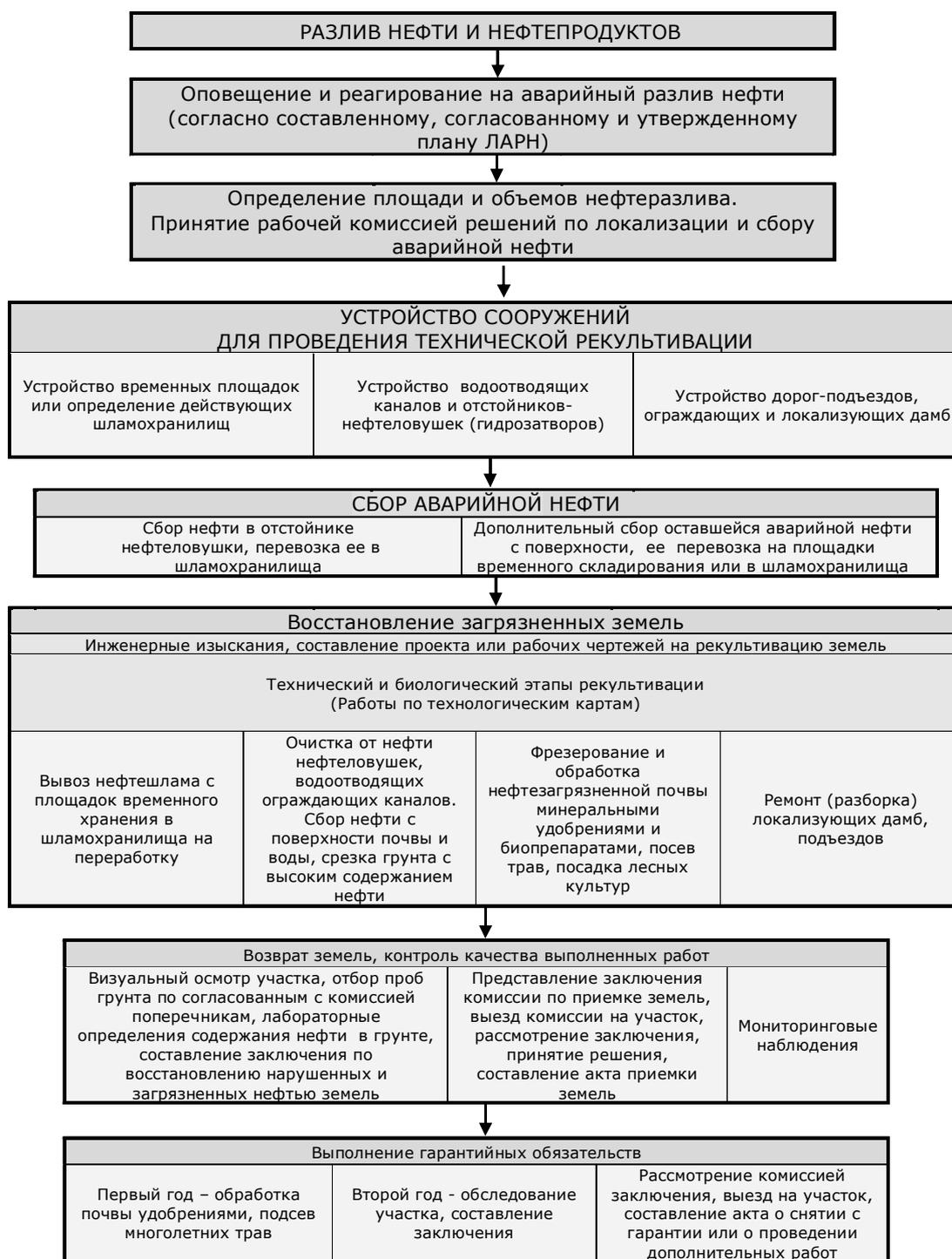


Рис. 15. Блок-схема основных мероприятий по ликвидации аварийных разливов нефти.

предприятия и организации, занимающихся разведкой месторождений, добычей, транспортировкой, переработкой и хранением нефти и нефтепродуктов. К настоящему времени в основном разработка планов ЛАРН завершена.

Перспективными направлениями деятельности в рамках единой системы предупреждения и ликвидации последствий аварийных разливов являются:

- продолжение и завершение детальной ревизии сети действующих нефтепроводов с применением технологий неразрушающего контроля для получения объективных оценок их безопасности относительно рисков аварийных разливов нефти;

- глубокий анализ обстоятельств аварий с разливами нефти и нефтепродуктов в природную среду. Цель этого мероприятия – четкая классификация опасности последствий таких аварий в отношении масштабного загрязнения среды, связанная с особенностями рельефа, почвенного покрова и гидрологической характеристики местности. Подобная классификация, по-видимому, представляет определенную важность, так как позволяет выявить наиболее опасные в отношении масштабов загрязнения при разливах нефти участки местности на трассах проектируемых нефтепроводов и предусмотреть необходимые защитные сооружения;

- развитие автоматизированных систем контроля состояния безопасности производственных циклов нефтепромыслов с передачей части информации в режиме реального времени для анализа и накопления в «Единой автоматизированной системе подготовки управленческих решений в области ЧС», которая развертывается на базе Комитета по делам ГО и ЧС РК;

- детальное изучение химической агрессивности компонентов нефтесодержащих жидкостей всех нефтяных месторождений, эксплуатируемых в Республике Коми, с тем, чтобы на основе этих данных откорректировать нормативные сроки службы элементов производственного цикла конкретных промысловых структур.

В «Программе экологической безопасности организаций группы «ЛУКОЙЛ» [125] в 2004-2008 гг. в зоне деятельности ООО «ЛУКОЙЛ-Коми» было запланировано проведение природоохранных работ на 7.9 млрд. руб., в том числе по рекультивации 428 га загрязненных нефтью и 2600 га нарушенных земель и переработке 206.5 тыс. тонн нефтяных шламов (табл. 6). Кроме этого, данная программа предусматривала проведение научно-исследовательских работ и мероприятий по инженерному обеспечению рекультивации земель [21]. Основные показатели приведены в паспорте программы экологической безопасности ОАО «ЛУКОЙЛ-Коми» на 2004-2008 гг. [21, 125].

Выбор мероприятий для включения в Корпоративную программу для достижения установленных целевых экологических показателей производили в соответствии с приказом о порядке ее разработки и реализации (№ 96 от 13.05.2003 г) с учетом:

- значимости проблемы, решение которой достигается реализацией предлагаемого мероприятия;

Часть 1. Рекультивация загрязненных нефтью земель в Усинском районе Республики Коми

Таблица 6

Программа экологической безопасности ООО «ЛУКОЙЛ-Коми» на 2004-2008 гг.

Наименование	Мероприятия, участники, документы
Дата принятия решения	Приказ «Об утверждении порядка и реализации программы экологической безопасности организаций Группы «ЛУКОЙЛ» на 2004-2008 гг.» № 96 от 13 мая 2003 г.
Заказчик программы	ОАО «ЛУКОЙЛ», Москва
Основные разработчики программы	Институт экономики природопользования, Москва ФГУП «Комимелиоводхозпроект», Сыктывкар
Цели и задачи программы, важнейшие целевые показатели	<p>Минимизация негативного воздействия производств на окружающую среду.</p> <p>Рациональное использование природных ресурсов.</p> <p>Снижение выбросов загрязняющих веществ до установленных нормативов, повышение уровня утилизации попутного нефтяного газа, их утилизация и очистка.</p> <p>Доведение содержания загрязняющих веществ в сточных водах, сбрасываемых в водные объекты и на рельеф, до установленных нормативов.</p> <p>Предотвращение загрязнения и мониторинг подземных вод.</p> <p>Переработка и утилизация промышленных отходов.</p> <p>Переработка нефтяных шламов, утилизация или использование очищенных от нефти грунтов.</p> <p>Ликвидация шламовых амбаров.</p> <p>Ликвидация загрязнений и восстановление естественного состояния нарушенных почв.</p> <p>Защита технологического оборудования, резервуарного парка и трубопроводов от коррозионного воздействия.</p> <p>Мероприятия, направленные на совершенствование готовности к ликвидации аварийных ситуаций.</p> <p>Разработка новых технологий очистки сбросов сточных вод, выбросов в атмосферу, рекультивация земель.</p> <p>Разработка, внедрение и функционирование системы экологического мониторинга.</p> <p>Экологическое обучение и повышение квалификации сотрудников природоохранных служб и персонала предприятия.</p>
Сроки и этапы реализации программы (подпрограмм) и выделяемое финансирование, тыс. руб.	2004-2008 гг. – 7 996 009 2004 г. – 1 203 536 2005 г. – 3 709 329 2006 г. – 1 585 950 2007 г. – 760 695 2008 г. – 736 499
Перечень подпрограмм и основных мероприятий	<ol style="list-style-type: none"> 1. Плановое обеспечение снижения выбросов загрязняющих веществ в атмосферу и его сохранение на уровне, установленном нормативами ПДВ. 2. Плановое обеспечение снижения сбросов неочищенных и недостаточно очищенных сточных вод до уровня, установленного нормативами ПДС. 3. Плановое уменьшение объемов образования и хранения производственных отходов до уровня, установленного нормативами ПНОЛРО и за счет повышения уровня утилизации. 4. Обеспечение выполнения «Корпоративной программы по экологической реабилитации загрязненных территорий и предотвращению аварийных разливов нефти на 2000-2005 гг.».

Наименование	Мероприятия, участники, документы
Исполнители подпрограмм и основных мероприятий	ООО «ЛУКОЙЛ-Коми».
Источники и объемы финансирования	Капитальные вложения – 7 996 009 тыс. руб.
Ожидаемые конечные результаты реализации программы	Обеспечение промышленной и экологической безопасности. Улучшение состояния окружающей природной среды в районах размещения ООО «ЛУКОЙЛ-Коми». Прогнозируемый годовой экологический эффект. Сокращение сверхнормативных платежей.
Система организации контроля над исполнением программы	ООО «ЛУКОЙЛ-Коми» организует выполнение ПЭБ, ежеквартально составляет отчет. Управление промышленной безопасности и экологии ОАО «ЛУКОЙЛ» контролирует выполнение природоохранных мероприятий ПЭБ.

– необходимости поддержки ОАО «ЛУКОЙЛ» для комплексного решения проблемы, так как за счет текущей природоохранной деятельности в приемлемые сроки ее решить невозможно;

– принципиальной новизны и высокой эффективности технических, организационных и иных мероприятий, необходимых для распространения прогрессивных научно-технических достижений для всех организаций ОАО «ЛУКОЙЛ» и повышения на этой основе эффективности производства;

– необходимости координации связей технологически сопряженных производств для решения данной проблемы.

Основным критерием принятия заявок к рассмотрению является соответствие проектов и мероприятий важнейшим экологическим аспектам деятельности, а также целям и обязательствам в области предотвращения загрязнения и улучшения окружающей среды, изложенным в корпоративном документе «Политика ОАО «Нефтяная компания «ЛУКОЙЛ» в области промышленной безопасности, охраны труда и окружающей среды в XXI веке». При разработке и формировании Корпоративной программы руководствовались следующими принципами:

– обеспечение единого научно-методического подхода к процессу оценки и отбора мероприятий;

– приоритетность мероприятий, направленных на решение важнейших экологических проблем;

– оптимальность решения экологических проблем;

– экологическая эффективность мероприятий;

– экономическая осуществимость мероприятий;

– технологическая обоснованность мероприятий;

– организационная обеспеченность мероприятий, в том числе полное ресурсное обеспечение мероприятий.

Разработка Программы экологической безопасности проводилась в несколько этапов. На первом этапе проведен анализ состояния экологи-

ческой безопасности организации ОАО «ЛУКОЙЛ» за период 2000-2003 гг. На втором – выполнена разработка программных мероприятий, определены экологические аспекты и основные целевые экологические показатели, сделаны эколого-экономическая оценка и отбор мероприятий/проектов, сформирован рабочий вариант Корпоративной программы. На третьем – проведена ее корректировка с учетом замечаний Заказчика, подготовлена окончательная редакция.

Реализация программ экологических работ ООО «ЛУКОЙЛ-Коми» (табл. 6) в Тимано-Печорской провинции была направлена на минимизирование воздействия добычи и транспорта нефти на окружающую среду, восстановление ранее нарушенных и загрязненных земель. Программные мероприятия позволяют комплексно подходить к рекультивации земель, определять последовательность проведения восстановительных работ, достигать максимального эффекта от затраченных средств.

Масштабные разливы нефти легче и дешевле предупредить, чем ликвидировать их последствия. При создании и внедрении комплекса технологий по ликвидации экологических последствий и предотвращения масштабных разливов нефти в Республике Коми, а также учитывая тот факт, что износ основных фондов (трубопроводов, дожимных и блочно-кустовых насосных станций и др.) к приходу ОАО «ЛУКОЙЛ» в Тимано-Печорскую нефтегазоносную провинцию составлял в среднем от 60 до 80 %, значительное внимание было уделено созданию технологий безопасной добычи и транспорта нефти.

Эти технологии могут быть сгруппированы по нескольким основным направлениям деятельности и решаемых при этом задач, в том числе:

- Работы по замене участков стареющих трубопроводов на новые с подбором сталей с учетом особенностей реальных условий их эксплуатации. ООО «ЛУКОЙЛ-Коми» выполнило широкий спектр исследований, направленных на повышение ресурса безотказной работы нефтепромыслового оборудования за счет разработки и внедрения новых технологий антикоррозионной защиты, применения при проектировании новых объектов и реконструкции действующих материалов в антикоррозионном исполнении и сталей с повышенной коррозионной стойкостью. Прежде чем применять определенный тип трубы в антикоррозионном исполнении, в течение трех лет проводились исследования и испытания труб с внутренним полиэтиленовым («Татнефть»), силикатно-эмалевым («Негас») покрытием, а также полимерармированных («Стройпласт» и «Уникорд») и стеклопластиковых («Пармапласт» и «Композитнефть»). После проведения полевых испытаний выяснилось, что наиболее эффективно применение труб «Татнефть» в системе поддержания пластового давления и стальных с маркой стали 15ХФ. Начиная с 2000 г., ООО «ЛУКОЙЛ-Коми» заменило более 925 км трубопроводов различного диаметра, в том числе в антикоррозионном исполнении – 500 км.

- Строительство и замена насосного оборудования и систем контроля технического состояния элементов и узлов продуктопроводов. В послед-

нее время широкое применение получили многофазные насосы, которые способны перекачивать жидкости с большим содержанием попутного газа, что в свою очередь позволяет исключить из технологической цепочки такие процессы, как отделение из добываемой жидкости и утилизация попутного газа непосредственно на дожимных насосных станциях. Данные установки высоко автоматизированы в плане надежности работы, все параметры работы насосной установки подвергаются контролю. Ежегодно проводится диагностика около 100 км трубопроводов, обследование всех дюкерных переходов через реки. Программой защиты системы нефтесбора Усинского и Возейского месторождений предусмотрена ингибиторная защита практически всех нефтесборных коллекторов. Ежегодно в систему нефтесбора и ППД закачивается от 2500 до 3000 тонн ингибитора коррозии марки «Кродакс» и «Олазол».

- Добавки бактерицидов в нефтеносные пласты, зараженные СВБ, для подавления последних и предотвращения редуцирования ими биогенного H_2S , а также для снижения локальных скоростей коррозионных процессов нефтепромыслового оборудования. Основная проблема при зараженности пластов СВБ – скоротечная локальная микробиологическая коррозия технологического оборудования и промысловых трубопроводов. Потери от биокоррозии оцениваются в ФРГ и США соответственно в 0.7 и до 6.0 млрд. долл. в год. Работы, направленные на решение этой проблемы, весьма актуальны. В связи с этим, одним из наиболее перспективных направлений борьбы с микробиологической коррозией является внедрение технологий периодических ударных бактерицидных обработок пластов. Подавление активной жизнедеятельности СВБ в нефтяных пластах позволяет значительно снизить затраты при добыче нефти за счет снижения общих коррозионных потерь, уменьшения уровня содержания биогенного сероводорода, улучшая при этом качество товарной нефти, общей экологической обстановки и других показателей. В связи с этим Институтом «ПечорНИПИнефть» (структурное подразделение, филиал ООО «ЛУ-КОЙЛ-Коми») совместно с Институтом микробиологии РАН и ВНИИ коррозии на протяжении последних лет (2002-2006 гг.) проведены лабораторные и промышленные исследования бактерицидов на объектах Усинского и Возейского месторождений.

Практика применения реагентов бактерицидов Олазол Т2П М и СНПХ-1003 для обработки пластов через БКНС – систему ППД показывает положительную динамику улучшения коррозионной ситуации на месторождениях, отмечается подавление СВБ, их активности, уменьшение концентраций сероводорода. Снижается коррозионная агрессивность сред и, как следствие этого, происходит падение локальных скоростей микробиологической коррозии, уменьшение количества порывов, отказов выкидных линий и интенсивности коррозионного разрушения погружного внутрискважинного оборудования. Технологическая эффективность бактерицидных обработок пластов составила для подавления СВБ – 99.5-100.0, снижения концентрации сероводорода – до 63, роста сульфатов – до 490 %.

• Разработка и ввод в действие систем предварительного сброса воды для обезвоживания транспортируемой нефти и повышения таким образом безаварийности работы. Повышение качества подготовки добываемой продукции напрямую связано со снижением агрессивности транспортируемой продукции прежде всего за счет снижения содержания воды на выходе дожимно-насосных станций (ДНС). Строительство установок предварительного сброса воды (УПСВ) на Харьягинском месторождении, ДНС-7, ДНС-3 и КСП-56 Возейского месторождения позволило увеличить объем перекачиваемой по системам сбора нефти, а также снизить коррозионную активность перекачиваемой жидкости, которая и является источником преждевременного износа трубопроводного транспорта и оборудования.

В 2003 г. введена в действие установка подготовки нефти на Усинском месторождении, которая предназначена для подготовки нефтей пермокарбоновой и девонских залежей Усинского нефтяного месторождения с последующей сдачей их в систему ОАО «АК «Транснефть». В соответствии с заключением государственной экологической экспертизы применяемое на установке переработки нефти (УПН) «Уса» оборудование обладает необходимыми системами надежности, блокировок и предохранительных устройств, что позволит производственному комплексу УПН работать в пределах экологически допустимых нагрузок.

• Создание современной автоматизированной информационной системы диагностики, контроля и предупреждения возникновения аварийных ситуаций на промышленных площадках добычи и трубопроводах, проложенных на территории республики.

Одним из наиболее эффективных средств достижения высоких технико-экономических показателей промысловых трубопроводных систем является создание их компьютерных моделей, позволяющих прогнозировать режимы эксплуатации, исходя из предполагаемой динамики показателей разработки месторождения, накапливать информацию о каждом участке системы и выявлять аварийно-опасные участки, своевременно принимать технические решения для реконструкции трубопроводных сетей и обеспечивать постоянные воздействия на важнейшие эксплуатационные показатели. Одна из таких информационно-аналитических систем эксплуатации (OIS PIPE) промысловых трубопроводов активно внедряется ООО «ЛУКОЙЛ-Коми». Данная система позволяет решать следующие основные задачи:

- сбор, систематизация и хранение информации;
- анализ технического состояния трубопроводов;
- обоснование мероприятий по реконструкции и капитальному ремонту;
- учет и анализ аварийности: анализ качества и надежности при эксплуатации труб различных заводов-изготовителей и материалов, оценка качества сварных соединений и изоляционных покрытий, выбор заводов-поставщиков, строительно-монтажных организаций, анализ аварийности по произвольному набору критериев за выбранный промежуток времени;

– контроль технического состояния, ведение графиков ревизий, расчет отбраковочной толщины, категории трубопровода, нормативного срока эксплуатации, расчет максимальной скорости коррозии по данным толщинометрии и прогнозируемой наработки на отказ;

– расчет максимальной скорости коррозии в зависимости от условий эксплуатации и химического состава воды (РД 39-0147323-339-89Р). Выявление участков трубопроводной сети с повышенной коррозионной опасностью по трем методикам.

Другими словами, информационно-аналитическая система OIS PIPE позволяет на основе современных методик и вычислительных комплексов просчитать места возможных аварий на трубопроводах и уже на основании этой информации, планировать мероприятия по предотвращению возможных аварийных разливов.

• Осуществление мероприятий, исключающих отрицательное влияние «человеческого фактора», в том числе организации системы профессиональной переподготовки специалистов и руководителей нефтяных компаний по управлению рисками и безопасностью.

Обучение, переквалификация и повышение квалификации работников – немаловажное направление в кадровой политике ООО «ЛУКОЙЛ-Коми». Но до 2002 г. это требовало больших затрат, так как учебный процесс приходилось организовывать за пределами г. Усинск. В апреле 2002 г. состоялось торжественное открытие усинского учебно-курсового комбината как структурного подразделения ООО «ЛУКОЙЛ-Коми». Комбинат стал базой для обучения и повышения квалификации по многим специальностям нефтяной отрасли. Свыше 1.5 тыс. человек в год являются его слушателями и студентами. Кроме того, более 500 человек проходят курсы повышения квалификации и обучение смежным профессиям в других учебных центрах Республики. В период с 24.10.2001 г. по 31.03.2002 г. на базе Сыктывкарского государственного университета окончили курсы профессиональной переподготовки по специальности «экология» 15 инженерно-технических работников ООО «ЛУКОЙЛ-Коми». В целях перспективной подготовки кадров нефтяников и повышения эффективности подготовки молодых руководителей организована работа с молодыми специалистами. Основой всех проектов, связанной с подготовкой кадрового резерва, является «Положение о молодом специалисте». В течение года молодые специалисты из многих вузов России проходят стажировку на разных ступенях служебной лестницы – от рабочих специальностей до инженерных должностей.

Значительное количество аварийных порывов коммуникаций на всех промыслах Тимано-Печорской провинции в системах добычи, сбора, подготовки и транспорта нефти, газа и воды происходит в результате длительной эксплуатации месторождений, агрессивности транспортируемой среды, роста обводненности продукции скважин, отсутствия труб с антикоррозийным покрытием. Наибольшее число порывов отмечается на таких типах трубопроводов, как нефтесборные коллекторы, выкидные линии, водоводы пластовых вод. Особенностью действующей системы неф-

тесбора и поддержания пластового давления на разрабатываемых месторождениях является активный рост количества сероводорода в продукции скважин – в составе попутных нефтяных газов и пластовой воде. Начиная с конца 80-х годов, количество сероводорода растет и в настоящее время составляет в попутных газах – от 0.03 до 5.4 % об., пластовых водах от 6.8 до 74.8 мг/л.

Корпоративной программой предусмотрено создание автоматизированных систем раннего обнаружения и мониторинга аварийных разливов нефти на водных объектах ОАО «Коминепть» в Усинском районе республики. Соответствующие научно-технические предложения разработаны и внедряются на практике. Разработки основаны на наличии в нефти радионуклидов, а в пластовых водах, кроме радионуклидов, солевых ионов и растворенных или суспензированных углеводородов нефти, что позволяет применить многопараметрический метод регистрации факта аварийного разлива нефти и/или пластовых вод. При попадании в водную среду только нефти детектирование ведется по наличию углеводородов и радионуклидов. При аварийном сбросе пластовых вод основой их детектирования является регистрация превышения над фоном содержания минеральных солей и радионуклидов. Такой комплексный подход позволяет с большей степенью надежности идентифицировать именно аварийный разлив, в отличие от попадающих в воду нефтепродуктов по причине нерадивой хозяйственной деятельности. Применение принципов многопараметрического анализа и теории распознавания образов обеспечивает достаточно высокую точность идентификации контролируемого события при меньшей точности измерения каждого из его параметров. На практике это означает заметную экономию средств на проведение технического мониторинга. Система состоит из сети измерительных устройств, коммуникационной сети, сети контрольных терминалов (диспетчерских пунктов). Сеть измерительных устройств включает в себя необходимое оборудование для:

- контактного обнаружения в воде и измерения содержания в ней нефтегенных углеводородов и их химических производных (например, флуориметры или другие оптические приборы, детекторы с изменением электрофизических свойств контактного элемента при контакте с углеводородами нефти и т.д.);
- контактной регистрации попадания в контролируемые природные воды минерализованных пластовых вод путем измерения электропроводности воды в контролируемом водном объекте (кондуктометры);
- контактной регистрации изменения естественной радиоактивности вод при попадании радионуклидов из нефти и пластовых вод в контролируемые природные воды (радиометры α -, β - и γ -спектрометры);
- дистанционного обнаружения в воде и измерения содержания в ней нефтегенных углеводородов и их химических производных (на основе лазерного анализатора нефтяного загрязнения).

Коммуникационная сеть передает данные от измерительных устройств к контрольным терминалам. Данная сеть может быть нескольких типов, а именно – на основе космической связи (через спутник), прямой или

релейной радиосвязи, независимой проводной связи, диспетчерской системы связи «по трубе». Контрольные терминалы включают в себя различные блоки, в том числе: управления режимом работы измерительных устройств; дистанционной проверки исправности измерительных устройств; приема данных от измерительных устройств через коммуникационную сеть и передачи данных от контрольных терминалов через коммуникационную сеть к регистрирующим устройствам; накопления и обработки информации. Блок накопления и обработки информации, в частности, обеспечивает формирование и статистическую обработку базы данных; прогноз изменения экологической обстановки на основе заранее созданных моделей переноса нефтяных загрязнений и моделей их физико-химической и химической модификации в разливе; получение информации, необходимой для поддержки управленческих решений по оптимизации экологической ситуации. Сеть контрольных терминалов включает в себя помимо центрального контрольного терминала дополнительные контрольные терминалы, которые передают уже обработанную информацию лицам, принимающим решения.

Окончательный состав измерительной аппаратуры уточняется на основании анализа конкретной ситуации, в условиях которой предполагается использование системы раннего обнаружения. Так, детекторный блок может быть размещен на берегу, на дне, в толще и на поверхности воды контролируемого водного объекта. Для подводных трубопроводов предусматривается размещение измерительных устройств непосредственно на трубе или в других местах, например, ниже трубы по течению водотока. Конструктивное оформление детекторных блоков обеспечивает им физическую защищенность, широкий температурный диапазон работы, высокую энергетическую автономность, способность к самоконтролю или дистанционному управлению через коммуникационную сеть от контрольного терминала. Система обладает возможностью наращивания ее элементов и увеличения общей плотности регистрирующих устройств на контролируемой территории, оснащения детекторами всех возможных направлений стока нефти в случае аварии.

Контрольный терминал содержит автоматизированное рабочее место диспетчера на базе ПЭВМ и аппаратуру сопряжения с каналами связи. Программное обеспечение поддерживает базы данных контролируемых параметров, интерфейс с оператором (систему графического представления информации) и необходимую степень защиты информации от несанкционированного доступа. Информационно-математическое обеспечение Системы основано на применении создаваемой разработчиками базы данных по аварийным разливам нефти, включающей в себя справочный блок и блоки геоинформационных технологий, математических моделей, экспертной поддержки. К пополнению базы данных привлекаются различные зарубежные и международные организации, заинтересованные в оптимизации управления процессами ликвидации экологических последствий аварии, включая компании, накопившие значительный опыт ликвидации последствий аварийных нефтяных разливов.

Система в целом и ее сети создаются на базе существующих технических средств, их модификаций и новых наукоемких информационных технологий как блочная (модульная) конструкция. Обладая адаптивными свойствами, Система проектируется и комплектуется применительно к особенностям конкретных территорий и условий возможного возникновения аварийной ситуации, в каждом случае используя новое сочетание типовых блоков, оптимальное для данной ситуации водных объектов, и сдается заказчику «под ключ».

4.2. Разработка нормативной базы рекультивационных работ в Республике Коми

Загрязнение почв, грунтов и водных объектов углеводородами происходит фактически повсеместно. Для каждого района имеется свой региональный геохимический фон содержания углеводородов в почвах, попавших в нее из атмосферы или с дождевым и талым стоком. Этот фон изменяется в широких пределах – от 0.01 (в минеральных почвах) до 2.5 мг/г в.с.п. или в.с.в. Загрязнение почвы неизбежно сказывается на состоянии всей экосистемы в целом, состоянии здоровья людей и последующих поколений. Почвы считаются загрязненными нефтью и нефтепродуктами, если их концентрация достигает уровня, когда:

- происходит угнетение или деградация растительного покрова;
- нарушается экологическое равновесие в почвенном биоценозе: происходит вытеснение одним-двумя бурно произрастающими видами растительности остальных видов, ингибируется деятельность микроорганизмов, исчезают виды альгофлоры, мезофауны;
- изменяются водно-физические свойства и структура почв;
- возрастает заметно доля углерода нефтепродуктов в некарбонатном (органическом) углероде почв;
- падает продуктивность сельскохозяйственных земель;
- происходит вымывание нефтепродуктов из почв в подземные и поверхностные воды.

Минимальный уровень содержания нефтепродуктов в почвах и грунтах, выше которого наступает ухудшение качества природной среды, можно назвать верхним безопасным пределом концентрации, или ПДК. В большинстве стран ПДК нефтепродуктов в почвах не установлена, так как она зависит от сочетания многих факторов: типа, состава и свойств почв и грунтов, климатических условий, состава нефти, типа растительности, землепользования и т.д. Эти нормы должны вырабатываться для определенного района и определенного типа почв.

Для нормирования загрязнения почв нефтепродуктами установления ПДК или верхнего безопасного предела концентрации недостаточно. Природные экосистемы обладают большим потенциалом к самоочищению, в них активно действуют физико-химические и микробиологические процессы разрушения углеводородов. Поэтому, если вовремя устранить источник загрязнения, то концентрация нефтепродуктов в почвах

будет снижаться, пока не достигнет безопасного уровня. Проводить в таких случаях специальные работы нецелесообразно с экологической точки зрения, так как при этом можно еще больше нарушить почвенную экосистему. Необходимо установить уровень концентрации нефтепродуктов в почвах и грунтах, выше которого почва не может сама справиться с загрязнением, ее потенциал самоочищения не работает. Этот уровень можно назвать пределом потенциала самоочищения (ППС). Почвы, содержащие нефтепродукты выше ППС, подлежат санации и рекультивации, так как без этих мероприятий они не выйдут из стадии деградации и будут оказывать устойчивое негативное влияние на окружающую среду.

В обзоре МакГиля [106] приводятся данные исследователей разных стран по установлению безопасных пределов содержания нефти и нефтепродуктов в почвах. Эти данные существенно различаются из-за климатических и почвенных особенностей мест, где проводились опыты. В среднем, верхним безопасным уровнем содержания нефти в почве автор считает 1 мг/г. Прекращение роста растений наблюдалось при внесении примерно 3.5 мг нефти/1 г почвы. В результате обобщения мирового опыта и данных экспериментов автор составил таблицу ориентировочных нормативов содержания нефтепродуктов в почвах, подлежащих рекультивации (табл. 7). В Нидерландах и Германии для оценки загрязнения почв химическими веществами, в том числе и минеральными маслами, приняты три уровня, в зависимости от которых необходимо проведение тех или иных мероприятий по охране природной среды (Wet Chemische Afvalstoffen – WCA). В качестве исходного уровня для оценки загрязненности почв принята система «фоновых уровней» («reference»). Они представляют собой региональный фон содержания токсичных элементов и веществ, характерный для территории страны, и численно представляют сигнальный уровень 1 (содержание нефтепродуктов 0.01 мг/г). Уровень 2 – это повышенное загрязнение (1 мг/г), которое требует наблюдения за динамикой

Таблица 7

Относительная степень повреждения почв, содержащих различные количества нефти [106]

Степень повреждения	Содержание нефти в минеральной (органической) части почвы, мг/г сухой почвы
Легкая – умеренная: некоторое уменьшение роста растительности, если не принимать никаких мер; временное повреждение	5-20 (40-150)
Умеренная – высокая: только некоторые растения нормально развиваются, при осторожном регулировании они остаются зелеными; можно восстановить почву в течение трех лет; без рекультивации восстановление займет в два-три раза больше времени	20-50 (150-750)
Высокая – очень высокая: нефть пропитывает почву на глубину 10 см, только очень немногие растения выживают, при правильной рекультивации почва может быть восстановлена в течение трех-пяти лет; без этого восстановление занимает 20 и более лет	больше 50 (больше 750)

загрязнения и устранения причины загрязнения и которое можно считать уровнем, выше которого почвы считаются «грязными». При сигнальном уровне 3 (содержание нефтепродуктов 5 мг/г) требуется очистка почв и грунтов. Таким образом, согласно WCA-классификации проведение мероприятий по очистке почв и грунтов от нефтепродуктов предусматривается при концентрации нефтепродуктов от 5 мг/г. В разных странах уровень загрязнения почв и грунтов, выше которого требуются интенсивные мероприятия по санации и рекультивации почв, находится в пределах от 5 до 10 мг/г. При загрязнении от 1 до 10 мг/г требуются мягкие мероприятия по усилению процессов самоочищения: устранение источника загрязнения, рыхление, увлажнение, аэрация и т.д. Считается, что в течение года содержание нефтепродуктов снизится до безопасного уровня. При уровне загрязнения выше 10 мг/г требуется выбор оптимального способа рекультивации и санации.

В России согласно «Инструкции по рекультивации земель, нарушенных и загрязненных при аварийном и капитальном ремонте магистральных нефтепроводов» (РД 39-00147105-006-97) выделяются две степени загрязнения:

- умеренная, при которой загрязнение может быть ликвидировано путем активации процессов самоочищения агротехническими приемами (внесением удобрений, поверхностной обработкой и глубоким рыхлением и т.д.);

- сильная, при которой загрязнение может быть ликвидировано путем проведения специальных мероприятий, способствующих созданию аэробных условий и активизации углеводородокисляющих процессов (табл. 8).

В «Регламенте на приемку земель, временно использованных при разведке, обустройстве и эксплуатации месторождений нефти и газа в Ханты-Мансийском автономном округе» приводятся следующие уровни допустимой концентрации нефтепродуктов после проведения восстановительных работ (табл. 9). Наряду с допустимой концентрацией нефтепродуктов при приемке земель учитывается проективное покрытие расти-

Таблица 8

Градации концентраций загрязнения почв нефтью согласно РД 39-00147105-006-97

Климатическая зона	Степень загрязнения	Содержание остаточной нефти в гумусовом горизонте почвы в первые недели после загрязнения, %	Степень отмирания растительности в следующем за загрязнением вегетационном периоде
Полярнотундровая, лесотундровая, северотаежная	Умеренная	<0.5-1.0	Неполное
	Сильная	>1.0	Полное
Среднетаежная, южнотаежная	Умеренная	<3.0	Неполное
	Сильная	>3.0	Полное
Лесостепная, степная, сухостепная	Умеренная	<6.0	Неполное
	Сильная	>6.0	Полное

тельностью восстановленного участка, которое должно быть не менее 40 % на участках с уклоном до 10° и не менее 60 % на более крутых склонах.

В 2000-2003 гг. в России были приняты постановления правительства и приказы министерств, направленных на организацию своевременного предупреждения и ликвидацию аварийных разливов нефти и нефтепродуктов, на оп-

ределение требований по рекультивации загрязненных земель. Минприроды России (приказ № 574 от 12 сентября 2002 г.) утвердило «Временные рекомендации по разработке и введению в действие нормативов допустимого остаточного содержания нефти и продуктов ее трансформации в почвах после проведения рекультивационных и иных восстановительных работ», в которых устанавливается, что проекты нормативов (далее – нормативы ДОСНП) утверждает орган исполнительной власти субъекта РФ после получения положительного заключения МПР РФ и проведения государственной экологической экспертизы.

Опыт проведения рекультивации в РК показал, что целесообразно проводить работы по очистке земель до такого уровня остаточного загрязнения, при котором в конкретных условиях процессы дальнейшего самоочищения смогут проходить без вмешательства человека, а сам рекультивированный объект не будет представлять собой угрозу как потенциальный источник вторичного углеводородного загрязнения. В этой связи был поставлен вопрос о разработке нормативной документации в форме требований, регламентов и иных директив, касающихся организации, проведения и приемки результатов работ по рекультивации и восстановлению нефтезагрязненных земель в условиях Севера. На прошедших в Сыктывкаре, Усинске, Перми и Ухте совещаниях и конференциях по вопросам ликвидации аварийных разливов нефти и рекультивации загрязненных земель были предложены различные подходы к оценке пригодности восстановленных земель для дальнейшего использования. Большинство ученых и специалистов-практиков пришли к выводу, что оценка остаточного содержания нефти и нефтепродуктов в грунтах при рекультивации земель должна определяться на региональном уровне с учетом природно-климатических условий, категорий дальнейшего использования земель, технических и других возможностей и т.д.

В республике при ликвидации аварийных разливов нефти на основе данных, полученных в ходе исследовательских и рекультивационных работ, была создана нормативная база для ликвидации аварийных разливов и рекультивации загрязненных нефтью земель. Для определения требований по рекультивации земель и поверхностных водных объектов были разработаны нормативные документы:

Таблица 9
Допустимая концентрация (%) нефтепродуктов в различных типах почв после проведения восстановительных работ

Почва	Допустимая концентрация нефтепродуктов в слое почвы, см	
	0-10	>10
Органогенная (торф, лесная подстилка)	8	5
Пески, супеси, суглинки	2	1
Органно-минеральная	4	2

- Временный регламент приемки нарушенных и загрязненных нефтью и сопутствующими пластовыми водами земель после проведения восстановительных работ для Усинского района Республики Коми (утвержден заместителем Главы Республики Коми, председателем Комиссии по чрезвычайным ситуациям 17 июля 1995 г.).

- Временный регламент приемки нарушенных и загрязненных нефтью и сопутствующими пластовыми водами земель после проведения восстановительных работ для Усинского района Республики Коми с изменением № 1 от 22.05.2000 г. (утвержден заместителем Главы Республики Коми 22 мая 2000 г.).

- Регламент по технологии восстановления загрязненных нефтью земель в Усинском районе Республики Коми с изменением № 1 от 30.04.2000 г.

- Регламент приемки нарушенных и загрязненных нефтью и нефтепродуктами поверхностных водных объектов после проведения восстановительных работ (утвержден заместителем Главы Республики Коми 07.08.2001 г.).

- Регламент приемки нарушенных и загрязненных нефтью и нефтепродуктами земель после проведения восстановительных работ» (утвержден заместителем Главы Республики Коми 07.08.2001 г.).

- РД 52.18.647-2003. «Методические указания. Определение массовой доли нефтепродуктов в почвах. Методика выполнения измерений гравиметрическим методом» [61].

- Требования к технологиям рекультивации загрязненных нефтью земель в условиях Севера [135] (утверждены в декабре 2003 г.).

«Регламент приемки нарушенных и загрязненных нефтью и нефтепродуктами земель после проведения восстановительных работ» предполагает дифференцированный подход к оценке состояния природной среды после проведения восстановительных работ с учетом дальнейшего использования земель. Регламент подготовлен с учетом изменений земельного, лесного и природоохранного законодательства Российской Федерации, обобщений научных исследований и производственного опыта в России и за рубежом, а также с учетом опыта рекультивационных работ в зоне аварии на нефтепроводе «Возей–Головные сооружения» в Усинском районе. Для Республики Коми в соответствии с «Регламентом приемки ...» утверждены значения ОДК (табл. 10).

Оценку состояния земель после выполнения восстановительных работ проводят с учетом их дальнейшего использования. При использовании восстановленных земель под пашни (сельскохозяйственное направление рекультивации земель) учитывают содержание остаточной нефти и тяжелых металлов. При использовании восстановленных земель под сенокосы и пастбища, леса (сельскохозяйственное и лесохозяйственное направления рекультивации земель) учитывают содержание нефти, проективное покрытие высеянными травами, при необходимости и степень приживаемости лесопосадок. При приемке участков торфяных болот (природоохранное направление рекультивации земель) учитывается содержание нефти и всхожесть семян высеваемых однолетних и многолетних трав.

Для земель, используемых в промышленных целях (строительное направление рекультивации земель) учитывают только остаточное содержание нефти.

«Регламент приемки ...» устанавливает природоохранные (экологические) требования к поверхностным водным объектам, порядок приемки нарушенных и загрязненных нефтью и нефтепродуктами поверхностных водных объектов после проведения восстановительных работ. В основу Регламента заложен принцип окончательной приемки нарушенных и загрязненных нефтью и нефтепродуктами поверхностных водных объектов после проведения восстановительных работ. Измеренный фактический остаточный уровень содержания нефти и нефтепродуктов в воде должен быть ниже значений ПДК загрязняющих веществ (табл. 11). Допускается приемка поверхностных водных объектов после проведения восстановительных работ с остаточным содержанием нефти и нефтепродуктов в воде на уровне фоновых для данного объекта значений или ниже ОДК, рассчитанной в проекте природоохранных работ. Расчет ОДК в донных отложениях и грунтах береговой части поверхностного водного объекта проводится на основании проекта природоохранных работ в соответствии с Регламентом.

В качестве основных критериев приемки поверхностных водных объектов согласно «Регламенту приемки ...» принимаются показатели содержания растворенных нефтепродуктов, полной биохимической потребности воды в кислороде (БПК при 20 °С), рН, хлоридов, взвешенных веществ.

В различных почвенно-климатических условиях, для различных типов нефтей и нефтепродуктов их концентрация в почвах, при которой поч-

Таблица 10
Расчетные ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) нефти и нефтепродуктов в почвах после проведения восстановительных работ

Направление использования земель	ОДК (слой 0-20 см)	
	I	II
Сельскохозяйственное пашня	1.0	5.0
Сельскохозяйственное и лесохозяйственное лес, сенокос, пастбище	10.0	30.0
Лесохозяйственное, природоохранное торфяное болото	–	50.0
Строительное промышленная площадка	30.0	80.0

Примечание: I – минеральная почва, мг абсолютно сухой пробы почвы; II – торфяник, мг/г сухого торфа.

Таблица 11
Предельные допустимые концентрации содержания загрязняющих веществ в воде

Определяемый показатель	Назначение водного объекта		
	I	II	III
Нефтепродукты, мг/дм ³	0.05	0.3	0.1
Биохимическое потребление кислорода	3	3	3
рН	6.5-8.5	6.5-8.5	6.0-9.0
Хлориды, мг/дм ³	300	350	350
Взвешенные вещества	0.75	0.25	0.25

Примечание: I – рыбохозяйственное назначение, II – хозяйственно-питьевое и культурно-бытовое водоснабжение, III – питьевая вода (поверхностные воды, централизованное водоснабжение).

вы можно считать загрязненными, различна и зависит от способности почв в данных условиях к самоочищению, а также от скорости распада нефтепродукта, его токсичности и целого ряда биотических и абиотических факторов. В связи с этим не может быть единого норматива для всех почв территории России. Критерием загрязненности почв нефтью и нефтепродуктами может быть реакция живых организмов (микроорганизмов, микро- и мезофауны, растительности). Реакцию биогеоценоза на загрязнение почв в различных природных зонах следует устанавливать опытным путем. При этом важно учитывать, что эта реакция зависит также и от первоначальной нагрузки загрязняющих веществ на почву и типа нефти. Те или иные технологические подходы будут определять направленность восстановительных сукцессий на посттехногенных объектах. Это отдельный раздел работы, которому будет посвящена следующая книга – «Критерии оценки состояния загрязненных нефтью почв на разных стадиях их восстановления».

4.3. Основные приемы рекультивации земель на территории Усинского района в период с 2000 по 2005 г.

В отличие от ситуации 1994 г., когда главной задачей было ликвидировать любой ценой угрозу попадания нефти в крупные водотоки и смягчить экологические последствия аварии, начиная с 2000 г. появилась возможность объективно оценить примененные технологии, выявить плюсы и минусы разных направлений рекультивации. На примере работ по восстановлению загрязненных земель в Усинском районе был проведен сравнительный анализ основных реализованных на практике приемов и технологий.

При участии НТО «Приборсервис» в Республике Коми впервые для проведения биовосстановления нефтезагрязненных земель была применена вездеходная техника с системой активного фрезерования почв (фото 20). Первые работы с использованием спецтехники НТО «Приборсервис» осуществил на участке № 32 в районе ЦДНГ-4 (фото 21а, б), общей площадью около 70 га. Загрязнение участка носило хронический характер, аварии на этом объекте повторялись регулярно на протяжении почти двух десятков лет. Характер загрязнения на участке отличался выраженной мозаичностью. Нижние по уклону участка фрагменты были загрязнены в меньшей степени, чем верхние. За время, прошедшее после загрязнения участка, качественно преобразованная остаточная нефть уже не ингибировала рост и развитие растений. К моменту начала работ часть участка заросла естественной болотной растительностью. Из-за высокой степени заболоченности участка масса нефти сконцентрировалась в верхнем горизонте почвы (до 10 см). Уровень загрязнения верхних слоев почвы на разных фрагментах участка колебался от 25 до 350 мг/г. В нижних горизонтах, в слое 10-20 и 20-40 см, концентрация нефти в почве была незначительной и составляла от 1 до 15 мг/г.

Фото 20. Рекультивация земель с применением болотохода Ишимбай с системой активного фрезерования почв.



Перед началом работ участок дренировали отводными каналами (фото 21в). Работы по рекультивации нижнего фрагмента участка площадью около 25 га заняли две недели. В процессе фрезерования происходило перемешивание почвы на глубину до 30-40 см, при этом фактически была выкошена и перемешана с почвой болотная растительность (своего рода добавление к технологии в качестве рекультивационного приема сидеральных удобрений). Разбавление загрязнения чистой землей в результате фрезерования произошло в три-четыре раза. Одновременно с фрезерованием в почву обрабатываемого участка вносили минеральные удобрения (азофоска, аммиачная селитра, суперфосфат) и биопрепарат «Петролан» на торфоносителе. Тогда же на обработанный субстрат высеяли травы (овес и смесь многолетних злаков).

По инициативе СПАСФ «Природа» в присутствии представителей заказчика (ОАО «Коминетфть») и проектировщика работ (ГУП «Комимелиоводхозпроект») был проведен комиссионный отбор проб подготовленного для работ препарата на торфоносителе и отбор проб почвы с участка (до и после обработки). Как показал анализ состояния почвы до и после работ, уровень микробиологической активности здесь почти не изменился (численность углеводородоксиляющих микроорганизмов в 1 г в.с.п. составила 10^{7-8} , гетеротрофных – до 10^9 клеток), т.е. участок еще до начала работ отличался высокими показателями биологической активности (вследствие давности разлива активизировались естественные процессы очищения). В препарате на торфоносителе количество нефтеоксиляющих микроорганизмов не превышало 10^5 клеток в 1 г в.с.п. (норма расхода на 1 га загрязненных земель – 100 кг сырого торфа с препаратом). Такой титр клеток нефтеоксиляющих микроорганизмов в препаратах крайне мал для активизации разложения нефти в почвах. Участок был принят как рекультивированный через месяц после начала работ. После фрезерования уже на второй-третий день наблюдалась интенсификация роста водорослей на поверхности воды и почвы. Многие факторы, такие как давность разлива, концентрирование нефти в верхнем горизонте, высокий уровень естественной активности и, как результат, частичная детоксика-



Фото 21. Фрагмент участка № 32 (ЦДНГ-4) через пять лет после завершения работ. На сырых фрагментах (а) участка развивается болотная растительность (осоки, пушицы, крестовник); на осушенной территории (б) произошло закрепление многолетних злаков. Проектное покрытие высеянными травами составляет здесь 100 %; дренажный канал (в) через пять лет после завершения работ.

ция нефти для почвенной биоты и растений, определили успешность первого опыта фрезерования земель в Коми.

Как уже говорилось (глава 2), основное преимущество использования метода фрезерования на участках нефтеразливов перед такими способами, как драгирование и смыв нефти, состоит в том, что удастся существенно разбавить загрязнение почвы за счет перемешивания верхних и нижних слоев, разбить застарелые нефтяные корки, обеспечить тем самым доступ кислорода, воды и питательных веществ в загрязненную почву. Это, в свою очередь, способствует ускорению процессов естественного очищения почв. Метод эффективен для восстановления заболоченных участков с убранный поверхностной нефтью и небольшой глубиной пропитки ею почв. Наилучшие результаты при этом достигаются на участках старых нефтеразливов.

На участках свежих нефтеразливов с высоким исходным содержанием углеводородов одного лишь фрезерования и внесения минеральных удобрений оказалось недостаточно. На том же участке № 32, в верхней его части, где загрязнение было «более молодым» (около восьми лет), а концентрация загрязнения почвы после частичной уборки нефти с поверхности составила 150-250 мг/г в слое 0-25 см, работы по этой же технологии (фрезерование и внесение в почву биопрепарата на торфонosite и минеральных удобрений) продолжались два года (фото 22а). При этом концентрация загрязнения в почве снизилась не более чем в три раза. В настоящее время участок частично зарос сорно-пионерной растительностью (фото 22б), многолетние злаки закрепились на относительно подсохших фрагментах.

Сходный результат при этой же технологии был получен на участке № 23 в районе ЦДНГ-2 (фото 23), где при исходно низком уровне естественной активности и высокой концентрации загрязнения почвы (от 80 до 300 мг/г) на участке старого нефтеразлива (около 15 лет), концентрации нефти в почве за три года после начала работ уменьшилась в 3.5 раза в среднем по участку, а увеличение численности гетеротрофной микрофлоры почвы не превысило и 10 раз. Численность микрофлоры основных трофических групп через три года после начала работ не превышала 10^{5-6} клеток на 1 г в.с.п. Потенциал самовосстановления участка остался крайне низким. На подобных объектах методы рекультивации должны быть более технологичными и комплексными. В частности, при исходно низком уровне биологической активности почв на фоне высокого уровня нефтяного загрязнения необходим и правильный расчет доз и видов вносимых минеральных удобрений, и использование биопрепаратов нефтеокисляющего действия.

РЦРНЗ и его субподрядчиком ТОО АСФ «Сибирский спасательный центр» для проведения вспашки на заболоченных территориях был использован другой вид вездеходной техники – болотоход шагающий на понтонном ходу с фрезой (фото 24).

На части вышеописанного участка № 32 (ЦДНГ-4) этими подрядными организациями проведены работы по комплексной схеме рекультива-

Часть 1. Рекультивация загрязненных нефтью земель в Усинском районе Республики Коми



Фото 22. Верхняя часть участка № 32 (ЦДНГ-4) в 2001 г. (а) – начало рекультивационных работ; 2006 г. (б) – развитие трав происходит только на части участка, высеянные злаки закрепились единично, в основном восстановление растительного покрова идет за счет сорно-пионерных группировок, а также естественных осоково-пушицевых сообществ. Общее проективное покрытие травами участка не превышает 50 %.



Фото 23. Участок № 23 в районе ЦДНГ-2 через три года после завершения рекультивационных работ.

ции – дренирование участка, откачка нефти из дренажных каналов, фрезерование, обработка биопрепаратом «Универсал» (Институт биологии, Сыктывкар) и внесение минеральных удобрений с последующим посевом многолетних трав. Исходно этот участок отличался высоким уровнем нефтяного загрязнения (до 350 г/кг), сильной заболоченностью, что определило и небольшую глубину залегания нефти (основные ее концентрации были сосредоточены в слое до 10-15 см). Несмотря на значительный возраст разлива (около 12-15 лет) уровень биологической активности почвы на этом объекте характеризовался низкими показателями (численность нефтеокисляющих организмов не более 10^5 , гетеротрофных – до 10^7 клеток/г в.с.п.). К концу второго года после производства работ и сдачи участка республиканской комиссии по приемке земель в воде дренажного канала концентрация растворенных углеводов снизилась от исходного значения почти в 100 раз: при исходном уровне растворенных углеводов до 15 мг/дм³, через два года после рекультивации в воде канала было не более 0.1 мг/дм³ растворенных углеводов. Нефть на поверхности воды канала и на самом участке отсутствовала, проективное покрытие высевными многолетними травами составило 100 % (фото 25), хотя остаточное содержание нефти в почве еще было довольно высоким – от 25 до 100 мг/г. За это время произошла существенная активизация микрофлоры почвы, численность которой увеличилась в 1000 раз. Современное состояние участка позволяет заключить, что самовосстановительный потенциал здесь уже достаточно высок для дальнейшего самоочищения без дополнительного вмешательства.

Участок № 37, район ЦДНГ-4 (фото 26а), был сложным для рекультивации не только из-за высокого уровня нефтяного загрязнения (около 450 мг/г в начале работ), но и из-за типа субстрата. Почвы участка преимущественно глееподзолистые. Комплекс работ включал в себя уборку

Фото 24. Болотоход шагающий с системой активного фрезерования почв. Главным отличием от Ишимбая является то, что болотоход может работать на топких участках без предварительной их осушки.



поверхностной нефти и последующее в течение двух летних сезонов фрезерование, обработку биопрепаратом «Универсал» и минеральным удобрением. Через два года после начала работ концентрация нефти в почве этого участка составила в среднем 25-40 мг/г, степень проективного покрытия высеянными многолетними травами достигла 100 % (фото 26б). При этом в воде канала вдоль участка еще в течение нескольких лет фиксировалась поверхностная нефть. Миграция ее шла не с поверхности участка, а из толщи субстрата по нижнему глинистому слою под уклон участка к дренажу.

Начиная с 2001 г., ООО «Могилевводстрой» на участках нефтеразливов в Усинском районе начал масштабные работы по подготовке труднодоступных для техники территорий к рекультивации – строительство



Фото 25. Фрагмент верхней части участка № 32 (ЦДНГ-4) после технической рекультивации, 2002 г. (а). В дренажном канале и на поверхности почвы свободная нефть. Уровень загрязнения почвы более 200 мг/г. Через два года после завершения работ, 2004 г. (б) проективное покрытие многолетними травами составляло 100 %. В воде дренажного канала уровень растворенных углеводородов – 0.08 мг/дм³.

дренажных каналов с последующим восстановлением земель. В качестве примера можно привести один из участков (фото 27), отличающийся высоким уровнем нефтяного загрязнения – участок № 26 (ЦДНГ-4). Подрядчик провел комплекс подготовительных работ, включая дренирование заболоченного участка, откачку НСЖ, периодическую откачку нефти из дренажной траншеи. Через год после завершения основных работ на объекте закрепилась высеянная растительность, уровень нефтяного загрязнения почвы в слое 0-20 см составил 35-70 мг/г, а дренажный канал еще некоторое время выполнял роль аккумулятора и места для сбора высачивающейся из массы торфа нефти. Производить откачку с локализованной площади, тем более из канала, заполненного водой, целесообразнее и с экологической, и с экономической точек зрения, чем «хранить» ее адсорбированной в почве. В настоящее время участок восстанавливается, дренажный канал освобожден от поверхностного нефтяного загрязнения.

На участке № 58 в районе ЦДНГ-4 (фото 28), который также характеризовался как труднопроходимый из-за сильной заболоченности, за-



Фото 26. ЦДНГ-4, участок № 37 перед началом работ (а), уровень загрязнения почвы – около 450 мг/г. Через три года после завершения работ (б). Подрядчик работ – ООО РЦРНЗ.

Грязнение почвы было значительным не столько из-за наличия поверхностной нефти, сколько из-за большой глубины пропитки нефтью. Здесь перед началом работ в зимний период были выкопаны дренажные каналы с учетом рельефа местности под уклон участка. В нижней его части нефть локализовывали и по мере накопления откачивали вакуум-бочками с последующим вывозом НСЖ в шламонакопитель. Уровень нефтяного загрязнения в почвенном слое 0-40 см перед началом биовосстановления колебался от 100 до 400 мг/г. Работы по рекультивации заняли два полевых сезона. В настоящее время участок находится в удовлетворительном состоянии, степень проективного покрытия травами составляет около 95 %. Характер развития травостоя отличается в зависимости от уровня увлажнения почвы. На сухих фрагментах развиваются высеянные многолетние злаки, на сырых – естественная осоковая растительность.

Характер последующего роста и развития растительности на рекультивированных участках во многом зависит от типа почвы и характера увлажнения. Так, на участке № 33 в районе ЦДНГ-4 после производства работ по очистке поверхности от нефти и последующей биорекультивации на всей площади при отсутствии заболоченности хорошо закрепились высеянные злаки (фото 29).

На объектах, где работы выполнялись без строительства отводных каналов, характер развития трав иной – на общем фоне снижения загрязнения за счет уборки поверхностной нефти и последующего фрезерования с применением биопрепаратов и минеральных удобрений, спустя два-три года несмотря на предварительный высев однолетних и многолетних травосмесей, развиваются только естественные травянистые сообщества. В качестве примера можно привести участки № 17 в районе ЦДНГ-5 (фото 30) и № 25 в районе ЦДНГ-3 (фото 31).

Тип почв, подвергающихся нефтяным загрязнениям, во многом определяет направления рекультивации и ее конечный результат. Наиболее сложными для очистки от остаточного нефтяного загрязнения и последующего восстановления растительности после аварийных разливов



Фото 27. Участок № 26 (ЦДНГ-4) через год после завершения рекультивации и сдачи участка. Почва на участке чистая, происходит рост высеянных злаков, дренажный канал используется для локализации и сбора избытка нефти. Подрядчик ООО «Могилевводстрой».



Фото 28. Участок № 58 после технической рекультивации – уборки нефти с поверхности почвы и воды и первичного фрезерования (а). Содержание нефти в почве до начала технической рекультивации 250-350 мг/г, после технической рекультивации и фрезерования – 150-200 мг/г; через год после завершения работ по рекультивации (б, в). Концентрация нефти в почве – 10-45 мг/г. Проектное покрытие высеянными злаками около 70 %.



Фото 29. Участок № 33 (ЦДНГ-4). Восстановление земель на участках с торфяно-подзолистыми почвами. Высеянные многолетние злаки хорошо закрепляются и могут образовать устойчиво развивающиеся искусственные посевы.



Фото 30. Участок № 17 (ЦДНГ-6) перед началом биорекультивации (а) и через год после ее завершения (б). При высокой степени заболоченности возобновление растительности происходит за счет естественных трав.

Глава 4. Организация работ и восстановление загрязненных нефтью земель в период с 2000 по 2005 г.

Фото 31. Участок № 25 (ЦДНГ-3). Рекультивация нарушения гидрологического режима. Спустя два года после завершения очистки почвы восстановилась естественная осоковая растительность. Проектное покрытие до 90 %.



Фото 32. Участок № 3, 113 км автотрассы Усинск–Харьяга (ЦДНГ-6) после проведения уборки поверхностной нефти вместе со слоем почвы и остатками растительности (а) и через год после нанесения торфа на глинистый слой, высева трав (б).



являются участки с глинистыми субстратами. Несмотря на небольшую глубину проникновения нефти на таких объектах, одной уборки ее оказывается недостаточно (участок № 3 в районе ЦДНГ-6). После того, как поверхностная нефть с участка была удалена и уровень загрязнения снизился до 15-25 мг/г, на этом участке крайне сложно было обеспечить начало развития высеваемых трав. Нормальное их развитие началось только после нанесения на поверхность минерального грунта тонкого (до 2-5 см) слоя торфа (фото 32). Дело здесь не только в том, что злакам трудно закрепиться на глиняном субстрате. Сам по себе тип почвенного субстрата определяет и характер более выраженного по сравнению с торфом токсического действия нефти на растения.

Ранее проведенные нами исследования показали, что оценка качества рекультивационных работ в значительной мере должна базироваться на нескольких параметрах, а не только на том, каков уровень остаточного нефтяного загрязнения и рост высеваемых трав рекультивантов.

Глава 5. ОПЫТНЫЕ РАБОТЫ И НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для специфических условий Крайнего Севера необходим комплексный подход в решении вопросов природовосстановления с учетом конкретных особенностей территории. Учитывая комплексность почв исследуемого района, особенности их расположения на ландшафте, уровень их техногенной нарушенности, можно определенно сказать, что универсального метода проведения рекультивации в данных условиях быть не может.

Объекты и методы исследований

Основными объектами исследований являлись загрязненные нефтью почвы Усинского, Возейского и Верхневозейского нефтяных месторождений Усинского района. Нефти исследуемого района характеризуются чрезвычайным разнообразием по своим качественным характеристикам. Значительную долю составляют высокосернистые (содержание серы свыше 2 % масс.) – 9.7 % из общего запаса нефтей, высокопарафинистые (содержание парафинов свыше 10 %) – 10.1 % от общего запаса и высоковязкие – 28.1 %. 17-20 % запасов нефтей являются аномальными по содержанию серы, парафинов и вязкости. Почвы района исследования характеризуются как кислые (рН 3.5-5.5). Основные типы почв района – болотно-подзолистые, глееподзолистые, тундрово-болотные и болотные торфяные. Болота занимают около 10 % территории района, но именно на них приходится основная площадь нефтеразливов.

Для проведения исследований факторов стимулирования и ингибирования процессов нефтеокисления, а так же при отработке приемов биоремедиации почв, были использованы различные виды рекультивантов (минеральные и органические удобрения, раскислители, биопрепараты нефтеокисляющего действия). В качестве минеральных удобрений использовали азофоску, нитроаммофоску, аммиачную и калийную селитру и суперфосфат. Нормы и вид удобрений в каждом конкретном случае отличались, поэтому приводим их далее по тексту описания опытов. В качестве органических удобрений в опытных работах были использованы:

1. Органно-минеральный компост, полученный путем биотехнологически переработанного с опилками и птичьим пометом гидролизного лигнина (*далее* – компост) [55].

2. Лигносорбент [57], изготавливаемый на основе высушенного до воздушно-сухого состояния и измельченного компоста с предварительной инокуляцией его нефтеокисляющими микроорганизмами (*далее* – сорбент). В приведенных опытах в качестве нефтеокисляющих микроорга-

низмов использована композиция углеводородокисляющих микроорганизмов, выделенных из загрязненных нефтью почв района исследования – МУС-1 [39].

3. Биологически-активный гранулированный удобрительно-посевной материал (БАГ), полученный на основе компоста [55], в который добавлены минеральные удобрения и семена многолетних трав. БАГ представляет собой гранулы толщиной 0.5-1.0 и длиной 2.0-3.0 см и предназначен для рекультивации посттехногенных и отдаленных территорий Крайнего Севера [54, 56].

4. Торф в некоторых опытах использовали в качестве органического структуратора для нефтезагрязненных почв.

Для опытов также применяли следующие биопрепараты нефтеокисляющего действия:

1. МУС-1 – биопрепарат, состоящий из пяти штаммов углеводородокисляющих психрофильных бактерий (*Flavobacterium barbe*, *Pseudomonas fluorescens*, *Rhodococcus equi*, *Agrobacterium radiobacter*, *Arhtrobacter* sp.). Штаммы выделены из загрязненных нефтью почв района исследований [39].

2. Препарат «Универсал» (Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар) состоит из нефтеокисляющих микроорганизмов *Variovorax paradoxus*, *Kurthia sibirica*, *Rhodotorula glutinis*, *Rhodococcus equi*, выделенных из нефтезагрязненных почв, обладающих способностью разлагать углеводороды нефти и предназначенных для активизации процессов очищения нефтезагрязненных субстратов при проведении работ по рекультивации нефтезагрязненных земель. Препарат выпускается в сухой форме (распылительная сушка биомассы) с титром 10^{10} клеток/г. Нормы внесения: в зависимости от степени загрязнения почв нефтью расход препарата составляет от 10 до 30 кг/га. Для получения максимального эффекта от его применения и с целью поддержания высокого титра нефтеокисляющих бактерий в почве препарат целесообразно вносить периодически, два-три раза в течение теплого периода года, но не реже, чем один раз в три-четыре недели. При внесении в почву препарата одновременно вносят комплексное минеральное удобрение (нитроаммофоска, диаммофосфат, аммиачная селитра и др.) исходя из расчета, что однократная доза вносимого удобрения должна соответствовать содержанию д.в. не менее чем: по азоту – 50-60 кг/га, фосфору – 45-50 кг/га, калию – 30-45 кг/га. Условия применения описаны в лабораторном опыте 6. Использован рабочий раствор препарата (сухая форма разведена в воде) с титром $5.7 \cdot 10^8$ клеток/мл. Обработки в течение опыта проведены дважды из расчета по 2 л/м² при каждой обработке. Биологический препарат «Универсал» допущен к производству, поставке, реализации, использованию на территории Российской Федерации (санитарно-эпидемиологическое заключение) [40].

3. «Деворойл» – биопрепарат нефтеокисляющего действия, представлен фирмой «Биотехинвест» для испытания его на загрязненных нефтью почвах Усинского района в 1994-1995 гг., в рамках Чрезвычайной

программы по ликвидации последствий аварии 1994 г. на Усинском нефтяном месторождении (препарат предоставлен М.Е. Поспеловым, представителем фирмы «Биотехинвест»).

В опытах 6-8 были испытаны следующие биопрепараты:

«Бамил» и «Омуг» (ООО НТЦ «Ника», С.-Петербург), состоящие из ассоциации нефтеокисляющих микроорганизмов-алканотрофов *Bacillus subtilis* шт. 182 и *Rhodococcus* sp. шт. 4/8, изолированной из техногенной почвы, в течение 35 лет подвергавшейся загрязнению дизельным топливом. Микроорганизмы обладают способностью разлагать углеводороды нефти. Препараты выпускаются в сухой форме. «Бамил-15» – ассоциация микроорганизмов-алканотрофов (*B. subtilis* и *Rhodococcus* sp.) нанесена на поверхность биорганического удобрения «Бамил». Титр микроорганизмов-нефтедеструкторов составляет 10^{12} клеток/г.

4. «Бамил» – гранулированное микробное удобрение для сельскохозяйственных культур. Получено на основе микробной ассоциации, выращенной на стоках свинокомплексов. В биоудобрение «Бамил» входят органические соединения, имеющие в своем составе азот общий (5 %), фосфор общий (1.8 %), общий углерод (40 %), калий (0.8 %) в легкодоступной для растений форме, а также устойчивые ассоциации микроорганизмов: *Bacillus pumilus*, *Bac. sphaericus*, *Micrococcus lulae*, *Arthrobacter viscosus*, *Bacillus*, *Bac. licheniformis*, способствующие повышению биологической активности почвы и улучшению ее структуры. По сорбционной активности «Бамил» близок к торфу.

5. «Омуг-15». Ассоциация микроорганизмов-алканотрофов (*Bacillus subtilis* и *Rhodococcus* sp.) нанесена на поверхность биоорганического удобрения «Омуг», которое представляет собой устойчивую ассоциацию микроорганизмов: *Clavibacter michiganense*, *Bacillus amyloolignefaciens*, *Micrococcus varians*, выращенную на подстилочном птичьем помете. Агрохимический состав: азот общий 3.6 %, фосфор общий 1.6 %, калий общий 1.0 %. Титр *Bacillus subtilis* шт. 1824 и *Rhodococcus* sp. шт 4/8 составляет 10^{12} клеток /г.

«Бамил» и «Омуг» служат в качестве носителей клеток микроорганизмов-алканотрофов и биоорганических присадок, содержащих биогенные элементы N, C, P, K в доступной для растений форме, кроме того, они обладают высокой сорбционной и структурообразующей способностью. «Бамил» и «Омуг» допущены к производству, поставке, реализации, использованию на территории Российской Федерации.

В лабораторном вегетационном опыте 6 использовали препарат «Бамил-15». В полевых опытах 7 и 8 были использованы препараты «Бамил-15», «Омуг-15». Нормы внесения: препараты «Бамил-15» и «Омуг-15» вносят в почву из расчета 100 г/м^2 (50 %-ная влажность) поверхностно с последующим перемешиванием на глубину 20 см. Перед внесением препаратов «Бамил-15» и «Омуг-15» почву необходимо известковать: поднять pH до значений, близких к нейтральным. Кроме того почву обогащают биогенными элементами из расчета N – 1 %, P – 0.5 % и K – 0.5 % по отношению к количеству загрязняющей нефти. Периодичность внесе-

ния – один раз в теплый период, после 10-20 дней экспозиции препарата в почве высевают семена растений. При дозах загрязнения нефтью 6-10 % для получения максимального эффекта необходимо два раза обрабатывать загрязненные почвы препаратом «Бамил-15» или «Омуг-15» в начале каждого вегетационного сезона.

6. Препарат «Петролан» (НТО «Приборсервис», г. Томск). Состав препарата – коммерческая тайна предприятия. Для опытов был представлен жидкий препарат (водная суспензия клеток нефтеокисляющих микроорганизмов), рекомендованный к внесению в количестве 50 мл на 1 кг нефтезагрязненного грунта. Исходя из расчета по количеству нефтезагрязненного грунта, на каждом из вариантов опыта в опытные сосуды с нефтезагрязненным песком, масса которого составляла 10 кг, внесли по 500 мл раствора на площадь 490 см², а в торфяные субстраты, масса которых составила на 1 опытный сосуд 4.5 кг, внесли по 225 мл рабочего раствора на площадь 490 см². При производстве работ в промышленных условиях препарат применяют на торфоносителе, заранее подготавливая живую активную биомассу нефтеокисляющих бактерий на нефтезагрязненном (с дозой не более 0.5 % нефти) торфе, который инокулируют жидкой формой препарата из расчета, представленного выше. Анализ исходного материала (препарата) показал, что в рабочем растворе титр составляет $1.6 \cdot 10^8$ клеток/мл.

7. Препарат «Родер» (химический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова) состоит из двух высокоактивных штаммов-деструкторов нефти из рода *Rhodococcus* (*Rhodococcus ruber* Ac-1513 D и *Rhodococcus erythropolis* Ac-1514 D), выделенных из природных источников и не патогенных для людей, животных и растений. Биопрепарат «Родер» выпускается в виде стабилизированной концентрированной суспензии жизнеспособных и активных клеток бактерий (титр – 10^{11-12} клеток/мл) готовых к применению без предварительного оживления или активизации. Он сохраняет свою активность длительное время. «Родер» характеризуется широким диапазоном резистентности к температуре (от 8 до 37 °С) и имеет температурный оптимум 15-20 °С, поэтому может эффективно применяться в различных климатических условиях.

Биопрепарат действует при уровне загрязнения субстрата до 20 %, но наиболее эффективен при уровне загрязнения 0.5-1.0 %, который остается после механической или химической очистки. Биопрепарат «Родер» разрешен к применению на природных объектах. Испытывался в лабораторных и полевых условиях в средней полосе (Москве, Подмосковье, Удмуртии) и в Западной Сибири в 1994-2000 гг. Испытания биопрепарата «Родер» проводили на различных типах загрязненных нефтью почв и на водной поверхности при различных погодных условиях.

Нормы внесения биопрепарата: рабочий раствор биопрепарата для обработки загрязненных нефтью грунтов готовится из расчета 1 кг стабилизированной концентрированной суспензии с численностью 10^{10-11} клеток/мл на 1000 л пресной воды (температура воды 20 °С). В этот же раствор вносят 2 кг нитроаммофоски или смеси диаммоний фосфата 1.5 кг и 0.5 кг

дикалий фосфата. Перемешивание осуществляют до полного исчезновения осадка. Готовую рабочую суспензию наносят дождеванием на загрязненный грунт из расчета 10 л/м².

Для обработки водной поверхности готовят рабочий раствор биопрепарата объемом 0.1 л стабилизированной концентрированной суспензии на 1000 л пресной воды, в котором концентрации всех компонентов удобрения уменьшены в 10 раз. Готовую рабочую суспензию наносят дождеванием на загрязненный объект из расчета 10 л/м² очищаемой поверхности. Обработка больших площадей почвы и воды осуществляется с помощью поливальных или пожарных машин емкостью 5 или 10 м³. Приготовленные растворы заливают через верхний люк в наполненную водой цистерну и перемешивают в течение 5-7 мин. В пожарных машинах предварительно промывают емкости двумя-тремя объемами воды для очистки от растворов для тушения пожаров. Повторную обработку загрязненной водной поверхности или грунта проводят через 10-15 дней. В случае высокого уровня загрязнения проводят дополнительные обработки биопрепаратом через 10-15 дней после каждой предыдущей до снижения уровня загрязнения, приемлемого для проведения фиторемедиации. При пересыхании поверхности рекультивируемого грунта в летний период рекомендуется проводить полив и рыхление. Эффективность очистки оценивают гравиметрическим методом по результатам анализа почвы или грунта на содержание в них углеводородов нефти до, в процессе и после проведения очистки.

Условия применения биопрепарата «Родер» в лабораторном опыте 6: рабочий раствор был приготовлен следующим образом – по 80 мл концентрированной суспензии каждого штамма внесли в 2840 мл дистиллированной воды, туда же добавили 6 г комплексного удобрения, используемого в эксперименте. В каждый опытный сосуд с загрязненным нефтью песком или торфом внесли по 300 мл рабочего раствора биопрепарата «Родер» тонкой струей небольшими порциями и перемешали верхний слой загрязненного грунта на глубину 7-10 см. Влажность в каждом сосуде поддерживалась около 60 % путем периодического внесения небольших порций дистиллированной воды и перемешивания верхнего слоя на ту же глубину.

8. Препарат «UNI-REM» (ЗАО БЭП «Тибет», Москва), состоит из нефтеокисляющих микроорганизмов *Rhodococcus* sp., *Pseudomonas* sp., выделенных из нефтезагрязненных почв, обладающих способностью разлагать углеводороды нефти и предназначенных для активизации процессов очищения нефтезагрязненных субстратов при проведении работ по рекультивации нефтезагрязненных земель. Форма препарата – сухая. Титр – 10¹⁰ клеток/г. Нормы внесения: в зависимости от степени загрязнения почв нефтью расход препарата оставляет от 10 до 30 кг/га. Для получения максимального эффекта от его применения и с целью поддержания высокого титра нефтеокисляющих бактерий в почве препарат целесообразно вносить периодически, два-три раза в течение теплого периода года, но не реже, чем один раз в три-четыре недели. При внесении в почву

препарата одновременно вносят комплексное минеральное удобрение (нитроаммофоска, диаммофосфат, аммиачная селитра и др.) исходя из расчета, что однократная доза вносимого удобрения должна соответствовать содержанию д.в. не менее чем: по азоту – 50-60, фосфору 45-50, калию 30-45 кг/га. Условия применения в лабораторном опыте 6: использован рабочий раствор препарата (сухая форма разведена в воде) с титром $5.7 \cdot 10^8$ клеток/мл. Обработки в течение опыта проведены дважды из расчета по 2 л/м² при каждой обработке. Препарат допущен к производству, поставке, реализации, использованию на территории Российской Федерации.

Основные методы исследований:

- *Методы количественного учета отдельных групп почвенной микрофлоры.* Отбор почвенных проб на микробный анализ с опытных участков проводили перед обработкой рекультивантами (препаратами и удобрениями) в течение всего вегетационного периода. Проведение анализов микробиологического состояния почв осуществляли в течение трех-пяти суток после отбора проб в почве с сохраненной полевой влажностью. Определение численности отдельных физиологических групп микроорганизмов проводили методом высева на соответствующие среды десятичных разведений пробы. Пересчет вели с использованием таблиц Мак-Креди. При проведении микробиологических анализов для определения наиболее вероятного числа бактерий в пробах почв использовали уровни статистической достоверности, заложенные в данных таблицах. При подсчете колоний бактерий на плотных средах следовали требованиям статистической достоверности, согласно которым оптимальное число колоний на чашку должно находиться в пределах от 30 до 300.

- *Анализ концентрации нефти в субстратах* выполняли с помощью флуориметрического метода (ПНДФ-14.1:2:4.128-98).

- *Агрохимический анализ* проводили по общепринятым в почвоведении методам из средней почвенной пробы, а *оценку ферментативной активности* – по соответствующим методикам, принятым в биохимии и почвоведении. Результаты в большинстве таблиц приведены в виде средней арифметической и ее стандартной ошибки ($M \pm m$). В случае, если средние значения представлены без указания величин отклонения, последние, как правило, не превышали 10 %. Достоверность различий между средними величинами оценивали согласно критерию Стьюдента. Различия в соответствии с правилами считались значимыми при $p < 0.05$.

- *Дыхательную активность почвы* оценивали по интенсивности выделения CO_2 после инкубации опытной пробы в закрытых флаконах при 25 °С в течение 1 ч, путем отбора и анализа концентрации CO_2 в воздушной пробе на газовом хроматографе (Chrom-5) до и после инкубации. Интенсивность дыхания почвы выражали в мкг С- CO_2 мл/ч и рассчитывали по соответствующей формуле.

Все опыты были проведены в трех-пятикратных повторностях.

В некоторых полевых и лабораторных опытах нами были изучено влияние субстратных условий для процессов стимулирования и ингибирования нефтеокисления в загрязненных почвах. Вот некоторые результаты.

Опыт 1. Влияние рН и влажности на микробную активность загрязненных почв.

Фоновые почвы исследуемого района характеризуются повышенной кислотностью (рН 3.5-5.5). Считается, что значения рН, близкие к нейтральным, способствуют активизации микробиологической деструкции нефти. Этот факт часто учитывается при разработке технологии рекультивации загрязненных земель. Однако логичнее было бы предположить, что при нейтрализации почвы с изначально кислыми значениями рН их микробная активность понизится. При рекультивации заболоченных нефтезагрязненных почв рекомендуют проводить выборочную осушку (дренаж) участков, поскольку это, во-первых, облегчает проведение агротехнических работ (вспашку, внесение рекультивантов). Во-вторых, считается, что переувлажнение ингибирует микробиологическую активность. Мы предположили, что изменение уровня естественной влажности почвы в сторону ее понижения также может привести к снижению активности почвенной микрофлоры тундровых почв. Эволюция этих почв не могла не сказаться на экологических особенностях их микробных сообществ.

Для опыта 1 использовали загрязненные нефтью почвенные субстраты, отобранные на территории Усинского месторождения (табл. 12). Все исследованные образцы почвы характеризовались как избыточно увлажненные. Отбор образцов почвы был проведен в середине июля, когда почвы района исследования характеризуются наивысшим пиком микробной активности [3, 14]. В стационарных условиях каждый из образцов разделили на две серии. В первой уровень влажности почвы оставили естественным, во второй – подсушили до 40 % от исходной, имитируя возможную осушку участка. В процессе опыта увлажнение поддерживали на установленном уровне. При указанных значениях влажности рассматривали изменение численности микрофлоры в почвах при обработке их биопрепаратом МУС-1 при естественном уровне рН и нейтральном значении рН (7.0 ± 0.2), полученном за счет известкования почвы. Опытные субстраты инкубировали в открытых сосудах в течение одного месяца, после чего подсчитывали количество микрофлоры, выросшей на агаризованной среде с сахарозой и пептоном (гетеротрофные микроорганизмы).

На уменьшение численности гетеротрофных микроорганизмов особенно повлияло снижение влажности (рис. 16). Нейтрализация почвы не оказала заметного воздействия на эти показатели. Вполне вероятно, что при

Таблица 12
Агрохимическая характеристика опытной почвы

рН _{вод.}	N _{гидр.}	P ₂ O ₅	K ₂ O	C _{орг.} , %	Концентрация нефти, мг/г
	мг/100 г в.с.п.				
	Тундровая болотная торфяная				
4.34	1.90	1.67	7.36	40.54	125
	Тундровая болотная торфянисто-глеевая				
4.17	13.04	10.80	16.97	41.97	102
	Тундровая болотно-подзолистая				
4.50	7.45	1.50	12.64	39.54	115
	Тундровая глееподзолистая				
3.62	1.85	2.72	8.57	12.45	103

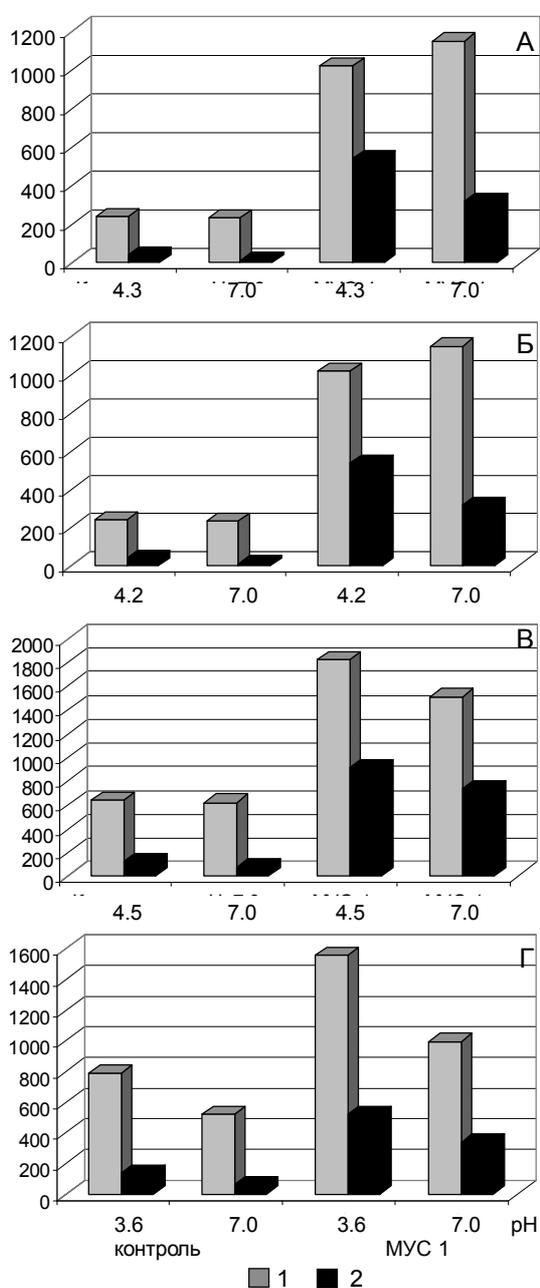


Рис. 16. Влияние уровня pH при естественном уровне влажности (1) и при его снижении до 40 % (2) на численность гетеротрофной микрофлоры (млн. кл./1 г в.с.п.) в тундровой болотно-торфяной (А), тундровой болотно-торфянисто-глеевой (Б), тундровой болотно-подзолистой (В) и тундровой глееподзолистой (Г) нефтезагрязненной почве.

отличающихся начальных значениях pH почвы нейтрализация может влиять на микробиологическую активность как положительно, так и отрицательно, и чем сильнее в кислую сторону сдвинут фоновый показатель pH почвы, тем менее благоприятна нейтрализация субстрата для стимулирования аборигенной микрофлоры после нефтяных загрязнений. Нейтрализация почвы, возможно, и вовсе не окажет сколько-нибудь заметного влияния на процессы нефтеокисления, но может положительно отразиться на росте высеваемых трав-рекультивантов.

Высокая степень естественного увлажнения тундровых почв обуславливает и специфику экологических особенностей микрофлоры. Частичное осушение почв приводит к нежелательному результату – замедлению процессов нефтеокисления, резкому снижению активности как аборигенной микрофлоры, так и использованных в опытах биопрепаратов. Приведенный пример наводит на мысль о том, что к вопросу о проведении восстановления нефтезагрязненных тундровых почв с избыточным начальным уровнем увлажнения необходимо подходить с четким определением цели рекультивации. Если речь будет идти о проведении только фиторекультивации с посевом трав, в этом случае целесообразно осушение. А если необходима активизация процессов микробиологической деструкции нефти – следует учитывать степень воздействия осушительных работ на изменение естественных условий среды для процессов нефтеокисления.

Опыт 2. Рыхление почвы и альтернативные приемы улучшения водно-воздушного режима нефтезагрязненных почв.

Другой прием рекультивации – рыхление – является одним из наиболее мощных для стимулирования микробиологической активности в нефтезагрязненных почвах. Здесь есть множество подтверждений в практике и в исследованиях других авторов. Целью одного из наших исследований было рассмотреть рыхление наряду с другими приемами, позволяющими усилить аэрофильные свойства нефтезагрязненных почв. Известно, что внесение органических удобрений способно улучшить структурность почв, их аэро- и гидрофильные свойства. Особенно сложными для биологической очистки после нефтяных загрязнений являются глинистые субстраты. Рыхление нефтезагрязненных глинистых субстратов весьма трудоемко и предположением перед началом эксперимента было то, что целесообразнее, видимо, вносить в почву структураторы, чем проводить простое их перемешивание. Опыт был проведен с тяжелым суглинком с начальным уровнем загрязнения нефтью 30 %. В качестве органического удобрения использован лигносорбент [57], рассматриваемый нами на тот момент как возможная альтернатива органическим удобрениям на основе торфа. Проведено две серии опыта – варианты без рыхления и с периодическим перемешиванием почвы на всю глубину загрязненного слоя. Каждая серия опыта включала в себя помимо контрольных вариантов (без добавления рекультивантов) вариации с различными стимуляторами нефтеокисления – минеральными удобрениями, биопрепаратом МУС-1 и лигносорбентом (табл. 13).

Длительность опыта – 3,5 месяца. Во время проведения эксперимента отслеживали такие параметры, как динамика снижения содержания нефти в почве, интенсивность почвенного дыхания, определяемого

Таблица 13

Схема опыта 2 и обозначение вариантов

Без рыхления почвы	С рыхлением почвы – O ₂
1. Субстрат (суглинок), загрязненный нефтью без внесения рекультивантов:	
1.1. Контроль	1.2. Контроль O ₂
2. Субстрат обработан биопрепаратом МУС-1 с титром 10 ⁸ клеток из расчета 1 л/м ² . Обработка проведена трижды в течение опыта с интервалом в один месяц:	
2.1. МУС-1	2.2. МУС-1 O ₂
3. Субстрат обработан биопрепаратом МУС-1 как в вариантах 2.1. и 2.2. и одновременно во время обработки препаратом вносили нитроаммофоску (11 % д.в. по азоту) из расчета 40 г/м ² :	
3.1. МУС-1 + NPK	3.2. МУС-1 + NPK O ₂
4. Субстрат обработан аналогично вариантам 3.1. и 3.2., но в начале опыта почву смешали с лигносорбентом из расчета 30 г/м ² :	
4.1. МУС-1 + NPK + сорбент	4.2. МУС-1 + NPK + сорбент O ₂
5. Обработка почвы минеральным удобрением – трижды с интервалом в один месяц в загрязненный субстрат вносили нитроаммофоску (11 % д.в. по азоту) из расчета 40 г/м ² :	
	5.2. NPK O ₂

по скорости выделения CO_2 , численность микрофлоры разных трофических групп.

Интенсивность почвенного дыхания при рыхлении почвы была выше, чем в сходных вариантах без рыхления (рис. 17а, б). Отметим, что при рыхлении контрольной почвы интенсивность дыхания превосходит вариант без рыхления в среднем в три раза. С внесением в почву микробиологического препарата и рыхлении почвы скорость выделения CO_2 в 7.0-7.5 раз превышает контроль, а без рыхления – в шесть раз. При внесении в почву сорбента с препаратом и минеральным удобрением скорость выделения CO_2 в варианте без рыхления в 7.5-8.0 раз превысила контроль и при рыхлении – в девять раз. Рыхление способствовало существенной интенсификации разложения нефти. Масса нефти в почве контрольного варианта снизилась за 3.5 месяца при рыхлении на 28.5 % (рис. 18), без рыхления – на 14.4 %. При рыхлении усиливается скорость деструкции нефти на фоне минеральных удобрений с препаратом (ее концентрация снизилась на 63.4 %), в варианте МУС-1 с рыхлением это снижение составило 62.4 % . Учет численности отдельных групп почвенной микрофлоры (табл. 14) показал, что внесение органического сорбента и минеральных удобрений способствовало снижению численности факультативных азотфиксаторов, но приводило к увеличению общего валового количества аммонификаторов и олиготрофов. Интересно, что накопление аминокислот в почве происходило в большей степени в вариантах без рыхления (рис. 19). Можно предположить, что биохимические и микробиологические процессы в аэрируемой и не аэрируемой почве могут развиваться по-разному. Кроме этого, очевидным было бы предположить, что рыхление способствует более быстрой трансформации метаболитов почвенных микроорганизмов.

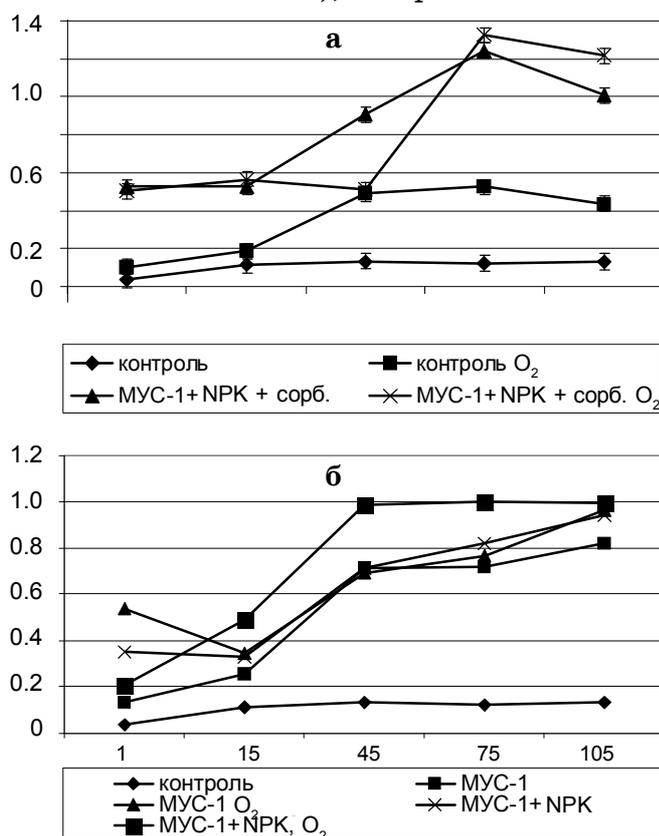


Рис. 17. Интенсивность почвенного дыхания в вариантах с использованием лигносорбента (сорб.) при рыхлении (O_2) и без него. Здесь и далее: условные обозначения вариантов опыта те же, что и в табл. 13.

По оси абсцисс: здесь и далее – период опыта, сутки.

По оси ординат – скорость выделения CO_2 , $\text{мг С-CO}_2/\text{мл ч}$.

Сравнение вариантов с использованием органического сорбента и рыхления в целом показывает, что, несомненно, рыхление является мощным стимулятором микробиологической активности нефтезагрязненных субстратов, способствует усилению нефтеокисляющего эффекта биопрепаратов, но внесение в почву сорбента приводит к положительному эффекту очистки почвы от нефти, мало уступающему приему рыхления. Поэтому, можно было бы рекомендовать использование органических сорбентов для улучшения структурных свойств плотных почв, загрязненных нефтью, и вносить их наряду с биопрепаратами нефтеокисляющего действия при высоких дозах начального загрязнения почв. Использование этого приема рекультивации может быть целесообразным в почвах, где рыхление или фрезерование недопустимо (например, на участках с близким залеганием мерзлоты).

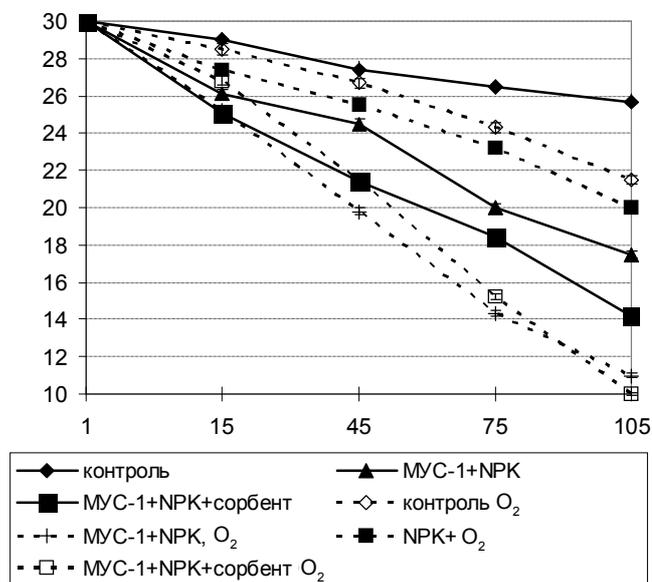


Рис. 18. Динамика разложения нефти в отдельных вариантах опыта с рыхлением почвы.
По вертикали: концентрация нефти, %.

Таблица 14

Численность основных трофических групп микрофлоры в вариантах опыта через один (а) и три (б) месяца после его начала, млн. клеток/г почвы

Вариант	Аммонификаторы		Олигонитрофиллы		Олиготрофы	
	а	б	а	б	а	б
Контроль	2.0	1.5	1.5	1.0	1.7	2.0
МУС-1	78.0	97.0	30.0	45.0	35.0	78.0
МУС-1+НПК	140.0	180.0	5.0	24.0	19.0	210.0
МУС-1+ НПК + сорбент	55.0	45.0	5.0	35.0	25.0	360.0
Контроль (O ₂)	26.0	45.0	11.0	4.0	40.0	31.0
МУС-1 (O ₂)	200.0	790.0	50.0	56.0	900.0	950.0
МУС-1+ НПК (O ₂)	500.0	480.0	11.0	14.0	180.0	370.0
МУС-1 + НПК + сорбент (O ₂)	700.0	340.0	41.0	28.0	470.0	970.0

Примечание. Здесь и далее условные обозначения те же, что и в табл. 13.

В 1995 г. по заданию ЗАО «КомиАрктикОйл» группа исследователей лаборатории природовосстановления Института биологии Коми НЦ УрО РАН (И.Б. Арчегова, М.Ю. Маркарова, Л.П. Турубанова) начала

отработку приемов рекультивации в условиях Крайнего Севера для обоснования приемов восстановления нефтезагрязненных земель в зоне деятельности предприятия (Верхневозейское нефтяное месторождение Усинского района).

На участке нефтеразлива в районе скв. 203 и в районе котлована скв. 3475 Верхневозейского нефтяного месторождения (в настоящее время район ЦДНГ-6 в зоне деятельности ООО «ЛУКОЙЛ-Коми») были за-

ложены долгосрочные опыты по изучению эффективности приемов биорекультивации загрязненных нефтью земель при исходно высоком уровне нефтяного загрязнения на торфяно-глеевой почве (скв. 203) и при искусственном загрязнении песчаных субстратов (скв. 3475) с низким (10 мг/г), средним (50 мг/г) и высоким (100-150 мг/г) уровнем нефтяного загрязнения. Изучение рекультивационных приемов на разных типах почвенных субстратов с отличающимися дозами нефтяного загрязнения должно было позволить обосновать дифференцированный подход к разработке плановых мероприятий по восстановлению земель в дальнейшем. Одной из задач опытов было оценить возможность рекультивации участков с применением только щадящих приемов, ремедиации и фитовосстановления, без технического этапа и/или уборки нефти, для ситуации, когда использование технических средств невозможно или неприемлемо. Подобные ситуации могут возникнуть на участках с неглубоким залеганием вечной мерзлоты, когда использование техники недопустимо [43], а также на участках мелких разливов, куда нецелесообразно отправлять тяжелую технику.

Опыт 3. Оценка эффективности биопрепаратов МУС-1 и Деворойл.

Опыт был заложен в 1995 г. на участке Верхневозейского месторождения, загрязненном в результате аварийного разлива нефти в 1989 г. Опытный участок представлял собой заболоченное понижение (фото 33) с торфянисто-(торфяно)-глеевой суглинистой почвой, техногенно измененной в результате первичных работ по локализации нефтяного пятна. Уровень нефтяного загрязнения почвы в начале опыта в пределах опытного участка колебался и составлял от 250 до 450 мг/г.

В опыте оценивали эффективность биопрепаратов МУС-1 и Деворойл на фоне минерального удобрения (диаммофоски, 17 % д.в. по азоту, далее в таблицах и рисунках – НРК) и без него. В качестве органического

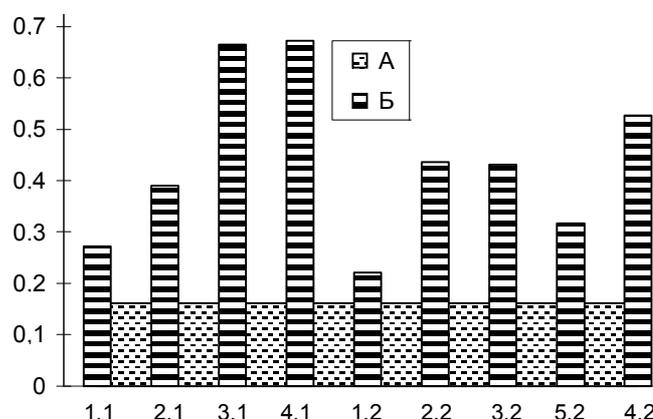


Рис. 19. Общеваловое содержание аминокислот (мг/кг в.с.п.) в почве по вариантам опыта (по горизонтали) с рыхлением и без него.

А – исходный уровень, Б – через два месяца после начала опыта.

Фото 33. Делянки опыта 3 через месяц после начала экспериментов.



удобрения в соответствующих вариантах опыта использовали Лигносорбент. В опыте испытывали разные травосмеси из многолетних трав для выявления наиболее устойчивых к нефтяному загрязнению, а также БАГ [56]. В 1995 г. было заложено три площадки (табл. 15). Площадки 1 и 2 – смешанный с песком суглинистый слой почвы, пропитанный нефтью до 25 см вглубь. Концентрация загрязнения на площадке 1 – 13-16 %. Делянки 5 и 6 на площадке 1 характеризовались избыточным сезонным увлажнением. На площадке 2 уровень начального загрязнения составлял 25-34 %. Площадка 3 расположена в понижении центральной части участка, испытывающей сезонное переувлажнение. Субстрат площадки 3 – оглеенный суглинок, перемешанный с торфяной массой, пропитан нефтью на глубину более 35 см, концентрация загрязнения в начале опыта – 25-30 %.

Для опыта 3 использовали биопрепараты с титром 10^9 клеток/мл и вносили их трижды в течение первого полевого сезона по 1 л/м². Одновременно в соответствующие варианты опыта вносили минеральные удобрения из расчета 60 кг/га д.в. по азоту. Подкормку минеральными удобрениями в соответствующих вариантах осуществляли в течение двух лет в начале полевых сезонов (июнь). БАГ внесли один раз в на-

Таблица 15

Варианты опыта 3		
Площадка 1	Площадка 2	Площадка 3
1. БАГ	1. БАГ	1. БАГ
2. МУС+НРК	2. Дев.+НРК	2. БАГ+Дев.
3. БАГ+МУС	3. Дев.+БАГ	3. БАГ+Дев.+НРК
4. МУС	4. Дев.	4. БАГ+МУС
5. БАГ+МУС+ НРК	5. Дев.+БАГ+НРК	5. БАГ+МУС+НРК
6. Контроль	6. Контроль	6. БАГ+НРК
		7. МУС+БАГ
		8. БАГ

* Здесь и далее: МУС – биопрепарат МУС-1, Дев. – биопрепарат Деворойл.

чале опыта из расчета по 30 г/м². В течение трех лет на всех опытных площадках концентрация нефти в почве понизилась, однако по вариантам скорость деструкции загрязнения существенно отличалась (табл. 16). В целом, наибольшая степень деструкции нефти отмечалась на площадке 1, самая низкая – в вариантах на площадке 2. Несмотря на почти вдвое меньшую в начале опыта концентрацию нефти в субстрате площадки 1 по сравнению с площадкой 2, снижение загрязнения в контрольных вариантах характеризовалось сходной величиной – 10-14 %, что свидетельствовало о низкой активности естественной почвенной микрофлоры. Если учесть, что обе площадки были расположены в одинаковых условиях увлажнения, характеризовались суглинисто-супесчаным субстратом, то отмеченная разница (почти вдвое) в величине степени разложения нефти по вариантам определяется, видимо, неодинаковой активностью использовавшихся микробных препаратов.

Таблица 16
Динамика изменения концентрации нефти в образцах почвы в полевом опыте, мг/г

Вариант	Год			Степень разложения за три года, %
	1995* (июнь)	1996 (август)	1997 (август)	
Площадка 1				
БАГ	131	72	64	51.0
МУС+НРК	153	42	33	78.0
БАГ+МУС	152	716	60	60.0
МУС	142	664	30	79.0
БАГ+МУС+НРК	151	60	35	77.0
Контроль	160	155	144	10.0
Площадка 2				
БАГ	254	201	162	36.2
Дев.+НРК	268	198	164	39.0
Дев.+БАГ	297	234	182	38.7
Дев.	335	276	231	31.1
Дев.+БАГ+НРК	343	224	193	43.7
Контроль	339	296	290	14.5
Площадка 3				
БАГ	271	197	151	44.3
БАГ+Дев.	269	209	163	39.4
БАГ+Дев.+НРК	258	197	160	38.0
БАГ+МУС	252	124	100	60.3
БАГ+МУС+НРК	263	86	50	81.0
БАГ+НРК	264	187	162	38.6
МУС+БАГ	299	142	111	62.9
БАГ	295	201	155	47.5

* Начало опыта.

Площадка 3 отличалась по условиям от площадок 1 и 2. Суглинистый субстрат обуславливал неблагоприятный воздушный режим, который усугублялся выраженным сезонным застаиванием воды на площадке. Однако, как показывают результаты анализа (табл. 16), в аналогичных вариантах Деворойл выделялся существенно меньшей эффективностью в сравнении с препаратом МУС-1.

О слабой активности Деворойла в условиях Севера можно судить по незначительной деструкции нефти в вариантах, где Деворойл вносили на фоне минеральных и органических удобрений. В то же время, БАГ и минеральные удобрения резко повышали эффективность использованного препарата МУС-1. Таким образом, применение препарата на основе видов местной уг-

леводородокисляющей микрофлоры оказалось более эффективным для разложения нефти в условиях Крайнего Севера, чем Деворойла во всех вариантах с их использованием.

Максимальной численностью микрофлоры (табл. 17) отличались субстраты вариантов с использованием препарата МУС-1 в комплексе с БАГ и минеральными удобрениями (площадки 1 и 3). Однако, надо отметить, что на площадке 1 резкое увеличение количества микроорганизмов, особенно олигонитрофилов, наблюдалось во всех вариантах, что несомненно определялось более благоприятными условиями увлажнения и аэрации, а также меньшей степенью начального загрязнения. На третий год опыта обработка препаратами не проводилась. На площадке 3 в варианте БАГ+МУС+НРК наблюдалось максимальное увеличение численности почвенной микрофлоры, согласующееся с наибольшим (и близким количественно к данным по вариантам площадки 1) снижением концентрации нефти в субстрате к третьему году опыта. Другие варианты с применением МУС-1 также выделялись относительно высокой численностью микроорганизмов в субстрате.

Проведенный в конце второго года наблюдений анализ фракционного состава остаточной нефти в почве с площадки 3 (табл. 18) показал, что наиболее активное преобразование нефти происходило в слое 0-10 см. В

Таблица 17

Численность микрофлоры основных трофических групп на второй (третий) год опыта, млн. клеток/г в.с.п.

Вариант	Аммонификаторы	Олиготрофы	Олигонитрофиллы
Площадка 1			
БАГ	30 (245)	15 (181)	0.12 (36)
МУС+НРК	500 (1560)	145 (450)	20.00 (180)
БАГ+МУС	80 (1470)	118 (891)	16.00 (210)
МУС	50 (1739)	100 (533)	9.00 (289)
БАГ+МУС+НРК	400 (2080)	164 (760)	100.00 (350)
Контроль	250 (775)	3 (279)	0.05 (169)
Площадка 2			
БАГ	210 (300)	18.0 (160)	0.08 (2.51)
Дев.+НРК	170 (45)	24.0 (17)	0.25 (5.31)
Дев.+БАГ	200 (70)	19.0 (12)	0.34 (40.00)
Дев.	100 (80)	14.0 (6)	0.10 (70.00)
Дев.+БАГ+НРК	330 (270)	37.0 (54)	0.45 (8.71)
Контроль	98 (150)	0.7 (60)	0.10 (100.00)
Площадка 3			
Контроль	23 (17)	1.7 (1.6)	0.01 (0.05)
БАГ+Дев.	400 (73)	24 (23)	0.31 (2.00)
БАГ+Дев.+НРК	120 (112)	21 (8)	0.36 (31.00)
БАГ+МУС	230 (210)	28 (30)	1.20 (55.00)
БАГ+МУС+НРК	700 (2003)	56 (464)	2.30 (364.00)
БАГ+НРК	400 (380)	24 (50)	0.18 (400.00)
МУС+БАГ	650 (490)	45 (110)	1.70 (60.00)
БАГ	150 (40)	31 (270)	1.9 (2.0)

зависимости от примененных рекультивантов отмечено неодинаковое изменение массовой доли смолисто-асфальтовой фракции и летучих соединений по отношению к общей массе нефти в образцах. Фракция смолисто-асфальтовых соединений считается наиболее инертной для микробиологического воздействия по сравнению с другими компонентами нефти. Разложение ее происходит медленно. Относительное увеличение массовой доли этой фракции связано с уменьшением в составе остаточной нефти доли менее устойчивых углеводородных соединений.

Анализ показывает, что наиболее существенное изменение соотношения между асфальтенами и подвижными фракциями заметно лишь в варианте МУС-1 с органическими и минеральными удобрениями, причем не только в верхнем (0-10 см) слое, но и в слое 10-20 см. Значительно меньше эти изменения в вариантах с Деворойлом по сравнению с МУС-1. При сравнении данных (табл. 17 и 18) можно заметить соответствие между изменением численности отдельных групп микрофлоры и качественным составом остаточной нефти. Исходя из этого, можно сказать, что в варианте МУС-1 на фоне комплекса удобрений произошло более глубокое разрушение нефти. Значительное понижение массы летучих (токсичных) соединений могло способствовать усилению активности почвенных азотфиксаторов. В варианте Дев. + БАГ + НРК низкая активность азотфиксаторов могла быть обусловлена высоким еще содержанием легких соединений, а относительно слабое изменение массовой доли асфальтенов отражает слабую деструкцию основных нефтяных фракций. При использовании препарата МУС-1 углеводородокисляющая активность высока и с органическими удобрениями (табл. 17).

Результаты агрохимического анализа субстрата опытных площадок за три года при пестроте показателей, свойственной участкам, находившимся в зоне эксплуатации скважин, позволяет отметить определенную тенденцию к увеличению содержания основных элементов питания растений (табл. 19) под влиянием использованных биологических приемов восстановления нефтезагрязненного участка по сравнению с состоянием субстрата перед опытом. На третий год опыта почва характеризовалась почти нейтральной реакцией, высоким содержанием органического углерода, связанным и с остаточным загрязнением нефтью. Содержание лег-

Таблица 18
Фракционный состав нефти в почвенных образцах площадки 3 в слое 0-10 (верхняя строка) и 10-20 см (нижняя строка)

Вариант	Асфальтены, % общей массы нефти	Алканы с длиной цепи до 10 ат С.	Прочие, % общей массы нефти
Контроль	12.10±0.96	23.00±0.76	64.90±2.26
	13.30±0.54	28.00±0.26	57.70±3.83
БАГ	12.00±0.27	29.00±0.54	59.00±2.24
	13.00±0.41	27.00±0.76	60.00±2.03
МУС+БАГ	19.00±0.39	9.10±0.32	61.90±1.78
	15.40±0.27	11.90±0.43	72.70±2.39
Дев.+БАГ + НРК	13.50±0.25	18.30±0.17	68.20±2.70
	14.00±0.34	25.00±0.76	61.00±1.83
МУС+БАГ+НРК	28.00±0.58	3.50±0.11	68.50±2.24
	20.00±0.41	7.40±0.37	72.60±2.26

Таблица 19

Данные агрохимического анализа субстрата опытных площадок на третий год опыта (слой 0-5 см)

Вариант	рН водный	N _{гидр.}	P ₂ O ₅	K ₂ O	C _{орг.} , %	Степень загрязнения, %
		мг/100 г в.с.п.				
Площадка 1*	6.98*	1.01*	4.3*	4.55*	6.26*	14.8*
БАГ	7.7	11.4	46.6	27.1	10.1	
МУС+НРК	7.0	4.2	17.4	12.5	6.9	
МУС-1+БАГ	7.6	5.1	12.5	19.5	7.5	
МУС	7.2	8.4	5.8	10.1	5.9	
МУС-1+БАГ+НРК	7.2	5.5	11.6	15.5	9.7	
Контроль	7.0	0.46	2.24	3.05	5.12	
Площадка 2	6.9*	1.2*	3.4*	2.5*	4.8*	30.6*
БАГ	7.7	1.2	8.3	10.4	4.5	
Дев.+НРК	6.9	3.9	2.4	4.6	11.1	
Дев.+БАГ	7.5	2.2	11.2	7.8	5.4	
Дев.	7.6	2.1	5.7	6.5	8.1	
Дев.+БАГ+НРК	7.7	4.7	12.5	29.0	13.3	
Контроль	7.3	2.9	39.3	25.3	5.3	
Площадка 3	5.6*	1.8*	5.5*	4.4*	8.2*	27.1*
Контроль	5.8	2.7	5.4	3.9	11.1	
Дев.+БАГ	7.4	1.0	4.1	4.8	8.4	
Дев.+БАГ+НРК	6.7	4.7	29.5	16.6	16.8	
МУС-1+БАГ	7.3	5.8	2.6	4.1	12.0	
МУС-1+БАГ+НРК	7.4	6.1	7.8	12.4	13.9	
БАГ+НРК	7.3	2.8	5.9	6.9	10.5	
МУС+БАГ	6.7	4.0	21.8	24.9	11.1	
БАГ	7.5	3.3	6.8	21.4	15.1	

* Данные анализа в начале опыта, июнь 1995 г.

коусвояемых питательных элементов колебалось в соответствии с вносимыми по вариантам опыта минеральными и органическими удобрениями. Более высоким содержанием доступного растениям азота характеризуются варианты с внесением МУС-1 на фоне органического удобрения и органического с полным минеральным удобрением. Это согласуется с возрастающей на третий год общей биогенностью и особенно количеством азотфиксаторов в этих вариантах опыта. Таким образом, все рассмотренные данные позволяют заключить, что интенсивные приемы очистки от нефтезагрязнения в течение двух вегетационных сезонов обеспечивают деструкцию нефтепродуктов до уровня, способствующего активизации процесса самоочищения, самовосстановительной сукцессии. Об этом позволяют судить наблюдения за развитием высеянных и активным внедрением аборигенных растений на опытные площадки с полным комплексом рекультивантов (фото 34).

В целом можно отметить соответствие между рассмотренными выше результатами и началом устойчивого развития сеяных трав. Однако, некоторые внешние условия оказывали более существенное влияние на процессы очищения почвы и восстановления растительности, чем целенаправленное применение каких-либо приемов рекультивации. К концу вегетации можно было видеть, что на площадках 1 и 2 травостой имел хорошее состояние. Проектное покрытие (ПП) колебалось от 30 до 70 %, на площадке 1 – до 90-100 %. Высеянные злаки (смесь мятлика, лисохвоста, коостра, бекмании) характеризовались хорошим развитием, высота генеративных побегов достигала 60-80 см. До половины в составе травостоя составили аборигенные виды – крестовник, пушица, осоки, хвощ. Эти же растения весьма обильны вокруг опытных площадок. Также необ-



Фото 34. Фрагмент опыта 3 (площадка 3) через восемь лет после начала опыта, травостой в вариантах МУС-1 с удобрением (а) и МУС-1 с удобрением и БАГ (б).

ходимо отметить более сильный, плотный травостой на площадке 1 в сравнении с площадкой 2, однако, существенной разницы по вариантам не было обнаружено. Часть площадки 3 ежегодно длительное время весной и осенью находилась в условиях избыточного увлажнения. Это оказало влияние на эффективность применяемых рекультивантов и на развитие травостоя. Расположенная в пониженной и затапливаемой части площадки деланка варианта БАГ характеризовалась слабым развитием трав (ПП 33 %), тогда как вторая повторность этого же варианта отличалась хорошим травостоем (ПП 60 %). То же наблюдалось и в варианте МУС-1+БАГ: на переувлажненной деланке практически отсутствовал травостой, ПП характеризовалось величиной 25-30 %, на деланке с нормальным увлажнением ПП достигало 50-70 %.

Таким образом, результаты опыта 3 в условиях максимально приближенных к производственным, показали, что для Крайнего Севера необходимо не менее двух лет для получения положительного эффекта при очистке от нефтезагрязнений с помощью применяемых рекультивантов только биологическими методами рекультивации. Наибольший эффект наблюдается при использовании микробиологических препаратов, особенно на основе местных видов микроорганизмов совместно с органическим и минеральным удобрениями.

Вокруг опытного участка (район скважины 203) в течение трех лет опыта происходило постепенное затягивание площади естественной растительностью – крестовником, пушицей, осоками. В начале опыта (1995 г.), когда, как отмечено ранее, срок загрязнения составлял около пяти лет, погребенная под слоем нефти растительность в основном представляла собой мертвые остатки, лишь местами наблюдали начало развития крестовника. К концу вегетационного сезона 1997 г. на границе с опытным участком проективное покрытие естественной растительностью составляло 30-40 %. Нефтяная пленка вокруг растений была покрыта бурым налетом толщиной до 3 мм. Был проведен сравнительный микробный анализ почвы, загрязненной нефтью, пленки на поверхности нефтяных пятен и почвы под растениями. В образце почвы (площадка 3, деланка 2 без растений) при концентрации нефти 15.5 % отмечена низкая биогенность – 42 млн. клеток/г в.с.п. В составе микрофлоры не обнаружено грибов и дрожжей, преобладали слизиобразующие бактерии, не образующие пигментов. В почве отсутствовали водоросли и живые беспозвоночные.

Анализ почвы (слой 0-5 см) в варианте МУС+БАГ+НРК показал, что общая численность микрофлоры составила около 600 млн. клеток/г в.с.в. По численности преобладала группа аммонификаторов (500 клеток/1 г в.с.в), среди бактерий выделялись виды родов *Pseudomonas* (четыре вида) и *Rhodococcus* (10 видов), известных как активные деструкторы нефтяных углеводородов. Среди грибов отмечают типичные для техногенных почв виды – *Botritis cinerea* (10×10^3), *Penicillium sartorii* (4×10^3), *P. notatum* (9×10^3), *P. funiculosum* (2×10^3), *Rhizoptis* sp. ($\times 10^2$), *Mortierella* sp.⁽¹⁾ ($\times 10^2$), *Mortierella* sp.⁽²⁾ (4×10^3), *Thamnidium* sp. ($\times 10^2$), *Mucor racemosus* ($\times 10^2$), *Fusarium*, *Cephalosporium* sp. ($\times 10^2$). Из дрожжевых

грибов встречается *Rhodotorula* sp. Обнаружены и представители грибов, образующих микоризу с растениями (*Mortierella romaniana*, 2×10^3). Отмечается появление желто-зеленых водорослей, что также можно рассматривать как признак идущего процесса самоочищения почв. Об этом же говорит наличие в почве зеленых водорослей семейства *Chlamidomonas*, появление живых беспозвоночных. В варианте Деворойл + БАГ + НРК преобладала гетеротрофная микрофлора (254 млн. клеток/г в.с.п.), отсутствовали олигонитрофиллы. Грибы были представлены видами: *Mortierella* sp.⁽¹⁾ (8×10^3), *Mucor romanianus* (4×10^3), *M. racemosus* (1×10^2), *Chefalo sporium* sp. (1×10^3), *Verticillium* sp. (3×10^3), *Criptococcus* sp., *Spicaria* sp. (2×10^3), *Fusarium oxisporum* (2×10^3), *Trichoderma simpodianum* (2×10^3), *Penicillium Tardum* ($\times 10$), *P. funicilosum* (4×10), *Bothritis sinerea* ($\times 10^3$). Среди выявленных видов многие являются устойчивыми к нефтезагрязнению. Водоросли и представители почвенных беспозвоночных отсутствовали.

Взятый для сравнения образец почвы из прикорневой зоны хорошо развитого экземпляра крестовника рядом с площадкой 3 (вне ее пределов) характеризовался высокой биогенностью субстрата – около 600 млн. клеток/г почвы. Появились почвенные азотфиксаторы, численность которых составила 60 млн. клеток/г в.с.п. Очень много краснопигментных и желтовато-оранжевых колоний дрожжей (*Rhodotorula* sp., 20×10^4) – типичных углеводороддеструкторов. Грибная микрофлора была представлена видами, являющимися индикаторами загрязнения почв нефтью: *Mucor racemosus* ($\times 10^2$), *Rhizopus nigricans* ($\times 10^2$), *Aspergillus* sp. ($\times 10^2$), *Alternaria tenuis* ($\times 10^2$), *Penicillium funicilosum* (3×10^2), *Curvularia* sp. ($\times 10^2$), *Mortierella* sp. (2×10^3). Очень многочисленны зеленые и синезеленые водоросли: *Penium* sp., *Chlamidomonas* sp., *Chloropedia* sp., *Heterothrix* sp., *Desmococcus* sp., *Fernandella* sp., *Algae* sp. Высокая биогенность в ризосфере крестовника определяется низкой концентрацией нефти (3.1 %).

Таким образом, на начальном этапе очистки в почве более активны бактерии, создающие, видимо, менее загрязненные зоны, осваиваемые грибами специфических, наиболее устойчивых к загрязнению видов. Следующий этап сукцессии характеризуется развитием зеленых, сине-зеленых водорослей и началом развития растений.

Опыт 4. Изучение эффективности биопрепарата, минерального удобрения и сорбента для очищения почв от нефти.

Опыт был заложен в пределах этого же участка (вблизи площадки 3) после выявления предпочтительных вариантов рекультивации в опыте 3. Варианты опыта: NP – только минеральное удобрение (аммиачная селитра и суперфосфат, взятые из расчета 250 и 200 кг/га соответственно), МУС-1 + NP – биопрепарат МУС-1 с минеральным удобрением, МУС-1 + компост – биопрепарат и лигносорбент, МУС-1 + NP + компост – препарат с компостом и минеральным удобрением. Перед обработкой почвы удобрениями и препаратом площадку перекопали на глубину до 30 см. За три года этого опыта в варианте NP концентрация нефти в почве снизи-

лась в 2.45 раза (рис. 20), содержание нефти уменьшилось с 225 (в 1997 г.) до 90 мг/г (в 1999 г.). В варианте МУС-1 + компост концентрация загрязнения уменьшилась в 2.65 раза. Два вышеуказанных варианта можно считать наименее результативными среди испытанных. В варианте МУС-1 + NP степень очистки почвы составила почти 90 %, а доза загрязнения нефтью к концу третьего года обработки снизилась

в 10 раз. В варианте МУС-1 + NP + компост степень очистки была немного ниже (85 %), а концентрация загрязнения за три года снизилась в семь раз. При этом важно заметить, что в отличие от трех предыдущих вариантов исходное загрязнение почвы нефтью на делянках с полным набором примененных здесь рекультивантов было на 6 % выше, чем на других вариантах. Это, несомненно, должно было наложить свой отпечаток и на результаты по скорости очищения почвы от нефти. В конце полевого сезона 1999 г. был проведен анализ содержания в почве нефти и степени микробиологической активности послойно на глубине 0-10, 10-20 см, а также в зоне ризосферы высеянных в 1998 г. многолетних трав. Зона ризосферы многолетних трав располагалась в слое 0-10 (12) см.

Как и следовало ожидать, содержание нефти в зоне ризосферы во всех вариантах примерно одинаково низкое. Известно, что с началом развития на загрязненных нефтью участках растений, процессы самоочищения почв ускоряются. Это связано с поступлением в почву продуктов метаболизма растений, стимулирующих микробиологическую и ферментативную активность почвы. Использование одновременно препарата и удобрений, судя по соотношению численности групп аммонифицирующих бактерий и олиготрофной микрофлоры (табл. 20), привело к качественному изменению микробного пула в зоне ризосферы и заметному снижению содержания нефти в почве. Применение одного минерального удобрения только на третий год опыта привело к более или менее заметной активизации почвенных аммонификаторов. Это говорит о том, что стадия преобразования углеводородных фракций аборигенной микрофлорой началась на третий год обработки почвы. Очевидно, что процессы активного разложения нефти в почве преобладают в верхнем слое, где помимо доступа основных биогенных элементов более благоприятные условия по увлажнению и аэрации. В нижнем слое (10-20 см) концентрация загрязнения нефтью во всех вариантах была выше, чем в верхнем горизонте, однако на той же глубине в зоне ризосферы уровень загрязнения зависел от эффективности использованных рекультивантов (табл. 20).

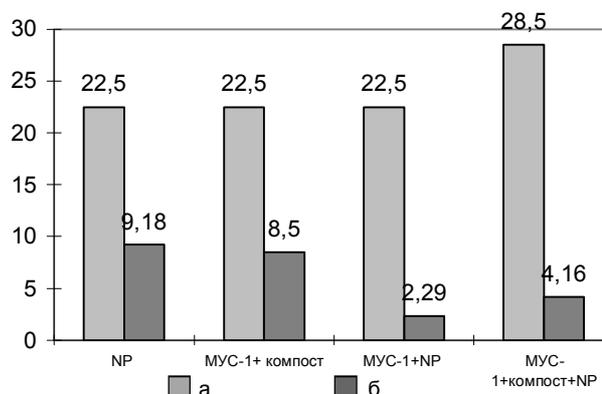


Рис. 20. Содержание нефти (%) в почве в июле 1997 г. (а) и августе 1999 г. (б) в разных вариантах опыта 4.

Визуально эффективность очистки почвы испытанными методами можно было оценить по характеру роста и развития высевных на второй год опыта многолетних трав (табл. 21). Было очевидным различие по густоте травяного покрова в вариантах опыта, а некоторые различия в повторностях одних и тех же вариантов были связаны с микроусловиями на участке. Характерные различия в состоянии растительного покрова сохранились и через семь лет после начала эксперимента (фото 35). Различия в развитии травостоя в разных вариантах опыта выявлено не только в величине проективного покрытия, но и в показателях, характеризующих состояние самих растений (табл. 22). К началу августа 1999 г. на делянках варианта МУС-1 + NP + компост был развит хороший травостой, состоящий в основном из высевных злаков высотой до 105 см, основная масса которых была в стадии созревания семян. На делянках варианта МУС-1+NP высота травостоя составила 40-60 см, растения в фазе колошения, за исключением единичных экземпляров лисохвоста, высотой до 105 см в фазе созревания семян. На делянках варианта МУС-1+компост растения находились в фазе всходов-кущения, 2-3-7-15 см высотой. Еще более слабо развиты растения на делянках варианта NP.

Результаты опытов 1 и 2 оказались вполне сопоставимыми, и основные выводы по проведенным исследованиям были сделаны следующие:

- На участках старых (более 10 лет) нефтяных разливов, расположенных в переувлажненных условиях на торфянистых и торфянисто-глевых субстратах при концентрации загрязнения нефтью более 200 мг/г при проведении биологической очистки наиболее эффективно применение бактериальных препаратов, изготовленных на основе аборигенной углеводородокисляющей микрофлоры с одновременным использованием минерального удобрения.

Таблица 20

Численность основных трофических групп на глубине отбора 0-10 (первая строка), 10-20 см (вторая строка) и ризосферы (третья строка) в вариантах опыта 4

Содержание нефти, мг/г	Трофическая группа микрофлоры, млн. клеток/г в.с.п.	
	аммонификаторы	олиготрофы
	Вариант NP*	
91.80	91.80	26.00
64.80	64.80	52.30
25.10	25.10	146.00
	Вариант МУС-1+компост	
85.00	8.10	13.60
65.30	235.00	35.30
29.30	60.0	47.40
	Вариант МУС-1+ NP	
22.90	17.24	76.00
15.19	19.00	45.97
10.60	62.50	153.30
	Вариант МУС-1+NP+компост	
41.60	253.00	56.90
28.50	257.00	36.76
21.30	15.44	386.00

* Здесь и далее: NP – аммиачная селитра и суперфосфат, остальные обозначения в вариантах опыта те же, что и в табл. 13.

**Характер развития растительности на делянках
в разных вариантах полевого опыта 2 на второй год после посева трав**

Номер делянки	Проективное покрытие, %	Преобладающие растения
Вариант NP		
1.1	30	Преобладают крестовник и пушица. Из сеяных трав – бекмания (единичные экземпляры), канареечник
1.2	15-20	Преобладает крестовник. Единично бекмания, мятлик, овсяница
1.3	5	Крестовник и пушица
1.4	3-5	Крестовник, тимофеевка
Вариант МУС-1+компост		
2.1	8-10	Крестовник, пушица
2.2	10-12	Крестовник, пушица, бекмания, тимофеевка, мятлик
2.3	20-25	Крестовник, пушица
2.4	30-35	Пушица, лисохвост, канареечник, мятлик
Вариант МУС-1+NP		
3.1	50	Преобладают сеяные травы – мятлик, бекмания, канареечник, лисохвост. Единично крестовник
3.2	85	Бекмания, лисохвост, мятлик, овсяница, ромашка, крестовник
3.3	85	Лисохвост, бекмания, мятлик, овсяница, канареечник, крестовник, ромашка
3.4	65	Лисохвост, бекмания, мятлик, канареечник, овсяница, крестовник
Вариант МУС-1+NP+компост		
4.1	100	Бекмания, лисохвост, мятлик, канареечник, овсяница, крестовник, ромашка
4.2	95	Бекмания, мятлик, лисохвост, канареечник, овсяница, тимофеевка, ромашка, крестовник
4.3	90	Мятлик, лисохвост, бекмания, крестовник, ромашка
4.4	90	Лисохвост, бекмания, мятлик, крестовник, ромашка

• На плотных субстратах в условиях избыточной влажности стимулировать очищения почвы целесообразно проводить с использованием биопрепарата, минеральных и органических удобрений. Применение в качестве стимулятора разложения нефти на сильнозагрязненных нефтью участках только минерального удобрения неэффективно.

• На торфянистых и торфяных субстратах использование органических удобрений нецелесообразно, более эффективно по сравнению с ними использование минеральных удобрений.

• Продолжительность очищения почвы при исходно высоком уровне нефтяного загрязнения до момента, когда станет возможным нормальный рост и развитие высеваемых трав, составляет не менее двух-трех лет.

• На завершающей стадии рекультивации нефтезагрязненных почв рекомендуется посев наиболее устойчивых из испытанных трав – бекмании, лисохвоста, мятлика и канареечника.



Фото 35. Делянки с вариантами опыта 4: а – NP, б – МУС-1+ NP через семь лет после начала эксперимента.

Опыт 5. Изучение очистки от нефти песчаных субстратов при отличающихся дозах загрязнения.

Опыт был заложен в 1997 г. в районе скв. 3475 (ЦДНС-10) на территории бывшего нефтяного амбара. Для получения заданной в условиях опыта концентрации загрязнения песок смешивали с сырой нефтью в соответствующих дозе загрязнения пропорциях до концентраций 5, 10 и 15 %. Загрязненную почву выкладывали слоем около 7-10 см на делянки площадью по 1 м². Повторность вариантов опыта – трехкратная. Рекультиванты вносили в следующих количествах: минеральное удобрение (диаммофос) – 35 г/м², компост – 0.01 кг/м² во все варианты (кроме варианта с 15 %-ным загрязнением, в котором компост вносили по 0.02 кг/м²); препарат МУС-1 – 1 л/м², посев трав – по 1 г травосмеси (мятлик, лисо-

Таблица 22

Фаза развития (высота, см) растений во второй год жизни травостоя на делянках опыта в районе скважины 203, заложенного в 1997 г. (по данным Л.П. Турубановой, 1999)

Название растения	Вариант, номер делянки			
	NP, 1-4	МУС-1+компост, 5-8	МУС-1+NP, 9-12	МУС-1+NP+компост, 13-16
Высеянные растения				
Канареечник	Всходы-кущение (2-5-15)	Всходы-кущение (2-5-15)	Выход в трубку, колошение (40-60)	Выход в трубку, колошение (60-80)
Лисохвост луговой	То же (2-12)	То же (2-12)	То же, плодоношение (35-105)	То же, плодоношение (45-105)
Бекмания обыкновенная	» » (3-5, ед. до 16)	» » (3-5, ед. до 16)	Колошение (60)	Колошение (60-80)
Мятлик луговой	» » (3-5, ед. до 12)	» » (3-5, ед. до 12)	Метелки раскидистые (65)	Метелки раскидистые (до 85)
Овсяница красная	» » (3-5, ед. до 12)	» » (3-5, ед. до 12)	Колошение (65)	Колошение (60-90)
Тимофеевка луговая	» » (3-5, ед. до 15)	» » (3-5, ед. до 15)	То же (15-50)	То же (до 50)
Внедрившиеся виды				
Крестовник скученный	Розетки-цветение (3-5-30)	Розетки-цветение (3-5-30)	Розетки-цветение (5-55)	Цветение-плодоношение-розетки (от 3 до 45)
Ромашка крупноцветная	То же (3-5-45)	То же (3-5-35)	То же (3-5-45)	Розетки-цветение (3-5-60)
Кипрей болотный	Бутоны-цветение (7-12)	Бутоны-цветение (8-15)	Бутоны-цветение (7-23)	Бутоны-цветение (12-23)
Пушица шейхцери*	Всходы-кущение (2-3)	Всходы-кущение (2-3)	Всходы-кущение (2-3)	Всходы-кущение (2-3)

* На делянке 5 среди всходов более 50 % – пушица высотой 3-5 см (массовые) и 7-10-15 см (единичные – ед.).

хвост, тимофеевка, костер, овсяница) на делянку. В течение трехлетнего периода наблюдений оценивали динамику содержания нефти, численности микрофлоры и характер развития высеваемых трав на опытных площадках.

По сравнению с опытами 3 и 4 в сходных вариантах на делянках опыта 5 несмотря на более низкую степень загрязнения субстрата нефтью скорость очистки почвы была существенно ниже (рис. 21). Как показали наблюдения, при общем заметном за три года снижении нефтяного загрязнения в вариантах опыта, большая часть делянок была лишена растительности (табл. 23). Хорошее развитие высеянных трав отмечено только для незагрязненных нефтью делянок, и то лишь в варианте с использованием удобрений и компоста. В опыте ярко проявилось связывающее действие нефти на песчаный субстрат. На поверхности площадок образовалась плотная корка, трудно разбиваемая граблями. Особенно плотные корки связанного нефтью песка мы наблюдали на тех площадках, где

были внесены минеральные удобрения. Высеваемые семена трав не закреплялись в субстрате. Хорошее развитие трав наблюдали лишь на защитных полосах, разделяющих делянки. Важно отметить, что субстрат опытных делянок на протяжении всего опыта отличался крайней сухостью. На незагрязненных нефтью делянках поверхностная влага практически не задерживалась и фиксировалась на глубине более 5-10 см. На загрязненных – на протяжении всего периода наблюдений и верхний загрязненный слой, и слой под ним (до 10 см) отличались крайней сухостью, содержание воды в субстрате не превышало 3-5%. Нефтяной слой выступал в роли гидрофобного экрана и не пропускал воду под слой связанного нефтью песка. Относительной гидрофильностью через год-два после начала опыта стали отличаться только площадки с исходным уровнем загрязнения до 5% после перемешивания нефтезагрязненного песчаного субстрата с сорбентом. Для площадок с исходным загрязнением нефтью 10 и 15% и этого было недостаточно. Этот опыт показал, что такие субстраты, как песок, после воздействия нефти испытывают более существенное негативное воздействие нефти, чем органические (для района исследования – торфяные), и степень этого воздействия определяется в первую очередь гидрологическими свойствами субстрата. На загрязненных нефтью отсыпанных песком площадках скважин даже при незначительном уровне нефтяного загрязнения при производстве рекультивационных работ следует принимать меры для улучшения субстратных свойств, снижения водоотталкивающих характеристик загрязненных грунтов (например, внесение торфа или плодородной земли). В дальнейшем на основе

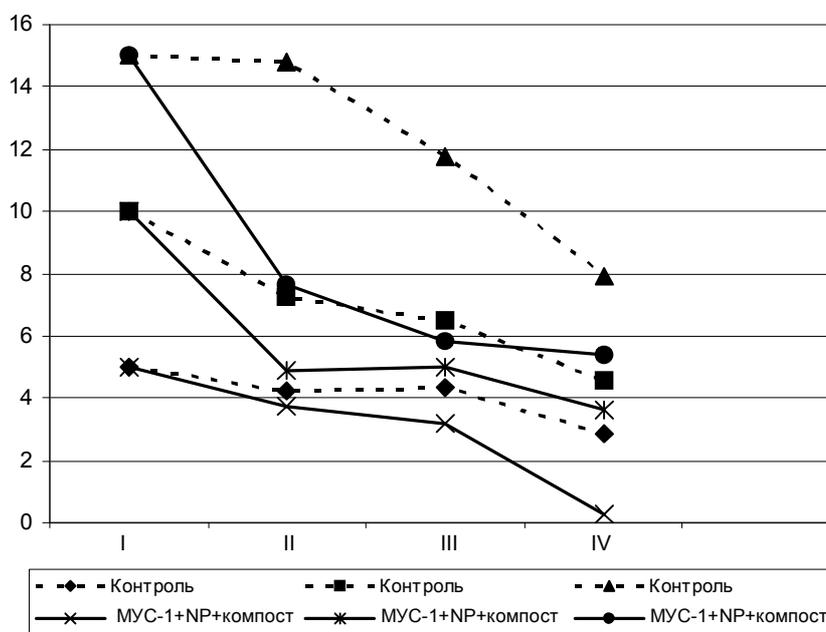


Рис. 21. Динамика содержания нефти (%) в почве опыта 5 при разных исходных концентрациях загрязнения в июле 1997 г. (I), августе 1998 г. (II), июне (III) и августе (IV) 1999 г.

полученных результатов вышеприведенных опытов были разработаны дифференцированные рекомендации с учетом исходного уровня нефтяного загрязнения для проведения рекультивации на загрязненных нефтью песчаных и торфяных субстратах (рис. 22). По итогам проведенных в период с 1995 по 1998 г. на участках ЗАО «КомиАрктикОйл» полевых работ и результатов лабораторных исследований был разработан примерный регламент рекультивации (стандарт предприятия) с учетом исходных условий на восстанавливаемых территориях.

Важным этапом в изучении эффективности восстановления нефтезагрязненных почв в условиях Севера стала серия опытных лабораторных и промышленных испытаний различных технологий биоремедиации почв с целью отработки регламента биорекультивации загрязненных нефтью земель для условий Республики Коми. В последнее время отечественный и зарубежный рынок предлагает огромное количество разработок в

Таблица 23

Характер развития растительности на делянках опыта 5 к концу третьего сезона опыта

Номер делянки (доза загрязнения, вариант опыта)	Проективное покрытие, %	Состав растительности
1 (контроль)*	3-5	Иван-чай
2 (5%, без обработок)	1	Иван-чай, хвоц
3 (10%, без обработок)	4	Хвоц
4 (15%, без обработок)	0	–
5 (10%, МУС-1+NP+ компост)	2	Ромашка, хвоц
6 (NP+компост)*	75	Мятлик, лисохвост, овсяница, иван-чай, ромашка
7 (5%, МУС-1+NP+ компост)	8-10	Костер, ромашка
8(10%, МУС-1+NP+ компост)	5-8	Иван-чай, ромашка
9 (15%, МУС-1+NP+ компост)	0	–
10 (15%, МУС-1+NP+ компост)	0	–
11 (NP+компост)*	65	Лисохвост, бекмания, мятлик, ромашка, иван-чай
12 (5%, МУС-1+NP+ компост)	0	Хвоц
13 (10%, МУС-1+NP+ компост)	0	–
14 (15%, МУС-1+NP+ компост)	0	–
15 (10%, МУС-1+NP+ компост)	0	–
16 (10%, контроль)	0	–
17 (15%, контроль)	0	–
18 (15%, МУС-1+NP+ компост)	5	Хвоц
19 (15%, МУС-1+NP+ компост)	0	–
20 (10%, МУС-1+NP+ компост)	10	Хвоц
21 (15%, контроль)	0	–
22 (15%, МУС-1+NP+ компост)	10-15	Иван-чай, ромашка

* Незагрязненная почва.

Прочерк – растительность отсутствует. NP – диаммофос, остальные обозначения в вариантах опыта те же, что и в табл. 13.

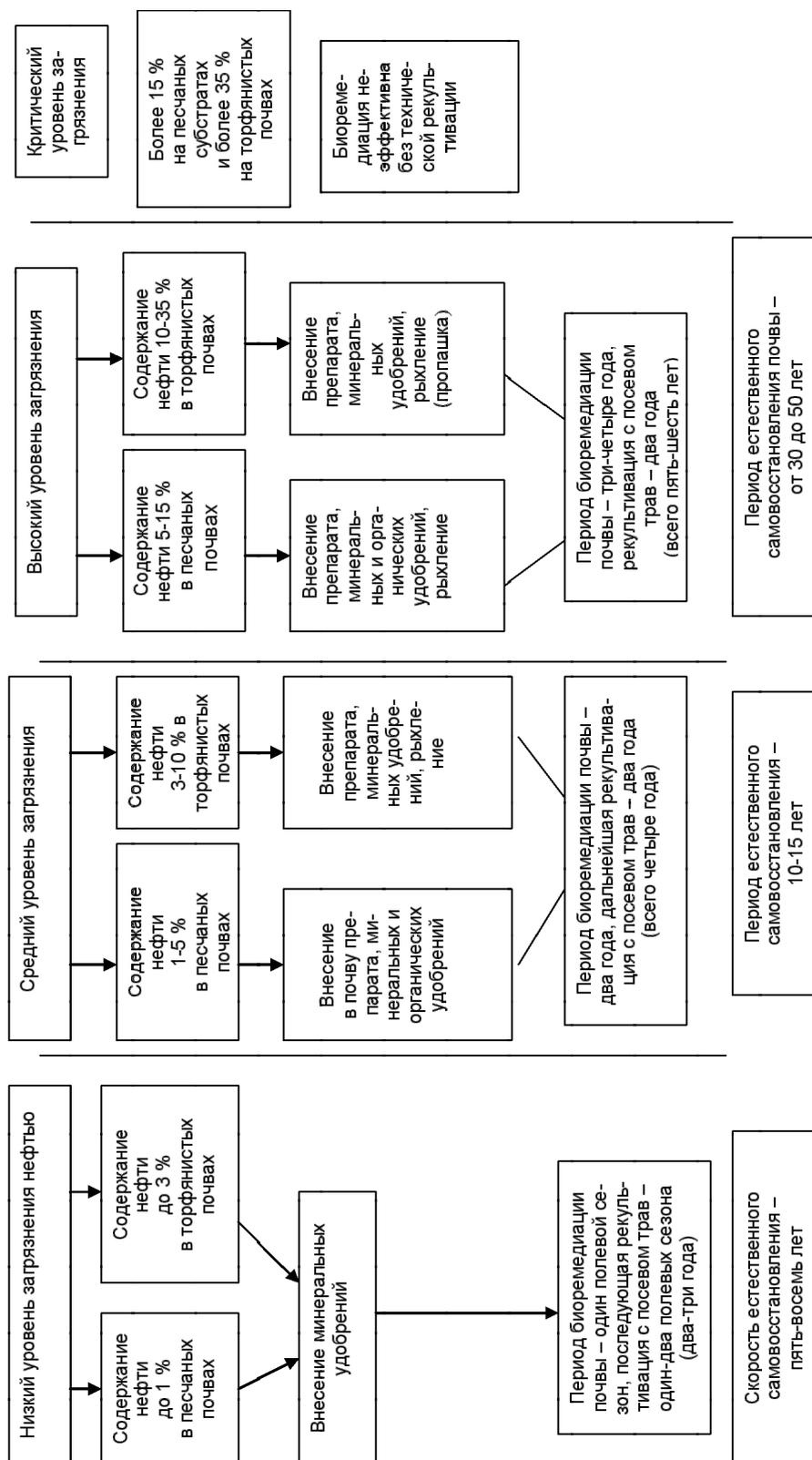


Рис. 22. Схема активизации разложения нефти в почве с учетом исходной концентрации нефтяного загрязнения и типа субстрата.

этой области. Сориентироваться в массе информации, особенно на этапе принятия решения о приоритетных технологиях, достаточно сложно. По инициативе и финансировании ОАО «ЛУКОЙЛ» были проведены лабораторные и полевые испытания технологий биоремедиации почв при исходно равных условиях. В 2001 г. к выполнению этих работ были привлечены специалисты химического факультета МГУ (препарат «Родер»; Москва) ЗАО БЭП «Тибет» (препарат «UNI-REM»; Москва), ООО НТЦ «Ника» (препараты «Бамил» и «Омуг»; С.-Петербург), Института биологии Коми НЦ УрО РАН (биопрепарат «Универсал», Лигносорбент, БАГ; Сыктывкар), ФГУП «Комимелиоводхозпроект» (агробиологические приемы, Сыктывкар), НТО «Приборсервис» (препарат «Петролан» и восстановление растительного покрова с высокой нормой высева трав, Томск). В 2002 г. к испытаниям присоединились чешская («Dekonta a.s.»), в 2003 г. – французская («ТотальФинаЭльф РРР») фирмы. Каждая из предлагаемых участниками опытов технологий прошла предварительную промышленную апробацию в разных почвенных и климатических условиях и хорошо себя зарекомендовала. Теперь же было важно оценить эффективность препаратов и технологий в равных условиях с привязкой к конкретному региону.

Опыт 6. Изучение эффективности разложения нефти в песчаном и торфяном субстратах с разными дозами загрязнения при использовании биопрепаратов нефтеокисляющего действия, органических и минеральных удобрений в лабораторном опыте.

Опыт заложен в 2001 г. Исходные субстраты, взятые для опыта, характеризовались следующими агрохимическими показателями:

Субстрат	N _{общ.} , %	P ₂ O ₅ , мг/кг	K ₂ O, мг/кг	Влажность, %	pH _{сол.}
Песок	0.01	34.3	4.1	13	6.75
Торфяная почва	1.83	109.0	37.6	76	4.68

Эффективность биопрепаратов и агробиологических приемов изучали при исходных концентрациях нефти в песчаном субстрате – 6.6, 13.6, 43.4 мг/г, в торфяном – 17 и 108 мг/г. Обработки препаратами вели в соответствии с рекомендациями разработчиков. Все биопрепараты, кроме «Бамила», внесены в виде растворов. «Бамил» – в виде органического удобрения и перемешан с загрязненной почвой на глубину 5-7 см. Предприятие «Комимелиоводхозпроект» в опытах представляло собственные рекомендации по рекультивации земель – использование только агрохимических методов для активизации нефтеокисления в почвах: минеральных удобрений (НРК) и торфа в качестве органического удобрения, который наносили на поверхность загрязненной почвы, не перемешивая его с субстратом. Травы высевали исходя из следующих норм: овес – 200, тимофеевка и канареечник по 20 кг/га. Посев осуществляли заделкой семян на глубину 0.5-1.0 см. Схема опыта приведена ниже:

Часть 1. Рекультивация загрязненных нефтью земель в Усинском районе Республики Коми

Песчаный субстрат		
Уровень загрязнения 6.6 мг/г	Уровень загрязнения 13.6 мг/г	Уровень загрязнения 43.4 мг/г
1. NPK	1. NPK	1. NPK
2. NPK, торф	2. NPK, торф	2. NPK, торф
3. NPK + Универсал	3. NPK + Универсал	3. NPK + Универсал
4. NPK + Родер	4. NPK + Родер	4. NPK + Родер
5. NPK, Бамил	5. NPK, Бамил	5. NPK, Бамил
6. NPK + Петролан	6. NPK + Петролан	6. NPK + Петролан
7. NPK + UNI-REM	7. NPK + UNI-REM	7. NPK + UNI-REM
Торфяная почва		
Уровень загрязнения 17.0 мг/г	Уровень загрязнения 108.0 мг/г	
1. NPK	1. NPK	
2. NPK, Бамил	2. NPK, Бамил	
3. NPK + Универсал	3. NPK + Универсал	
4. NPK + Родер	4. NPK Родер	
5. NPK + Петролан	5. NPK + Петролан	
6. NPK + UNI-REM	6. NPK + UNI-REM	

В результате лабораторно-вегетационных опытов было установлено, что при начальной дозе загрязнения торфяного субстрата до 20 г/кг и песчаного субстрата до 10 г/кг для активизации процессов очищения от нефти (стимулирования разложения углеводов) достаточны агrobiологические приемы (внесение в почву комплексного минерального удобрения). Данные дозы загрязнения не оказывают заметного ингибирующего воздействия и на рост растений, однако на песчаном субстрате наилучший результат (по развитию растительной массы) показали варианты с нанесением на загрязненную поверхность чистого торфа. Роль торфяного покрытия при этом состояла не столько в экранировании загрязненного слоя, сколько в создании благоприятного водно-воздушного режима для начала развития растений.

При дозе загрязнения песчаного субстрата от 10 до 40 г/кг наилучшие результаты по биологической очистке почвы от нефти были получены при использовании биопрепаратов (рис. 23). Наиболее эффективным из них был препарат «Бамил», вносимый, в отличие от других, с органическим удобрением, изготовленным из отходов животноводства. При его использовании исходные концентрации нефти 13.6 и 43.4 г/кг снизились за три месяца опыта на песчаном субстрате соответственно на 79 и 55 %. Эффективность «Родера» при этих же условиях составила соответственно 75 и 37 %, «UNI-REM»а – 62 и 44 %, «Универсала» – 57 и 38%, «Петролана» – 53 и 40 %. Использование только минерального удобрения при начальном загрязнении 43.4 мг/г способствовало незначительному (на 25 %) снижению концентрации нефти в почве. При этих дозах загрязнения было очевидным угнетение растительной массы. Но испытанные препараты, согласно инструкциям на их использование, предусматривают при высоких дозах начального загрязнения проведение рекультивационных работ в два этапа. Сначала с помощью препаратов очищают почву, понижая ее токсичность, и только затем высевают растения. Проведен-

Глава 5. Опытные работы и научные исследования

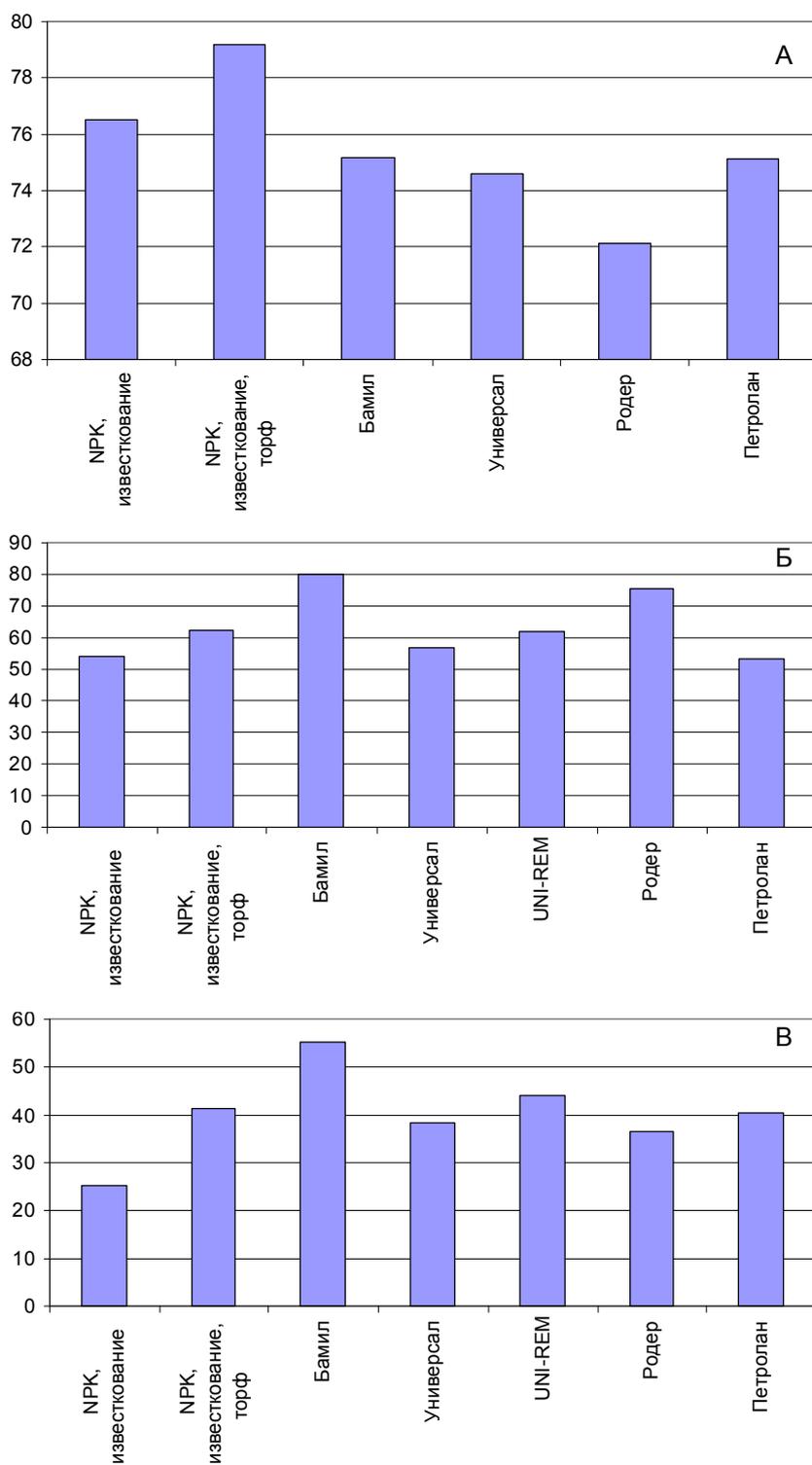


Рис. 23. Эффективность очистки от нефти (%) песчаного субстрата за три месяца при исходном уровне нефтяного загрязнения А – 6.6 мг/г; Б – 13.6 мг/г; В – 43.4 мг/г.

ные эксперименты показали, что на практике целесообразно делать именно так. На торфяном субстрате при уровне загрязнения выше 100 мг/г оптимальный результат по очистке грунта и развитию растений достигался при использовании препаратов «UNI-REM» (75 %), «Универсал» (70 %), «Родер» (59 %) и «Бамил» (66 %) (рис. 24).

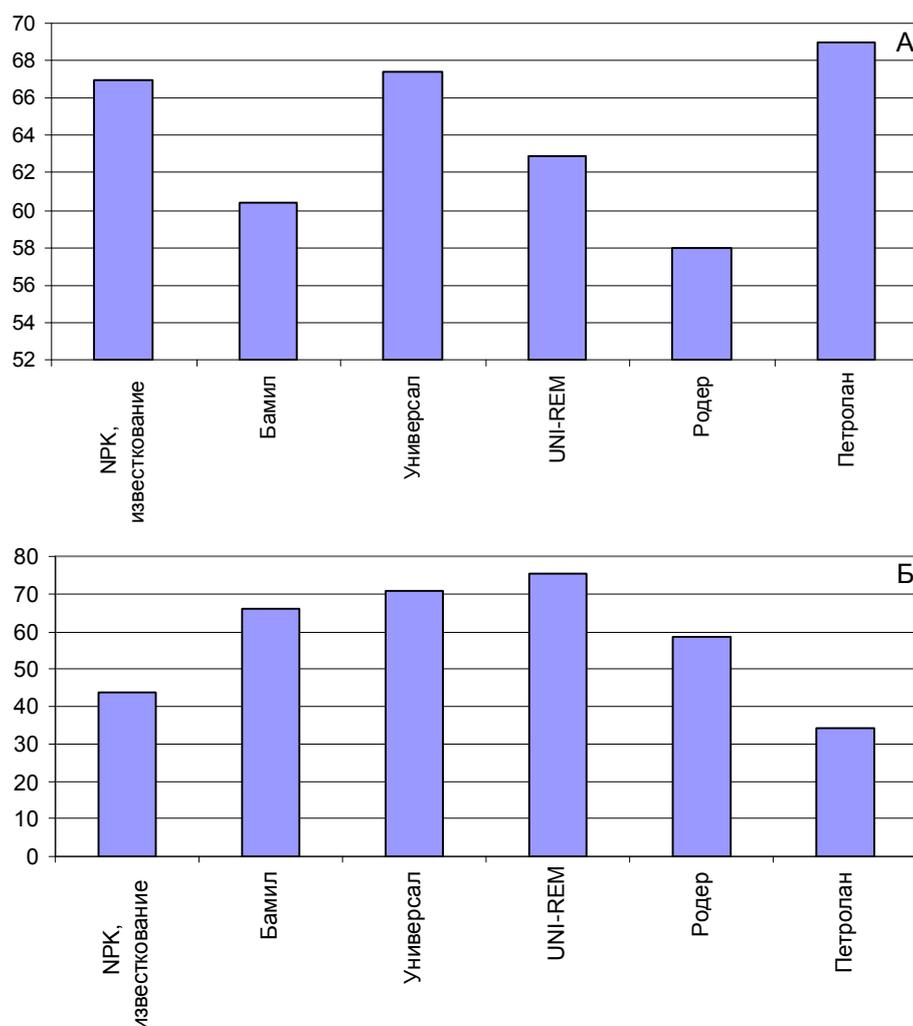


Рис. 24. Эффективность очистки от нефти (%) торфяного субстрата за три месяца при исходном уровне нефтяного загрязнения А – 17.0 мг/г; Б – 108.0 мг/г.

Опыт 7. Изучение эффективности биопрепаратов и агротехнологии в полевом деляночном опыте.

Опыт заложен в том же 2001 г. одновременно с лабораторными опытами в Усинском районе Республики Коми на участке 1Е (торфяник) (фото 36). Пропитка почвы нефтью на участке достигала 30 см, исходный уровень загрязнения на различных делянках в слое 0-20 см составлял от 280 до 380 мг/г. Анализ данных этого опыта показал, вопреки сложив-

Фото 36. Общий вид экспериментального участка № 1Е в начале эксперимента (24 июня 2001 г.).



шесюся мнению, что эффективность биопрепаратов нефтеокисляющего действия в условиях Севера достаточно высока. В вариантах с применением биопрепаратов «Универсал» и «Бамил» снижение концентрации нефти в почве за два года составило 87.6 и 82.7 % соответственно. Несколько уступала интенсивность разложения нефти в вариантах с применением препаратов «Омуг», «Родер» и «UNI-REM». При использовании известии и минеральных удобрений, а также в варианте без рекультивантов, в котором опытную делянку накрыли полиэтиленовой пленкой, содержание нефти в почве снизилось за два года на 50-65 %, что говорит о достаточно высокой естественной нефтеокисляющей активности почвы опытного участка.

В 2002 г. по заданию ОАО «ЛУКОЙЛ» испытания различных методов рекультивации нефтезагрязненных почв были продолжены в полевых (максимально приближенных к производственным) условиях для того, чтобы не только сравнить эффективность биопрепаратов, сорбентов и агротехнических приемов, но и получить данные для обоснования параметров регламента по проведению биорекультивации в условиях Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции.

Опыт 8. Изучение эффективности биопрепаратов, сорбентов и агротехнических приемов в полевом промышленном эксперименте.

Опыт заложили на участке нефтяного разлива № 20 в районе ЦДНГ-4 общей площадью около 2 га. Почвы участка торфяные, мощность торфяной залежи – от одного до четырех метров. Нижележащий слой – сильнооглеенный суглинок. Перед закладкой опыта с поверхности участка собрали поверхностную нефть, подготовили дренажные каналы для отвода избытка воды, а также для накопления и сбора высачивающейся из торфяного слоя нефти. В результате на участке образовалось пять изолированных друг от друга фрагментов, каждый из которых условно разделили поперек участка пополам. Всего получилось 10 площадок площа-

дью около 0.2 га, которые перед началом работ были распределены (по результатам жеребьевки) между участниками эксперимента для показательного испытания собственных разработок (табл. 24). Перед началом эксперимента все площадки фрезеровали на глубину 25-30 см по промерзшей почве в марте-апреле. В июне 2002 г. опыт был заложен в присутствии представителей нефтяной компании и всех участников испытаний.

Таким образом, в опыте были представлены два основных направления биоремедиации почвы: технологии стимулирования разложения нефти с применением биопрепаратов и технологии стимулирования естественного нефтеокисления с помощью минеральных, органических удобрений и реагентов. Опытные площадки, кроме этого, отличались видом высеваемых травосмесей и исходным уровнем нефтяного загрязнения. В этой части книги мы рассмотрим только общие результаты опыта, отражающие эффективность испытанных технологий. Основные же материалы будут подробно изложены во второй книге, где будут рассмотрены критерии оценки состояния загрязненных нефтью почв на разных этапах их восстановления.

Одним из важных оценочных критериев потенциальной способности почв к восстановлению является комплекс микробиологических и биохимических показателей. В опытных субстратах на протяжении всего опыта анализировали изменение структуры микробоценоза по соотношению численности основных трофических групп почвенных микроорганизмов и ферментативной активности почв. При анализе результатов за четыре года наблюдений стало ясно, что все испытанные технологии в той или иной степени были эффективны (табл. 25-29).

Контрольный вариант (площадка № 2, фото 39) отличался самой низкой численностью почвенной микрофлоры. В момент закладки опыта на участке № 20 это была самая чистая (по содержанию нефти в почве) площадка с высоким уровнем влажности (до 85 %). Впоследствии площадка подсохла (за счет работы дренажных каналов), и к 2006 г. степень увлажнения составляла уже 35 %, что для торфяной массы крайне мало. Видимо, поэтому в течение опыта в почве этой площадки численность аммонифицирующей микрофлоры снизилась за четыре года в пять раз, численность нитрифицирующей и олигонитрофильной микрофлоры уменьшилась в два раза. Зато количество углеводородокисляющих микроорганизмов возросло в два раза, что может быть следствием уборки поверхностной нефти и определенного снятия токсического пресса, оказываемого ранее на площадку. Ферментативная активность за три года наблюдений снизилась по каталазе и уреазе соответственно в 2.0 и 2.5 раза и во столько же возросла по дегидрогеназе. По сути, в контрольном варианте мы видим, как происходит изменение биологической активности в почве в том случае, когда каких-либо действий, кроме поверхностной уборки нефти и осушки, не производится, и как изменяется сезонная численность почвенных микроорганизмов. В целом показатели биологической активности почвы контрольного варианта низкие по сравнению со всеми остальными вариантами опыта.

Схема полевого опыта 8

Номер пло-щадки	Организация-разработчик	Испытуемый метод	Использованные механизмы	Вид обработки	Высеваемые травы
1.	НТО «Прибор-сервис», Томск	Биопрепарат «Петролан» на торфонасчителе	Болотоход «Ишимбай»	Препарат вносят однократно под фрезу одновременно с внесением минеральных удобрений и высевом травосмесей	Канареечник тростниковидный, полвица гигантская, тимфеевка луговая, клевер луговой, овес посевной
2.	Контроль – без обработок				
3Т.	«ТотальФинанс Эльф РРР», Франция	Реагент «Иниполь ЕАР 22»*	Ранцевый распылитель для внесения реагента	Однократная обработка реагентом, внесение минеральных удобрений и высев трав	Тимофеевка луговая, щучка дернистая, полвица гигантская
3Ч	«Deconta, a.s.», Республика Чехия	Биопрепарат «DE-KONTAM-3»** с ком-постом	Ранцевый распылитель для внесения биопрепарата, и ком-пост с минеральным удобрением вручную	Двухкратная обработка водным раствором биопрепарата, одновременно внесение в почву компоста, извести, минеральных удобрений	Тимофеевка луговая, канареечник тростниковидный, овес посевной
4.	Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар	Биопрепарат «Универсал»	Внесение вручную в виде сухой смеси парата с минеральным удобрением	Двухкратная обработка почвы, посев трав в конце первого полевого сезона опыта	Тимофеевка луговая, кочер безостый, полвица гигантская, овес посевной
5.	НТЦ «НИКА», Санкт-Петербург	Биопрепарат «ОМУГ»	Внесение вручную с заделкой граблями (фото 38)	Однократная обработка биопрепаратом с одновременным внесением в почву минеральных и органических удобрений	Тимофеевка луговая, овес посевной
6.	Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар	Биопрепарат «Универсал» на Лигносорбенте и БАГ в качестве удобрительно-посевого материала	Внесение вручную по-верхностно, разбрасыванием на поверхность загрязненного участка	Однократная обработка без высева трав	Щучка дернистая

Окончание табл. 24

Номер площадки	Организация-разработчик	Испытуемый метод	Использованные механизмы	Вид обработки	Высеваемые травы
7.	«Комимелиовод-хозпроект», Сыктывкар	Агрхимические методы (минеральное удобрение, доломитовая мука)	Внесение вручную	Двух-трехкратная обработка	Тимофеевка луговая, овес посевной
8	«Deconta, a.s.», Республика Чехия	«DEKONTAM-3»**	Ранцевый распылитель для внесения биопрепарата и компост с минеральным удобрением вручную	Двухкратная обработка водным раствором биопрепарата при одновременном внесении в почву компоста, извести, минеральных удобрений	Тимофеевка луговая, овес посевной
9.	Химический факультет МГУ	«Родер»	Распыление из вакуум-бочки рабочего раствора препарата с растворенным там же минеральным удобрением (фото 37)	Двух-трехкратная обработка в течение полевого сезона и известкование почвы	Канареечник тростниковидный, тимофеевка луговая, овес посевной

* «Иниполь ЕАР 22» – ускоритель биохимического разложения нефти. Метод основан на стимулировании имеющихся в почве микроорганизмов путем обеспечения их «недостающими питательными веществами». Состав препарата представителями фирмы не представлен. «Иниполь ЕАР 22» вносили на площадку № 3Т дважды в течение лета 2003 г. с помощью ранцевых распылителей и мотопомпы. Тогда же были посеяны травы.

** «DEKONTAM-3» с компостом – состав биопрепарата представителями фирмы «Deconta, a.s.» не озвучен. Сам биопрепарат одобрен государственным медицинским Институтом республики Чехия. Концентрация вносимых бактерий в рабочем растворе колеблется от 10⁸ до 10¹⁰ клеток/мл. Обработку почвы провели дважды в 2002 г., внося в целом на площадку 34 площадью 0.07 га 1200 л рабочего раствора препарата, а на площадку 8 площадью 0.2 га – 3600 л. Компост использовали как «присадку» для улучшения водно-воздушных свойств санитарного субстрата. Состав компоста не представлен.

Фото 37. Распыление раствора биопрепарата «Родер» и минерального удобрения, предварительно разведенных водой в вакуум-бочке.



Фото 38. Внесение биопрепарата «Омуг-15» на площадку № 5 (НТЦ «Ника»).



На площадке 7 (фото 40) агрохимическое стимулирование очищения почвы от нефти с помощью минеральных удобрений способствовало увеличению численности аммонифицирующей микрофлоры в 2.5-3.0 и нитрифицирующей – в 13-18 раз. О резком улучшении субстратных условий и уменьшении токсичности нефтяных соединений свидетельствует то, что в почве через три года после закладки опыта в 30 раз по сравнению с начальными значениями увеличилась численность факультативных азотфиксаторов, очень чувствительных к нефтяному загрязнению. Возросла и нефтеокисляющая активность (в 100 раз за три года). За это же время в среднем увеличилась степень каталазной (в 10 раз), уреазной (1.5-2.0 раза) и дегидрогеназной (8-9 раз) активности почвы.

Варианты с микробными препаратами показали, что их применение для эффективного очищения почвы и снижения порога токсичности для дальнейшего восстановления растительности целесообразно и оправдано.

Часть 1. Рекультивация загрязненных нефтью земель в Усинском районе Республики Коми

Таблица 25

Динамика численности аммонифицирующей микрофлоры за 2002-2004 гг., млн. клеток/г в.с.п

Номер точки отбора	Дата взятия проб						
	25 июня 2002 г.	27 июля 2002 г.	26 августа 2002 г.	4 июня 2003 г.	16 июля 2003 г.	15 августа 2003 г.	20 августа 2004 г.
Площадка № 1, биопрепарат «Петролан»							
1-1	6.68	18.94	4.44	8.26	19.44	15.21	12.46
1-2	5.43	20.21	4.32	9.06	18.52	12.34	10.19
1-3	3.98	15.52	3.05	7.69	13.28	12.11	13.16
1-4	2.17	25.64	4.58	11.21	24.36	15.16	–
1-5	8.90	56.17	15.68	12.03	24.10	14.31	11.93
Площадка № 2, контроль							
2-1	1.98	2.17	0.62	1.21	2.02	0.90	1.19
2-2	2.17	1.62	0.94	1.25	2.16	1.03	0.95
2-3	4.89	0.58	0.44	1.12	1.98	0.87	0.87
2-4	5.98	0.15	0.01	1.16	1.58	1.01	–
2-5	3.41	5.89	0.41	1.54	2.41	1.03	1.00
Площадка № 3Т, реагент «Иниполь» (с 2003 г.)							
3-1	7.16	2.58	1.73	9.56	12.58	11.08	6.11
3-2	4.89	2.98	2.92	14.01	18.26	17.01	4.51
3-3	8.45	2.15	0.87	8.45	14.01	10.45	–
3-4	5.17	5.17	1.15	7.97	19.32	11.52	4.22
3-5	4.14	12.84	2.52	11.24	21.03	10.07	6.35
Площадка № 4, биопрепарат «Универсал»							
4-1	3.19	12.75	4.26	12.45	15.03	10.01	11.20
4-2	10.12	12.96	3.18	9.61	14.30	11.04	8.16
4-3	1.67	17.40	5.42	14.08	19.36	10.03	–
4-4	9.19	31.64	6.78	12.65	25.09	14.01	8.57
4-5	14.5	12.56	3.26	8.21	16.24	13.31	10.65
Площадка № 5, биопрепарат «ОМУГ»							
5-1	11.9	10.37	3.43	7.24	15.24	12.47	5.26
5-2	3.42	2.17	1.01	12.04	17.89	16.31	8.19
5-3	8.90	12.15	5.47	6.35	14.23	11.10	–
5-4	6.70	14.41	3.54	8.16	19.33	16.13	8.03
5-5	3.34	3.31	1.70	15.23	25.46	14.36	12.5
Площадка № 6, биопрепарат «Универсал», лигносорбент, БАГ							
6-1	7.96	5.44	2.95	14.25	21.36	20.31	9.22
6-2	1.44	9.87	9.7	12.30	28.15	14.12	11.36
6-3	1.13	15.87	5.14	10.24	23.98	16.16	–
6-4	6.65	21.56	4.68	12.30	27.89	14.36	11.02
6-5	7.19	6.81	0.12	3.36	10.23	10.00	9.46
Площадка № 7, агростимулирование							
7-1	0.90	14.52	3.85	2.14	9.13	8.16	4.36
7-2	1.18	1.38	1.31	4.21	5.26	3.36	7.12
7-3	2.18	10.26	1.35	3.15	14.20	2.17	–
7-4	3.19	12.30	2.65	6.13	10.24	10.45	6.98
7-5	6.02	11.13	0.96	7.58	11.23	9.18	6.12
Площадка № 8, биопрепарат «Dekontam»							
8-1	4.45	5.64	2.99	5.46	10.28	11.17	9.14
8-2	1.26	10.14	2.03	4.19	16.80	11.03	9.87
8-3	7.19	21.35	8.19	2.19	15.26	6.13	–
8-4	2.24	16.32	4.65	6.15	14.02	10.14	8.37
8-5	22.11	25.06	6.87	9.14	29.63	15.18	12.35
Площадка № 9, биопрепарат «Родер»							
9-1	–	–	–	–	–	–	–
9-2	17.92	37.50	7.82	8.19	31.04	21.07	11.46
9-3	3.94	19.64	8.13	9.19	26.34	16.34	9.43
9-4	8.76	25.46	12.15	12.08	27.56	21.03	–
9-5	2.19	31.56	15.46	7.95	21.03	14.15	11.08

Глава 5. Опытные работы и научные исследования

Таблица 26

Динамике численности нитрифицирующей микрофлоры за 2002-2004гг.,
млн. клеток/г в.с.п.

Номер точки отбора	Дата взятия проб						
	25.06.02 г. (до начала обработок)	27.07.02 г. (через месяц после закладки опыта)	26.08.02 г. (конец вегетации)	4.06.03 г. (начало вегетации)	16.07.03 г. (середина вегетации)	15.08.03 г.	20.08.04 г.
Площадка № 1, биопрепарат «Петролан»							
1-1	8.97	356.90	54.68	126.30	420.80	389.20	210.50
1-2	13.24	298.70	35.78	114.30	348.90	213.50	287.90
1-3	78.59	361.30	15.64	96.30	369.70	165.10	365.30
1-4	26.18	318.50	87.96	84.10	231.20	145.20	–
1-5	13.24	256.70	45.78	54.10	198.70	112.40	287.90
Площадка № 2, контроль							
2-1	14.56	12.54	0.62	2.15	21.10	10.15	3.26
2-2	7.81	13.64	0.81	5.64	13.14	10.03	5.15
2-3	5.46	18.80	1.48	2.16	10.19	5.64	4.12
2-4	8.97	12.34	1.24	5.13	12.34	9.87	–
2-5	3.24	21.50	2.36	7.18	15.69	9.02	4.17
Площадка № 3Т, реагент «Иниполь» (с 2003 г.)							
3-1	–	–	–	6.14	121.30	203.40	0.23
3-2	7.87	29.60	3.84	12.16	213.10	168.20	4.16
3-3	14.56	12.50	3.46	10.34	165.80	145.20	2.15
3-4	18.49	19.80	3.64	15.64	198.36	145.20	–
3-5	15.46	17.60	5.46	14.03	125.80	114.60	2.18
Площадка № 4, биопрепарат «Универсал»							
4-1	12.30	256.10	24.60	96.80	235.60	145.90	216.80
4-2	11.16	251.30	58.90	112.30	311.40	216.30	300.20
4-3	5.12	298.60	36.50	145.40	365.20	118.60	245.90
4-4	4.19	307.80	78.90	123.40	342.10	285.40	–
4-5	7.20	245.50	45.40	117.50	297.30	114.90	254.30
Площадка № 5, биопрепарат «ОМУГ»							
5-1	43.90	203.50	23.40	95.60	197.60	156.40	214.80
5-2	48.56	213.50	32.60	114.90	216.40	218.20	245.90
5-3	14.56	245.30	68.90	74.21	246.30	197.20	278.90
5-4	32.16	198.50	12.54	87.24	215.60	113.80	–
5-5	38.19	175.65	35.10	65.30	246.80	124.10	246.50
Площадка № 6, биопрепарат «Универсал», лигносорбент, БАГ							
6-1	21.69	239.60	12.56	154.30	319.80	389.30	450.60
6-2	2.84	278.50	18.98	98.60	346.80	319.80	356.80
6-3	1.90	193.20	26.45	125.80	348.30	311.20	310.80
6-4	8.54	187.50	32.15	146.50	395.20	378.40	–
6-5	2.13	260.00	21.54	110.30	325.30	319.50	372.70
Площадка № 7, агростимулирование							
7-1	2.36	21.56	7.12	13.65	54.10	23.80	56.98
7-2	4.56	89.64	4.50	26.31	120.70	24.30	87.60
7-3	8.79	75.41	1.76	19.68	120.40	31.60	45.12
7-4	5.32	53.14	2.34	21.21	98.30	31.00	–
7-5	3.13	27.89	8.19	10.34	52.30	31.10	63.23
Площадка № 8, биопрепарат «Dekontam»							
8-1	15.46	154.70	24.50	52.36	154.30	120.00	213.02
8-2	12.01	147.20	23.10	41.26	256.30	124.30	154.80
8-3	3.02	178.90	35.40	52.63	194.50	125.50	156.90
8-4	4.56	203.40	31.20	36.60	241.30	123.10	–
8-5	8.13	195.30	29.80	42.56	251.30	115.80	174.91
Площадка № 9, биопрепарат «Родер»							
9-1	6.19	356.1	32.56	145.60	378.90	362.10	456.90
9-2	1.53	345.3	54.80	124.50	396.90	312.80	312.60
9-3	4.51	298.4	69.78	154.60	410.90	269.80	356.80
9-4	0.19	164.3	36.47	178.90	400.30	215.10	–
9-5	7.84	451.2	55.47	165.10	321.50	198.60	375.43

Часть 1. Рекультивация загрязненных нефтью земель в Усинском районе Республики Коми

Таблица 27

Динамика численности олигонитрофиллов за 2002-2004 гг., млн. клеток/г в.с.п.

Номер точки отбора	Дата взятия проб						
	25.06.02 г. (до начала обработок)	27.07.02 г. (через месяц после закладки опыта)	26.08.02 г. (конец вегетации)	4.06.03 г.	16.07.03 г.	15.08.03 г.	20.08.04 г.
Площадка № 1, биопрепарат «Петролан»							
1-1	2.16	54.60	5.89	21.35	120.60	65.80	198.70
1-2	5.19	23.40	6.25	14.51	65.30	21.70	108.60
1-3	14.26	89.50	19.87	21.90	145.20	14.95	124.30
1-4	21.58	65.49	11.24	34.90	65.90	25.60	–
1-5	5.19	29.80	14.21	19.68	63.70	31.54	143.86
Площадка № 2, контроль							
2-1	2.45	1.24	0.13	0.19	0.98	0.54	2.56
2-2	5.61	1.35	0.14	0.52	1.23	0.31	4.23
2-3	2.04	2.54	0.87	0.24	1.56	0.24	2.13
2-4	8.19	5.25	0.54	0.34	1.21	0.41	–
2-5	2.17	3.19	0.98	0.17	2.03	0.21	2.97
Площадка № 3Т, реагент «Иниполь» (с 2003 г.)							
3-1	–	–	–	2.16	21.54	–	0.21
3-2	5.01	8.54	2.15	5.31	19.87	21.46	0.54
3-3	7.19	2.14	4.11	3.14	23.54	24.64	0.69
3-4	2.14	6.24	0.19	2.18	18.19	16.31	–
3-5	1.68	1.35	2.17	4.13	17.03	14.51	0.48
Площадка № 4, биопрепарат «Универсал»							
4-1	2.17	52.40	13.45	19.69	118.60	107.8	110.60
4-2	0.25	45.10	5.21	14.56	131.00	115.8	100.50
4-3	8.17	26.40	16.79	21.56	98.20	112.4	102.70
4-4	0.16	81.20	8.21	22.37	65.50	94.50	–
4-5	2.49	16.35	19.78	19.18	89.70	65.19	104.60
Площадка № 5, биопрепарат «ОМУГ»							
5-1	24.05	35.90	12.6	21.45	56.40	13.54	54.90
5-2	21.36	45.10	4.15	16.30	89.12	12.60	102.10
5-3	29.24	39.70	12.6	18.40	24.80	28.90	114.30
5-4	20.56	16.90	2.14	14.70	65.70	31.40	–
5-5	35.90	19.80	4.28	18.90	78.60	28.10	90.43
Площадка № 6, биопрепарат «Универсал», лигносорбент, БАГ							
6-1	21.18	46.70	26.45	21.03	112.80	85.10	216.30
6-2	2.84	69.40	12.35	25.68	156.00	54.60	102.30
6-3	1.90	39.60	15.47	19.80	154.70	95.30	113.50
6-4	3.14	41.70	3.90	23.04	98.50	74.20	–
6-5	0.26	19.65	18.79	25.70	75.20	69.90	144.03
Площадка № 7, агростимулирование							
7-1	3.45	15.80	0.21	1.25	11.17	8.56	12.56
7-2	0.98	14.30	0.97	1.35	16.31	2.34	14.69
7-3	7.54	10.50	1.54	2.06	21.14	4.56	21.60
7-4	2.11	8.45	3.15	2.41	19.78	5.44	–
7-5	0.16	2.14	0.41	1.11	15.61	7.19	12.61
Площадка № 8, биопрепарат «Dekontam»							
8-1	1.47	19.80	5.64	8.19	98.16	53.10	65.90
8-2	1.29	15.40	8.24	5.64	65.23	34.20	58.40
8-3	9.58	25.80	1.34	9.16	84.17	47.90	45.90
8-4	6.34	24.80	1.58	7.26	51.16	31.10	–
8-5	2.25	19.20	7.18	6.54	49.80	45.90	56.70
Площадка № 9, биопрепарат «Родер»							
9-1	3.64	34.70	4.56	19.19	114.10	63.50	154.90
9-2	2.31	65.20	5.58	21.60	126.50	54.20	134.50
9-3	0.22	64.10	16.78	25.90	98.70	45.80	97.30
9-4	4.51	49.70	2.34	24.80	160.30	56.12	–
9-5	0.98	19.80	5.14	17.80	86.70	42.80	128.90

Глава 5. Опытные работы и научные исследования

Таблица 28

Динамика численности нефтеокисляющей микрофлоры за 2002-2004 гг.,
млн. клеток/г в.с.п.

Номер точки отбора	Дата взятия проб						
	25.06.02 г. (до начала обработок)	27.07.02 г. (через месяц после закладки опыта)	26.08.02 г. (конец вегетации)	4.06.03 г.	16.07.03 г.	15.08.03 г.	20.08.04 г.
Площадка № 1, биопрепарат «Петролан»							
1-1	0.01	10.190	12.360	10.24	15.98	14.16	16.90
1-2	0.04	14.250	10.250	11.54	14.78	9.19	14.23
1-3	0.01	14.310	19.810	12.30	19.16	8.36	9.65
1-4	0.02	9.580	13.250	19.30	21.31	12.14	–
1-5	0.02	17.160	24.800	15.60	18.56	7.15	13.59
Площадка № 2, контроль							
2-1	0.06	0.10	0.02	0.01	0.10	0.05	0.09
2-2	0.05	То же	0.05	0.05	0.07	0.04	0.10
2-3	0.09	0.12	0.02	0.02	0.07	0.03	0.120
2-4	0.09	То же	То же	0.06	0.09	0.05	–
2-5	0.08	0.10	0.09	0.05	0.04	0.02	0.10
Площадка № 3Т, реагент «Иниполь» (с 2003 г.)							
3-1	–	–	–	1.16	–	–	0.45
3-2	0.10	0.12	0.07	1.25	2.46	4.15	0.36
3-3	0.05	0.10	0.08	1.34	5.34	3.16	0.24
3-4	0.05	0.14	0.19	1.20	3.15	5.19	–
3-5	0.08	0.15	0.14	0.98	6.18	5.18	0.35
Площадка № 4, биопрепарат «Универсал»							
4-1	0.01	18.95	15.46	11.48	12.46	11.24	12.35
4-2	0.01	12.04	14.61	15.16	18.96	12.54	9.56
4-3	0.07	29.45	11.46	13.24	15.64	17.81	12.50
4-4	0.10	14.56	10.80	21.17	23.16	10.20	–
4-5	0.04	18.97	5.28	20.17	19.87	12.14	11.47
Площадка № 5, биопрепарат «ОМУГ»							
5-1	0.01	1.26	1.35	2.34	10.21	4.12	9.16
5-2	0.08	2.30	2.04	5.12	9.17	6.12	5.19
5-3	0.05	1.24	3.14	3.24	6.18	10.10	7.16
5-4	0.01	5.24	6.18	2.17	7.13	5.18	–
5-5	0.012	6.34	4.15	3.14	15.60	4.12	7.17
Площадка № 6, биопрепарат «Универсал», лигносорбент, БАГ							
6-1	0.09	10.36	9.64	5.26	15.47	9.17	15.40
6-2	0.07	14.56	12.30	8.97	21.60	8.19	12.32
6-3	0.08	10.30	6.57	4.18	24.90	11.19	9.48
6-4	0.06	8.76	7.24	9.46	25.30	24.10	–
6-5	0.01	16.34	10.13	5.17	21.50	13.80	12.41
Площадка № 7, агростимулирование							
7-1	0.09	0.98	1.26	1.14	5.13	–	2.13
7-2	0.02	0.65	0.91	0.98	6.12	3.03	1.18
7-3	0.02	0.34	0.32	2.01	4.89	2.98	5.16
7-4	0.02	0.87	1.45	2.45	5.18	3.21	–
7-5	0.09	0.36	0.50	2.07	4.19	2.12	2.82
Площадка № 8, биопрепарат «Dekontam»							
8-1	0.10	1.25	5.31	4.18	15.23	10.24	9.13
8-2	0.03	1.36	3.15	5.64	14.25	9.06	5.14
8-3	0.08	2.35	4.19	7.14	16.01	16.21	8.48
8-4	0.03	4.19	6.10	6.18	16.21	14.33	–
8-5	0.09	6.51	3.40	5.48	14.08	9.02	7.58
Площадка № 9, биопрепарат «Родер»							
9-1	0.07	15.62	10.50	12.36	21.36	18.70	12.35
9-2	То же	21.19	36.80	11.17	23.54	14.30	14.90
9-3	» »	16.54	19.40	10.14	29.80	15.80	18.30
9-4	0.05	14.87	24.70	12.05	21.30	19.60	–
9-5	0.06	19.90	28.50	10.45	19.70	18.40	15.18

Часть 1. Рекультивация загрязненных нефтью земель в Усинском районе Республики Коми

Таблица 29

Динамика ферментативной активности почвы за 2002-2004 гг.

Номер точки отбора	Дата взятия проб			
	25.06.02 г. (до начала обработок)	26.08.02 г. (конец вегетации)	16.07.03 г. (середина вегетации второго года)	20.08.04 г. (конец вегетации третьего года опыта)
Площадка № 1, биопрепарат «Петролан»				
1-1	3.01	2.73	4.25	5.89
	56.30	31.60	31.30	35.60
1-2	0.58	2.29	3.45	2.98
	3.56	3.65	4.13	5.62
1-3	63.20	51.90	35.60	34.40
	0.96	3.11	3.89	3.11
1-4	4.18	2.35	3.97	6.13
	11.50	42.30	44.30	39.80
1-5	0.64	2.54	3.67	3.16
	2.85	4.25	4.16	–
1-5	45.30	81.70	59.80	–
	0.21	1.98	3.55	–
1-5	2.55	2.68	3.85	5.88
	48.90	21.70	55.40	36.60
	0.48	2.58	4.01	3.08
Площадка № 2, контроль				
2-1	2.17	2.34	2.31	0.94
	36.90	21.40	19.80	12.35
2-2	0.43	0.34	0.21	0.23
	3.19	1.25	2.17	1.02
2-3	41.30	3.15	21.50	18.14
	0.26	0.25	0.64	0.45
2-4	0.92	1.28	2.15	0.93
	11.56	6.54	22.40	11.21
2-5	0.32	0.45	0.55	0.56
	2.65	3.65	2.46	–
2-5	47.60	1.45	17.60	–
	0.35	0.36	0.26	–
2-5	1.93	1.87	1.95	0.96
	16.80	5.17	19.50	13.90
	0.21	0.17	0.34	0.41
Площадка № 3Т, реагент «Иниполь» (с 2003 г.)				
3-1	–	–	4.26	0.78
	–	–	25.60	25.60
3-2	–	–	2.16	0.41
	–	–	3.18	0.91
3-3	–	–	31.50	21.30
	–	–	2.40	0.89
3-4	–	–	4.10	0.68
	–	–	32.60	24.20
3-5	–	–	3.01	0.56
	–	–	3.98	–
3-5	–	–	35.40	–
	–	–	2.98	–
3-5	–	–	3.54	0.79
	–	–	47.80	23.70
	–	–	2.55	0.59
Площадка № 4, биопрепарат «Универсал»				
4-1	2.16	1.58	2.56	4.59
	12.30	21.30	15.21	24.50
4-2	0.42	1.97	3.56	3.11
	0.55	2.56	2.14	4.78
4-2	6.54	12.50	13.80	31.60
	0.52	2.45	4.12	3.45

Глава 5. Опытные работы и научные исследования

Продолжение табл. 29

Номер точки отбора	Дата взятия проб			
	25.06.02 г. (до начала обработок)	26.08.02 г. (конец вегетации)	16.07.03 г. (середина вегетации второго года)	20.08.04 г. (конец вегетации третьего года опыта)
4-3	1.19	3.51	2.19	5.01
	3.15	8.79	22.30	32.90
	0.36	3.11	3.16	3.14
4-4	2.10	2.16	3.15	–
	15.60	17.80	18.90	–
	0.21	2.64	4.71	–
4-5	0.95	1.98	2.98	4.79
	10.20	34.50	11.17	29.67
	0.36	2.97	3.78	3.23
Площадка № 5, биопрепарат «ОМУГ»				
5-1	4.16	2.05	3.16	4.19
	45.20	23.10	54.50	52.60
	0.85	1.12	3.11	2.19
5-2	6.15	2.65	3.87	4.12
	31.50	15.60	36.90	51.20
	0.65	2.05	2.69	2.25
5-3	2.14	1.25	4.01	4.24
	21.80	41.50	45.60	48.70
	0.89	3.12	2.15	2.34
5-4	4.56	3.51	3.54	–
	55.00	23.80	36.80	–
	0.95	2.14	3.11	–
5-5	5.19	2.16	2.59	4.18
	20.30	34.90	55.90	50.83
	0.54	2.55	4.16	2.26
Площадка № 6, биопрепарат «Универсал», лигносорбент, БАГ				
6-1	2.79	2.58	2.98	5.12
	12.64	46.80	45.30	55.20
	0.78	2.25	5.48	3.16
6-2	3.11	2.46	3.15	4.85
	12.64	25.10	56.80	41.30
	0.66	2.34	6.19	3.54
6-3	1.14	3.01	4.19	5.17
	10.00	36.80	53.40	48.60
	0.66	2.98	4.13	3.23
6-4	2.16	2.95	3.96	–
	12.60	29.40	44.20	–
	0.33	2.78	5.64	–
6-5	3.05	1.65	3.52	5.04
	6.54	17.10	41.00	48.37
	0.26	3.01	4.78	3.31
Площадка № 7, агростимулирование				
7-1	2.47	3.05	2.16	1.56
	37.90	21.50	29.80	29.80
	0.29	2.01	1.16	2.16
7-2	0.14	1.05	0.96	2.45
	6.31	12.80	27.50	31.60
	0.29	2.01	1.16	2.16
7-3	1.86	2.31	1.23	2.56
	31.60	25.80	26.20	35.60
	0.28	1.54	2.34	2.02
7-4	2.05	1.65	1.05	–
	21.40	35.60	23.40	–
	0.17	1.26	2.78	–
7-5	0.59	1.34	1.40	2.17
	14.58	12.80	29.80	32.30
	0.35	1.01	2.07	2.24

Часть 1. Рекультивация загрязненных нефтью земель в Усинском районе Республики Коми

Окончание табл. 29

Номер точки отбора	Дата взятия проб			
	25.06.02 г. (до начала обработок)	26.08.02 г. (конец вегетации)	16.07.03 г. (середина вегетации второго года)	20.08.04 г. (конец вегетации третьего года опыта)
Площадка № 8, биопрепарат «Dekontam»				
8-1	0.58	2.93	1.87	2.14
	37.90	41.30	35.60	54.20
8-2	0.15	0.51	3.22	1.18
	2.61	3.01	1.36	3.03
8-3	31.60	25.80	24.50	56.30
	0.84	2.03	3.54	2.17
8-4	2.69	1.560	2.05	3.97
	50.50	45.60	36.80	41.10
8-5	0.56	1.54	3.18	2.96
	3.13	2.14	2.15	–
8-5	31.60	21.70	44.50	–
	0.35	2.24	3.49	–
8-5	3.13	2.54	2.69	3.05
	12.60	5.70	41.80	50.53
8-5	0.47	1.24	3.48	2.10
	Площадка № 9, биопрепарат «Родер»			
9-1	3.08	3.05	3.65	5.48
	12.60	25.40	54.60	58.90
9-2	0.53	2.35	3.65	2.98
	3.10	3.10	4.02	6.11
9-3	31.59	42.30	45.30	42.50
	0.53	2.35	3.65	2.98
9-4	0.74	2.54	3.89	6.04
	6.32	12.10	39.80	51.10
9-5	0.20	3.12	4.16	2.54
	2.75	3.10	4.12	–
9-5	25.27	23.10	45.60	–
	0.52	2.45	5.18	–
9-5	1.72	2.14	3.15	5.88
	12.64	20.00	55.90	50.83
9-5	0.48	1.98	4.09	2.84

Примечание: первая строка – каталаза, мл КМпО₄/г почвы за 20 мин.; вторая строка – уреазы, N–NH₄/100 г почвы за 3 ч; третья строка – дегидрогеназа, мг формазана/г почвы за 24 ч.

Все испытанные биопрепараты усиливали биологическую активность почвы, что выразалось в существенном увеличении численности основных трофических групп почвенной микрофлоры и возрастании ферментативной активности почв. В результате очистки почвы от нефти была более эффективной.



Фото 39. Внешний вид контрольной площадки № 2 через два года после закладки опыта.

Фото 40. Внешний вид площадки № 7 с агробиологическим стимулированием в 2004 г.



На площадке № 1 (фото 41) численность аммонификаторов в течение первого месяца после закладки опыта выросла в 6-7 раз, затем последовательно уменьшалась. На этом фоне численность нитрификаторов выросла в 10 раз к началу второго года опыта и осталась такой же высокой к концу третьего года наблюдений. Численность группы олигонитрофилов увеличивалась в течение всего периода наблюдений, достигнув величины, в 50 раз превышающей исходное значение, что отражает и последовательное снижение токсического воздействия нефти на почвенную микрофлору. Численность нефтеокисляющей микрофлоры была наиболее высокой в середине вегетационного периода второго года после начала опыта (по сравнению с началом опыта показатель возрос в 700 раз) и остается



Фото 41. Внешний вид площадки № 1 (НТО «Прибор-Сервис») на третий год опыта.

очень высокой в настоящее время. Ферментативная активность почвы тоже увеличилась: дегидрогеназная в среднем в семь, каталазная – в два раза.

На площадке № 3 (фото 42) степень активности микрофлоры наибольшей была в конце полевого сезона 2003 г. (т.е. в первый год после закладки опыта). В 2004 г. по неизвестным причинам процессы окисления нефти по прямым и косвенным показателям снизились в среднем в два-пять раз.

На площадках № 4 (фото 43) и № 6 (фото 44) почва характеризовалась положительной динамикой возрастания численности микрофлоры рассматриваемых трофических групп. Численность группы аммонификаторов возросла в 2.5 раза к середине второго года опыта, нитрификационная активность – в 30-50 раз, численность олигонитрофиллов – в 50-80 раз. Численность нефтеокисляющих микроорганизмов увеличилась в этих вариантах в 300-500 раз. Показатели ферментативной активности так же были высокими в течение всего опыта: каталазная, уреазная и дегидрогеназная активности на обеих площадках возросла соответственно в пять и три, два и пять, семь и пять раз.

Площадка № 5 (фото 45) также характеризовалась высокими показателями биологической активности. Численность нитрифицирующей микрофлоры за три года наблюдений увеличилась в восемь, олигонитрофиллов – в три и нефтеокисляющих микроорганизмов – в 200 раз. Дегидрогеназная активность возросла за это время в три, уреазная – в 1.5 раза. Каталазная активность в этом варианте была наиболее высокой в начале опыта, затем снизилась почти в два раза за три года.

Площадка № 8 (фото 46) была одной из наиболее сложных среди опытных, как самая загрязненная нефтью в начале опыта, однако характеризовалась очень хорошей динамикой биологической активности. Возрастала численность аммонификаторов (в 1.5-2.0 раза), нитрификаторов



Фото 42. Внешний вид площадки № 3Т (ТотальФина-Эльф РРР) через два года после закладки опыта.



Фото 43. Фрагменты площадки № 4 (Институт биологии Коми НЦ УрО РАН) через три года после закладки опыта. На проплешинах травы не развиваются (а, б). Предполагаемая причина – периодическое затопление фрагментов. На сухих фрагментах развитие трав происходит нормально (в). Почва практически на всей площадке чистая, без следов поверхностной нефти и радужных разводов на лужах.



Фото 44. Внешний вид площадки № 6 через три года после закладки опыта (Институт биологии).

(в четыре раза), олигонитрофиллов (в 12 раз) и нефтеокисляющей микрофлоры (в 120 раз), усилилась каталазная, уреазная и дегидрогеназная активность в 1.4, 1.7 и 5.0 раз соответственно.

На прилегающей к площадке № 8 части площадки № 3 (фото 47) фирма «Деконта» в 2003 г. заложила еще один опыт. В отличие от ранее заложенного опыта (площадка № 8), здесь выражено угнетение роста трав на фоне меньшего, чем на площадке № 8, загрязнения. Уровень биологической активности на площадке № 3 Ч «Деконта» оценивали частично и только в 2004 г. Он ниже, чем в почве площадки № 8 в среднем в 100-500 раз по показателям численности основных трофических групп почвенной микрофлоры и на порядок ниже по ферментативной активности.

На площадке № 9 (фото 48) эффективность восстановления почвенно-растительного покрова как по визуальным признакам (густоте и высоте травостоя), так и по аналитическим параметрам была наилучшей из



Фото 45. Фрагмент площадки № 5 (НТЦ «НИКА») через три года после закладки опыта.

Фото 46. Фрагмент площадки № 8 («Dekonta a.s.») через три года после закладки опыта.



всех опытных вариантов. Наибольшая численность аммонифицирующей микрофлоры здесь зарегистрирована в середине вегетационного периода второго сезона опыта (в три раза по сравнению с исходными показателями), численность нитрификаторов оказалась наиболее высокой к концу третьего сезона наблюдений (возрастание почти в 100 раз), олигонитрофильная группа достигла значений в 50 раз превышающих исходные к концу третьего года опыта. Численность нефтеокисляющих микроорганизмов в 370 раз увеличилась по сравнению с исходными значениями. По ферментативной активности здесь также наиболее высокие данные, которые характеризуются значениями усиления каталазной активности в два раза за три года, уреазной – в 1.5 раза и дегидрогеназной – в семь-девять раз.



Фото 47. Фрагмент площадки № 34 («Dekonta a.s.») через год после закладки опыта.



Фото 48. Внешний вид площадки № 9 (МГУ) через три года после закладки опыта и через два года после дополнительного подсева многолетних трав.

Особо следует сказать о завершающих работах на участке № 20. В конце августа 2004 г. были проведены мероприятия по рекультивации кавальеров экспериментального участка (ООО «Могилевводстрой»). Для этого с краев опытных делянок всех вариантов был убран слой поверхностной нефти (по сути, твердого нефтешлама с уровнем загрязнения от 450 до 800 г/кг). После сгребания и вывоза загрязненного слоя на освобожденные кавальеры были высеяны однолетние и многолетние травы и одновременно внесены минеральные удобрения. Работы проведены с предварительным фрезерованием почвы. Уровень загрязнения почвы перед посевом трав был от 25 до 75 г/кг, что в принципе ниже исходного уровня загрязнения на опытных площадках перед началом испытаний. В ре-



Фото 49. Внешний вид кавальеров после уборки поверхностной нефти и засева однолетними и многолетними травами через месяц после проведения технической рекультивации.

зультате уже через месяц на таких фрагментах наблюдали активные всходы высеянных трав (фото 49). Однако, уже в следующем полевом сезоне внешний вид кавальеров изменился, всходы многолетних трав пожухли и впоследствии погибли. Данный подход можно также рассматривать как технологию производства работ на участках нефтеразливов (сгребание и вывоз загрязненного грунта и последующее биовосстановление с посевом трав и внесением минеральных удобрений и фрезеровании). Результат достигается в этом случае достаточно быстро, в течение одного полевого сезона. Однако, вывоз нефтезагрязненного 20-сантиметрового слоя почвы с 1 га земель – это образование 2000 м³ твердых нефтешламов, что удорожает весь комплекс работ на порядок. Кроме этого, рассматриваемый технологический прием – единственный из опытных вариантов, который приводит к образованию отходов.

С учетом исходного уровня нефтяного загрязнения можно констатировать, что все испытанные технологические приемы следует рекомендовать к практическому использованию для конкретных субстратных условий. При подготовке соответствующих разделов регламентов по каждому технологическому подходу необходимо акцентировать внимание на таких параметрах технологий, как нормы и дозы внесения удобрений, препаратов, трав, вид и частота обработок. По результатам опытов, проведенных с целью оценки эффективности различных технологических приемов биовосстановления нефтезагрязненных земель в условиях Крайнего Севера в период с 2001 по 2004 г., было экспериментально установлено следующее:

- Все испытанные в опытах биопрепараты положительно влияют на усиление биологической активности почвы.
- Наибольший эффект разложения нефти и очищения почв наблюдается при двух-трехкратном применении биопрепаратов.
- Применение препаратов наиболее эффективно одновременно с агротехническими приемами.
- Независимо от способа стимулирования субстратов на второй год после проведения рекультивационных работ необходим уход за рекультивированной площадью в виде подсева трав и подкормки минеральными удобрениями.
- Среди испытанных препаратов наиболее эффективными оказались препараты «Родер» (МГУ), «Петролан» (НТО «ПриборСервис»), «Универсал» (Институт биологии Коми НЦ УрО РАН), «Омуг» (НТЦ «НИКА»).
- Методы агрохимического стимулирования очищения почвы и восстановления растительности эффективны для активизации естественного микробоценоза, но проявляется это только на второй-третий год после проведения агрохимических обработок.
- В ряду технологических приемов этап технической рекультивации играет первостепенную роль на первом этапе работ и способствует активизации естественного самоочищения субстратов.
- Факторы окружающей среды, температура и влажность, по-разному влияют на процессы очищения почвы от нефти и рост трав. Для очи-

щения почв от нефти наиболее важен фактор увлажнения как при использовании биопрепаратов, так и при рекультивации только с применением минеральных удобрений. Недостаточное увлажнение могло быть причиной слабого окисления нефти на площадке № 5. Но переувлажнение отрицательно влияет на рост высеваемых злаков (площадки № 4 и 7).

Полученные в ходе опытных и промышленных работ результаты легли в основу разработанных для условий Республики Коми «Требований к технологиям рекультивации нефтезагрязненных земель в условиях Севера» (ТТРЗ), ставших, по сути, руководящим документом для производства работ в промышленных условиях. В виде технологических карт в документе приведены описания испытанных в Усинском районе технологий рекультивации, в том числе и по вышепредставленным разработкам. ТТРЗ согласуются с требованиями «Регламента приемки нарушенных и загрязненных нефтью и нефтепродуктами земель после проведения восстановительных работ», согласованы с контролирующими и природоохранными органами Республики Коми взамен «Регламента по технологии восстановления загрязненных нефтью земель в Усинском районе Республики Коми» с изменением № 1 от 30 апреля 2000 г. и распространяются на все предприятия, выполняющие работы по рекультивации земель в условиях Севера.

* * *

Приступая к написанию книги, авторы исходили в первую очередь из необходимости обобщения ценного опыта восстановления нефтезагрязненных земель, накопленного в Республике Коми – одного из основных нефтедобывающих районов европейского Северо-Востока. Аналогов таких масштабных и системных природовосстановительных работ, которые были осуществлены в Коми, в мировой практике нет. Уникальность проведенных в республике работ по реабилитации нефтезагрязненных территорий состоит не только в представленном читателю комплексе использованных экологически и экономически эффективных приемов очистки земель, но и в самих условиях производства рекультивации на территории с суровым, холодным климатом. Материал в этой книге изложен в хронологическом порядке, и сделано это не случайно, а для того, чтобы выделить основные этапы накопления опыта в области восстановления нефтезагрязненных земель в республике.

Отличительными особенностями экосистем в природно-климатических условиях Крайнего Севера являются их высокая степень уязвимости, чрезвычайная чувствительность и низкий потенциал самовосстановления по отношению к антропогенным воздействиям. Случившаяся осенью 1994 г. нефтяная авария в Республике Коми привела к масштабному загрязнению территорий, формированию зоны экологического бедствия и создала реальную угрозу жизни и деятельности проживающего здесь населения. До аварии 1994 г. в Усинском районе вопрос о восстановлении нефтезагрязненных земель не был еще таким злободневным для республики. Можно сказать, что остро проблема нефтяных разливов не ставилась и в целом по России. Не было подготовленных бригад для ведения специфических работ, не было также и определенной системы для практической реализации этих работ, ни технического оснащения, ни технологического обеспечения, ни нормативной базы. Разрозненные технологические предложения по очистке почв от нефти исходили в основном от научных организаций, доводам которых не очень-то внимали практики. Ученые в свою очередь не очень хорошо себе представляли потребности практиков в экономически эффективных разработках.

То, что произошло дальше, можно было бы назвать эффектом разорвавшейся бомбы. Короткий период шока осенью 1994 г. сменился беспрецедентными по масштабам работами, когда новые технологии рождались и совершенствовались практически ежедневно (1995-1997 гг.), их разрабатывали и корректировали на месте. Главными разработчиками технологий тогда были непосредственные участники работ – от руководителей до рядовых рабочих. Иностранные компании, внимательно наблюдавшие

за ходом работ на объектах аварии 1994 г., в своих отчетах мировым банкам не в последнюю очередь доложили и о новых технологиях технической и биологической рекультивации, и об уникальных системах защиты водотоков от аварийной нефти. Финансирование работ по ликвидации последствий аварии осуществлялось в рамках «чрезвычайного займа» международных банков (МБРР и ЕБРР), выделенных для ОАО «Коминнефть», однако этих средств хватило только на первые три года работ. В 1998-1999 гг. темпы рекультивации заметно снизились. К этому времени была приостановлена главная угроза – попадание нефти в крупные водотоки, но осталось более 100 га загрязненных нефтью земель и более 100 м³ складированных в амбарах временного хранения нефтеотходов.

С приходом в 1999 г. в Республику Коми нефтяной компании ОАО «ЛУКОЙЛ», которая вместе с активами ОАО «КомиТЭЖ» и ОАО «Коминнефть» приобрела и весь комплекс экологических проблем, начался новый этап в восстановлении загрязненных и нарушенных при нефтедобыче земель. Был организован экологический аудит, в результате которого кроме участков аварии 1994 г. выявлено еще около 700 га разбросанных по месторождениям Усинского района нефтеразливов.

Компания ставит небывалую задачу – решить весь комплекс экологических проблем, связанных с загрязнением территорий нефтью в Коми. Поставленная задача требует финансовых вливаний и упорядочения работ. С этой целью в 2000 г. разрабатывается «Корпоративная программа работ ОАО «Коминнефть ...», на 2000-2005 гг. [124], а в 2004 г. – «Программа экологической безопасности ... на 2004-2008 гг.» [21]. Принимая во внимание печальный опыт аварийных разливов, ООО «ЛУКОЙЛ-Коми» в качестве приоритетного направления выбирает предупреждение и предотвращение аварийных ситуаций. Создана система экологической безопасности, проводится диагностика более 100 км трубопроводов ежегодно, ведется обследование всех дюкерных переходов через р. Колва, в систему нефтесбора и ППД закачивается от 2500 до 3000 тонн ингибиторов коррозии в год. Выполняется широкий спектр исследований, направленных на повышение ресурса безотказной работы нефтепромыслового оборудования. Начиная с 2005 г. проводится разработка паспортов безопасности объектов.

Конечно, возобновляются работы по рекультивации земель с привлечением специализированных и оснащенных соответствующей техникой подрядных организаций. Перенимается опыт других районов России с аналогичными экологическими проблемами. Из Западной Сибири при непосредственном участии фирм НТО «Приборсервис», «Республиканский центр по рекультивации нефтезагрязненных земель», АСФ «Сибирский спасательный центр» перенят опыт использования специальной болотоходной техники с системой активного фрезерования почв, которая решает проблему рекультивации заболоченных участков. В это же время с участием белорусской фирмы ООО «Могилевводстрой» начинаются работы по частичному осушению труднодоступных участков с последующей их рекультивацией.

Все работы проводятся уже по обоснованным и прошедшим экологическую экспертизу проектам, разработкой которых занимается НИПНИ ФГУП «Комимелиоводхозпроект», имеющий за плечами богатейший опыт создания нормативной базы производства работ на объектах аварии 1994 г. Этим же предприятием, с участием научных организаций России, разрабатывается новая нормативная база для приемки земель. Созданы и согласованы с контролирующими органами Регламенты приемки почвенных и водных объектов после проведения рекультивационных работ. При участии Усинского лесхоза выполняется работа по лесной рекультивации. Лесовосстановление ведется преимущественно на территории притундровых лесов первой группы, а также в зонах размещения бывших карьеров песка и торфа.

За период с 2000 по 2006 г. выполнены работы по рекультивации около 800 га загрязненных нефтью земель, из которых, в соответствии с требованиями Регламентов по приемке, более 750 га приняты Республиканской комиссией. В этот период переработано более 240 тыс. тонн нефтесодержащих отходов. Главным подрядчиком работ является СПАСФ «Природа», построившая в Усинском районе три комплекса по переработке твердых и жидких нефтешламов. За шесть лет (2000-2005 гг.) затраты ООО «ЛУКОЙЛ-Коми» на природовосстановительные работы в Усинском районе составили около 6.5 млрд. руб.

Для подготовки научно обоснованных нормативных требований к рекультивации нефтезагрязненных земель по инициативе ОАО «ЛУКОЙЛ» и при участии российских и иностранных научных организаций проводится серия научно-исследовательских работ, вначале лабораторных, а затем полевых, по изучению эффективности методов биологической очистки почв от нефти и направлений последующего восстановления растительного покрова. В исследованиях оценивается эффективность различных микробных препаратов, сорбентов, органических и минеральных удобрений для доочистки почв от нефти с учетом типа очищаемого субстрата и концентрации загрязнения. Проведенные исследования показали, что в условиях Севера использование микробных препаратов более эффективно для очищения почв с низким самовосстановительным потенциалом (нефтеразливы ранних стадий самоочищения и старые разливы с высоким уровнем нефтяного загрязнения) по сравнению с агробιοлогическими приемами рекультивации. Для почв с высоким самовосстановительным потенциалом достаточны только агротехнические приемы. Опыты также продемонстрировали необходимость дифференцированной оценки состояния разных типов почвенных субстратов на стадии приемки работ. Характер очистки от нефти песчаных и торфяных субстратов сильно отличается, и оценка их потенциальной способности к дальнейшему восстановлению должна базироваться на отличающихся параметрах концентрации нефти, увлажненности и уровня биологической активности. Основным итогом проведенных опытных работ стало создание руководящего документа «Требования к технологиям рекультивации земель» [135].

После 2000 г. опыт работ по реабилитации нефтезагрязненных территорий в Коми активно обсуждают, анализируют и изучают. Информирование широкой общественности о работах, проводимых в республике, также является наиболее важным этапом общей работы. Начиная с 2002 г., цикл научно-практических конференций, в которых активно участвуют представители правительства Коми, нефтяных компаний, подрядных и научных организаций, контролирующих органов, приобретают статус международных совещаний. В опубликованных материалах конференций концентрируется ценнейшая информация о разных направлениях природоохранной деятельности в нефтяном комплексе страны, результатах научных и практических работ по реабилитации пострадавших от нефтедобычи земель. По существу, вышедшие к настоящему времени в свет материалы четырех таких конференций можно рассматривать как наглядный и учебный материал, где на примере одного региона рассматривается весь комплекс вопросов, связанных с природовосстановлением территорий в зоне деятельности нефтедобывающих предприятий. Основные результаты работ, проведенных в Усинском районе республики за 12 лет после аварии 1994 г., сегодня очевидны и значимы:

- из находившихся на учете в зоне аварии 1994 г. нарушенных и загрязненных земель практически не осталось. С зоны аварийного разлива нефти снят статус «чрезвычайная ситуация» (2004 г.);
- прежним землепользователям возвращено 1592.75 га нарушенных земель;
- рекультивированы и сданы Республиканской комиссии в соответствии с требованиями регламентов около 800 га ранее загрязненных земель.
- сформирована необходимая нормативная база: требования к технологиям рекультивации загрязненных нефтью земель в условиях Крайнего Севера, регламенты по приемке земель и водных объектов после проведения восстановительных работ с обоснованием нормативов остаточного содержания нефти и нефтепродуктов в почвах.

По мнению Р. Перье, руководителя проекта Tacis ERUS 9901, работы, проведенные по рекультивации земель в Усинском районе, важны не только для России, но и для других стран, где осуществляется добыча и транспортировка нефти в северных условиях. Участники работ могут по праву гордиться выполненными работами и полученными результатами.

Представляемая на суд читателей книга обобщает основные реализованные в Республике Коми технологии рекультивации и открывает пятитомный цикл изданий, посвященных комплексу природоохранных работ в нефтегазовой промышленности. Вторая книга будет посвящена результатам исследований влияния нефти на природу Севера и изучению процессов трансформации нефти в тундровых и северо-таежных биоценозах. В третьей книге предполагается провести анализ критериев оценки состояния нефтезагрязненных земель на разных стадиях их восстановления, принятых в России и мировой практике, и параметров приемки земель после рекультивации. В четвертой будут рассмотрены технологии

и системы обращения с отходами, а в пятой – правовые аспекты природоохранной деятельности в нефтегазовом комплексе страны.

Авторы работы сердечно благодарят руководство ООО «ЛУКОЙЛ-Коми», ТПП «ЛУКОЙЛ-Усинскнефтегаз» и лично В.Г. Иванова, В.Н. Лукашева за предоставленные для работы фотодокументы, отчеты, архивные документы, за техническую помощь в написании и оформлении материалов книги, а также И.В. Рапота, М.В. Губинову, Н.И. Хорошкеева, В.А. Безносилова, А.С. Яковлева за детальный анализ материалов книги и ценные советы; А.А. Куповца за помощь в подготовке авторских фотодокументов; С.М. Мешкело, Э.А. Маркарова, Е.А. Волкову, А.Е. Лашманова, В.В. Максименко за помощь в подготовке книги к изданию; А.Б. Курченко, С.В. Лушникова, Е.В. Шамбурского, В.А. Пишту, В.В. Брусова, А.Г. Нурдинова, М.А. Дружининского за предоставленную возможность исследований на объектах работ по рекультивации.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Адренсон Г.К., Пропадуцкая Л.А.* Изучение факторов, влияющих на биоразложение нефти в почве // Коррозия и защита в нефтегазовой промышленности, 1979. № 3. С. 30-32.
2. *Алиев С.А., Гаджиев Д.А.* Влияние загрязнения нефтяным органическим веществом на активность биологических процессов почв // Изв. АН АзССР, 1977. Сер. биол. науки. № 2. С. 46-49.
3. *Аристовская Т.В.* Микробиология процессов почвообразования. Л.: Наука, 1980. 256 с.
4. *Архипченко И.А., Загвоздкин В.К., Ерцев Г.Н.* Очистка нефтезагрязненных почв с помощью биопрепаратов на основе микробных удобрений // Экология и промышленность в России (ЭЖиП), 2004. С. 16-18. – (Спецвыпуск, 2004: Третья научно-практическая конференция «Экологические работы на месторождениях нефти Тимано-Печорской провинции. Состояние и перспективы»).
5. Атлас по климату и гидрологии Республики Коми. М., 1997. 116 с.
6. *Бабьева И.П.* Биология почв. М.: Изд-во МГУ, 1983. 310 с.
7. Биологическая рекультивация нефтезагрязненных земель в условиях таежной зоны / *А.А. Оборин, И.Г. Калачникова, Т.А. Масливец* и др. // Восстановление нефтезагрязненных почвенных экосистем. М.: Наука, 1988. С. 140-159.
8. Биотехнологические процессы ремедиации нефтезагрязненных почв / *М.И. Янкевич, А.Б. Лизунов, В.В. Хадеева* и др. // Освоение Севера и проблема рекультивации: Докл. III междунар. конф. (С.-Петербург, 27-31 мая 1996 г.). Сыктывкар, 1997. С. 324-327.
9. *Булатов А.И., Макаренко П.П., Шеметов В.Ю.* Охрана окружающей среды в нефтегазовой промышленности. М.: Недра, 1997. 483 с.
10. *Василевская В.Д., Григорьев В.Я., Сидорчук А.Ю.* Стабильность северных почв и экосистем к техногенным воздействиям // Освоение Севера и проблема рекультивации: Докл. III междунар. конф. (С.-Петербург, 27-31 мая 1996 г.). Сыктывкар, 1997. С. 203-207.
11. *Вельков В.В.* Биоремедиация: принципы, проблемы, подходы // Биотехнология, 1995. № 4. С. 20-27.
12. Влияние нефтяного загрязнения на некоторые компоненты агроэкосистемы / *Ф.Х. Хазиев, Е.И. Тишкина, Н.А. Киреева* и др. // Агрехимия, 1988. № 2. С. 56-61.
13. Влияние нефтяного загрязнения на экологию почв и почвенные микроорганизмы / *И.Г. Калачникова, Т.А. Масливец, Е.Н. Базенкова* и др. // Экология и популяционная генетика микроорганизмов. Свердловск, 1987. С. 23.

14. Восстановление нефтезагрязненных почвенных экосистем / Под ред. М.И. Глазовской. М.: Наука, 1988. 254 с.
15. *Губайдуллина Т.С.* Дыхательный газообмен почвы, загрязненной нефтью. Казань, 1983. 16 с. – (Деп. ВИНТИ 15.11.83; № 6074-83 Деп.).
16. *Гусев М.В., Коронелли Т.В.* Микробиологическое разрушение нефтяного загрязнения // Изв. АН СССР, 1981. Сер. биол. № 6. С. 835-844.
17. *Дараселия Г.А., Милорова А.Н., Чантурия Н.П.* Утилизация токсических веществ промышленных сточных вод производства капролактама мутантами микобактерий и родококков // Structure and function of soil organisms-communities with the influence of anthropogenous factors: Proc. Intrn. Conf. Ceske Budejovice, 1990. С. 71.
18. *Демкина Т.С., Мирчинк Т.Г.* Определение грибной биомассы в почвах методом мембранных фильтров // Микология и фитопатология, 1983. Т. 17, № 6. С. 517-520.
19. *Забоева И.В.* Почва и земельные ресурсы Коми АССР. Сыктывкар, 1975. 344 с.
20. *Загвоздкин В.К.* Реализация политики ОАО «ЛУКОЙЛ» в области охраны окружающей среды в XXI веке // Экологические работы на месторождениях нефти Тимано-Печорской провинции. Состояние и перспективы: Матер. II науч.-практ. конф. Усинск, 2002. С. 22-27.
21. *Загвоздкин В.К., Ерцев Г.Н., Уляшов А.И.* Программа экологической безопасности организаций ОАО «ЛУКОЙЛ» в Северо-Западном федеральном округе на 2004-2008 гг. // Геология и минеральные ресурсы европейского северо-востока России: Матер. XIV Геологического съезда Республики Коми. Сыктывкар, 2004. Т. IV. С. 187.
22. *Игошева Н.И.* Анализ антропогенной трансформации тундровой растительности // Освоение Севера и проблема рекультивации: Докл. III междунар. конф. (С.-Петербург, 27-31 мая 1996 г.). Сыктывкар, 1997. С. 51-55.
23. *Иларионов С.А.* Самоочищение нефтезагрязненных почв и их рекультивация // Освоение Севера и проблема рекультивации: Докл. III междунар. конф. (С.-Петербург, 27-31 мая 1996 г.). Сыктывкар, 1997. С. 333-336.
24. *Исмаилов Н.М.* Нефтяное загрязнение и биологическая активность почв // Добыча полезных ископаемых и геохимия природных экосистем. М.: Наука, 1982. С. 227-235.
25. *Исмаилов Н.М., Пиковский Ю.И.* Современное состояние методов рекультивации нефтезагрязненных земель // Восстановление нефтезагрязненных почвенных экосистем. М.: Наука, 1988. С. 222-230.
26. *Казакова Е.Н., Оборин А.А.* Поиски методов стимуляции биодegradации нефти в почве // Освоение Севера и проблема рекультивации: Докл. II междунар. конф. Сыктывкар, 1994. С. 214-217.
27. *Калачникова И.Г., Базенкова Е.И., Колесникова Н.М.* Исследование трансформации нефтяных углеводородов в почвенной экосистеме,

как основа оптимизации антропогенных воздействий на нее // Научные труды Института экологии и генетики микроорганизмов УрО РАН. Свердловск, 1991. С. 99.

28. *Капелькина Л.П.* Условия и особенности восстановления нарушенных ландшафтов Севера // Освоение Севера и проблема рекультивации: Докл. III междунар. конф. (С.-Петербург, 27-31 мая 1996 г.). Сыктывкар, 1997. С. 13-16.

29. *Киреева Н.А.* Микробиологические грибы и актиномицеты в почвах, загрязненных нефтью // Эколого-флористические исследования по споровым растениям Урала. Свердловск, 1990. С. 51-56.

30. *Кисин Д.В., Колосов И.И.* Препараты серии «Биодеструктор» – эффективные средства для ликвидации нефтяных загрязнений // Нефтяное хозяйство, 1995. № 5-6. С. 83-85.

31. *Козин В.В., Подборный Е.Е., Фомина С.Г.* Антропогенные комплексы в структуре современных ландшафтов Уренгойского месторождения // Освоение Севера и проблема рекультивации: Докл. III междунар. конф. (С.-Петербург, 27-31 мая 1996 г.). Сыктывкар, 1997. С. 34-40.

32. Концепция природовосстановления нарушенных экосистем Севера / *И.Б. Арчегова, С.В. Дегтева, Т.В. Евдокимова* и др. // Республика Коми: Экономическая стратегия вхождения в XXI век: Матер. науч. конф. (Сыктывкар, 13-14 марта 1995 г.). Сыктывкар, 1996. С. 135-139.

33. *Коронелли Т.В., Домарова Т.И., Игнатченко А.В.* Роль эмульгирования в процессе поглощения углеводов клетками *Pseudomonas aeruginosa* // Микробиология, 1983. Т. 52, № 1. С. 94-97.

34. *Коронелли Т.В.* Микробиологическая деградация углеводов в почвах, загрязненных нефтью, и ее экологические последствия // Биол. науки, 1982. № 3. С. 5.

35. *Коронелли Т.В.* Принципы и методы интенсификации биологического разрушения углеводов в окружающей среде (обзор) // Прикладная биохимия и микробиология, 1996. Т. 32, № 6. С. 579-585.

36. Ликвидация последствий аварии 1994 года на нефтепроводе «Возей–Головные сооружения» в Усинском районе Республики Коми / *Р.У. Маганов, С.М. Рахметов, Н.П. Юшкин* и др. // Экология и промышленность в России (ЭКиП), 2004. С. 6-8. – (Спецвыпуск, 2004: Третья научно-практическая конференция «Экологические работы на месторождениях нефти Тимано-Печорской провинции. Состояние и перспективы»).

37. *Лушников С.В., Воробьев Д.С., Фадеев В.Н.* Экспериментальные работы по очистке донных отложений и воды озера Щучье от нефтепродуктов, загрязненных в результате аварийных разливов нефти (Усинский район, Республика Коми) // Экологические работы на месторождениях нефти Тимано-Печорской провинции. Состояние и перспективы: Матер. III науч.-практ. конф. Ухта, 2004. С. 139-142.

38. *Мазлова Е.А.* Разработка технологии отверждения шламовых отходов // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе, 2003. № 1. С. 15.

39. *Маркарова М.Ю.* Использование углеводородокисляющих бактерий для восстановления нефтезагрязненных земель в условиях Крайнего Севера: Дис. ... канд. биол. наук. Пермь, 1999. 156 с.
40. *Маркарова М.Ю.* Опыт применения биопрепарата «Универсал» для рекультивации нефтезагрязненных земель // Экологические работы на месторождениях нефти Тимано-Печорской провинции. Состояние и перспективы: Матер. III науч.-практ. конф. Ухта, 2004. С. 229-233.
41. *Маркарова М.Ю.* Роль аэрации при окислении нефти в почве и воде в условиях Крайнего Севера // Материалы XIII Коми республиканской молодежной научной конференции. Сыктывкар, 1997. С. 117.
42. *Маркарова М.Ю., Арчегова И.Б., Полшведкин В.В.* Микробиологическая очистка загрязненных нефтью водоемов и резервуаров // Химия в интересах устойчивого развития, 1998. Вып. 6. С. 343-348.
43. *Маркарова М.Ю., Загвоздкин В.К., Таскаев А.И.* Приоритетные направления рекультивации земель на Севере. Анализ реализованных технологий // Экологические работы на месторождениях нефти Тимано-Печорской провинции. Состояние и перспективы: Матер. IV науч.-практ. конф. Усинск, 2006. С. 158-165.
44. *Махула Г.* Микробиологическая характеристика почв различного возраста рекультивации // Structure and function of soil organisms-communities with the influence of anthropogenous factors: Proc. Intrn. Conf. Ceske Budejovice, 1990. С. 99.
45. Микробная деградация нефти и нефтепродуктов / *З.И. Финкельштейн, Б.П. Баскунов, Р.М. Алиева* и др. // Биотехнология защиты окружающей среды. Пуццино, 1994. С. 5-6.
46. *Мосичев М.С., Складнев А.А., Котов В.Б.* Общая технология микробиологических производств. М., 1982. 264 с.
47. *Мукатанов А.Х., Ривкин П.Р.* Влияние нефти на свойства почв // Нефтяное хозяйство, 1980. № 4. С. 53-54.
48. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Сер. 3. Многолетние данные. Л., 1989. Вып. 1. 484 с.
49. *Нуйкин А.Ф.* О выполнении постановлений правительства Российской Федерации «О неотложных мерах по предупреждению и ликвидации аварийных разливов нефти и нефтепродуктов» и «О порядке организации плановых мероприятий по предупреждению и ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов на территории Российской Федерации» // Экологические работы на месторождениях нефти Тимано-Печорской провинции. Состояние и перспективы: Матер. II науч.-практ. конф. Усинск, 2002. С. 39-42.
50. *Нуйкин А.Ф.* Система управления рисками аварийных разливов нефти и нефтепродуктов в Республике Коми // Экологические работы на месторождениях нефти Тимано-Печорской провинции. Состояние и перспективы: Матер. III науч.-практ. конф. Ухта, 2004. С. 18-23.
51. Оптимальная среда для углеводородокисляющих бактерий *Acinetobacter* / *Г.Н. Морщакова, М.Б. Битеева, В.С. Тюрин* и др. // Биотехнология, 1991. № 6. С. 67-69.

52. Опыт ликвидации аварийных разливов нефти в Усинском районе Республики Коми (Материалы реализации проекта). Сыктывкар, 2000. 183 с. – (Авторская группа: Г.Н. Ерцев, Г.М. Баренбойм, А.И. Таскаев).

53. *Пальгунов П.П., Сумароков М.В.* Утилизация промышленных отходов. М., 1990. 352 с.

54. Патент № 2093974, Россия, МКИ³ 6A01B 79/02. Способ рекультивации посттехногенных и отдаленных территорий на Крайнем Севере / *И.Б. Арчегова, М.Ю. Маркарова, О.В. Громова*; Институт биологии Коми НЦ УрО РАН; №95119144/13 (1001881); заявл. 09.11.95; опубл. 27.10.97. Бюл. № 30.

55. Патент № 2094414, Россия, МКИ³ 6C05F 11/08. Способ получения органического удобрения / *И.Б. Арчегова, М.Ю. Маркарова, О.В. Громова*; Институт биологии Коми НЦ УрО РАН; № 95109546/13(016491); заявл. 07.06.95; опубл. 27.10.97. Бюл. № 30.

56. Патент № 2099917, Россия, МКИ³ 6A01C 1/06. Способ получения гранулированного удобрительно-посевного материала / *И.Б. Арчегова, М.Ю. Маркарова, О.В. Громова*; Институт биологии Коми НЦ УрО РАН; № 95119018/13 (471077); заявл. 09.11.05; опубл. 27.12.97. Бюл. № 36.

57. Патент № 2106309, Россия, МКИ³ 6C02F 1/28, 3/34. Способ очистки поверхности воды и грунта от нефти и нефтепродуктов / *М.Ю. Маркарова, И.Б. Арчегова*; Институт биологии Коми НЦ УрО РАН; № 96101539/13(1813071); заявл. 25.01.96; опубл. 10.03.98. Бюл. № 7.

58. Патент № 56451, Россия, МПК³ E21B 15/04. Нефтеборщик-аэратор / *М.Ю. Маркарова*; Институт биологии Коми НЦ УрО РАН; № 2006115960/22; заявл. 10.05.06; опубл. 10.09.06. Бюл. № 25.

59. *Пиковский Ю.И., Солнцева Н.П.* Геохимическая трансформация дерново-подзолистых почв под влиянием потоков нефти // Техногенные потоки вещества в ландшафтах и состояние экосистем. М.: Наука, 1981. С. 149-154.

60. Подзолистые почвы центральной и восточной частей европейской территории СССР. Л.: Наука, 1981. 200 с.

61. РД 52.18.647-2003. Методические указания. Определение массовой доли нефтепродуктов в почвах. Методика выполнения измерений гравиметрическим методом.

62. Рекультивация земель на Севере / *И.Б. Арчегова, Т.В. Евдокимова, ..., М.Ю. Маркарова* и др. Сыктывкар, 1997. 34 с. – (Рекомендации по рекультивации земель на Крайнем Севере; Вып. I).

63. *Розанова Е.П., Кузнецов С.И.* Микрофлора нефтяных месторождений. М.: Наука, 1974. 198 с.

64. *Синькевич Е.И., Ларионова Н.П.* Некоторые закономерности регулирования долголетия освоенных торфяных почв европейского Севера // Освоение Севера и проблема рекультивации: Докл. III междунар. конф. (С.-Петербург, 27-31 мая 1996 г.). Сыктывкар, 1997. С. 403-410.

65. *Солнцева Н.П.* Геохимическая трансформация дерново-подзолистых почв под влиянием потоков высокоминерализованных сточных и

пластовых вод // Техногенные потоки вещества в ландшафтах и состояние экосистем. М.: Наука, 1981. С. 155-193.

66. Солнцева Н.П., Пиковский Ю.И. Проблемы загрязнения почв нефтью и нефтепродуктами: геохимия, экология, рекультивация // Доклады симпозиума VII делегатского съезда ВОП. Ташкент, 1985. Ч. 6. С. 246-254.

67. Таскаев А.И., Маркарова М.Ю. Биорекультивация на Севере. Основные результаты исследований // Экологические работы на месторождениях нефти Тимано-Печорской провинции. Состояние и перспективы: Матер. III науч.-практ. конф. Ухта, 2004. С. 95-99.

68. Таскаев А.И., Маркарова М.Ю. Целесообразность использования биологических параметров для оценки состояния нефтезагрязненных и рекультивированных земель // Экологические работы на месторождениях нефти Тимано-Печорской провинции. Состояние и перспективы: Матер. II науч.-практ. конф. Усинск, 2002. С. 71-75.

69. Таскаев А.И., Маркарова М.Ю., Заикин И.А. Восстановление нефтезагрязненных земель на Севере // Экология и промышленность в России (ЭКиП), 2004. С. 19-23. – (Спецвыпуск, 2004: Третья научно-практическая конференция «Экологические работы на месторождениях нефти Тимано-Печорской провинции. Состояние и перспективы»).

70. Технологии восстановления почв, загрязненных нефтью и нефтепродуктами. Справочник. М., 2001. 183 с.

71. Титаренко Т.В., Бартлет П.Д. Практические аспекты рекультивации земель на нефтяном месторождении северных территорий // Освоение Севера и проблема рекультивации: Докл. III междунар. конф. (С.-Петербург, 27-31 мая 1996 г.). Сыктывкар, 1997. С. 341-346.

72. Тишкина Е.И. Влияние нефтяного загрязнения на свойства серых лесных почв Предуралья и пути восстановления их плодородия: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Воронеж, 1989. 23 с.

73. Торфяные ресурсы Республики Коми. Сыктывкар, 2000. 613 с.

74. Трибис В.П. Торфяные почвы: состояние и прогноз. Минск, 1991. 143 с.

75. Утилизация нефти в почве и воде микробными клетками / Л.Ф. Суржко, З.И. Финкельштейн, Б.П. Баскунов и др. // Микробиология, 1995. Т. 64, № 3. С. 393-398.

76. Хазиев Ф.Х., Фатхиев Ф.Ф. Изменение биохимических процессов в почвах при нефтяном загрязнении и активация разложения нефти // Агрохимия, 1981. Т. 1, № 10. С. 102-111.

77. Халимов Э.М., Левин С.В., Гузев В.С. Эколого-микробиологические аспекты повреждающего действия нефти в почве // Вестн. МГУ, 1996. Сер. 17. Почвоведение. № 2. С. 59-64.

78. Швецов П.Ф. Критерии устойчивости почвенно-грунтового комплекса Субарктики // Проблемы экологии полярных областей. М.: Наука, 1983. С. 17-20.

79. Юдин Ю.П. Геоботаническое районирование // Производительные силы Коми АССР. М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1954. Т. III, ч. 1. С. 323-369.

80. *Abbott F.S.* Guidelines on the use and acceptability of oil spill dispersals second edition // *Slipp Technol. News lett*, 1984. Vol. 9, № 1. P. 6-10.
81. *Atlas R.M.* Microbial degradation of petroleum hydrocarbons: an environmental perspective // *Microbiol. Rev.*, 1981. Vol. 45, № 2. P. 180-209.
82. *Atlas R.M.* Microbial hydrocarbon degradation-bioremediation of oil spills. // *J. Chem. Tech. Biotechnol.*, 1991. Vol. 52. P. 149-156.
83. *Atlas R.M., Bartha R.* Biodegradation of petroleum in sea water at low temperatures // *Can. J. Microbiol.*, 1972. Vol. 18, № 10. P. 1851-1855.
84. *Batylinski D.A, Wirsén C.O., Jannasch H.W.* Microbial utilization of naturally occurring hydrocarbons at the Guaymas basin hydrothermal vent. site // *Appl. Environm. Microbiol.*, 1989. Vol. 55. P. 2832-2836.
85. *Bertrand J.C., Rambeloarisoa E., Rontani J.F.* Microbial degradation of crude oil in sea water in continuous culture // *Biotechnol. Lett.*, 1983. Vol. 5, № 8. P. 567-572.
86. Biodegradability and crude composition / *D.W.S. Westlake, A. Jobson, R. Phillippe et al.* // *Can. J. Microbiol.*, 1974. Vol. 20, № 7. P. 915-928.
87. Bioremediation for shoreline cleanup following the Alaskan oil spill / *J.R. Bragg, R.C. Prince, J.B. Wilkinson et al.* Houston (USA), 1992. 53 p.
88. *Bauer J.E., Capone D.G.* Effects of co-occurring aromatic hydrocarbons on degradation of individual polycyclic-aromatic hydrocarbons in marine sediment slurries // *Appl. Environm. Microbiol.*, 1988. Vol. 54. P. 1649-1650.
89. *Cerniglia C.E., Whate G.L., Heflich R.L.* Fungal metabolism and detoxication of polycyclic aromatic hydrocarbons // *Arch. Microbiol.*, 1985. Vol. 143. P. 105-110.
90. *Chapman D.* Oil concentrations in seawater following dispersion with and without the use of chemical dispersants: a review of published data // *Spec. Kept*, 1985. № 2. P. 1-23.
91. *Corwell R.R., Walker J.D.* Ecological aspects of microbial degradation of petroleum in the marine environment // *Crit. Rev. Microbiol.*, 1977. Vol. 5. P. 423-445.
92. Degradation of trans-1,2-dichloroethene by mixed and pure cultures of metanotrofic bacteria / *D.B. Jansisen, G. Grobber, R. Hockstra et al.* // *Appl. Microbial. Biotechnol.*, 1988. Vol. 29. P. 192-199.
93. Environmental effects of the use of oil-based drilling fluids in the North sea / *J.M. Davies, J.M. Addy, R.A. Blackman et al.* // *Marine Pollution Bull.*, 1984. P. 363-370.
94. Evidence for co-oxidation of polynuclear aromatic hydrocarbons in soil / *J. Keck, R.S. Sims, M. Cooveret et al.* // *Water Res.*, 1989. Vol. 23. P. 1467-1476.
95. *Foght J.M., Westlake D.W.S.* Biomediation of oil spills // *Spill Technol. Newstlett.*, 1992. Vol. 17. № 3. P. 1-10.
96. *Guillot G.* Pollution marine: des bacteries contre les hydrocarbures // *Sci. Techn.*, 1983. № 94. P. 35-36.

97. *Heitkamp M.A., Freeman J.P., Cerniglia C.E.* Naphtalene biodegradation in environmental microcosms // *Appl. Environm. Microbiol.*, 1987. Vol. 53. P. 129-136.
98. *Hildebrandt W.W., Wilson S.B.* On-site bioremediation systems reduce crude oil contamination // *J. Petrol Technol.*, 1991. Vol. 43, № 1. P. 18-22.
99. *Hinchee R.T., Arthur M.* Bench scale studies of the soil aeration process for bioremediation of petroleum hydrocarbons // *Appl. Biochem. Biotechnol.*, 1991. Vol. 28-29. P. 901-906.
100. Immobilised microbial cells // *ACS Ser.*, 1979. № 104. 287 p.
101. *Jamison V.M., Raymond R.L., Hudson J.* Biodegradation of high-octane gasoline in groundwater // *Dev. Hid. Microbiol.*, 1975. Vol. 16. P. 305-312.
102. *Jobson A., Cook F.D., Westlake D.W.S.* Microbial utilization of crude oil // *Appl. Microbiol.*, 1972. Vol. 23. P. 1082-1089.
103. *Jorgenson T.M.* Bioremediation and tundra reesterdion after an oil spill in the Kuparuk oilfield, Alaska, 1990 // *Arctic and marine oilspill: Proc. 14th Techn. Seminar. [Vancouver]*, 1991. P. 149-154.
104. *Lal B., Khanna S.* Degradation crude oil by *Acinetobacter calcoaceticus* and *Alcaligenes odorans* // *Appl. Bacteriol.*, 1990. Vol. 81. P. 355-362.
105. *Leahy J.G., Corwell R.R.* Microbial degradation of hydrocarbons in the environment // *Microbial. Rev.*, 1990. Vol. 54, № 3. P. 305-315.
106. *McGill W.W.* Soil restoration following oil spills: review // *J. Can. Petrol. Technol.*, 1977. Vol. 16, № 2. P. 60-67.
107. *Loynachan T.E.* Low-temperature mineralization of crude oil in soil // *J. Environm. Qual.*, 1978. Vol. 7, № 4. P. 494-500.
108. *Odu C.T.I.* Oil degradation and microbiological change in soils deliberately contaminated with petroleum hydrocarbons // *Inst. Petrol. [Techn. Pap.]*, 1977. № 5. P. 1-11.
109. *Odu C.T.I.* The effect of nutrient application and aeration on oil degradation in soil // *Ibid.*, 1978. Vol. 15, № 3. P. 239.
110. *Perry J.J.* Microbial co-oxidations involving hydrocarbons // *Microbiol. Rev.*, 1979. Vol. 43. № 1. P. 59-72.
111. Petroleum bioremediation-multiphas problem / *E. Rosenberg, R. Legmann, A. Kushmara et al.* // *Biodegradation*, 1992. Vol. 3, № 2-3. P. 337-350.
112. Petroleum-degrading achlorophyllous alga *Prototheca zopfi* / *J.D. Walker, R.R. Corwell, Z. Vaituzis et al.* // *Nature*, 1975. Vol. 254. P. 423-424.
113. *Shailubhai K., Rao N.N., Modi V.V.* Treatment of petroleum industry oil sludge by *Rhodotorula sp.* // *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 1984. Vol. 19, № 6. P. 437-438.
114. *Sherrill T.W., Saylor G.S.* Phenanthrene biodegradatic in freshwater environments // *Appl. Environm. Microbiol.*, 1980. Vol. 39. № 1. P. 172-178.

115. *Shiaris M.B.* Seasonal biotransformation of naphthalene, phenanthrene and benzo(a)pyrene in surficial estuarine sediments // *Appl. Environm. Microbiol.*, 1989. Vol. 61. P. 1391-1399.

116. *Spain J.C., Pritchard P.H., Bourquin A.W.* Effect of adaptation on biodegradation rates in sediment/water cores from estuarine and fresh water environment // *Appl. Environm. Microbiol.*, 1980. Vol. 40. P. 726-730.

117. *Sprenger C., Harborth P., Hanert H.* Untersuchungen zur Erhörung der Bioverfügbarkeit von adsorbierten RAK in Boden von Ehemaligen Gaswerks-Geländen // *Bioengineering*, 1994. Vol. 10, № 4. P. 16-22.

118. *Staff C.P.* Mutant bacteria decontaminates spilled crude oil site // *Chem. Process*, 1982. Vol. 45, № 14. P. 96.

119. *Svenm R., Feksness L.* Enhansad biological degradation of grude oil in a Spitsbergen tundra site // *Arctic and marine oilspill: Proc. 16th programming technical seminar (Galgary, June 7-9, 1993). Ottawa, 1993. Vol. 1. P. 377-391.*

120. *Vanlooche R., De Borger R.D., Voets J.P.* Soil and groundwater contamination by oil spills problems and remedies // *Intrn. J. Environm. Studies*, 1975. № 8. P. 99-111.

121. *Walker J.D., Corwell R.R.* Microbial degradation of model petroleum at low temperatures // *Microbiol. Ecol.*, 1974. Vol 1. P. 63-95.

122. *Westlake D.W.C., Jobson A.M., Cook F.D.* In situ degradation of oil in a soil of the boreal region of the north-west territories // *Can. J. Microbiol.*, 1978. Vol. 24, № 3. P. 254-260.

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

123. Мониторинг растительности на сельскохозяйственных угодьях вдоль рек Колва, Уса, Печора и вокруг населенных пунктов Колва, Усть-Цильма, Брыкаланск и Усть-Уса. М., 1998. 241 с. – (Отчет центра «Эко-почва» Госкомэкологии РФ и МГУ им. М.В. Ломоносова).

124. Корпоративная программа работ ОАО «Коминетфть» по экологической реабилитации загрязненных территорий и предотвращению аварийных разливов нефти на 2000-2005 гг. Сыктывкар, 2000. 75 с.

125. Программа экологической безопасности организаций группы «ЛУКОЙЛ» на 2004-2008 гг. М., 2003. – (Т. 1. – 155 с. Т. 2. – 118 с.).

126. Проект по экстренному восстановлению и обезвреживанию окружающей среды после разлива нефти в Республике Коми. Определение воздействия нефтяного загрязнения на животный мир в Республике Коми (КОМІ ЕМ-5). Сыктывкар, 1998. Т. 1. 101 с.

127. Проект рекультивации земельного участка. Нарьян-Мар, 2002. 74 с.

128. Проект экстренного обезвреживания и восстановления окружающей среды после разлива нефти в Республике Коми. Заключительный отчет. Т. 4. Отчеты по техническим мероприятиям. Документ № КО 0001/Tech. Rep/КО001. М., 1998.

129. Проект экстренного сбора нефти при аварийном разливе в Республике Коми и смягчения его последствий. Экологические и социально-экономические исследования. Заключительный отчет. Т. 1. Усинск, 1998. 117 с.

130. Проект экстренного сбора нефти при аварийном разливе в Республике Коми и смягчения его последствий. Расширенное резюме по экологическим и социально-экономическим исследованиям. Документ № КО-0001/Tech. Rep/Dict/001 Revision 3. Усинск, 2000. 20 с.

131. Рыбные ресурсы рек Колвы, Усы, Печоры. Архангельск, 1998. 52 с. – (Отчет о выполнении НИР; Ч. 2).

132. Съёмка местности и картографирование. Ухта, 1997. 36 с. – (Контракт на сбор и восстановление существующих данных; Раздел 3).

133. Техническая рекультивация земель. Технологические схемы работ по восстановлению нарушенных и загрязненных аварийной нефтью земель. Кн. 7. Отчет о НИР ФГУП «Комимелиоводхозпроект». Сыктывкар, 2003. 167 с.

134. Технология обработки нефти. Ухта, 1997. 45 с. – (Контракт на сбор и восстановление существующих данных; Раздел 5).

135. Требования к технологиям рекультивации земель. Сыктывкар, 2003.

136. Экология и охрана окружающей среды. Ухта, 1997. 103 с. – (Контракт на сбор и восстановление существующих данных; Раздел 4).

Научное издание

Равиль Ульфатович Маганов
Мария Юрьевна Маркарова
Владимир Витальевич Муляк
Виктор Константинович Загвоздкин
Игорь Алексеевич Заикин

**ПРИРОДООХРАННЫЕ РАБОТЫ
НА ПРЕДПРИЯТИЯХ НЕФТЕГАЗОВОГО КОМПЛЕКСА**

Часть I.
**РЕКУЛЬТИВАЦИЯ ЗАГРЯЗНЕННЫХ НЕФТЬЮ ЗЕМЕЛЬ
В УСИНСКОМ РАЙОНЕ РЕСПУБЛИКИ КОМИ**

*Рекомендовано к печати ученым советом Института биологии
Коми НЦ УрО РАН*

Компьютерное макетирование и корректура Е.А. Волкова

Лицензия № 0047 от 10.01.1999

Компьютерный набор. Подписано в печать 26.12.2006. Формат 60×84¹/₈.
Бум. мелованная. Усл. печ. л. 19.76. Уч.-изд. л. 19.5. Тираж 600. Заказ № 14984.

Издательство Коми научного центра УрО РАН
167982, г. Сыктывкар, ул. Коммунистическая, 24

Отпечатано ОАО «Коми республиканская типография» с диска заказчика в полном соответствии с качеством предоставленных материалов.
г. Сыктывкар, ул. Первомайская, 70