

ООО «НавЭкосервис»

**ИТОГОВЫЙ ОТЧЕТ
ПО КОНТРАКТУ НА ОКАЗАНИЕ
КОНСУЛЬТАЦИОННЫХ УСЛУГ
№ CS-NPS-Arctic-05/2008**

между

**УЧРЕЖДЕНИЕМ
«ИСПОЛНИТЕЛЬНАЯ ДИРЕКЦИЯ РОССИЙСКОЙ ПРОГРАММЫ
ОРГАНИЗАЦИИ ИНВЕСТИЦИЙ В ОЗДОРОВЛЕНИЕ
ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ»
(ИД РПОИ)**

**ОБЩЕСТВОМ С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ
«НАВЭКОСЕРВИС»**

**«РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ
БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ
НАЗЕМНЫХ УЧАСТКОВ,
ЗАГРЯЗНЕННЫХ НЕФТЕПРОДУКТАМИ,
В АРКТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ»**



**Мурманск
2009**

Автор: Общество с ограниченной ответственностью «НавЭкосервис» (ООО «НавЭкс») – 183038, г. Мурманск, ул. Траловая, 71;

Название: «Разработка технологии биологической очистки наземных участков, загрязненных нефтепродуктами, в арктических условиях»;

Основание: Контракт № CS-NPA-Arctic-05/2008 от 01.07.2008 года (далее Контракт);

Заказчик: Учреждение «Исполнительная дирекция Российской программы организации инвестиций в оздоровление окружающей среды» (ИД РПОИ), зарегистрированное по адресу: 117218, г. Москва, ул. Кржижановского д. 23, корп. 5, (почтовый адрес: 119991, Москва, ГСП-1 Ленинский пр-т, 19);

Реферат:

Представленный отчет подводит итоги работ по Контракту № CS-NPA-Arctic-05/2008 от 01.07.2008 года (далее Работы). В итоговом отчете учтены замечания и пожелания специалистов, присутствовавших на семинаре, который прошел в рамках V Этапа Работ.

В отчете представлены:

- Результаты аналитических работ по исследованию российского и зарубежного опыта биологической очистки грунтов после загрязнения нефтепродуктами в условиях низких температур;
- Результаты по выбору и оборудованию исследовательского полигона; План местоположения исследовательского полигона;
- Результаты проведения натурных наблюдений и лабораторного анализа проб;
- Результаты аналитических работ по обработке итогов лабораторного анализа проб;
- Итоги разработки и представления проекта Руководства по проведению биологической очистки грунтов, загрязненных нефтепродуктами, в арктических условиях;
- Итоги семинара по обсуждению полученных результатов, а также проекта Руководства по проведению биологической очистки грунтов, загрязненных нефтепродуктами, в арктических условиях и распространения положительного опыта.

В отчете, в том числе представлены выводы о достижении поставленных целей и решении поставленных в рамках контракта задач.

На основе выводов представлено видение развития эксперимента.

Abstract:

The introduced report sums up works under the Contract № CS-NPA-Arctic-05/2008 from 01.07.2008 years (further Work). In a closing statement remarks and wishes of the specialists who were present at a seminar which one has gone on within the limits of V Stage of Works are allowed.

In the report are introduced:

- Results of analytical works on study of the Russian and foreign experience of bioscrubbing of soils after pollution by oil products in the conditions of low temperatures;
- Results at a choice and the equipment of exploratory range; the Plan of a location of exploratory range;
- Results of realisation of full scale observation and laboratory analysis of samples;
- Results of analytical works on treatment of results of laboratory analysis of samples;
- Results of development and submission of the project of the Management on realisation of bioscrubbing of the soils contaminated by oil products, in the Arctic conditions;
- seminar Results on discussion of the received results, and also the Management project on realisation of bioscrubbing of the soils contaminated by oil products, in the Arctic conditions and propagations of positivegoing experience.

In the report, including conclusions about achievement of objects in view and the decision of the problems delivered within the limits of the contract are introduced.

On the basis of conclusions vision of progressing of experiment is introduced.

СОДЕРЖАНИЕ

	<i>Стр.</i>
1. Введение	5
2. Цели и задачи, пути их решения. План проведения работ.....	10
3. Анализ российского и зарубежного опыта биологической очистки грунтов после загрязнения нефтепродуктами в условиях низких температур.	11
4. Выбор и оборудование исследовательского полигона.....	15
4.1. Организация полигона.....	15
4.2. Закладка почвы	23
4.3. Содержание нефтепродуктов в почве на начало работ.....	25
4.4. Расчет норм внесения биопрепаратов	26
4.5. Расчет норм внесения минеральных удобрений	26
4.6. Мероприятия по закладке биопрепаратов и минеральных удобрений... ..	27
5. Проведение натурных наблюдений и лабораторный анализ проб... ..	29
6. Анализ полученных результатов	32
6.1. Анализ содержания нефтепродуктов в почве	32
6.2. PH и влажность почвы	34
6.3. Микробиологические исследования	35
6.4. Анализ изменения численности микроорганизмов в зависимости от температуры атмосферного воздуха и температуры почвы	41
7. Разработка проекта Руководства по проведению биологической очистки грунтов, загрязненных нефтепродуктами, в арктических условиях.....	54
8. ВЫВОДЫ	55
9. ЗАКЛЮЧЕНИЕ	57
10. ЛИТЕРАТУРА	61

1. Введение

Добыча и транспортировка нефти и нефтепродуктов на территории Российской Федерации сосредоточена и развивается на территории федеральных округов, в том числе расположенных в условиях Крайнего севера. Таким образом, вся техногенная нагрузка от ведения данных направлений хозяйственной деятельности смещена в места скопления объектов на которых ведется обращение с нефтью и нефтепродуктами. Одной из областей с развивающейся транспортной инфраструктурой нефти и нефтепродуктов является Мурманская область.

В Мурманской области за последние 6 лет в несколько раз возросли объемы транспортировки, перевалки и хранения нефти и нефтепродуктов. Одновременно с ростом объемов перевозимых нефтеналивных грузов морским, железнодорожным и автотранспортом возросли вероятности возникновения аварийных и нештатных ситуаций, приводящих к чрезвычайным ситуациям.

Рост рисков возникновения чрезвычайных ситуаций связанных с разливами нефти и нефтепродуктов (далее - ЧС(Н)) на территории Мурманской области, а также акваториях Кольского и Кандалакшского заливов, показывает необходимость развития мер по обеспечению экологической безопасности в части не только предупреждения, но и ликвидации наиболее вероятных и максимально возможных ЧС(Н).

Практика ликвидации аварийных разливов нефтепродуктов в море свидетельствует о том, что даже в случае происшествия разлива при существенном удалении от берега и при условии своевременного реагирования всех аварийно-спасательных служб, неизбежно загрязнение береговой полосы и прибрежных территорий, грозящее экологической катастрофой.

Мировой опыт проведения мероприятий по ликвидации последствий нефтяных разливов показывает, что в условиях арктических морей в зависимости от вида нефтепродукта, удаленности самого разлива от берега и степени загрязнения береговой полосы удается собрать из окружающей среды механическим способом только 20-30% разлитой в результате аварии нефти. Наиболее трудоемким и ресурсоемким является проведение работ по сбору нефтепродукта именно с береговой полосы. Связано это, прежде всего, с тем, что попавший в почву нефтепродукт требует для его сбора привлечения широкого спектра функционально разной техники и больших людских ресурсов. При ликвидации последствий таких аварий технологии уборки предполагают использование механической очистки с применением ручного труда и большого

количества рабочей силы. При этом производятся работы по снятию верхнего слоя грунта (0,5–1 м), а в случае наличия крупных обломков скальных пород - их изъятие для проведения обработки посредством поверхностно-активными веществами (далее – ПАВ).

Основной трафик переваливаемых через порт Мурманск нефтепродуктов сосредоточен вдоль побережья Кольского полуострова, в сложных климатических условиях, вдоль берега с неразвитой сетью дорог и населенных пунктов. Все эти аспекты усложняют не только проведение операций по локализации, но особенно по ликвидации ЧС(Н). Первостепенными встают вопросы: доставки в зону ЧС достаточных сил и средств для проведения всех работ по локализации и ликвидации ЧС(Н); организации вывоза загрязненного грунта к месту временного хранения и последующей утилизации.

Проведенный в рамках работы анализ показал, что в Мурманске и Мурманской области отсутствуют свободные подготовленные площадки (шламонакопители), в том числе полигоны, на которых можно разместить нефтезагрязненный грунт либо нефтешлам.

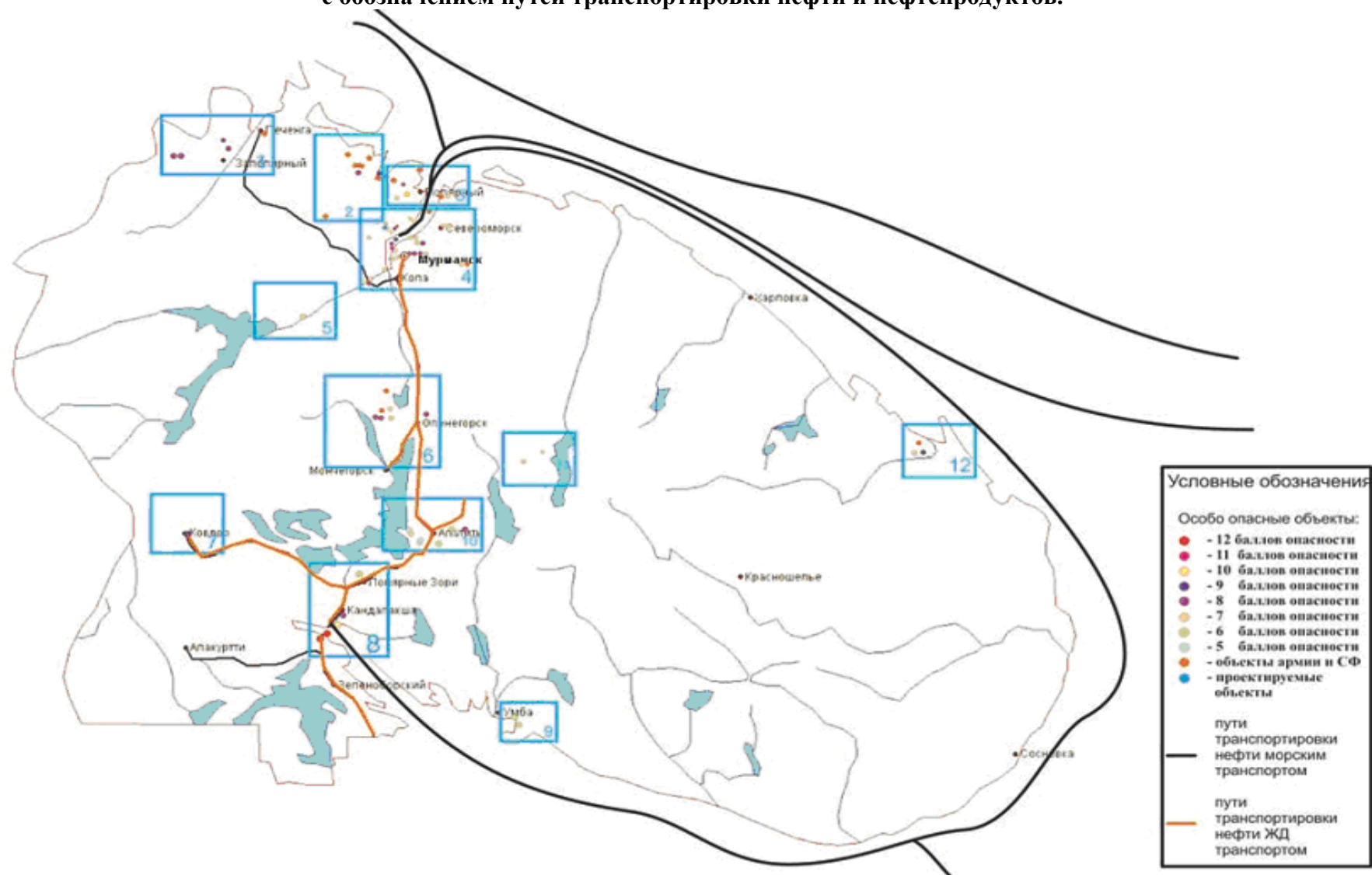
Анализ числа опасных производственных и потенциально опасных объектов на территории Мурманской области, а также классификация их по значениям как наиболее вероятных, так и наибольших ЧС(Н), показали, что сосредоточение объектов с максимальным значением разлива, равным региональному (от 500 т до 5000 т), наиболее велико на акватории и в прибрежной части Кольского залива. Карта зон расположения экологически опасных объектов на территории Мурманской области представлена на рисунке 1.

Расчеты вероятных масштабов ЧС(Н) позволяют сделать вывод о невозможности предотвратить попадание на берег нефтепродукта, а значит о необходимости поиска наиболее эффективного и безопасного для окружающей среды технологического подхода к восстановлению загрязненных территорий.

Помимо восстановления территорий нарушенных промышленной деятельностью очень важно сохранить те участки территорий Мурманской области, которые не испытали на себе техногенное воздействие.

В Мурманской области создан фонд объектов природно-заповедного значения. Данный фонд является каркасом экологической безопасности региона. Фонд включает в себя особо охраняемые природные территории (ООПТ), которые обеспечивают сохранение экосистем, редких охраняемых видов животных и растений. Одним из основных направлений данной работы является изучение методов снижения последствий экологических чрезвычайных ситуаций связанных с разливами нефти и нефтепродуктов на территориях ООПТ Мурманской области.

Рисунок 1 Карта расположения экологически опасных объектов на территории Мурманской области, с обозначением путей транспортировки нефти и нефтепродуктов.



В мировой практике, а также на территории Российской Федерации существуют разные подходы к восстановлению загрязненных нефтью и нефтепродуктами земель. Широко распространены: физико-химические (промывка грунта ПАВ, термическая обработка); биологические (с использованием биологических препаратов) и комбинированные методы борьбы с нефтяными загрязнениями почв и грунтов. Особенно нужно отметить и то, что 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 токсичного воздействия на почвенный биоценоз.

Рекультивация загрязненных нефтепродуктами почв возможна как на месте (*in-situ*) разлива, так и на специальных полигонах (*ex-situ*).

Отсутствие специализированных полигонов для работы с опасными отходами на территории Мурманской области, а также удаленность районов вероятных разливов нефти и нефтепродуктов вынуждает обратить внимание на весь комплекс работ с нефтезагрязненными грунтами и почвами на месте (*in-situ*) разлива.

Одним из перспективных и безвредных для окружающей среды технологических подходов в очистке является биологическая рекультивация. Подход позволяет не только удалить загрязнение в месте разлива, но и снизить риск воздействия загрязняющих веществ на человека и окружающую среду во время извлечения, транспортировки и восстановления загрязненных почв. Кроме того, данный метод не требует строительства и организации сложного производственного цикла, а позволяет производить работы непосредственно в месте аварии. Биологическая рекультивация достаточно широко применяется на территории Российской Федерации, в том числе в Московской и Ленинградской областях, Усинском районе Республики Коми, Краснодарском крае.

Биологическая рекультивация основана на сложных химических и биохимических процессах разложения углеводородов нефти до экологически безвредных веществ углекислого газа и воды. Для микроорганизмов, участвующих в данном процессе, углеводороды являются естественным источником питания, способствующим их активной жизнедеятельности и активному размножению, в результате чего происходит потребление загрязнения внесенной микрофлорой вплоть до его полного исчезновения.

В нашем исследовании использованы следующие подходы в работе с загрязненными грунтами: биостимуляция *in situ* (на месте загрязнения) и биоаугментация (биоулучшение).

Первый подход основан на стимуляции природных микроорганизмов, естественно содержащихся в загрязненной почве и потенциально способных утилизировать

загрязнитель, но не способных это делать эффективно из-за отсутствия полного набора пищевых компонентов (азот, фосфор, калий). В данном случае в ходе лабораторных испытаний с использованием образцов загрязненной почвы устанавливают, какие именно добавки и в каких количествах следует внести в загрязненную почву, чтобы стимулировать рост микроорганизмов, способных утилизировать загрязнитель.

Данный подход может использоваться в случае, если потенциальная активность микрофлоры загрязненной почвы высока. Как правило, это определяется несколькими факторами, основными из которых являются концентрация загрязнителя в субстрате и характер предварительной обработки субстрата на техническом этапе.

Второй подход основан на внесении относительно больших количеств специализированных микроорганизмов, которые заранее были выделены из различных загрязнений, или генетически модифицированы. Таким образом, из всего спектра выбирают тот микроорганизм, который наиболее эффективно утилизирует данный загрязнитель. Выбранная таким образом культура микроорганизмов затем размножается в ферментерах в условиях, приближенных к условиям загрязненной почвы. Размноженные микроорганизмы в необходимых объемах вносятся в загрязненную почву. При этом можно вносить и пищевые добавки. Биоаугментацию целесообразно использовать при следующих обстоятельствах:

- a) загрязнитель плохо поддается разложению микрофлорой даже в том случае, если для нее созданы оптимальные условия роста (биостимуляция оказалась неэффективной);
- b) загрязнитель попал в почву в результате недавнего разлива органических соединений;
- c) физико-химические характеристики места загрязнения делают невозможным (или) ингибируют рост естественной микрофлоры;
- d) есть реальная возможность ускорить время биоремедиации и/или улучшить ее качество (т.е. достигнуть более низких значений остаточной концентрации загрязнителя).

Однако, важнейшим фактором, влияющим на активность процесса разрушения углеводов в почве нефтеокисляющими микроорганизмами, являются почвенно-климатические условия.

Поддержание оптимальных и достаточных почвенно-климатических условий для эффективной работы бактерий – одна из важнейших задач в решении вопроса применения биологической рекультивации.

2. Цели и задачи, пути их решения. План проведения работ

Цель проведенных работ – разработка технологии очистки локальных нефтезагрязненных участков, пригодной для российской и зарубежных частей Арктического региона, и распространение полученного положительного опыта

Для достижения поставленной цели были определены следующие задачи:

- Проведение анализа российского и зарубежного опыта биологической очистки грунтов после загрязнения нефтепродуктами в условиях низких температур. Выбор биопрепаратов, оптимальных для использования в условиях низких температур Арктического региона, по очистке загрязненных нефтепродуктами грунтов;
- Разработка режимов повышения активности биопрепаратов для рекультивации нефтезагрязненных почв (грунтов) в высоких широтах;
- Разработка режимов активизации жизнедеятельности аборигенных нефтеокисляющих микроорганизмов;
- Разработка методов биологической очистки грунтов после загрязнения углеводородами нефти в высоких широтах и подготовка проекта Руководства по проведению биологической очистки грунтов, загрязненных нефтепродуктами, в арктических условиях;
- Проведение семинара по результатам проекта и распространение полученного положительного опыта среди заинтересованных организаций в виде проекта Руководства по проведению биологической очистки.

В рамках решения поставленных задач был разработан план проведения работ, состоящий из 5 пунктов:

- 1) Этап 1: Анализ российского и зарубежного опыта биологической очистки грунтов после загрязнения нефтепродуктами в условиях низких температур.
- 2) Этап 2. Выбор и оборудование исследовательского полигона.
- 3) Этап 3. Проведение натурных наблюдений и лабораторный анализ проб для выявления оптимальных типов биопрепаратов и режимов их использования для различных типов нефтепродуктов.
- 4) Этап 4. Анализ полученных результатов и разработка проекта Руководства по проведению биологической очистки грунтов, загрязненных нефтепродуктами, в арктических условиях.
- 5) Этап 5. Подготовка и проведение семинара для обсуждения полученных

результатов, проекта названного Руководства и распространения положительного опыта по биологической очистке грунтов, загрязненных нефтепродуктами, в арктических условиях.

3. Анализ российского и зарубежного опыта биологической очистки грунтов после загрязнения нефтепродуктами в условиях низких температур

В России и за рубежом препараты биологической очистки загрязненных нефтепродуктами почв и грунтов используются преимущественно в районах умеренных и южных широт.

Метод биоремедиации почвы основан на использовании препаратов, изготовленных на основе активной биомассы углеводородокисляющих бактерий.

К настоящему времени накоплен большой материал по значимости микробиологических процессов очистки природных сред от углеводородов нефти. Однако касается он в основном очистки водных акваторий при разливах нефти и в значительно меньшей степени почв.

Одним из ярких примеров эффективности метода биоремедиации почв являются результаты ликвидации последствий нефтеразлива в Усинском районе Республики Коми. В процессе работ были исследованы и применены различные биопрепараты, методики, стимуляторы. Опыт, полученный специалистами при работах в Усинске использован нами при подборе технических подходов в условиях Арктического региона.

Для естественного самовосстановления песчаных почв с загрязнением нефтью от 5 до 15% необходим временной промежуток в 30-50 лет. В то время как период биоремедиации с использованием биопрепаратов сокращает этот срок до 3-4 лет. Это, в свою очередь, открывает большие перспективы данного метода при ликвидации последствий крупномасштабных аварий нефтепродуктов.

В рамках проведенных работ по Этапу 1 нами:

- 1) Изучено воздействие нефтепродуктов на почву и влияние внешних факторов на процессы самовосстановления (п.2.1. Отчета по Этапу №1 Контракта № CS-NPA-Arctic-05/2008).
- 2) Рассмотрены методы биоремедиации (п.2.2. Отчета по Этапу №1 Контракта № CS-NPA-Arctic-05/2008).

3) Рассмотрены и сравнены характеристики отечественных и зарубежных биопрепаратов для очистки почв от нефтепродуктов (п.2.3. Отчета по Этапу №1 Контракта № CS-NPA-Arctic-05/2008).

4) Проанализированы Результаты биоремедиации почв при ликвидации последствий нефтеразлива в Усинском районе Республики Коми (п.2.4. Отчета по Этапу №1 Контракта № CS-NPA-Arctic-05/2008).

По результатам работ разработана Схема активизации разложения нефти в почве с учетом исходной концентрации нефтяного загрязнения и типа субстрата, представленная на рисунке 2.

Рисунок 2 Схема активизации разложения нефти в почве с учетом исходной концентрации нефтяного загрязнения и типа субстрата

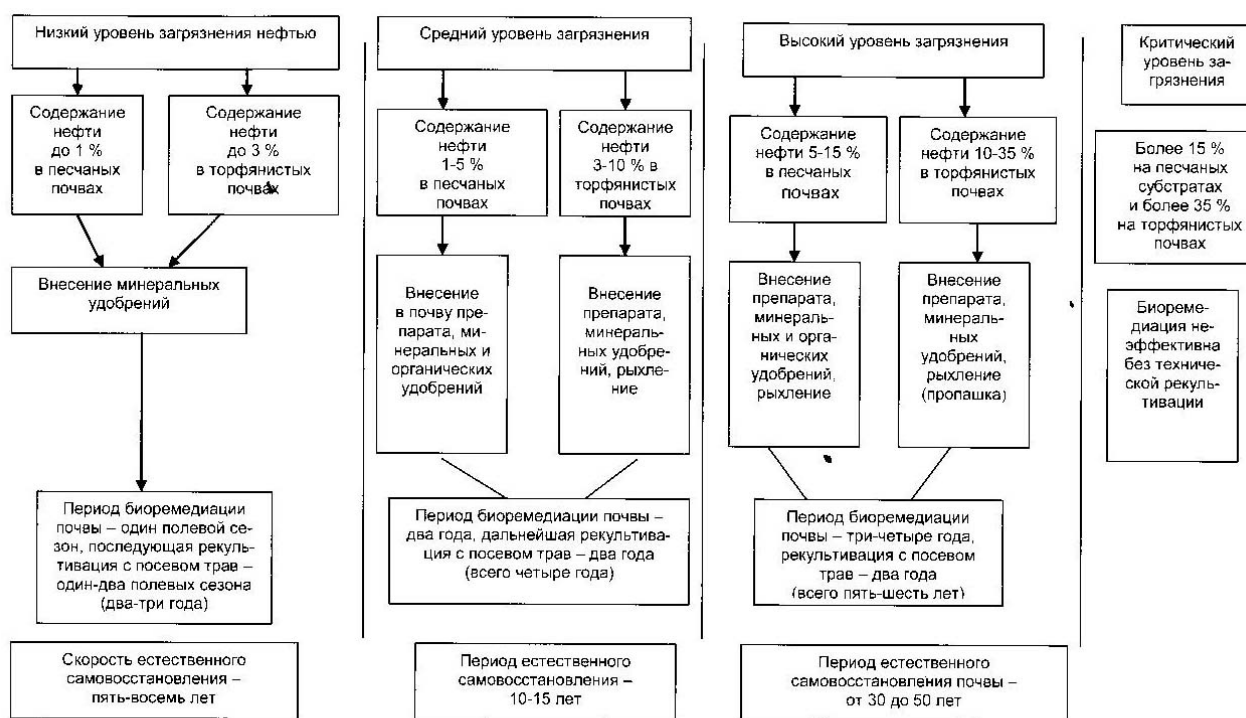


Рис. 22. Схема активизации разложения нефти в почве с учетом исходной концентрации нефтяного загрязнения и типа субстрата.

Выводы по результатам исследований в рамках Этапа 1 работ:

- В условиях Севера использование микробных препаратов более эффективно по сравнению с агробиологическими приемами рекультивации. Однако, в определенных условиях активация аборигенной микрофлоры может дать положительный эффект.
- Необходимо не менее 3-4х лет для получения положительного эффекта при очистке от нефтезагрязнений биологическими методами в условиях Крайнего Севера.

- Биопрепараты необходимо подбирать, основываясь на специфике их разработки (для каких нефтей, почвенно-климатических условий исходно разрабатывался препарат, в каком диапазоне концентраций загрязнения активен).
- Наиболее эффективно применение биопрепаратов на основе аборигенной углеводородоокисляющей микрофлоры.
- Все опыты необходимо проводить в 3-5-кратных повторностях (После создания экспериментальной установки необходимо определить число повторностей опытов. Рекомендации по этому вопросу содержатся в специальной литературе [Файн В.Б., Каменир Э.А., Знаев А.С. - Выбор оптимального числа повторностей при организации эксперимента. М. и Э. с.х-ва № 10, 1980.]. Обычно исследователи рассчитывают число повторностей, минимально необходимое для обеспечения заданной предельно допустимой ошибки. На практике даже такая постановка задачи вызывает определенные затруднения. Поэтому, как правило, экспериментаторы принимают минимальное число повторностей n , равное трем.).
- Наибольший эффект наблюдается при 2-3-кратном применении биопрепаратов. (т.е. согласно инструкций применения биопрепаратов, представленных для эксперимента производителями биопрепаратов, внесения ряда препаратов необходимо повторять 2-3 раза).
- Применение биопрепаратов наиболее эффективно одновременно с агротехническими приемами.
- Рекомендуется предварительная активизация биопрепаратов (подготовка рабочих суспензий).
- На завершающей стадии рекомендуется посев наиболее устойчивых из испытанных трав.
- Независимо от способа стимулирования субстратов на второй год необходим уход за рекультивированной площадью (подсев трав, подкормка минеральными удобрениями).
- Важен фактор увлажнения. Однако переувлажнение отрицательно влияет на рост высеваемых злаков.
- Характер очистки от нефти песчаных и торфяных субстратов сильно отличается.
- Внесение минеральных удобрений обязательно.
- Раскисление почв вызывает резкое снижение потенциала самовосстановления почв.
- При нейтрализации почвы воздействие на численность микроорганизмов не выявлено.

- Чем сильнее сдвинут в кислую сторону фоновый показатель рН почвы, тем менее благоприятна нейтрализация субстрата (угнетение аборигенной микрофлоры), однако нейтрализация почв благоприятно отражается на росте трав-рекультивантов.
- Рыхление - способствует существенной интенсификации разложения нефти.
- Внесение сорбента в почву мало уступает приему рыхления.
- При невозможности рыхления (близкое залегание мерзлоты, недоступность района очистки для техники) рекомендуется внесение органических сорбентов (наряду с биопрепаратами).
- Необходимо строго рассчитывать и контролировать нормы и дозы внесения удобрений, препаратов, трав, вид и частоту обработок.
- Избыточные дозы минеральных удобрений вызывают резкое снижение потенциала самовосстановления почв.

5) Приведены результаты экспериментальной закладки опытов с использованием биопрепаратов в Мурманске в 2007-2008 г.г. (п.2.5. Отчета по Этапу №1 Контракта № CS-NPA-Arctic-05/2008).

Анализируя результаты закладки в 2007-2008гг. можно сделать выводы:

- О возможности и результативности применения метода биоремедиации нефтезагрязненных почв в условиях Мурманской области.
- Летний период в Мурманской области и смежных областях довольно краток и составляет всего 3-4 месяца. Этого периода может быть недостаточно для проведения полного курса биоремедиации. Кроме того, возникновение аварийной ситуации нефтеразлива не зависит от времени года и потребность в применении этого метода может возникнуть не только летом. При этом защитные возможности природы не безграничны. Это еще одно из оснований для закладки данного опыта в преддверии зимы.
- Опытные исследования показали, что исследуемые бактерии пережили зимние условия и активизировались с наступлением теплых дней. Правда численность их сократилась. Но сам факт их выживания говорит о том, что при наступлении теплого периода бактерии способны активизироваться и продолжить работу по восстановлению загрязненного грунта. Данный вывод особенно важен для труднодоступных районов.

- По окончании периода работы бактерий планируется продолжить восстановление почв с помощью фиторемедиации, которая является заключительным этапом биоремедиации. Дальнейший мониторинг эксперимента позволит сделать вывод о влиянии растительности на процесс рекультивации земель, о результативности и степени этого воздействия.

б) Приведены рекомендации по организации исследований в рамках контракта № CS-NPA-Arctic-05/2008г. (п.3. Отчета по Этапу №1 Контракта № CS-NPA-Arctic-05/2008).

Проанализировав сведения о биопрепаратах, учитывая опыт работ в Усинске и экспериментальную закладку опытов в Мурманске, можно сделать следующие выводы:

- В связи с тем, что сведения о зарубежных препаратах очень ограничены и при этом нет информации о преимуществах их эффективности перед отечественными, применение российских препаратов является предпочтительным;
- При использовании отечественных биопрепаратов не возникает сложностей с организацией их доставки;
- Для проведения исследований рекомендованы препараты «Микрозим Петро Трит», «Родер» и «Деворойл». Последний – рекомендован Учреждением «Исполнительная дирекция Российской программы организации инвестиций в оздоровление окружающей среды» и, в свою очередь, применялся в 2007 г. для рекультивации загрязненных почв на Архипелаге ЗФИ;
- Препараты «Деворойл» и «Микрозим Петро Трит» являются полибактериальными препаратами, т.е. препаратами, в состав которых входит несколько разновидностей штаммов микроорганизмов. Это позволяет говорить о их возможности деструктурировать различные компоненты нефти. Кроме того, оба препарата имеют широкие диапазоны рабочей температуры и кислотности почв. Они легки в применении, не требуют специальных установок для активации бактерий. Данные препараты широко применяются в России (в том числе для очистки почв вдоль железнодорожных путей);
- В свою очередь препарат «Деворойл» обладает способностью к комплексному разложению как растворимых, так и нерастворимых в воде компонентов нефти.

Основные преимущества препаратов «Деворойл» и «Микрозим Петро Трит» заключаются в следующем:

- Препараты являются полибактериальными препаратами с высоким титром, следовательно, имеют более широкие адаптационные и экологические возможности при ликвидации нефтяных загрязнений, чем биопрепараты, созданные на основе одного штамма микроорганизмов.
- Препараты экономичны в расходовании, что является экономически выгодным аспектом при их закупке.
- Препараты сохраняют активность при низких положительных температурах окружающей среды (5°C), что особенно важно при ремедиации почв в северных регионах.
- Препараты способны работать в широком диапазоне рН (от 4,0 до 9,0).
- Обладают высокой эффективностью очистки (90-99%).
- Нетоксичны, непатогенны, экологически безопасны.

4. Выбор и оборудование исследовательского полигона

Для осуществления мероприятий по подготовке полигона и закладке опыта проведены следующие работы:

- A. Выбор места для размещения полигона;
- B. Постройка полигона;
- C. Техническое оборудование полигона;
- D. Разработка плана работы биополигона;
- E. Закладка почв и грунтов, загрязненных нефтью и нефтепродуктами;
- F. Проведение первичного анализа проб почв и грунтов;
- G. Закладка опыта (биопрепаратов);
- H. Сопровождение эксперимента.

4.1. Организация полигона

Организация и проведение работ по созданию и оборудованию полигона потребовало, в первую очередь, изучения нормативной и правовой стороны обращения с материалом загрязненным нефтепродуктом, не нормированно образованным на территории РФ.

В работе проанализированы федеральные законы РФ в сфере обращения с отходами (всего 6 документов), общие требования к обращению с отходами (всего 9 документов), документы о лицензировании деятельности по обращению с опасными

отходами (всего 4 документа), документы по нормированию в области обращения с отходами (всего 5 документов), документы по государственному учету и ответственности в области обращения с отходами (всего 4 документа), документы по экономическому регулированию в области обращения с отходами (всего 7 документов). Законодательная база представлена в Приложении № 4 к Отчету по Этапу №2 по Контракта № CS-NPA-Arctic-05/2008.

При проведении работ по выбору места положения полигона были изучены требования к местам временного хранения опасных отходов [СНиП 2.01.28-85].

Экспериментальный полигон расположен на территории полигона ТБО в п. Дровяное. Выбор места положения экспериментального полигона обусловлен следующими условиями:

- a) Полигоны размещаются за пределами городов и других населенных пунктов. Размер санитарно-защитной зоны от жилой застройки до границ полигона 500 м (СНиП 2.07.01-89, табл.12). Кроме того, размер санитарно-защитной зоны уточняется при расчете газообразных выбросов в атмосферу. Границы зоны устанавливаются по изолинии 1 ПДК, если она выходит из пределов нормативной зоны. Уменьшение зоны менее 500 м не допускается.
- b) Гидрометеорологическими. Выбор мест расположения полигонов ведется с учетом роз ветров.
- c) Гидрогеологическими. По гидрогеологическим условиям лучшими являются участки с глинами или тяжелыми суглинками и грунтовыми водами, расположенными на глубине более 2 м.
- d) Санитарно-эпидемиологическими. На основании материалов геологических и гидрогеологических изысканий органы охраны природы и санитарно-эпидемиологического надзора города (района, области, края) выдают заключение о пригодности выбранного участка под устройство полигона ТБО.

Дополнительные сведения о проведенных мероприятиях представлены в пп.1.2 – 1.3. Отчета по Этапу №2 Контракта № CS-NPA-Arctic-05/2008.

Разработка проекта экспериментального полигона, а также работы по постройке велись в соответствии с правилами и нормами Российской Федерации.

В сотрудничестве с компанией Орко-Инвест был создан экспериментальный полигон общей площадью 87 м². Полигон включил 2 части: основную и инженерную. Обе части полигона разбиты на ячейки (коробы), каждая ячейка размером 1 м² и вмещает объем загрязненного грунта 0,5 м³. Таким образом, число ячеек в обеих частях полигона

суммарно составляет 87 штук. План полигон ТБО и участка под строительство полигона представлены в Приложении 1 к Отчету по Этапу №2 Контракта № CS-NPA-Arctic-05/2008г.

Элементы полигона представлены на Рисунке 3: основная (закладка опытов в естественных условиях) и инженерная части (с применением комплекса инженерно-технических решений для подогрева и принудительной аэрации почвы).

Для проведения строительства полигона были проведены следующие работы:

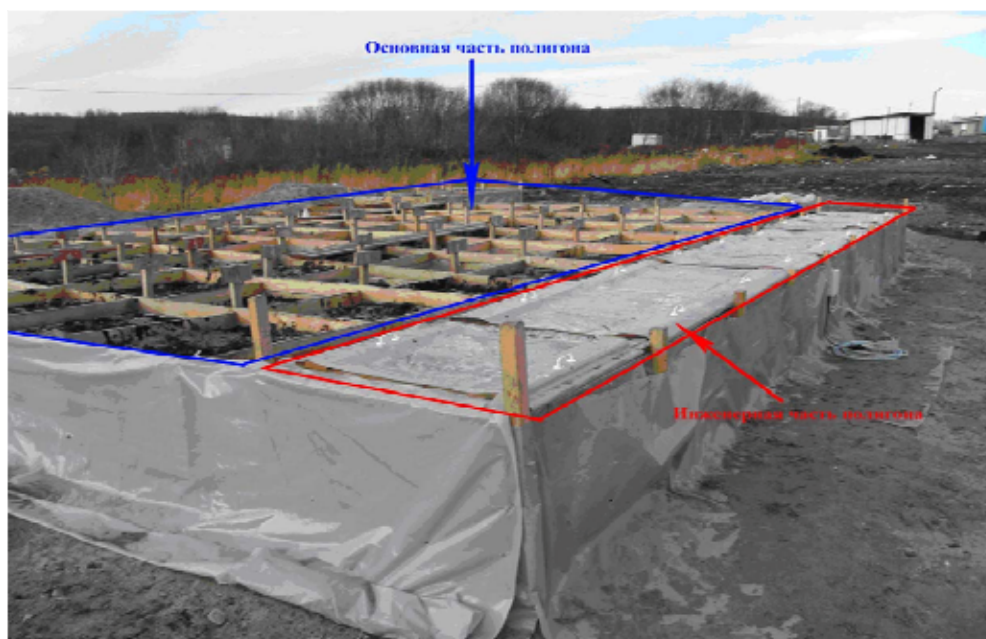
- а) Разработана схема закладки полигона (Рисунок 4);
- б) Произведен выбор материалов (Приложение 2 к Отчету по Этапу №2 Контракта № CS-NPA-Arctic-05/2008г);
- с) Произведен выбор механизмов.

Поверхность почвы, на которой установлен полигон, была покрыта гидроизолирующим материалом. Внутренняя поверхность коробов была выстлана гидроизолирующим материалом, что позволило избежать проникновения нефтепродуктов и внесенных биопрепаратов за пределы коробов.

В ходе проведенного ранее в рамках Первого Этапа работ анализа эффективности работы биопрепаратов и их характеристик, первоочередной проблемой в организации работы полигона в холодный период года стало достижение минимальных достаточных условий для жизни, роста бактерий, а также их эффективной работы.

Нами было предложено техническое решение данной проблемы.

Рисунок 3 Общий вид полигона



Техническое решение представляет собой автономный комплекс по подогреву и аэрации почвы. Комплекс включает использование следующих механизмов: компрессорной установки, дизель-генератора, греющего кабеля, перфорированного шланга, термостата, термодатчика (Рисунок 5а,б,в,г).

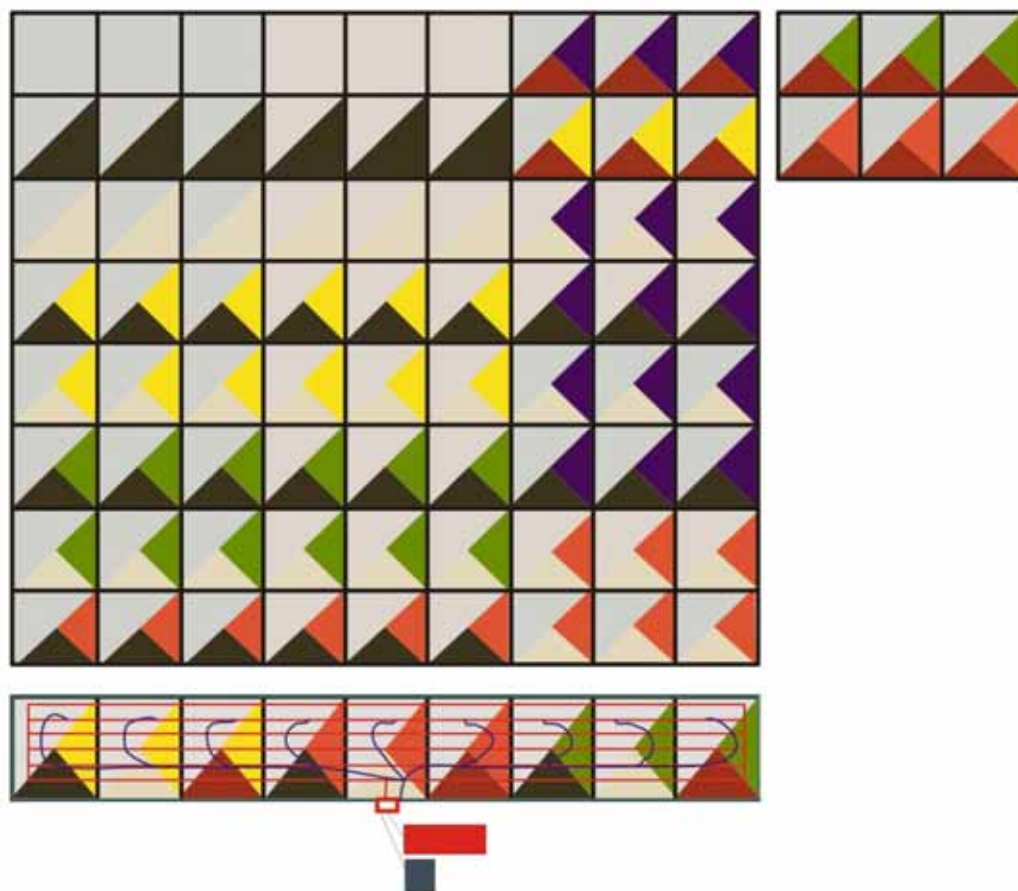
Для эффективной работы всей системы были приняты некоторые решения в инженерной части полигона, а именно: внутренняя часть жесткого корпуса инженерной части выстлана дополнительным слоем гидроизолирующего материала, а также слоем теплоизоляционного материала. Все ячейки закрыты жесткими крышками, с внешней стороны закрыты гидроизолирующим, а с внутренней - теплоизоляционным слоем.

Как функционирует комплекс:

Генератор подает напряжение достаточное для функционирования компрессорной установки и греющего кабеля одновременно, с учетом работы в условиях низких температур. Проложенные по заданному контуру греющий кабель и перфорированные трубки, идущие от компрессора, производят подогрев и подвод воздуха к загрязненному грунту. Термодатчик, закрепленный на внутренней поверхности коробов в комплексе с термостатом дает возможность контролировать нагрев кабеля.

Рисунок 4

Схема закладки экспериментального полигона



Условные обозначения

	Мазут		ДТ+родер		Дизельный генератор
	Дизельное топливо (ДТ)		Мазут+родер		Компрессор
	Мазут+микрозим		Нефть+родер		Распределительная коробка
	ДТ+микрозим		Мазут+Агрохимия		Перфорированная трубка
	Нефть+микрозим		ДТ+Агрохимия		Кабель нагревательный
	Мазут+девороил		Нефть+Агрохимия		Тепло и гидроизоляция
	ДТ+девороил		1 тип почв		
	Нефть+девороил		2 тип почв		

Рисунок 5а Схема закладки системы подогрева и аэрации в грунт

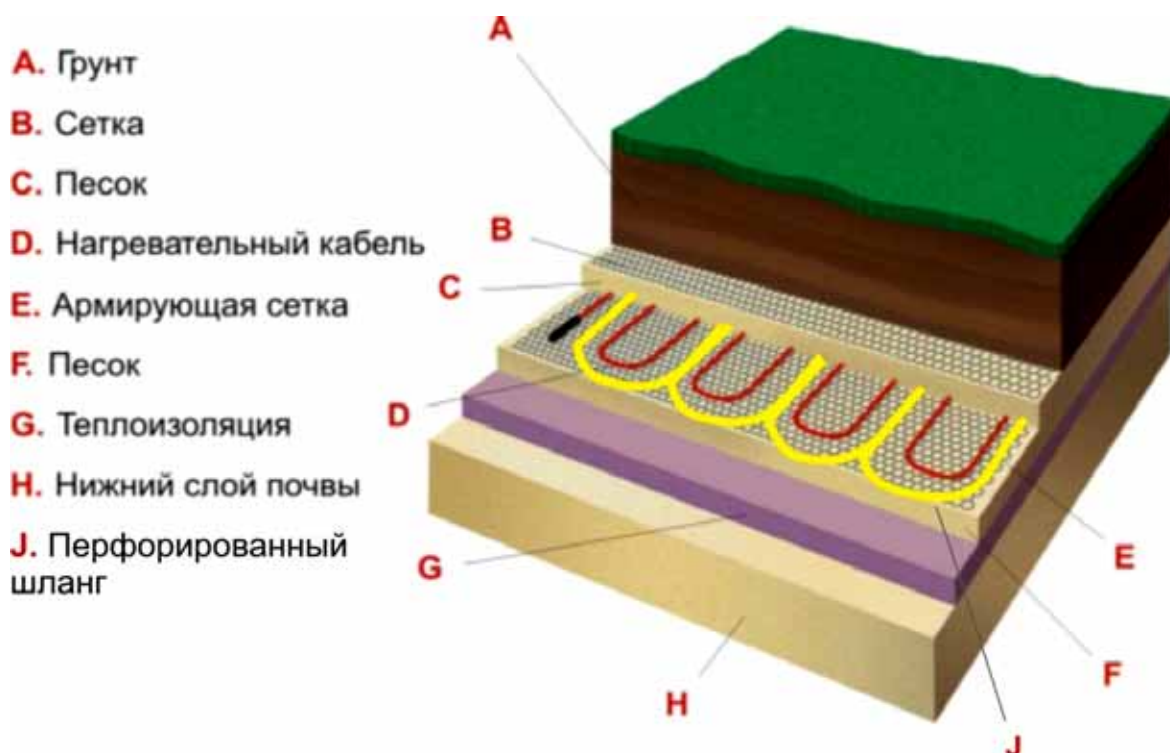


Рисунок 5б Настройка оборудования на полигоне



Рисунок 5в Компрессор и дизель генератор



Рисунок 5г Система организации тепло и гидроизоляции ячеек в инженерной части полигона с укладкой сети перфорированных труб для аэрации почвы



4.2. Закладка почвы

Почвенный покров Мурманской области характеризуется большой пестротой и комплексностью, что связано с изменчивостью условий почвообразования в пересеченном рельефе. В соответствии с Контрактом № CS-NPA-Arctic-05/2008 от 01.07.2008 г. и на основании данных карты типов и биогенности почв (Экологический атлас Мурманской области), выявлены два вида почв, наиболее характерных для Мурманского региона: 1. тундровые иллювиально-гумусовые оподзоленные и подбуры (далее – условно 1 тип почв); 2. подзолы иллювиально-малогумусовые (железистые) (далее – условно 2 тип почв). На карте показан преобладающий тип почв в почвенном покрове в пределах выделенных контуров (Рисунок 6).

Почвы Мурманской области по их биогенности разделены на три группы:

I. Почвы с низкой биогенностью, БП < 2: примитивные и иллювиально-гумусовые тундровые почвы, а также иллювиально-железистые.

II. Почвы со средней биогенностью, БП = 2-8: лесотундровые иллювиально-гумусовые, гумусово-железистые лесные почвы, иллювиально-многогумусовые лесные, торфяно-подзолистые иллювиально-гумусовые, торфяно-болотные верховые, горные.

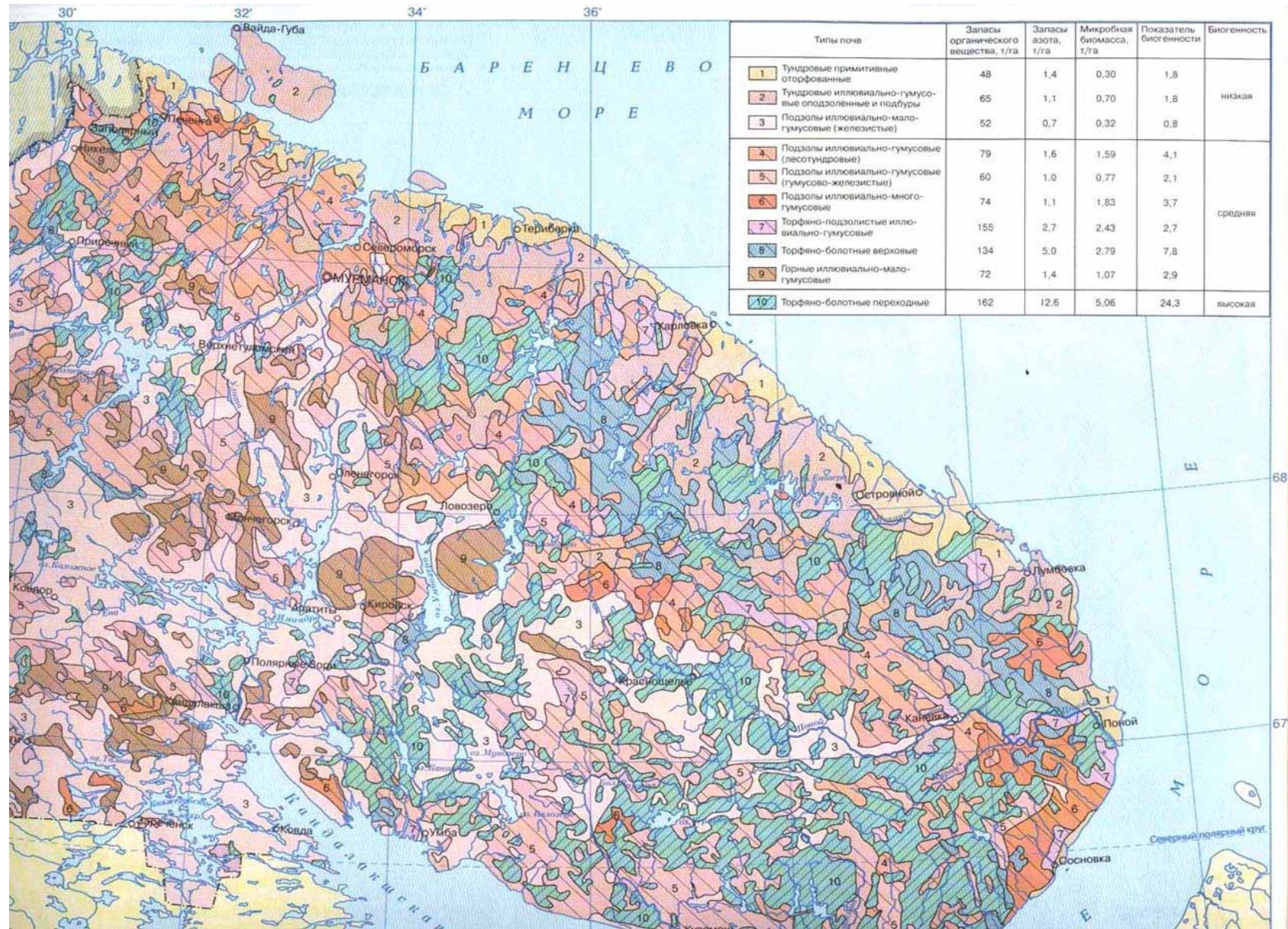
III. Почвы с высокой биогенностью, БП > 8: торфяно-болотные переходные.

Использованные в эксперименте типы почв относятся к I группе и обладают низкой биогенностью (БП < 2). Это позволяет говорить об их низкой самоочищающей способности и необходимости применения искусственных методов очистки (в частности, биоремедиации) от нефтяных загрязнений.

В основной части полигона (ячейки №№ 1-78) применена методика повторности опытов (каждый вариант закладки содержит 3 повторности).

Для исследования нами были выбраны почвы, загрязненные следующими нефтепродуктами: мазут, дизельное топливо, нефть. Масса почвы, внесенной в каждую ячейку, составила около 480 кг.

Рисунок 6 Типы и биогенность почв Мурманской области



4.3. Содержание нефтепродуктов в почве на начало работ

При применении метода биологической рекультивации почв необходимо рассчитывать нормы внесения биопрепаратов. Количество вносимого биопрепарата определяется в зависимости от уровня загрязнения почвы нефтепродуктами.

В августе 2008 г., после проведения работ по загрузке полигона загрязненными почвами, был проведен отбор проб почвы на содержание нефтепродуктов.

Отбор проб и определение содержания в них нефтепродуктов выполнены специалистами ФГУ «Центр лабораторного анализа и технических измерений по Мурманской области» (далее – «ЦЛАТИ по Мурманской области»). Копии Аттестата аккредитации и Приложения к нему приведены в Приложении 1 к Отчету по Этапу 4 Контракта № CS-NPA-Arctic-05/2008г. Пробы отбирались пробоотборником из пяти различных точек каждой ячейки, тщательно перемешивались и поступали на пробоподготовку и непосредственный анализ (рис. 7).

Результаты анализов содержания нефтепродуктов в почве на начало работ приведены в Таблице 2 Отчета по Этапу 4 Контракта № CS-NPA-Arctic-05/2008г. Копии протоколов определения содержания нефтепродуктов в пробах - в Приложении 2 к Отчету по Этапу 4 Контракта № CS-NPA-Arctic-05/2008г. На основании полученных данных среднее содержание нефтепродуктов в почве составило ~ 4-5%.

Рисунок 7. Отбор проб специалистами ЦЛАТИ по Мурманской области



4.4. Расчет норм внесения биопрепаратов

Расход биопрепаратов рассчитывается исходя из уровня загрязнения почвы при начале работ. Уровень загрязнения почвы (п. 2.2 Отчета по Этапу 4 Контракта № CS-NPA-Arctic-05/2008г.) составил ~4-5%, то есть 40-50 г нефтепродукта на 1 кг почвы.

Нормы расхода биопрепаратов рассчитывали согласно инструкциям производителей (п. 2.3 Отчета по Этапу 4 Контракта № CS-NPA-Arctic-05/2008г.).

Рисунок 8. Внесение биопрепаратов



4.5. Расчет норм внесения минеральных удобрений

Для эффективной работы биопрепаратов необходимо создание благоприятной питательной среды, т.е. почвы должны быть в достаточной степени обогащены минеральными элементами: азотом, фосфором и калием.

Внесение минеральных удобрений при биологической рекультивации почв обеспечивает стимуляцию естественной микрофлоры и создает питательную среду для нефтеокисляющих бактерий.

Были проведены работы по расчету норм внесения минеральных удобрений, т.к. их недостаток отрицательно скажется на росте колоний нефтеокисляющих микроорганизмов, а переизбыток приведет к закислению почвы.

Фактор закисления (по опыту ликвидации аварии в Усинском районе Республики Коми) не оказывает негативного воздействия на развитие нефтеокисляющих бактерий, однако, отрицательно сказывается на этапе фиторемедиации.

Согласно инструкции по применению биопрепарата «Родер», рекомендуется внесение минеральных (азотно-фосфорно-калийных) удобрений в соотношении С:N:P:K = 1:0,1:0,01:0,003 на единицу углеводородного загрязнения почвы (г/кг).

Используемые в эксперименте типы почв обладают низкой биогенностью (п. 2.1. отчета). Для увеличения насыщенности почв микроэлементами, норма внесения удобрений была увеличена до агрономических норм.

В ходе работ был подобран комплекс азотно-фосфорно-калийных удобрений, обеспечивающих питательную среду для нефтеокисляющих микроорганизмов, содержащихся в биопрепаратах. Использовали минеральные удобрения «Азофоска» и «аммиачная селитра». Удобрения внесены в соотношении N:P:K=10:1:1

Навески удобрений подготовлены специалистами лаборатории ГУ «Мурманское УГМС» на аналитических весах с погрешностью ± 1 г.

Рисунок 9. Внесение минеральных удобрений



4.6. Мероприятия по закладке биопрепаратов и минеральных удобрений

14 августа 2008 года были проведены работы по закладке биопрепаратов и минеральных удобрений в опытные ячейки полигона.

В рамках мероприятий проводились работы по:

- Увлажнению почвы, замеру температуры почвенного субстрата
- Активизации биопрепаратов
- Внесению минеральных удобрений
- Внесению биопрепаратов
- Аэрации почвы

Перед внесением биопрепаратов в почву вносили минеральные удобрения (за исключением ячеек, запланированных для внесения препарата «Родер», где удобрения вносятся непосредственно в суспензию).

Согласно разработанной схеме (рисунок 4) в ячейки вносились биопрепараты. Все используемые в исследованиях биопрепараты подвергались предварительной активизации, что сокращало время перехода микроорганизмов в активную фазу при внесении в загрязненную почву.

В соответствии с инструкциями по биопрепаратам «Микрозим (tm) «ПЕТРО ТРИТ» и «Родер» произвели повторное внесение.

- «Микрозим (tm) «ПЕТРО ТРИТ» вносился повторно через 25 дней после 1-го внесения;
- «Родер» - трехкратно с промежутком в 14 дней между внесениями.

«Микрозим (tm) «ПЕТРО ТРИТ» внесен методом, описанным в п. 2.5.2 Отчета по Этапу 4 Контракта № CS-NPA-Arctic-05/2008г, через 25 дней после первого внесения. Препарат «Родер» вносился трехкратно в промежутком 14 дней между внесениями.

В соответствии с графиком работ по обслуживанию биополигона почва тщательно перемешивалась после каждого внесения биопрепаратов (Рисунок 10).

Подробно мероприятия представлены в рамках Отчета по Этапу 2, а также в п. 2.5. Отчета по Этапу 4 Контракта № CS-NPA-Arctic-05/2008г.

Рисунок 10. Рыхление почвы



5. Проведение натуральных наблюдений и лабораторный анализ проб

В рамках третьего Этапа работ по полигону были выполнены мероприятия по:

- Созданию графика обслуживания и снабжения полигона;
- Организации вахтового метода работ на полигоне.
- Контролю за температурой почвы;
- Поливу и перемешиванию почвы;
- Составлению графиков отбора проб;
- Отбору проб разными субподрядчиками;
- Контролю чистоты отборы проб;
- Организации охраны полигона;
- Ограждению территории полигона.

Комплекс работ по третьему этапу Контракта включил:

- Проведение работ по развитию эксперимента и поддержанию его чистоты;
- Проведение отбора проб на содержание нефтепродуктов в почве, а также микробиологический анализ (содержание аборигенных и внесенных бактерий);
- Проведение лабораторного анализа отобранных образцов почв, загрязненных нефтью и нефтепродуктами с внесенными биологическими препаратами;
- Проведение работ по техническому и технологическому сопровождению эксперимента.

Работы на биополигоне велась согласно графику.

По данным Государственного учреждения «Мурманское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» (далее - ГУ "Мурманское УГМС") ежедневно фиксировались показатели метеорологических условий: температура воздуха (за каждые 4 часа), количество выпадающих осадков, влажность воздуха и т.д. (Приложение 4 к Отчету по Этапу 4 Контракта № CS-NPA-Arctic-05/2008г.). График представлен на рисунке 12.

Замеры температуры почвы производились почвенным термометром 1 раз в две недели (Рисунок 11).

В течение всего срока проведения работ проводился контроль работы генератора в инженерной части полигона, что обеспечило поддержание постоянной положительной температуры почвы.

На протяжении всего периода исследований проводилось рыхление и увлажнение почвы, до оптимальных параметров, рекомендуемых производителями биопрепаратов

Отбор проб на микробиологический анализ выполнялся специалистами лаборатории микробиологии ФГУ «Мурманский ЦСМ». Отбор проб осуществлялся согласно ГОСТ 17.4.4.02-84 и ГОСТ 17.4.3.01-83.

Рисунок 11. Замер температуры почвы



Рисунок 12а. Динамика температуры почвы

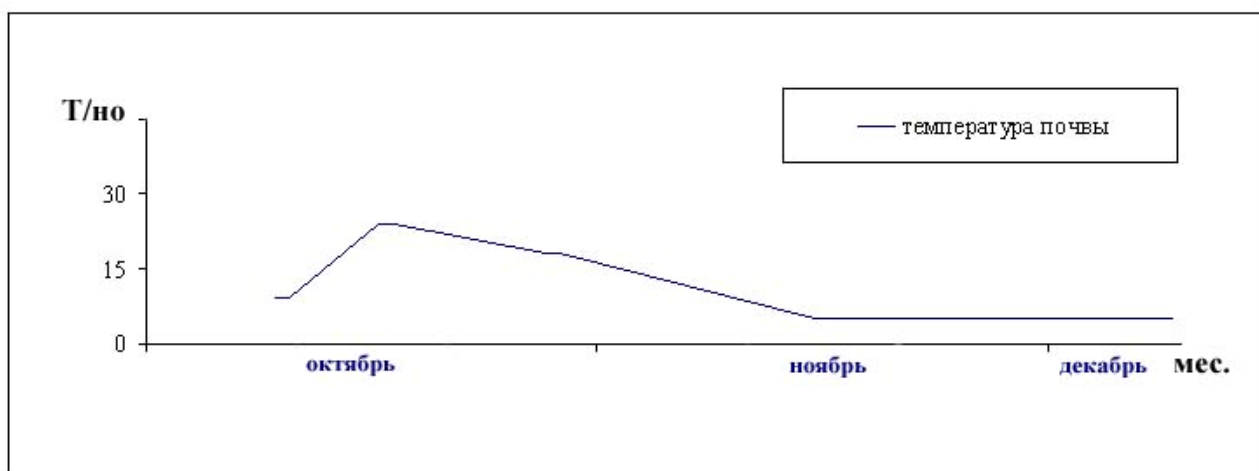
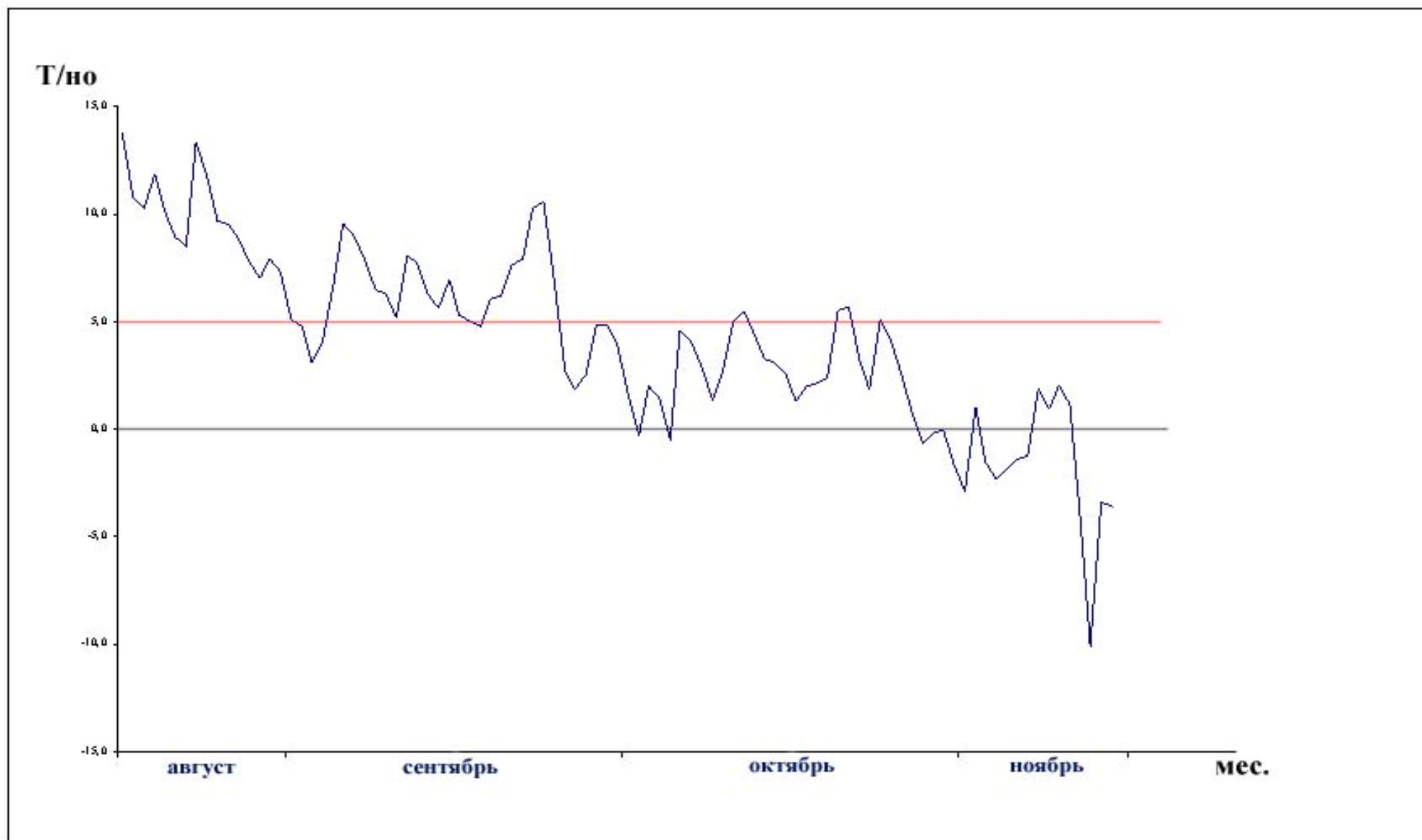


Рисунок 126. Динамика температуры воздуха



6. Анализ полученных результатов

6.1. Анализ содержания нефтепродуктов в почве

По окончании третьего этапа работ по Контракту были повторно отобраны пробы почвы для проведения химического анализа на содержание нефтепродуктов (ноябрь 2008 г. – в основной части полигона, декабрь 2008 г. - в инженерной части полигона).

Результаты анализов проб на содержание нефтепродуктов в почве сведены и представлены в Таблице 4 Отчета по Этапу 4 Контракта № CS-NPA-Arctic-05/2008г.).

По результатам полученных данных можно сделать следующие выводы:

- Процент очищения почвы контрольных ячеек (варианты с загрязненной почвой без внесения биопрепаратов и минеральных удобрений) колебался в пределах 0,0-0,6%. Это говорит о низкой самоочищающей способности почвы.
- При стимуляции аборигенной нефтеокисляющей микрофлоры за счет внесения минеральных удобрений результат снижения содержания нефтепродуктов составил 0,7-2,1%, что говорит о возможности применения агротехнических приемов рекультивации почв при низких концентрациях загрязнения (до 1-2%).
- Применение биопрепаратов ускоряет процесс очищения почвы от нефтезагрязнителей.
- При обработке почвы, загрязненной мазутом, наибольшую степень очистки почвы показал биопрепарат «Родер» (4,5-5,3%). При загрязнении дизельным топливом – «Деворойл» (4,8-5,9%), нефтью – «Микрозим (tm) «ПЕТРО ТРИТ» и «Родер» (6,7%). Средний процент очищения почвы с применением биопрепаратов составил 5,4%.
- Наиболее тяжело поддается процессу биоразложения мазут. Это связано с его высокой вязкостью. При попадании в почву данный загрязнитель не пропитывает почву, а образует комки. Комкование нефтепродукта ухудшило эффективность работы биопрепаратов и усложнило процесс создания оптимальных условий для работы микрофлоры почв (сложность перемешивания, неравномерность распространения в почве). Попытка перемешивания загрязненного субстрата с помощью бура не принесла положительного результата.

- В почве с торфяной прослойкой распад нефтепродуктов прошел более эффективно (в среднем на 1,4%). Торф сыграл роль естественного сорбента и органического удобрения одновременно.
- В инженерной части полигона, за счет поддержания постоянной положительной температуры почвы ($5+15^{\circ}\text{C}$), биопрепараты показали большую степень разложения нефтепродукта (среднее значение – 9,9%). Наилучший результат по очищению почвы от мазута и дизельного топлива показал препарат «Микрозим (tm) «ПЕТРО ТРИТ», нефти – «Деворойл».
- Сделать однозначные выводы в пользу того или иного биопрепарата по полученным результатам затруднительно. Разница в степени очистки почвы в зависимости от применяемого биопрепарата колеблется в среднем в пределах $\pm 1,6\%$.

На основании полученных результатов исследований содержания нефтепродуктов в почве, можно сделать вывод, что биологическая рекультивация с применением биопрепаратов значительно увеличивает скорость очищения почв от нефтепродуктов, а применение инженерных технологий позволяет продлить и интенсифицировать этот процесс.

Средний процент очищения почвы основной части полигона составил 5,4%, инженерной части полигона – 9,9%.

Для полного восстановления почв после нефтяного загрязнения необходимо продолжение рекультивационных работ: повторные внесения биопрепаратов и минеральных удобрений при наступлении теплого сезона с последующей фиторемедиацией.

Полигон был заложен в середине августа 2008 года. Продолжительность теплого периода составила 1-1,5 месяца. В случае проведения работ с начала теплого сезона, данный период в Арктических условиях составит около 3-х месяцев.

На основе опыта рекультивационных работ в средних и южных широтах РФ, опыта ликвидации последствий нефтеразлива в Усинском районе Республики Коми и с учетом результатов, полученных в ходе проведенных исследований, можно предположить, что для полной рекультивации почвы при уровне загрязнения 5% потребуется 3-4 года.

Что послужило основанием такому прогнозу очистки. В первую очередь, необходимо признать, что время года, выбранное для проведения эксперимента, было непоказательным. Среднесуточные температуры воздуха находились в пределах $7-9^{\circ}\text{C}$. Температура почвы была существенно ниже летней. Таким образом, степень очистки

почвы от нефтепродуктов без применения технологии подогрева, колебалась пределах 5-6% за 1,5 месяца, до тех пор, пока температуры благоприятствовали деятельности бактерий. Если брать за основу расчета ежегодного процента очистки почв показатель 5-6%, то можно констатировать, что выбранный путь будет ошибочным, т.е. мы не учитываем работу бактерий в теплые летние месяцы.

Важным было показать, возможно ли проведение очистки почвы в условиях крайнего севера, но использован при этом должен быть весь теплый период года. Понимая это, нами был проведен анализ почвенно-климатических условий летнего периода, по которому мы опередили, что средняя температура почвы в летний период на Кольском полуострове схожа с искусственно созданным нами температурным коридором в инженерной части полигона. Степень очистки почвы в инженерной части составила порядка 9,6%. Эти показания нами были взяты как среднегодовые в условиях Мурманской области. Таким образом, с учетом 3-4 месяцев в году благоприятных для работы бактерий, прогнозируемый период очистки загрязненного грунта может лежать в пределах 3-4 лет (Рисунок 15).

Получив итоговые цифры (3-4 года), сравнив их с российским опытом, в том числе в Усинском районе Республики Коми, мы можем с уверенностью говорить о том, что получили результат с достаточной степенью достоверности, согласующийся с результатами других экспериментов и работ в сфере биологической рекультивации.

Следует отметить, что период разложения такого загрязнения в естественных условиях (без применения каких-либо методов очистки почвы) составляет 10-15 лет.

6.2. рН и влажность почвы

Анализ рН и влажности почвенных субстратов выполнялся специалистами лаборатории микробиологии ФГУ «Мурманский центр стандартизации метрологии и сертификации» (далее – ФГУ «Мурманский ЦСМ»).

Значения рН почвы определялись на универсальном иономере со стеклянным и хлорсеребряным электродами. Значения рН, близкие к нейтральным (7.0), являются оптимальными для роста на углеводородах большинства бактериальных микроорганизмов. Значения рН почвы, определенные в ходе исследований, представлены в Таблице 5 Отчета по Этапу 4 Контракта № CS-NPA-Arctic-05/2008г.

Контрольные образцы 1-го типа почвы имели нейтральную реакцию среды, 2-го типа – близкую к нейтральной, что является позитивным фактором для жизнедеятельности микробиоты и выращивания растений.

В остальных вариантах наблюдался пониженный уровень рН. В дальнейшем рН среды в ячейках с добавлением минеральных удобрений несколько вырос, однако резких скачков не наблюдалось. В контрольных ячейках рН среды понизился. Данные колебания не оказали воздействия на рост колоний бактерий-деструкторов нефти.

Результаты определения влажности почвы представлены в Таблице 6 Отчета по Этапу 4 Контракта № CS-NPA-Arctic-05/2008г.

При первичном отборе проб установлена повышенная влажность почвы (оптимум составляет 40-70%, фактическое значение колеблется в пределах 64-82%), что обусловлено обильными осадками в период отбора проб.

В дальнейшем значения влажности приблизились к оптимальным.

В ячейках с 1-м типом почвы преимущественно отмечены более высокие показатели влажности, чем в ячейках со 2-м типом. Это связано с повышенной влагоемкостью торфа, входящего в состав 1-го типа почвы.

6.3. Микробиологические исследования

Микроорганизмы, разлагающие нефть, являются естественными представителями почвенной микрофлоры и относятся к бактериям родов *Micrococcus*, *Brevibacterium*, *Rhodococcus*, *Acinetobacter*, *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Nocardia*, *Corynebacterium*, *Arthrobacter*, грибам родов *Actinomucor*, *Aspergillus*, *Penicillium*, *Streptomyces*, дрожжей *pp. Candida*, *Torulopsis*, *Rhodotorulla*, *Cryptococcus*, *Trichosporon*. Из перечисленных микроорганизмов бактерии родов *Pseudomonas*, *Arthrobacter*, *Rhodococcus* и грибы рода *Penicillium* являются характерными обитателями северных почв.

Микробиологический анализ проб выполнен специалистами лаборатории микробиологии ФГУ «Мурманский ЦСМ».

В эксперименте использовали три вида бактериальных препаратов: «Деворойл», «Родер», «Микрозим (tm) «ПЕТРО ТРИТ».

В состав биопрепарата «Деворойл» входят вегетативные клетки непатогенных штаммов культур *Rhodococcus sp.* шт. 367-2, *Rhodococcus maris* шт. 367-5, *Rhodococcus erythropolis* шт. 367-6, *Pseudomonas stutzeri* шт. 367-1, *Candida lipolytica* шт. 367-3.

Препарат активен в диапазоне температур от +5 до +40°C на поверхности нефтяной пленки и в толще нефтяного слоя, адаптирован к субстратам соленостью до 150 г/л и эффективен в диапазоне рН среды 5,5-9,5. Продукты биодеструкции нефти и нефтепродуктов не оказывают отрицательного воздействия на экосистемы. Поставляется в

виде сухого порошка с мелкокристаллическими включениями минеральных солей и биологически активных добавок. Действие препарата возрастает при применении совместно с ним минеральных удобрений, содержащих азот и фосфор.

Биопрепарат «Родер» представляет собой концентрат обезвоженных непатогенных, жизнеспособных и активных клеток бактерий-деструкторов углеводов, выделенных из почвы – *Rhodococcus ruber* шт. Ас-1513D и *Rhodococcus erythopolis* шт. Ас-1514D.

Препарат действует при уровне загрязнения нефтью и нефтепродуктами до 25%, но наиболее эффективен при низком уровне загрязнения (1-0,5%). Эффективность препарата наблюдается в широком диапазоне температур от +8 до +30°C. Оптимум рН 5.8-7.8. Рабочая суспензия биопрепарата перед внесением обогащается минеральными компонентами (азотом, фосфором, калием). Обработка ведется в летний период, кратность обработок зависит от степени загрязнения. При высоких уровнях нефтяного загрязнения рекомендуется применять биопрепарат в течение 2–3 сезонов.

Биопрепарат «Микрозим» (tm) «ПЕТРО ТРИТ» представляет собой ассоциацию из 12 штаммов углеводородокисляющих микроорганизмов.

В ассоциацию входят бактерии родов: *Bacillus*, *Rhodococcus*, *Arthrobacter*, а также дрожжи, грибы. Все они являются типичными представителями почв. Это нетоксичные, непатогенные и генетически не модифицированные сапрофитные аэробные и факультативно анаэробные микроорганизмы. Препарат представляет собой однородный сухой порошок желтого цвета, содержит биогенные элементы и дополнительный источник питания в виде кукурузной муки. Применять препарат рекомендуется при температуре воздуха от +10 до +50°C. Допустимый рН почвы в пределах от 5 до 9.

Биопрепарат предназначен для биологической очистки почвы, водоемов, сточных вод от нефти и нефтепродуктов.

Методика определения гетеротрофных микроорганизмов

Гетеротрофные бактерии относятся к группе бактерий, потребляющих готовое органическое вещество. К данному виду относятся, в том числе, и аборигенные углеводородокисляющие бактерии.

Численность гетеротрофных бактерий почвы определялась на рыбо-пептонном бульоне (РПБ).

Посевы делались методом предельных разведений.

Культивирование микроорганизмов осуществляли при температуре 20°C в течение 3 суток.

Наличие роста наблюдалось по помутнению среды.

Количество бактерий определялось методом НВЧ по таблице Мак Креди.

Изучение культуральных свойств микроорганизмов проводили после посева на питательный агар.

Методика определения углеводородокисляющих микроорганизмов

Численность углеводородокисляющих бактерий определялась на минеральной среде следующего состава (г/л дист. воды): $K_2HPO_4 \cdot 3H_2O$ - 1, NH_4Cl - 2, $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ - 05, $NaCl$ - 05, $CaCO_3$ - 1, $FeSO_4 \times 7H_2O$ - следы, дизельное топливо (летнее) - 1 об. %.

Навески солей растворяли в воде отдельно и смешивали перед стерилизацией в асептических условиях. Затем доводили рН среды до заданных значений (рН 7,0-7,2).

Посевы проводились методом предельных разведений.

Культивирование микроорганизмов осуществляли при температуре 20°C в течение 1 месяца.

Наличие роста наблюдалось по помутнению среды или образованию пленки на границе «дизельное топливо—среда».

Количество бактерий определяли методом НВЧ по таблице Мак Креди.

Изучение культуральных свойств проводили после посева на агаризированную минеральную среду того же состава с 1,7%-ным содержанием агара.

Динамика численности гетеротрофных микроорганизмов основной части полигона

Отборы проб для проведения микробиологических исследований производились один раз в месяц в течение всего периода исследований до промерзания почвы.

Пробы почвы отбирались перед внесением биопрепарата, что позволило проанализировать динамику роста численности микроорганизмов.

Также однократно (16.10.2008 г.) проведен отбор проб почвы после внесения биопрепаратов.

Данный отбор показал фактическое количество бактерий, достигших почвенного субстрата, в результате внесения биопрепаратов.

Частичная гибель микроорганизмов может быть обусловлена воздействием неблагоприятных внешних условий в процессе внесения (например, пониженная температура воздуха и др.). Также частично бактерии могли остаться на стенках сосуда, используемого при внесении.

Данные результатов анализа численности гетеротрофных микроорганизмов сведены в Таблицу 7 Отчета по Этапу 4 Контракта № CS-NPA-Arctic-05/2008г.

Контрольными вариантами при определении роста численности бактерий являются ячейки полигона без внесения бактериальных препаратов и минеральных удобрений (№№ 55-60), а также ячейки с фоновыми образцами почвы (№№ 61-66).

Динамика численности гетеротрофных микроорганизмов представлена в виде диаграмм в пп.3.3.4. Отчета по Этапу 4 Контракта № CS-NPA-Arctic-05/2008г. Начальная численность гетеротрофных бактерий в вариантах без внесения бактериальных препаратов одинакова. Эти значения ниже, чем в вариантах с привнесённой микрофлорой, что обусловлено внесением дополнительной массы углеродокисляющих микроорганизмов, которые также являются гетеротрофами. Далее происходит медленное увеличение численности гетеротрофной микрофлоры, максимум достигнут в сентябре.

Таким образом, можно сделать вывод об адаптации наиболее стойких видов бактерий к условиям загрязнения. Интервал роста численности бактерий в контрольных вариантах и в вариантах с внесёнными минеральными удобрениями колеблется в пределах одного порядка.

Закономерности роста аборигенной гетеротрофной микрофлоры за счёт внесения минеральных удобрений не выявлено.

В целом, наибольшая численность бактерий отмечается в ячейках с препаратом «Микрозим «ПЕТРО ТРИТ».

Вне зависимости от типов почвенного субстрата и нефтепродукта максимум роста зафиксирован через месяц после внесения - $2,5-7 \times 10^8$ кл/г.

Количество гетеротрофных бактерий при внесении препаратов «Родер» и «Деворойл» остается близким друг к другу в течение всего периода наблюдений.

В целом, на протяжении всего эксперимента, на фоне снижения температур воздуха и почвы в ячейках с биопрепаратами происходило снижение численности гетеротрофных микроорганизмов и, следовательно, сближение численности бактерий внесённых биопрепаратов и контрольных значений.

Резкое снижение численности бактерий через 3 месяца после начала исследований обусловлено промерзанием почвенного субстрата (температура почвы ниже 0°C).

На фоне снижения температуры воздуха и промерзания субстрата следует отметить, что в ячейках с минеральными удобрениями и контрольном варианте не произошло резкого снижения численности бактерий – все изменения колеблются в пределах одного порядка.

Это связано с тем, что собственная микрофлора почвы более приспособлена к сезонным изменениям температуры и не реагирует на них резким изменением количества микроорганизмов.

Дополнительно данные по динамике численности гетеротрофных микроорганизмов основной части полигона представлена в рамках Отчета по Этапу 4 Контракта № CS-NPA-Arctic-05/2008г.

Динамика численности углеводородокисляющих микроорганизмов основной части полигона

Данные по динамике численности углеводородокисляющих микроорганизмов представлены в Таблице 8 Отчета по Этапу 4 Контракта № CS-NPA-Arctic-05/2008г.

Динамика численности углеводородокисляющих микроорганизмов представлена в виде диаграмм в пп.3.3.4. Отчета по Этапу 4 Контракта № CS-NPA-Arctic-05/2008г.

Основываясь на полученных данных, можно отметить, что концентрация углеводородокисляющих микроорганизмов в контрольном варианте и в ячейках с минеральными удобрениями ниже, чем в ячейках с биопрепаратами (как и в случае с гетеротрофными микроорганизмами).

В течение всего периода исследований численность углеводородокисляющих бактерий в контрольных ячейках и в ячейках с удобрениями близки друг к другу, а в части ячеек одинакова.

В двух случаях начальная численность бактерий близка к контрольным – ячейки №№ 13-15 с препаратом «Деворойл» (6×10^3 кл/г) и №№ 7-9 с препаратом «Родер» (6×10^3 кл/г). Данный факт может быть связан с тем, что клеткам бактерий при попадании в новую для них среду обитания для активации своей деятельности необходимо некоторое время (период адаптации).

Численность углеводородокисляющих бактерий в ячейках с препаратами оставалась высокой в течение всего периода опытных работ.

Максимум значений численности достигнут через 2 месяца после начала эксперимента. В данный период достигнуты наиболее благоприятные условия для развития углеводородокисляющих бактерий.

После 3 месяцев наблюдений при промерзании почвы численность бактерий падает (как и в случае с гетеротрофами).

Вследствие снижения температуры окружающей среды отмечено следующее:

- препарат «Микрозим «ПЕТРО ТРИТ» в варианте «2-й тип почвы + мазут» незначительно снизил свой титр, а в варианте «2-й тип почвы + дизельное топливо» остался на прежнем уровне;
- не изменились титры препаратов «Родер» и «Деворойл» в варианте «1-й тип почвы + мазут».

Важно отметить, что число аборигенных углеводородокисляющих бактерий в контроле и в вариантах с минеральными удобрениями после промерзания грунта не уменьшилось. Это свидетельствует о повышенной устойчивости естественной микрофлоры почв Севера к пониженным температурам.

В целом, можно сделать вывод, что все препараты показали увеличение численности микроорганизмов в теплый период температур.

Далее наблюдается спад численности бактерий.

Изучение динамики численности углеводородокисляющей микрофлоры, вследствие короткого периода исследований, не позволяет выделить приоритетный для использования биопрепарат.

Дополнительно данные по динамике численности углеводородокисляющих микроорганизмов основной части полигона представлена в рамках Отчета по Этапу 4 Контракта № CS-NPA-Arctic-05/2008г.

Динамика численности гетеротрофных и углеводородокисляющих микроорганизмов инженерной части полигона

Данные по динамике численности гетеротрофных и углеводородокисляющих микроорганизмов инженерной части полигона приведены в таблицах 9, 10 Отчета по Этапу 4 Контракта № CS-NPA-Arctic-05/2008г., а также отображены в виде диаграмм в пп.3.3.4. Отчета по Этапу 4 Контракта № CS-NPA-Arctic-05/2008г.

Исходная численность гетеротрофных бактерий в ячейках инженерной части полигона незначительно отличается друг от друга во всех вариантах.

В первые две недели численность бактерий не изменялась. В дальнейшем наблюдается тенденция к снижению титра. Это может быть связано с понижением температуры в ячейках в ходе регулировки температурных показателей. Следует отметить, что подобное поведение бактерий не наблюдалось в ячейках без дополнительного подогрева.

Резкие скачки численности бактерий в основном обусловлены повторными внесениями препаратов.

После 4-х недель количество гетеротрофных бактерий вновь начинает расти. Предположительно, за это время микробная популяция смогла адаптироваться к новым условиям существования и начала восстанавливать исходную численность.

Наилучший результат показал препарат «Микрозим «ПЕТРО ТРИТ» в варианте «2-й тип почвы + нефть». Здесь титр держался на высоком уровне в течение 2-х недель - $1,1 \times 10^9$ кл/г.

Резкий скачок численности отмечается через 2-е недели, причем титр во всех вариантах вырос на несколько порядков.

Максимальный титр показал препарат «Родер» в вариантах «2-й тип почвы + мазут» и «2-й тип почвы + нефть» - $1,1 \times 10^{10}$ кл/г, а также препарат «Микрозим «ПЕТРО ТРИТ» в варианте «2-й тип почвы + дизельное топливо» – также $1,1 \times 10^{10}$ кл/г.

Далее температурный датчик инженерной части был установлен на поддержание температурного режима в диапазоне 5-15°C.

Вследствие снижения температурного режима наблюдалось понижение титра препаратов. Наиболее плавно понижался титр препарата «Деворойл» в варианте «2-й тип почвы + дизельное топливо».

Через 4-е недели, как и в случае с гетеротрофами, отмечается повышение численности углеводородокисляющих бактерий (вероятно, ввиду адаптации микроорганизмов к установившимся условиям).

К концу наблюдений наибольшая численность углеводородокисляющих бактерий отмечается в ячейках с препаратом «Микрозим «ПЕТРО ТРИТ» во всех вариантах (7×10^8 кл/г).

Дополнительно данные по динамике численности гетеротрофных и углеводородокисляющих микроорганизмов инженерной части полигона представлены в рамках Отчета по Этапу 4 Контракта № CS-NPA-Arctic-05/2008г.

6.4. Анализ изменения численности микроорганизмов в зависимости от температуры атмосферного воздуха и температуры почвы

На рис. 13 а,б,в,г,д в виде диаграммы представлены данные среднесуточной температуры атмосферного воздуха и показатели динамики роста нефтеокисляющей микрофлоры почвы основной части полигона.

Данные метеонаблюдений за период проведения исследовательских работ представлены в Приложении 4 Отчета по Этапу 4 Контракта № CS-NPA-Arctic-05/2008г.

Анализ графиков показывает:

- август – сентябрь:

значения температуры воздуха положительные (минимальное значение $+1,8^{\circ}\text{C}$, максимальное значение $+13,8^{\circ}\text{C}$).

Отмечается стойкая тенденция роста нефтеокисляющей микрофлоры почвы во всех вариантах опытов.

- октябрь:

наблюдаются значительные колебания температур. Отмечаются понижения температуры с переходом ниже 0°C . Минимальное значение $-0,7^{\circ}\text{C}$, максимальное $+5,7^{\circ}\text{C}$.

До середины месяца продолжается активный рост нефтеокисляющей микрофлоры. Далее наблюдается понижение температуры, что сопровождается спадом численности бактерий.

Исключение составляют контрольные варианты и варианты с применением агротехнических приемов рекультивирования. Здесь максимум численности нефтеокисляющих микроорганизмов также достигнут в середине октября, однако, в отличие от вариантов с применением биопрепаратов, сохраняется устойчивая численность бактерий независимо от снижения температуры. Вероятно, это связано с устойчивостью аборигенной нефтеокисляющей микрофлоры к изменениям температуры воздуха и почвы.

- ноябрь:

температура преимущественно ниже нуля градусов (максимальное значение $+2,1^{\circ}\text{C}$, минимальное $-11,2^{\circ}\text{C}$).

Сохраняются тенденции второй половины октября: снижение численности привнесённой нефтеокисляющей микрофлоры и устойчивая численность аборигенной.

На рис. 14 а,б,в представлены диаграммы температуры почвы и показатели динамики роста нефтеокисляющей микрофлоры почвы в инженерной части полигона.

Значения температуры почвы инженерной части полигона за период исследований приведены в таблице 11 Отчета по Этапу 4 Контракта № CS-NPA-Arctic-05/2008г.

Анализируя диаграммы можно отметить следующие тенденции поведения нефтеокисляющей микрофлоры почвы:

- в результате приближения температурных условий к оптимуму рабочей температуры бактерий (18-25°C) наблюдается активный рост численности микроорганизмов;
- при снижении температуры до 5°-15°C происходит спад численности нефтеокисляющей микрофлоры;
- при поддержании постоянного уровня температуры (5°-15°C) вновь происходит нарастание численности бактерий. Вероятно, это связано с адаптацией микрофлоры почвы к температурному режиму.

Рисунок 13а Диаграмма температуры воздуха и численности нефтеокисляющих микроорганизмов в контрольных вариантах опыта

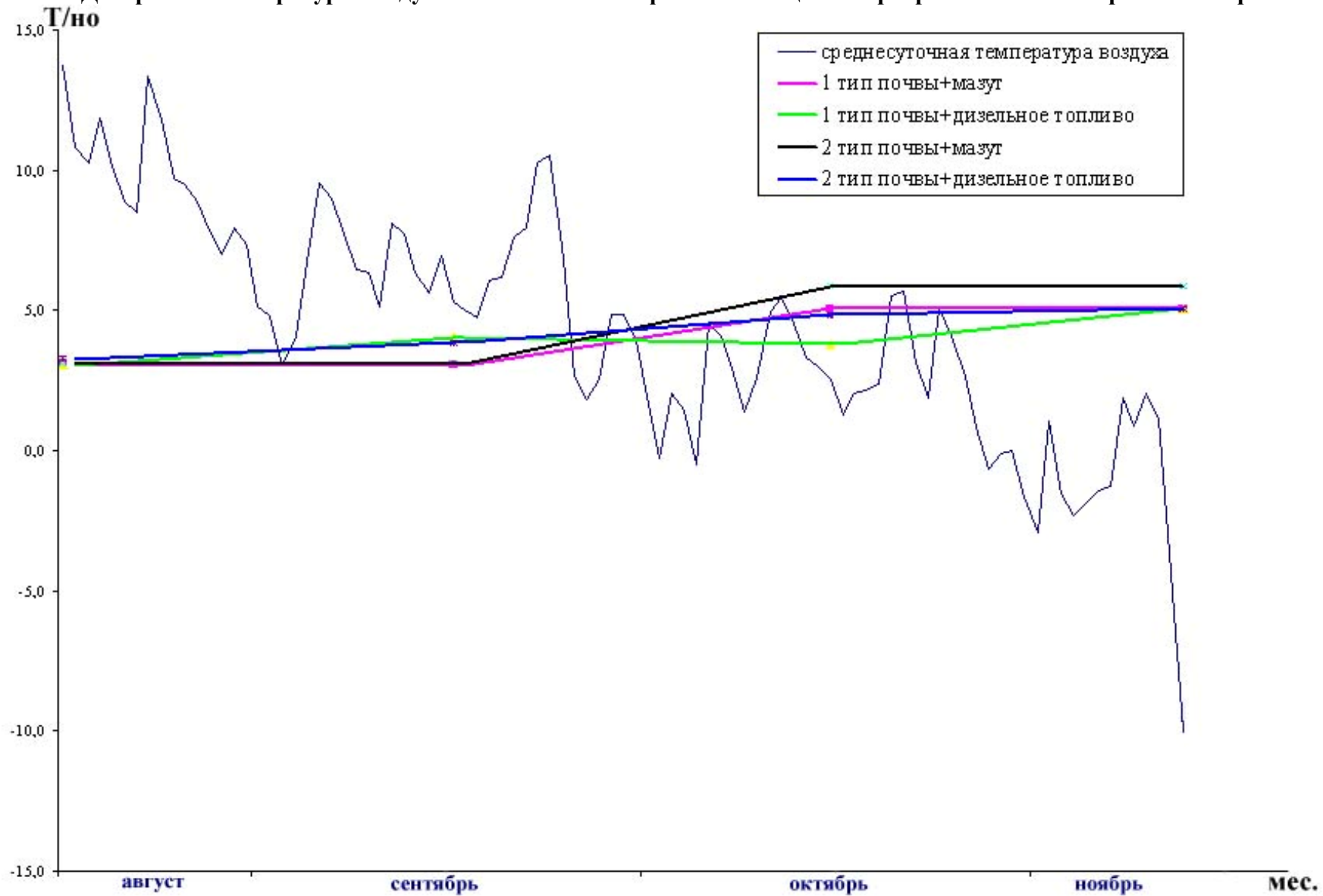


Рисунок 136 Диаграмма температуры воздуха и численности нефтеокисляющих микроорганизмов в вариантах опыта с применением агротехнических приемов

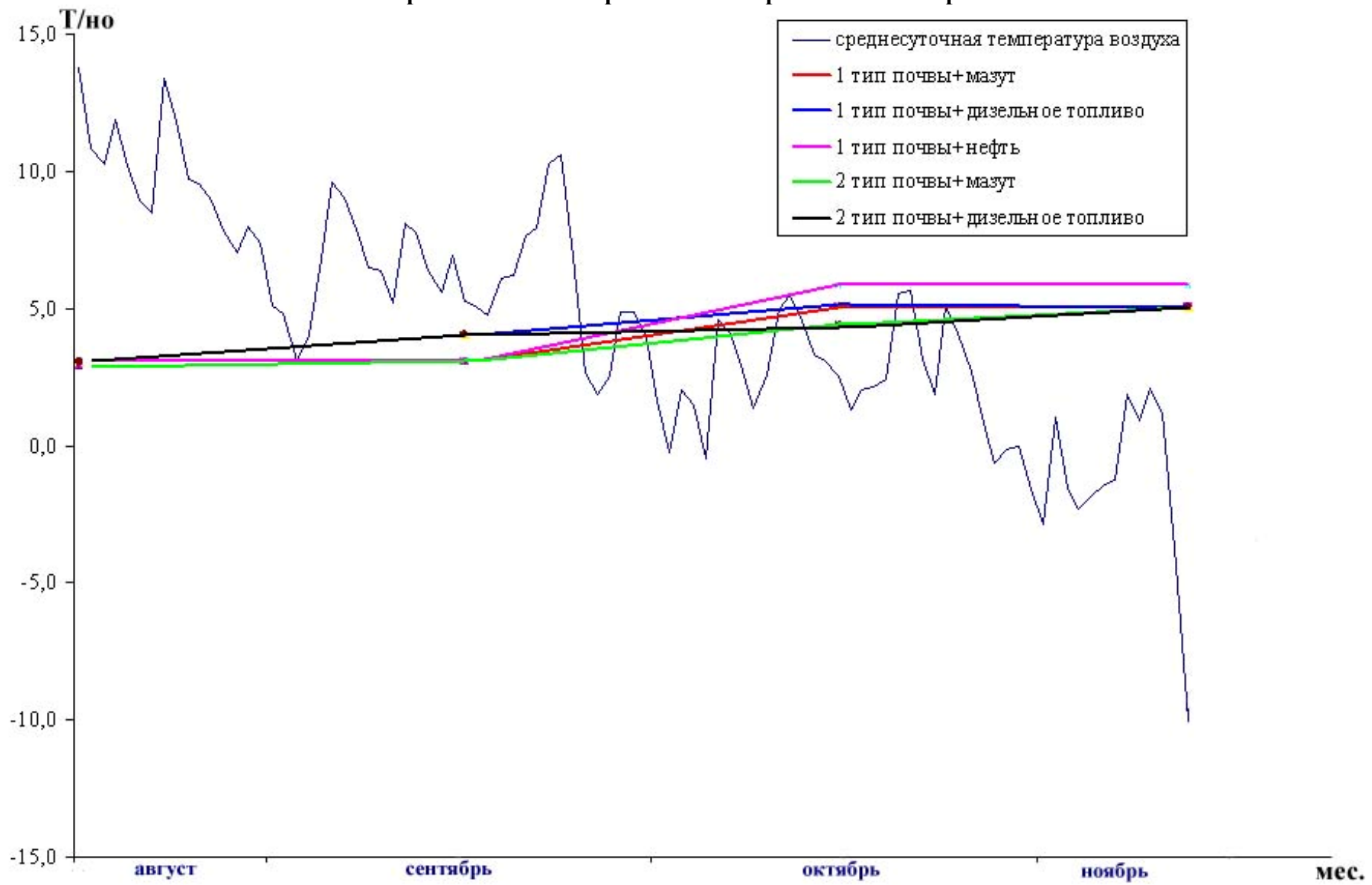


Рисунок 13в Диаграмма температуры воздуха и численности нефтеокисляющих микроорганизмов в вариантах опыта с применением препарата «Микрозим «ПЕТРО ТРИТ»

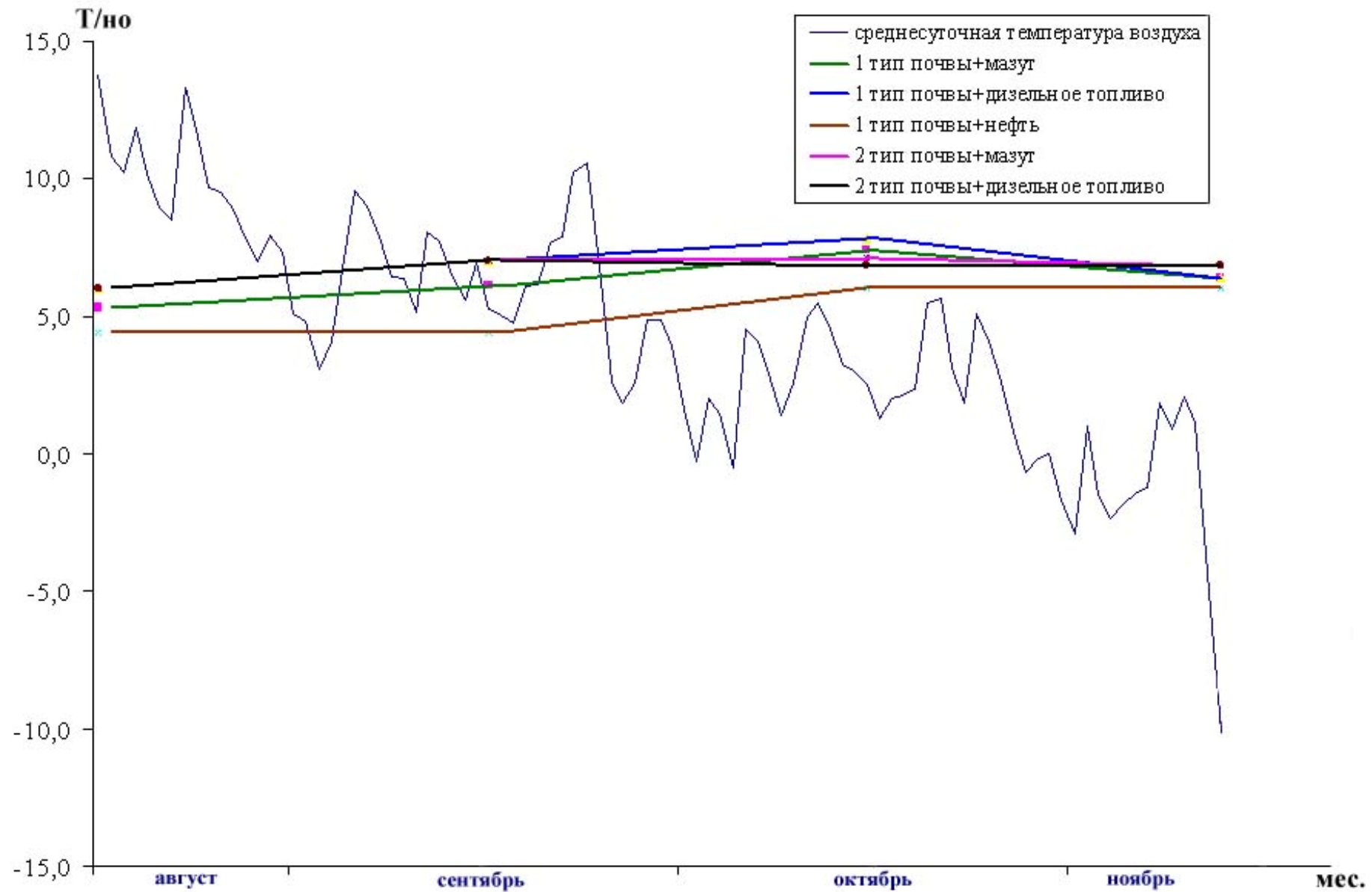


Рисунок 13г Диаграмма температуры воздуха и численности нефтеокисляющих микроорганизмов в вариантах опыта с применением препарата «Деворойл»

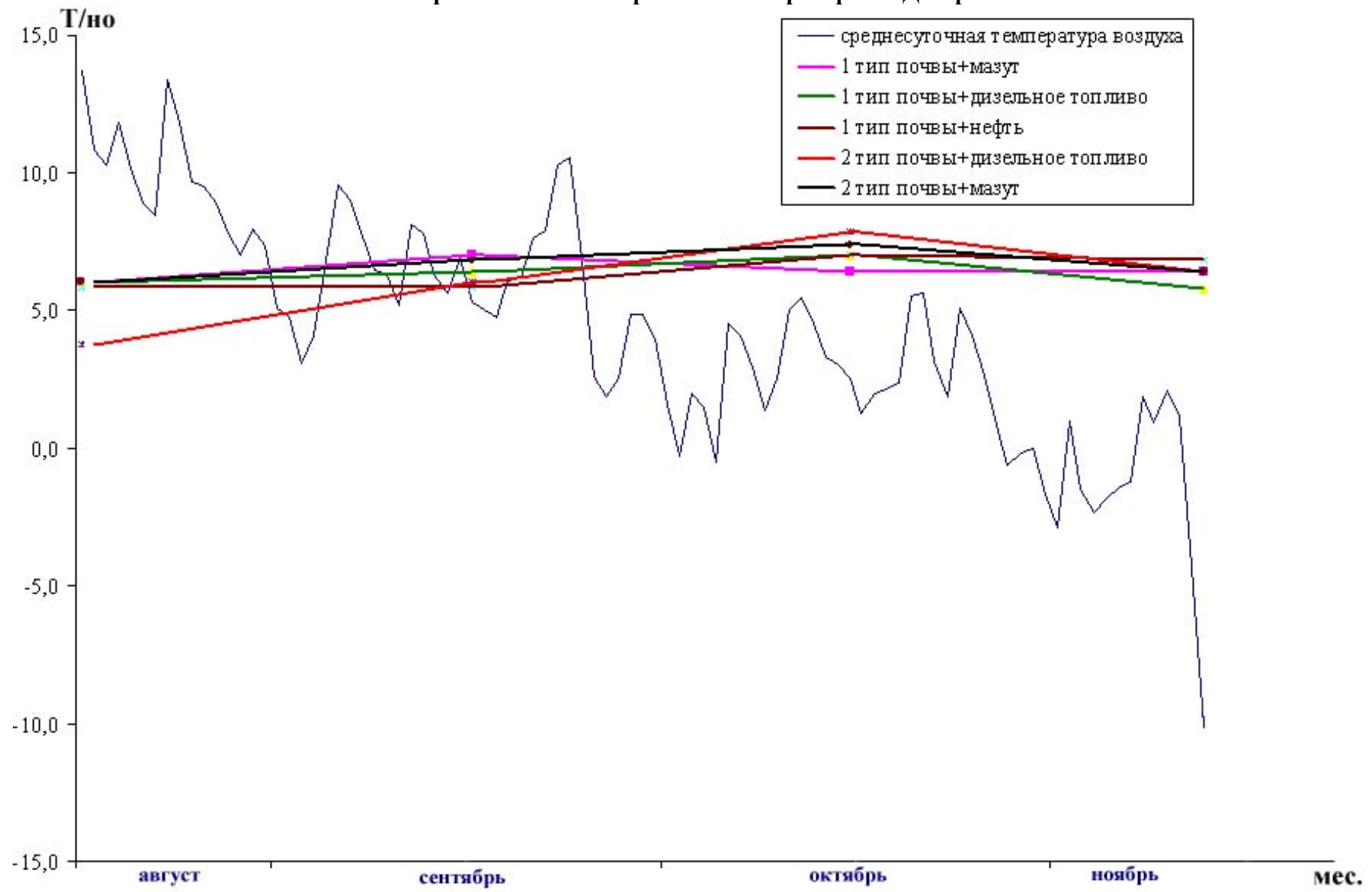


Рисунок 13д Диаграмма температуры воздуха и численности нефтеокисляющих микроорганизмов в вариантах опыта с применением препарата «Родер»

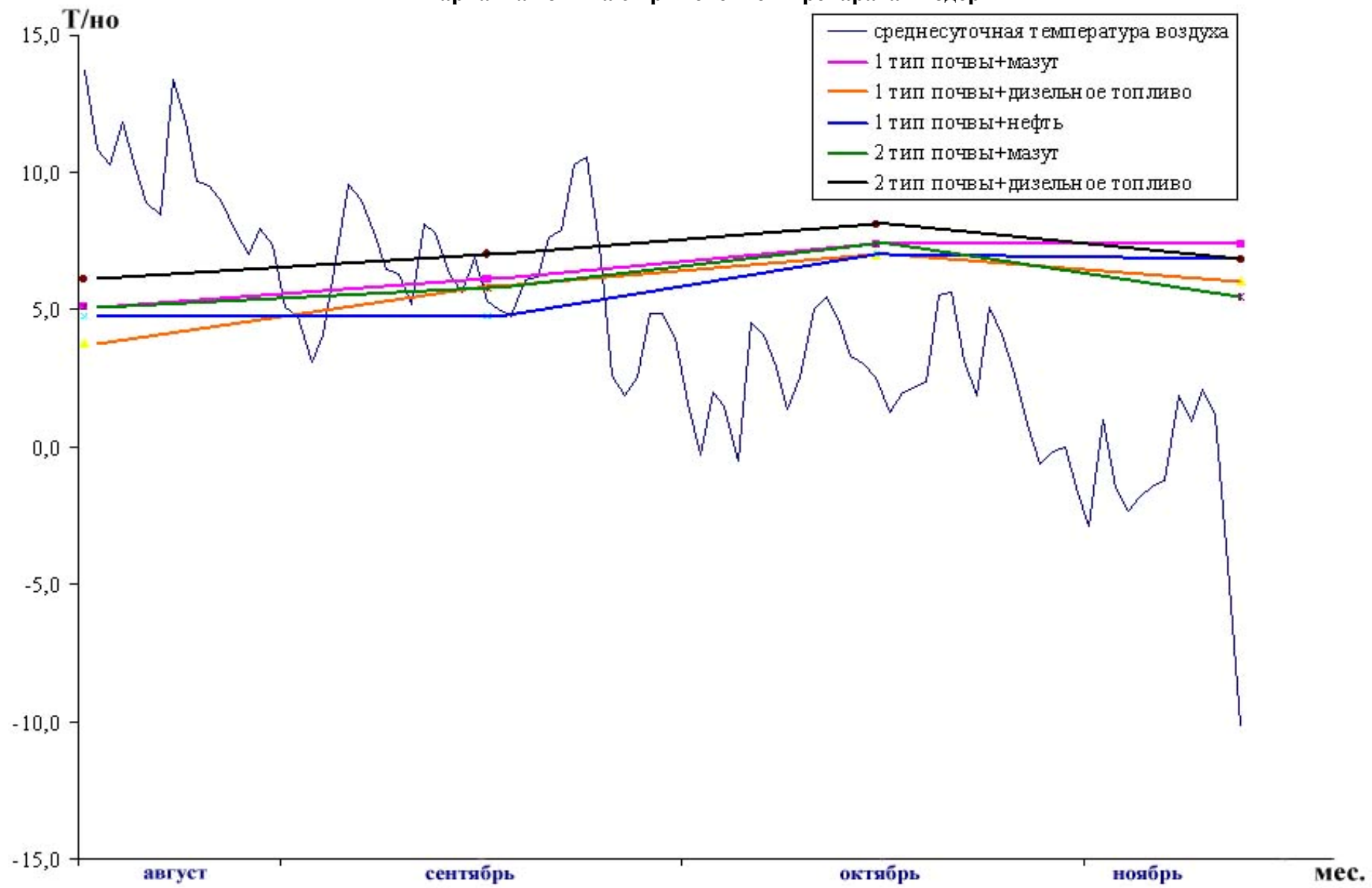


Рисунок 14а Диаграмма температуры почвы и численности нефтеокисляющих микроорганизмов инженерной части полигона с препаратом «Микрозим «ПЕТРО ТРИТ»

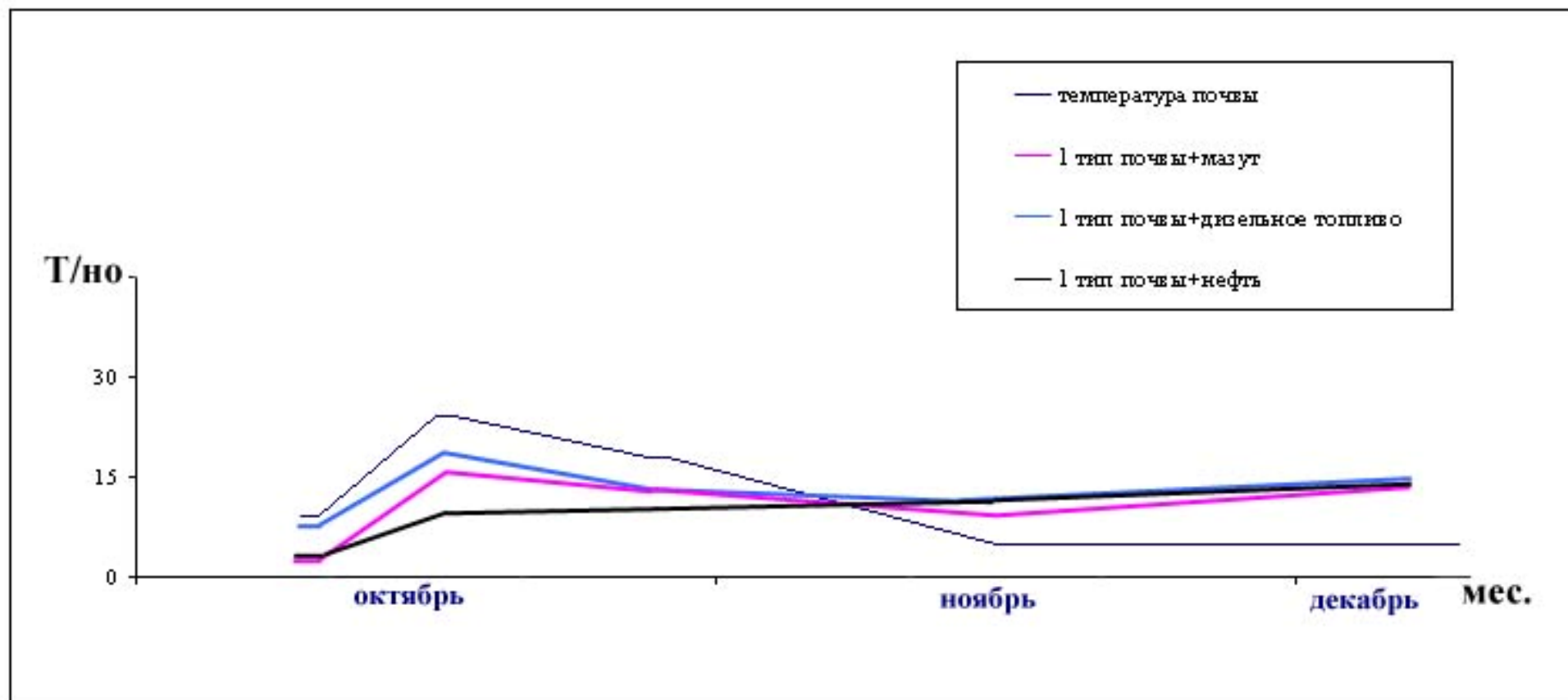


Рисунок 146 Диаграмма температуры почвы и численности нефтеокисляющих микроорганизмов инженерной части полигона с препаратом «Деворойл»

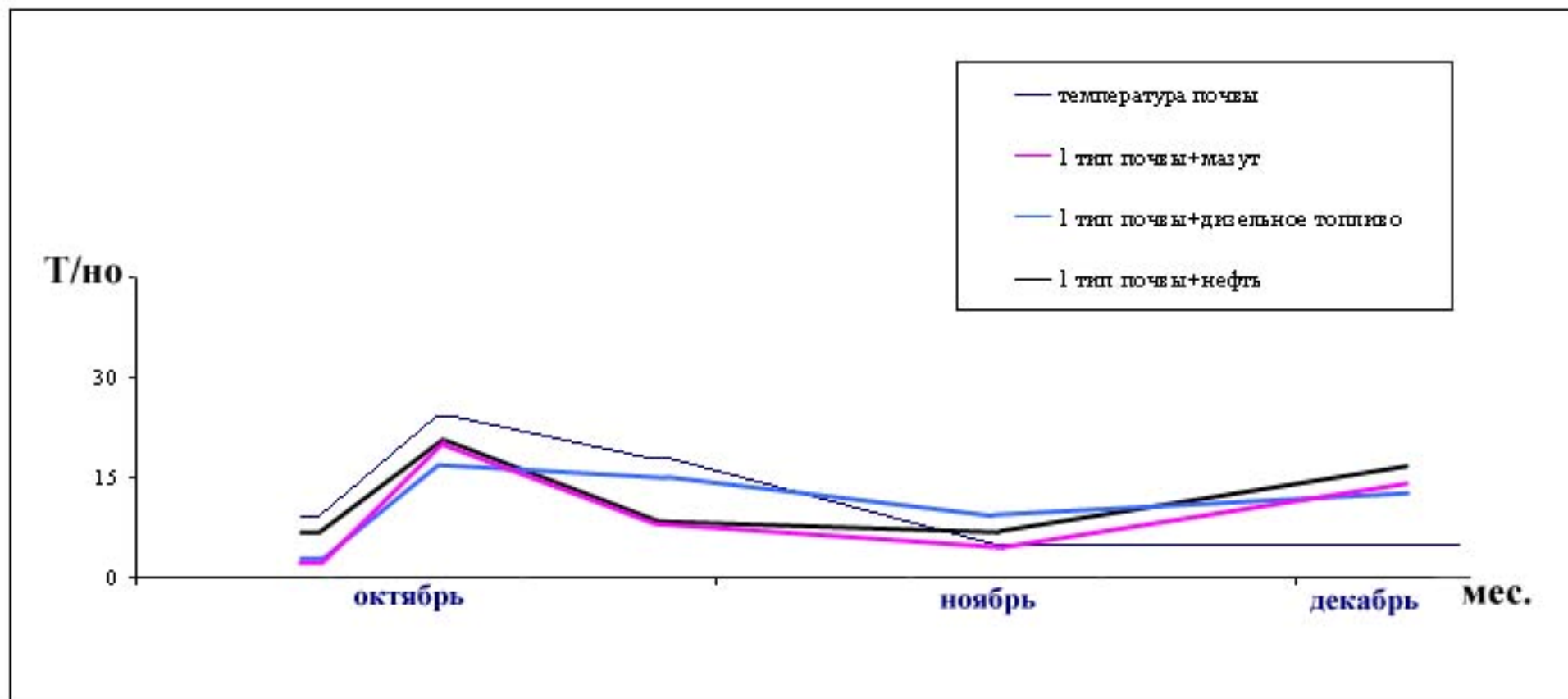
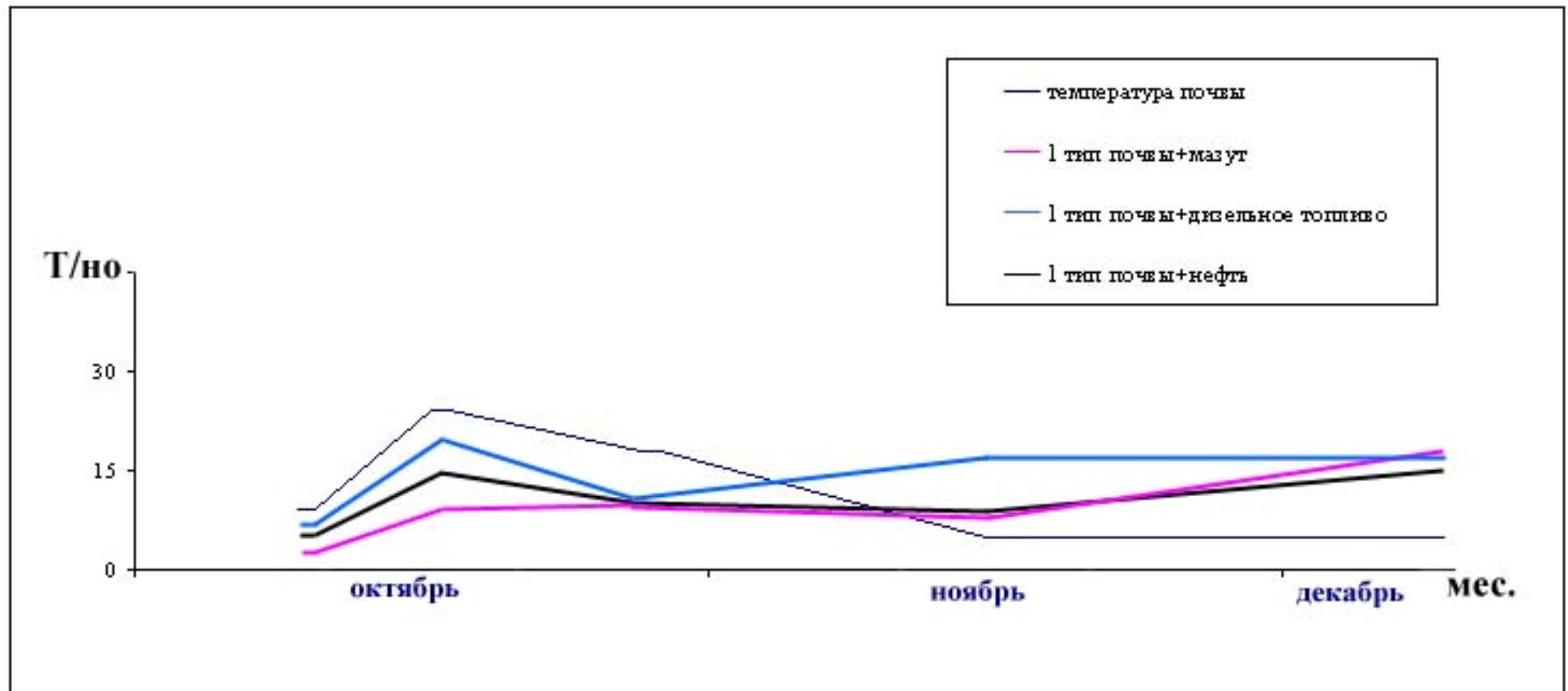


Рисунок 14в Диаграмма температуры почвы и численности нефтеокисляющих микроорганизмов инженерной части полигона с препаратом «Родер»



На основе полученных данных и учитывая короткий период исследований, можно сделать следующие предварительные выводы о зависимости развития численности бактерий от температурного режима окружающей среды:

- наилучший результат роста численности бактерий отмечен в период положительных температур окружающей среды, при этом максимум отмечается при достижении оптимальной температуры работы бактерий (18-25°C);
- при температуре не ниже +5°C отмечены тенденции постепенного роста нефтеокисляющей микрофлоры почвы;
- в результате скачков температуры (в сторону понижения) отмечается спад численности бактерий;
- в результате промерзания почвенного субстрата происходит резкий спад численности нефтеокисляющих микроорганизмов;
- отмечена устойчивость естественной (аборигенной) нефтеокисляющей микрофлоры почвы к изменениям температуры;
- выводы о численности и способности к дальнейшему развитию привнесенной нефтеокисляющей микрофлоры почвы после зимнего периода возможны только при достижении следующего теплого сезона.

По результатам микробиологических анализов почвы можно сделать следующие выводы:

Основная часть полигона

- 1) Концентрация углеводородокисляющих бактерий в 1-м типе почвы колеблется от $1,1 \times 10^3$ кл/г в начале опыта до $2,5 \times 10^7$ кл/г в конце опыта, во 2-м типе почвы - от 7×10^2 кл/г в начале опыта до 7×10^6 кл/г в конце опыта.
- 2) Самая высокая концентрация углеводородокисляющих бактерий в начале опыта отмечена при внесении препаратов «Микрозим «ПЕТРО ТРИТ» и «Деворойл» – $1,1 \times 10^6$ кл/г.
- 3) Наиболее интенсивно развиваются углеводородокисляющие микроорганизмы при внесении препарата «Родер».
- 4) Углеводородокисляющие и гетеротрофные микроорганизмы интенсивно развиваются при температуре субстрата от 8-14°C в течение 2-х месяцев, их количество резко падает после снижения температуры субстрата.

- 5) Максимальная численность бактерий наблюдалась в варианте «2-й тип почвы + дизельное топливо» с биопрепаратом «Родер» - $1,3 \times 10^8$ кл/г.
- 6) Внесение дополнительной минеральной подкормки не привело к активному развитию собственной углеводородокисляющей микрофлоры почвы.
- 7) Не обнаружено четкой зависимости между ростом (либо снижением) численности углеводородокисляющих микроорганизмов, типом почвы и видом нефтяного загрязнителя.
- 8) Численность аборигенных углеводородокисляющих бактерий после промерзания субстратов возросла во всех вариантах, что может свидетельствовать о повышенной устойчивости естественной микрофлоры почв севера к пониженным температурам.

Инженерная часть полигона

- 1) Наиболее высокая концентрация углеводородокисляющих бактерий в начале опыта отмечена при внесении препарата «Деворойл» - 6×10^7 кл/г.
- 2) Более интенсивно развиваются углеводородокисляющие микроорганизмы при внесении препаратов «Деворойл» и «Микрозим «ПЕТРО ТРИТ».
- 3) Максимальную численность показали препараты «Родер» и «Микрозим «ПЕТРО ТРИТ» в вариантах «2-й тип почвы + мазут» и «2-й тип почвы + дизельное топливо» ($1,1 \times 10^{10}$ кл/г), а также препарат «Деворойл» в варианте «2-й тип почвы + нефть» ($1,1 \times 10^{10}$ кл/г).
- 4) Повторные внесения препаратов привели к одномоментному повышению численности углеводородокисляющих микроорганизмов.
- 5) Поддержание оптимальных температур для жизнедеятельности углеводородокисляющих микроорганизмов (18-25°C) привело к резкому повышению их численности.
- 6) При стабилизации температуры почвы не ниже +5°C отмечается устойчивость и постепенный рост численности нефтеокисляющей микрофлоры почвы.

7. Разработка проекта Руководства по проведению биологической очистки грунтов, загрязненных нефтепродуктами, в арктических условиях

Разработка проекта руководства включила проведение работ по обобщению опыта, полученного в Мурманской области в 2007-2008гг., опыта проведения работ по рекультивации на территории Республики Коми (УДК 502.656:504:054:622.323(470.13)), а также в результате проведенного в рамках Контракта №CS-NPA-Arctic-05/2008г. эксперимента. При разработке проекта Руководства также были учтены пожелания, обозначенные участниками совещания, прошедшего в Комитете природопользования и экологии Мурманской области 16 июня 2009 года. Совещание было проведено по вопросу презентации результатов работ по Контракту №CS-NPA-Arctic-05/2008г.

В проекте Руководства учтены требования производителей биопрепаратов к технологиям активации и внесения биопрепаратов. Также учтен опыт и требования ОАО «Лукойл» совместно с ФГУП «Научно-исследовательский проектно-изыскательский институт «Комимелиоводхозпроект» к планированию и проведению работ по рекультивации загрязненных нефтью и нефтепродуктами земель в условиях Севера.

В Руководстве приведены:

- 1) Технологические подходы к биологической рекультивации почв;
- 2) Возможные способы рекультивации (в естественных условиях либо с применением инженерных технологий, позволяющих поддерживать постоянную положительную температуру почвы и обеспечивать ее аэрацию), а также рекомендации по выбору способа рекультивации;
- 3) Планирование, а также конструктивные требования к площадке под полигон;
- 4) Оборудование полигона техническими средствами;
- 5) технология применения биопрепаратов, включающая описание условий среды, необходимых для успешной работы препаратов, последовательность работ при внесении биопрепаратов, а также анализы, проводимые в ходе работ по рекультивации.

На основе данных, полученных по результатам исследований, к применению в условиях Севера рекомендуются биопрепараты Микрозим(tm) «ПЕТРО ТРИТ», «Деворойл», «Родер»TM. Но технологические подходы к рекультивации загрязненных нефтью и нефтепродуктами почв и грунтов, приведенные в проекте Руководства, не исключают возможности применения других препаратов-деструкторов углеводов

нефти. Для включения других деструкторов необходимо проведение опытных работ в схожих с арктическими почвенно-климатических условиях.

Характеристики, подготовка к применению и технология внесения вышеуказанных биопрепаратов, с учетом опыта, полученного в ходе исследований, приведены в Приложении к Руководству.

Приложение также содержит условия применения биопрепаратов, нормы их расхода, рекомендации по внесению минеральных удобрений, требования безопасности при работе с биопрепаратами, правила их транспортировки и хранения.

Опыт, полученный в рамках Контракта №CS-NPA-Arctic-05/2008г., а также представленный в проекте Руководства, одобрен Комитетом природопользования и экологии Мурманской области.

8. Выводы

На основании полученных результатов можно сделать следующие выводы:

- 1) состав почвы, характерный для северных широт, является не токсичным и не патогенным;
- 2) почвы, наиболее характерные для северных широт, обладают низкой биогенностью, вследствие чего малопригодны к самостоятельной ремедиации;
- 3) отмечается устойчивость естественной микрофлоры почв к снижению температуры;
- 4) активация аборигенной микрофлоры может дать положительный эффект только в случаях с низкими концентрациями загрязнения (до 1-2%);
- 5) при обработке почв основной части полигона, загрязненных мазутом, наибольшую степень очистки почвы показал биопрепарат «Родер» (4,5-5,3%), дизельным топливом – «Деворойл» (4,8-5,9%), нефтью – «Микрозим (tm) «ПЕТРО ТРИТ» и «Родер» (6,7%).
- 6) в инженерной части биополигона, за счет поддержания постоянной положительной температуры почвы, биопрепараты показали более высокую степень разложения нефтепродуктов по сравнению с основной частью. Наилучший результат по очищению почвы от мазута и дизельного топлива показал препарат «Микрозим (tm) «ПЕТРО ТРИТ», от нефти – «Деворойл».
- 7) в Арктических условиях использование микробных препаратов более эффективно по сравнению с агротехническими методами рекультивирования;

- 8) биопрепараты оказывают положительное воздействие на усиление биологической активности почв и, как следствие, ускоряют процесс разложения нефтяных загрязнений;
- 9) рекомендуется предварительная активизация биопрепаратов (подготовка рабочих суспензий), что сокращает период активации бактерий в почве;
- 10) торф, содержащийся в почве, выполняет функции: естественного сорбента, снижающего проникновение нефти вглубь почвы; влагоудерживающей субстанции, способствующей поддержанию необходимой для бактерий влажности почвы; естественного органического удобрения, способствующего интенсификации процессов ремедиации в почве;
- 11) необходим строгий расчет и контроль норм внесения удобрений и препаратов, избыточные дозы минеральных удобрений вызывают закисление почв, что снижает потенциал восстановления загрязненных почвенных субстратов;
- 12) важен фактор поддержания необходимой (40-70%) влажности почвы, переувлажнение почвы может отрицательно сказаться на этапе фиторемедиации почвы;
- 13) аэрация почвы (рыхление, фрезерование и т.д.) способствует равномерному распределению углеводородокисляющей микрофлоры в толще почвы, аэрации и, как результат, интенсификации биоразложения нефти;
- 14) при невозможности проведения аэрации путем рыхления или фрезерования (близкое залегание мерзлоты, недоступность района очистки для техники), помимо биопрепаратов, рекомендуется внесение естественных сорбентов (торф, опилки, мох и т.п.) в почву;
- 15) наибольшая интенсивность действия биопрепаратов отмечена при положительных температурах;
- 16) данные микробиологических анализов позволяют сделать вывод о том, что бактерии продолжают работать и при снижении температуры, вплоть до промерзания почвы. Однако, их активность снижается по мере понижения температуры почвы;
- 17) рекомендуется применение этапа фиторемедиации на завершающей стадии биорекультивации (высев растений, устойчивых к нефтяным загрязнениям); для проведения полного цикла биорекультивации почв (при уровне загрязнения почвы ~5%) необходимо порядка 4-х лет.

9. Заключение

Результаты проведенных исследований позволяют говорить о перспективности применения метода биологической рекультивации нефтезагрязненных почв в Арктических условиях. Это подтверждают результаты совещания по результатам выполненных работ по Контракту №CS-NPA-Arctic-05/2008г., прошедшего 16 июня 2009 года в Комитете природопользования и экологии Мурманской области.

Одним из основных достижений данной работы служит применение особых технологических подходов и инженерно-технических решений к процессу биорекультивации, что позволяет продолжать процесс биологического разложения нефтепродуктов в течение всего календарного года.

Эксперимент подтвердил закономерности работы биологических препаратов применительно к арктическим условиям.

Ограниченный период исследований не позволяет сделать окончательные либо однозначные выводы о преимуществе того или иного биопрепарата применительно к виду загрязнению в Арктических условиях. Также представляется сложным определение срока окончания полного цикла процесса биоремедиации. Предположительно, на основании полученных результатов, процесс восстановления почв на полигоне может занять от двух до четырех с половиной лет, в зависимости от выбора технологического подхода, при условии соблюдения всех технических условий по использованию биопрепаратов и проведения работ по рекультивации почв в арктических условиях (рисунок 15).

Окончательным этапом биологической рекультивации должен быть этап фиторемедиации. Этап включает: подбор трав-рекультивантов, расчет норм высева, посев и контроль всхожести семян и роста трав. В зависимости от уровня загрязнения и почвенно-климатических условий, необходимо проведение повторного подсева трав.

Существующие методы фиторемедиации позволяют произвести доочистку почвы до допустимого остаточного значений (ОДК) нефти и нефтепродуктов.

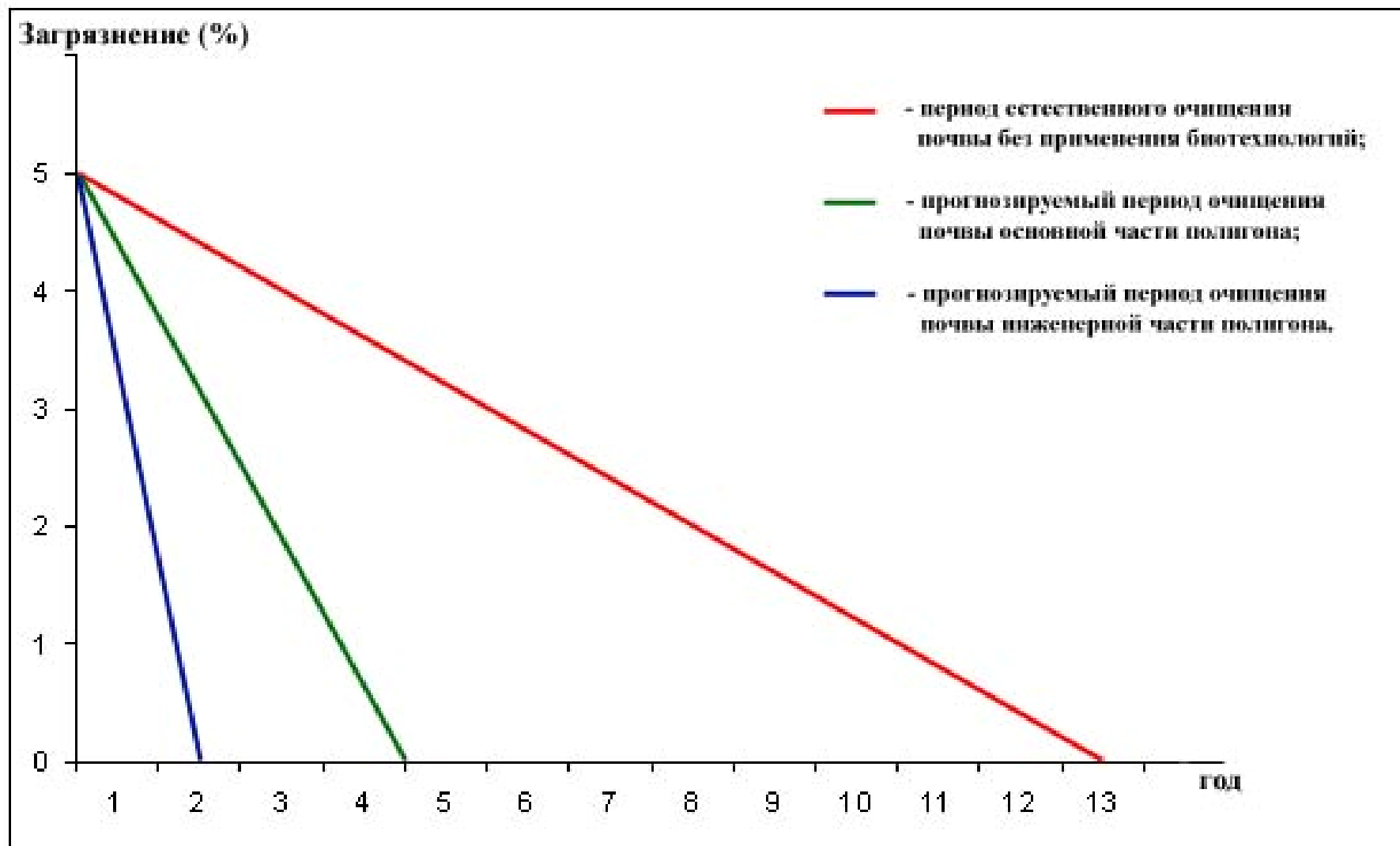
Одним из вопросов, возникших при рассмотрении опыта проведения работ по рекультивации на территории других субъектов РФ, является установление нормативов ОДК для почв Мурманской области. Отсутствие нормативов обязывает проводить работы по рекультивации до полного очищения почвы с остаточным содержанием нефти и нефтепродуктов равным нулю, что в условиях крайнего севера становится проблемой.

Разработанный проект «Руководства по проведению биологической очистки почвы, загрязненной нефтепродуктами, в Арктических условиях» является первым на территории Мурманской области документом, регламентирующим проведения биологической рекультивации, в том числе с учетом инженерно-технических новаций.

Проект Руководства рекомендован лицам, организующим мероприятия по ликвидации последствий разливов нефти на почве и биологической рекультивации почвы.

В развитие проекта Руководства с учетом опыта проведения подобных работ на территории Республики Коми, а также других Регионов необходимо учесть как мероприятия по ликвидации аварийного разлива нефти или нефтепродукта, так и его последствий, до момента ввода в хозяйственный цикл рекультивированных земель.

Рисунок 15. Прогноз динамики биологического разложения нефти и нефтепродуктов
в рамках организованного экспериментального полигона



Всеми участниками совещания по результатам выполненных работ по Контракту №CS-NPA-Arctic-05/2008г., прошедшего 16 июня 2009 года в Комитете природопользования и экологии Мурманской области, и представителями Комитета высказаны пожелания по продолжению работ и переходе их на следующий опытно-промышленный, или демонстрационный уровень исследования.

Проведение дальнейших работ по рекультивации нефтезагрязненных грунтов в рамках полигона сопряжено с финансированием, однако компания «НавЭкосервис», опираясь на собственные средства, продолжила работы по рекультивации. 2 июня 2009 года была произведена загрузка биопрепаратов «Родер», «Деворойл» и «Микрозим (tm) «ПЕТРО ТРИТ» в основную и инженерные части полигона.

В настоящее время компания «НавЭкосервис» совместно со специалистами группы компаний «ЭкоЦентр» планируют дальнейшие работы по рекультивации загрязненных нефтью и нефтепродуктами почв и грунтов, в том числе в рамках экспериментального полигона.

ЛИТЕРАТУРА

1. «Экологический атлас Мурманской области» // ИППЭС КНЦ РАН, Географический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, Государственный комитет по охране окружающей среды Мурманской области. Под ред. И.А. Вишнякова и др. / Москва – Апатиты, 1999.
2. «Справочник агронома нечерноземной зоны» // Под ред. Г.В. Гуляева / Москва ВО «Агропромиздат», 1990.
3. Б.А. Доспехов «Методика полевого опыта» // Москва, «Агропромиздат», 1985.
4. «Природоохранные работы на предприятиях нефтегазового комплекса», Часть I // Российская академия наук, Уральское отделение Коми научный центр Институт биологии // Сыктывкар, 2006.
5. Герхардт Ф. Методы общей бактериологии. - М.: Мир, 1993. – 535 с.
6. ГОСТ 17.4.4.02-84. Охрана природы. Почвы. Методы отбора проб и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа. Введ. 1984-01-01. – М.: Госстандарт, 1984, 12 с.
7. ГОСТ 17.4.3.01-82. Охрана природы. Почвы. Общие требования к отбору проб. Введ. 1983-01-01. – М.: Госстандарт, 198, 8 с.
8. Евдокимова Г.А., Мозгова Н.П. Микроорганизмы тундровых и лесных подзолов Кольского Севера / Г.А. Евдокимова, Н.П. Мозгова. - Апатиты.: Изд-во КНЦ РАН. 2001.
9. Исмаилов Н.М. Восстановление нефтезагрязненных почвенных экосистем / Н.М.Исмаилов, Ю.И. Пиковский. – М.: Наука, 1988. -197 с.
10. Нетрусов А.И. Микробиология / А.И. Нетрусов, И.Б. Котова. – М.: Издательский центр "Академия", 2006. – 352 с.
11. Практикум по микробиологии / А.И. Нетрусов, М.А.Егорова, Л.М.Захарчук и др.; Под ред. А.И. Нетрусова. – М.: Издательский центр "Академия", 2005. – 608 с.
12. Ягафарова Г.Г. Экологическая биотехнология в нефтегазодобывающей и нефтеперерабатывающей промышленности / Г.Г. Ягафарова.- Уфа: УГНТУ, 1994. - 258