

На правах рукописи

МОСУНОВА ЮЛИЯ ВЛАДИМИРОВНА

**БИОРЕМЕДИАЦИЯ ПОЧВ,
ЗАГРЯЗНЕННЫХ НЕФТЬЮ И НЕФТЕПРОДУКТАМИ,
В УСЛОВИЯХ ЗАПАДНОГО ПРЕДКАВКАЗЬЯ**

Специальность 06.01.03 – агропочвоведение, агрофизика

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата сельскохозяйственных наук

Краснодар – 2009

Работа выполнена в федеральном государственном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Кубанский государственный аграрный университет»

Научный руководитель: доктор сельскохозяйственных наук, профессор
Терпелец Виктор Иванович

Официальные оппоненты: Заслуженный деятель науки Кубани,
доктор сельскохозяйственных наук, профессор
Козин Владимир Константинович

кандидат биологических наук, доцент
Колесникова Ирина Петровна

Ведущая организация: **ГНУ Краснодарский научно-исследовательский институт масличных культур им. В.С. Пустовойта**

Защита диссертации состоится 23 декабря 2009 г. в 14.00 час. на заседании диссертационного совета Д 220.038.04 при ФГОУ ВПО «Кубанский государственный аграрный университет» по адресу:
350044, г. Краснодар, ул. Калинина, 13.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГОУ ВПО «Кубанский государственный аграрный университет», с авторефератом – на сайте <http://www.kubagro.ru>

Автореферат разослан и размещен на сайте «_____» _____ 2009 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
доктор сельскохозяйственных наук,
профессор

Н.В. Матузок

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В последние годы в связи со значительной интенсификацией добычи нефти и производства нефтепродуктов значительные масштабы приобрел процесс отторжения земель из сельскохозяйственного использования. Нефть и нефтепродукты являются приоритетными загрязнителями всех компонентов биосферы – почвенного покрова, растительности, поверхностных вод и атмосферного воздуха. Экологические последствия загрязнения почв нефтью и нефтепродуктами зависят от параметров загрязнения, свойств почвы и характеристик внешней среды (Ю.И. Пиковский, 1993; С.Я. Трофимов и др., 2000; С.И. Колесников и др., 2007). Загрязненная почва в результате резкого снижения биологической продуктивности и физико-химических свойств не способна полноценно выполнять свои экологические функции.

В настоящее время всё большее значение приобретают методы биоремедиации нефтезагрязнённых земель. Для биоремедиации используются различные бактериальные препараты, способные разрушать и потреблять загрязнения. Одним из наиболее перспективных направлений совершенствования процессов биоремедиации почв, загрязненных нефтью и нефтепродуктами, является использование потенциала не только микробных, но и других природных сообществ разных трофических уровней и, в первую очередь, травянистых растений, которые могли бы не только удалять загрязнители, но и способствовать восстановлению потенциального плодородия почв.

Следовательно, восстановление плодородия почв, загрязненных нефтью и нефтепродуктами, и вовлечение их в сельскохозяйственное производство – важная и актуальная проблема для уникального природного региона.

Исследования по теме диссертационной работы проводились в рамках плана научно-исследовательской работы кафедры почвоведения по восстановлению плодородия нефтезагрязненных почв в регионе и выполнены в ФГОУ ВПО «Кубанский государственный аграрный университет» и в ООО «Биопотенциал» г. Краснодара в 2006 – 2009 гг.

Цель и задачи исследований. Цель исследований – оценка экологического состояния почв, загрязнённых нефтью и нефтепродуктами, и разработка мероприятий по их биоремедиации при использовании биопрепарата «Биорем» в сочетании с сельскохозяйственными травами и восстановлению продуктивности агрофитоценоза в Западном Предкавказье.

Для достижения цели исследования были поставлены следующие задачи:

- Изучить условия почвообразования и состояние почвенно-растительных ресурсов района исследований.
- Дать экологическую оценку почв, загрязненных нефтью и нефтепродуктами;

— Исследовать влияние биопрепарата «Биорем» в сочетании с различными сельскохозяйственными травами и удобрениями на восстановление плодородия загрязненных почв и продуктивность агрофитоценоза.

— Разработать технологические рекомендации по биоремедиации почв, загрязненных нефтью и нефтепродуктами в регионе.

Научная новизна работы. Для условий Западного Предкавказья разработаны мероприятия по биоремедиации нефтезагрязненных почв при комплексном использовании биопрепарата «Биорем», фитомелиорантов и удобрений, способствующих восстановлению плодородия почв и продуктивности агрофитоценоза.

Практическая значимость работы. Разработаны технологические рекомендации по биоремедиации почв, загрязненных нефтью и нефтепродуктами в условиях Западного Предкавказья. Основные результаты работы будут использованы в производственной деятельности ООО «Биопотенциал» и других природоохранных организаций при проведении биоремедиации нефтезагрязненных почв.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Почвы, загрязненные нефтью и нефтепродуктами, обладают очень низкой биологической активностью и продуктивностью агрофитоценоза.

2. Способность к самоочищению от нефтяного загрязнения в исследуемых почвах невысокая, в том числе, при использовании сельскохозяйственных трав и удобрений.

3. Биоремедиация загрязненных почв с использованием биопрепарат «Биорем» в сочетании с фитомелиорантами и удобрениями приводит к снижению в 5-50 раз нефтепродуктов в течение трех лет и повышению продуктивности агрофитоценоза.

Апробация работы. Материалы исследований были доложены на ежегодных научных конференциях Кубанского государственного аграрного университета, 2006-2009 гг.; I-ой Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых «Научное обеспечение агропромышленного комплекса», г. Краснодар, 2007г.; II-ой Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых «Научное обеспечение агропромышленного комплекса», г. Краснодар, 2008г.; Краснодарском краевом конкурсе научных работ молодых ученых, г. Краснодар, 2008 г.; Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 45-летию факультета агрохимии и почвоведения КубГАУ: «Агрохимия и почвоведение: История и современность», г. Краснодар, 2009г.

Публикации результатов исследований. По теме диссертации опубликовано пять научных работ общим объемом более 1,4 печатных листа, в том числе одна статья в журнале, рекомендованном ВАК.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, шести глав, выводов, предложений производству, списка литературы из 174 наименований, в т.ч. 29 иностранных авторов и изложена на 130 страницах

компьютерного текста. Работа включает 29 таблиц, три рисунка и восемь приложений, содержащих 17 таблиц.

Личный вклад автора. Диссертационная работа является результатом самостоятельных исследований автора. Соискателем, под руководством научного руководителя выполнена следующая работа: разработана программа и методика исследований; заложены три микрополевых и один вегетационный опыты; произведен отбор почвенных и растительных образцов в установленные сроки, выполнен большой запланированный объем аналитических работ в лабораториях кафедры почвоведения КубГАУ и ООО «Биопотенциал», обработан и проанализирован экспериментальный материал; разработаны и обоснованы теоретические положения диссертационной работы, выводы и предложения производству.

Автор выражает огромную благодарность и признательность профессору В.И.Терпельцу за осуществление общего руководства и неоценимую помощь и поддержку при написании диссертации, и Р.И.Милькиной – руководителю ООО «Биопотенциал» за предоставленную возможности проведения исследований в лаборатории и опытном участке данной организации.

1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВ НЕФТЬЮ И НЕФТЕПРОДУКТАМИ (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)

В обзоре литературы представлен обзор публикаций отечественных и зарубежных авторов об источниках загрязнения почв нефтью и нефтепродуктами, составе нефти и нефтепродуктах, приведены факторы, определяющие экологические последствия загрязнения почв и возможные пути их восстановления. Дана оценка роли растительности и почвенной микробиоты в ремедиации почв, загрязненных нефтью и нефтепродуктами.

2. ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования по оценке экологического состояния почв, загрязненных нефтью и нефтепродуктами, и разработке мероприятий по их биоремедиации (восстановлению плодородия) проводились в 2006-2009 гг. в лабораторных, вегетационных, полевых и производственных условиях Западного Предкавказья.

Объектами исследований являлись: в Кубанской пойменной дельте – лугово-черноземные выщелоченные почвы земельного участка ООО «Биопотенциал» г., расположенного в северной части Северского района, и на Азово-Кубанской низменности – черноземы обыкновенные Кавказского района Краснодарского края.

С целью изучения влияния загрязняющих свойств нефти и нефтепродуктов на почвы района исследований были заложены и проведены три микрополевых (мелкоделяночных) и один вегетационный опыты. Каждый из опытов проводился в течение трех лет, повторность вариантов

четырёхкратная. В качестве опытных культур были использованы различные многолетние и однолетние сельскохозяйственные травы – фитомелиоранты.

Лабораторные анализы образцов почв проводились в лабораториях ООО «Биопотенциал» и кафедры почвоведения Кубанского государственного аграрного университета.

На опытном участке ООО «Биопотенциал» в 2006 году заложены три микрополевых (мелкоделяночных) опыта с различными сельскохозяйственными травами:

Опыт 1 – с люцерной (сорт «Славянская»),

Опыт 2 – с травосмесью (люцерна, эспарцет посевной, овсяница луговая),

Опыт 3 – с суданской травой.

Все микрополевые и вегетационный опыты заложены по следующей схеме (табл. 1).

Таблица 1 – Схема микрополевых (мелкоделяночных) и вегетационного опытов по биоремедиации почв, загрязнённых нефтью и нефтепродуктами

№ варианта	Варианты опыта
1.	Незагрязнённая почва + N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀ (контроль).
2.	Загрязнённая почва + N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀
3.	Загрязнённая почва + «Биорем» + N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀
4.	Загрязнённая почва + «Биорем» + 10 т/га навоза + N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀

Загрязнение верхнего слоя (0-20 см) исследуемых почв проводили нефтью и различными нефтепродуктами до максимального пятого уровня загрязнения, с содержанием в них нефтепродуктов более 35 г на кг почвы.

В качестве основного биопрепарата при биоремедиации нефтезагрязнённых почв в сочетании с сельскохозяйственными травами и удобрениями, был использован микробиологический препарат «Биорем», технология применения которого разработана в ООО «Биопотенциал» города Краснодара.

В качестве минеральных удобрений использовалась азофоска, с содержанием д.в. NPK в дозе 16-17%, в качестве органических – навоз полуперепревший. Дозы удобрений: минеральных – N₉₀P₉₀K₉₀ д.в., органических – 10 т на 1 га. Общая площадь деланки составляет 3 м² (2,5 м x 1,2 м), учётная – 2 м² (2 м x 1 м). Каждый вариант был заложен в четырёхкратной повторности.

Всего заложено 48 деланок микрополевого (мелкоделяночного) опыта. Из каждой деланки в конце вегетации сельскохозяйственных трав отбирались образцы почвы с глубины 0 – 20 см и проводились следующие виды анализов:

1) содержание нефтепродуктов методом ИК – спектрометрии (согласно ПНДФ 16.1:2.2.22-98);

2) содержание органического вещества по Тюрину в модификации Симакова;

3) содержание легкоокисляемого органического вещества по Тюрину в модификации ГИЗР;

4) реакция почвенной среды (pH_{H_2O}) водной суспензии потенциометрическим методом;

5) биологическая активность по Штатнову.

По окончании проведения микрополевых опытов из всех делянок были отобраны почвенные образцы и дополнительно выполнены следующие анализы: структурный и агрегатный составы по Саввинову, плотность почвы буром с рабочим объемом 50 см^3 , плотность твердой фазы пикнометрическим методом, порозность общая методом расчета.

Уборка зелёной массы трав проводилась следующим образом: люцерны - в фазу цветения по укосам, остальные травы – в фазу полного созревания.

Вегетационный опыт был заложен в полиэтиленовых сосудах, вмещающих по 5 кг воздушно-сухой почвы – чернозема обыкновенного слабогумусного сверхмощного, отобранного на месте разлива нефти возле магистрального трубопровода ОАО «Черномортранснефть», расположенного на территории пашни землепользования ОАО им. Мичурина Кавказского района.

В вегетационном опыте, заложенном по схеме микрополевых опытов, изучено четыре варианта по биоремедиации нефтезагрязненного чернозема обыкновенного с использованием в течение трех лет люцерны.

Перед закладкой опытов из генетических горизонтов зональных почв были отобраны образцы и изучены основные водно-физические, химические свойства и биологическая активность исследуемых почв. Все аналитические и опытные работы выполнялись согласно ГОСТам и по специальным методикам.

Виды и методы выполненных анализов почв: гранулометрический состав по Качинскому (ГОСТ 12536-79), плотность буром с объемом рабочей части 50 см^3 (ГОСТ 5180-84), плотность твердой фазы пикнометрически (ГОСТ 5180-84), гигроскопическая влажность методом сушки образца (ГОСТ 5180-85), максимальная гигроскопичность (МГ) адсорбционным методом (ГОСТ 5180-85), наименьшая влагоемкость по Кабаеву, порозность общая и полная влагоемкость расчетным методом, влажность завядания растений расчетным методом ($МГ \times 1,5$), гумус по Тюрину в модификации Симакова (ГОСТ 26213-91), поглощение основания трилонометрическим методом, гидролитическая кислотность по Каппену, емкость катионного обмена и степень насыщенности основаниями расчетным методом, pH водной суспензии потенциометрически (ГОСТ 26483-85), биологическая активность по Штатнову.

Для контроля за качеством сельскохозяйственных трав, выращенных на загрязненных и затем обезвреженных участках, также проведены исследования, так как сено трав используется на корм животным. Анализы

образцов сена трав, отобранные в третьем году исследований из делянок микрополевых опытов, выполнены в Краснодарской межобластной ветеринарной лаборатории и получены заключения.

Для анализа полученных данных использовались дисперсионный по Б.А. Доспехову (1985 г.) и корреляционный методы статистической обработки данных. Все методы статистического анализа данных производились при помощи компьютерной обработки данных в программах Excel и Statistica 6.

Характеристика биопрепарата «Биорем». Биопрепарат «Биорем», представляет собой продукт, получаемый из древесных опилок, поступающих на утилизацию и микробиологического концентрата продукции серии «ЭМ» (effective microorganisms) – Байкал – ЭМ₁.

В состав препарата входят гуминовые вещества, способные связывать токсические вещества в комплексные соединения, ассоциации непатогенных анаэробных и аэробных микроорганизмов, грибов и дрожжей.

Препарат предназначен для обезвреживания: нефти, нефтепродуктов, нефтешламов и биоремедиации нефтезагрязненных почв и почвогрунтов.

Биопрепарат «Биорем» прошёл тщательную проверку в контролирующих государственных органах, получено положительное санитарно – эпидемиологическое заключение государственной санитарно – эпидемиологической службы Российской Федерации, разработаны ТУ 9291 – 001 – 47463954 – 2004 г., оформлен и заверен каталожный лист продукции.

Препарат способствует ускорению процессов химического и биологического разложения токсикантов, оказывает непосредственное стимулирующее и протекторное действие на растения и микрофлору.

В результате внесения препарата в загрязненную почву происходит значительное снижение или полное устранение ее токсичности. Наиболее отчетливо положительный эффект выражен в почвах лёгкого гранулометрического состава – входящие в состав полученного после обезвреживания модифицированного грунта глинистые минералы и гуминовые кислоты обеспечивают образование агрономически ценных почвенных агрегатов.

При обезвреживании на специализированных площадках нефтесодержащих отходов после обработки препаратом «Биорем» происходит преобразование их в гумино-минеральный мелиорант, способствующий улучшению водно-воздушного режима почвы за счет улучшения почвенной структуры.

3. УСЛОВИЯ ПОЧВООБРАЗОВАНИЯ РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЙ

По географическому положению и в геоморфологическом отношении территория исследований входит в Кубанскую пойменную дельту и Азово-Кубанскую низменность Западного Предкавказья.

Азово-Кубанская низменность расположена к северу от реки Кубань и представляет собой плоскую поверхность, слабо наклонную с востока на

запад и северо-запад к Азовскому морю. Ее абсолютные высоты возрастают с 6-15 м на побережье Азовского моря до 150-200 м у западных склонов Ставропольской возвышенности (В.Ф.Вальков, 1996).

В низовьях реки Кубань простирается обширная равнина – Кубанская пойменная дельта. Значительная часть территории характеризуется высотами 1-3 м. Дельта Кубани, как медленно погружающаяся, сложена тонкозернистым аллювием. В большей степени освоенные территории сосредоточены на древней и современной дельте на лугово-черноземных пойменных и аллювиальных луговых почвах.

Наиболее характерные черты климата региона определяются умеренной континентальностью: мягкой, малоснежной с частными оттепелями зимой, умеренно жарким летом и значительной продолжительностью безморозного и вегетационного периодов, высокой суммой положительных температур. Здесь также прослеживается довольно резкий переход от континентального сухого климата на северо-востоке до умеренного континентального Азово-Кубанской низменности и теплого влажного климата предгорий.

Азово-Кубанская низменность сложена четвертичными рыхлыми осадочными отложениями мощностью от 10-20 м на севере и до 80-90 м на юге, образование которых связано с ледниковыми и межледниковыми эпохами на Кавказе. Верхнюю толщу их составляют лессовидные глины и суглинки, сплошным слоем покрывающие все водоразделы равнины и являющиеся материнскими почвообразующими породами для черноземов (Н.Е.Редькин, 1964).

Территория Кубанской пойменной дельты покрыта четвертичными аллювиальными отложениями тяжелосуглинистого, среднесуглинистого и легкосуглинистого гранулометрического состава, на которых сформировались лугово-черноземные и аллювиальные луговые почвы. Большая часть почвообразующих пород не засолена.

4. ПОЧВЕННО-РАСТИТЕЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ ТЕРРИТОРИИ ИССЛЕДОВАНИЙ

Основную часть почвенного покрова территории исследований Западного Предкавказья составляют черноземы выщелоченные, типичные и обыкновенные, занимающие площадь более 3 млн. га на Азово-Кубанской низменности, лугово-черноземные и аллювиальные луговые почвы в Кубанской пойменной дельте. Эти почвы, в первую очередь черноземы, имеют огромное производственное значение в сельском хозяйстве региона.

Слабоволнистый характер рельефа и благоприятные агрофизические и агрохимические свойства исследуемых почв создают благоприятные условия для биоремедиации почв, загрязненных нефтью и нефтепродуктами.

В настоящее время естественный растительный покров равнинной части Западного Предкавказья несет на себе отпечатки глубокой антропогенной трансформации и практически полностью уничтожен

распашкой. Основным типом растительности Азово-Кубанской низменности являются степи, которые ныне сохранились лишь фрагментарно среди культурных ландшафтов.

Из мезофауны исключительная роль в почвообразовательных процессах принадлежит дождевым червям, которые преобладают на наиболее увлажненных участках района исследований.

При анализе составов микробиоценозов почв района исследований прослеживается закономерность, свидетельствующая о том, что определенному региональному типу почв соответствуют характерные комбинации соотношений и численности специфических групп микроорганизмов.

5. ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА И БИОРЕМЕДИАЦИЯ ПОЧВ, ЗАГРЯЗНЕННЫХ НЕФТЬЮ И НЕФТЕПРОДУКТАМИ, И ПРОДУКТИВНОСТЬ АГРОФИТОЦЕНОЗОВ

5.1 Экологическая оценка и биоремедиация загрязненных лугово-черноземных почв

Почвенный покров – важнейший биологический адсорбент и нейтрализатор загрязнения, а обитающие в почве микроорганизмы играют важнейшую роль в поддержании ее самоочищающей способности. Это свойство почвы находится в прямой связи с уровнем плодородия: чем выше содержание гумуса, ёмкость катионного обмена, насыщенность почвенно-поглощающего комплекса щелочно– земельными металлами, реакция почвенной среды ближе к нейтральной, тем выше её самоочищающая способность.

Результаты анализов образцов незагрязненной, загрязненной и биологически обезвреженной почвы показывают (рис. 1), что максимальное загрязнение наблюдается в пробах почв загрязненных нефтепродуктами – 38728,4 мг/кг (почва под люцерной), 36521,1 мг/кг (почва под травосмесью) и 41140,5 мг/кг (почва под суданской травой). Способность к самоочистке исследуемых загрязненных почв не высокая. В течение трех лет вегетации валовое содержание нефтепродуктов уменьшилось на 17085 мг/кг, 24643,8 мг/кг и 13674,8 мг/ кг соответственно, но концентрации нефтепродуктов в почвах остаются довольно высокими.

Существенное уменьшение степени загрязнения почвы отмечено в вариантах с использованием биологического препарата «Биорем» в сочетании с минеральными и органическими удобрениями. Валовое содержание нефтепродуктов после проведения мелиоративных мероприятий в начале вегетации растений составило 7423,4 – 7620,2 мг/кг (почва под люцерной), 6950,3 – 7634,3 мг/кг (почва под травосмесью), 7270,5 – 7540,7 мг/кг (почва под суданской травой), что соответствовало третьему уровню загрязнения. В течение трех лет проведения биологической ремедиации содержание нефтепродуктов в исследуемых почвах уменьшилось до 318,6 –

463,9 мг/кг, 212,4 – 278,7 мг/кг, 416,3 – 428,2 мг/кг, соответственно, что соответствует первому допустимому уровню загрязнения.

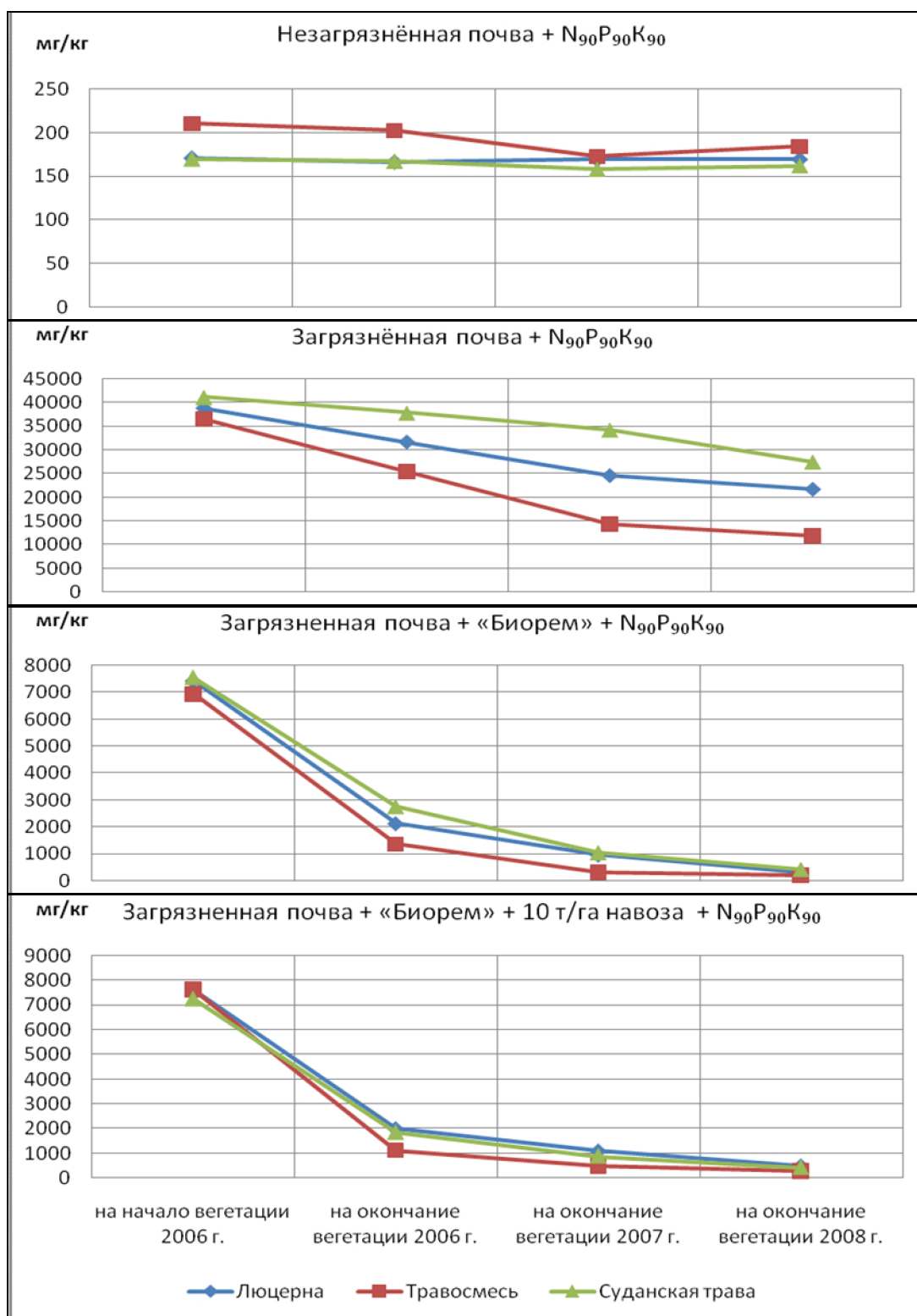


Рисунок 1 - Изменение валового содержания нефтепродуктов в слое 0–20 см загрязненной лугово-черноземной выщелоченной почвы под различными травами в зависимости от биоремедиации (микрополевой опыт)

Таким образом, после проведения мелиоративных мероприятий по рекультивации загрязнённых нефтесодержащими отходами лугово-

черноземных выщелоченных почв опытного участка, степень их загрязнения уменьшилась за три года в 5 – 50 раз. Биологическая активность лугово-черноземных почв интенсивно восстанавливается и происходит самоочищение почв от нефтепродуктов.

Корреляционный анализ между значениями начального содержания нефтепродуктов и величиной изменения содержания нефтепродуктов за период вегетации в разные годы исследований показывает (табл. 2), что при возделывании люцерны корреляция в 2006 г. и 2008 г. средняя положительная, в 2007 г. сильная положительная. При возделывании травосмеси в 2006 – 2007 гг. наблюдается сильная корреляция, 2008 г. – средняя. В опытах с суданской травой наблюдается средняя положительная корреляция в 2006 г., тогда как в 2007-2008 гг. сильная положительная.

Таблица 2 - Значения коэффициентов корреляции между содержанием нефтепродукта в начале вегетации и изменением содержания нефтепродукта за период вегетации при возделывании изучаемых культур (микрополевой опыт)

Культура	Год вегетации		
	2006	2007	2008
Люцерна	0,58	0,86	0,56
Травосмесь	0,78	0,96	0,74
Суданская трава	0,74	0,77	0,78

Основываясь на полученных данных можно сделать вывод, что чем больше будет начальное содержание нефтепродуктов в почвах на начало вегетации, тем на большее значение произойдет снижение нефтепродукта за год вегетации.

Результаты определения агрофизических показателей свидетельствуют, что незагрязненная нефтепродуктами почва имеет слабоуплотненное сложение, с плотностью 1,23 - 1,26 г/см³. Загрязненная нефтепродуктами почва в верхнем слое имеет более плотное сложение, составляющее во всех микрополевых опытах 1,39 - 1,43 г/см³. Это объясняется значительным ухудшением агрофизических свойств. Биоремедиация исследуемой почвы заметно уменьшила её плотность сложения, которая составила 1,31 - 1,34 г/см³.

Другим показателем, характеризующим качество восстановления загрязненных земель, является структурное состояние почвы. Загрязнение нефтепродуктами почвы способствовало заметному снижению в них агрономически ценных и водопрочных агрегатов, содержание которых в верхнем слое соответственно составило 54,3 - 58,4 %. В незагрязненной почве их количество составило 81,3 - 85,5 %.

Анализ агрохимических показателей загрязненной почвы показывают (рис. 2), что наибольшее общее содержание органического вещества отмечено в загрязнённой почве 4,2% (почва под люцерной), 4,4% (почва под

травосмесью), 4,8% мг/кг (почва под суданской травой), что объясняется наличием в ней дополнительных органических веществ – нефтепродуктов.

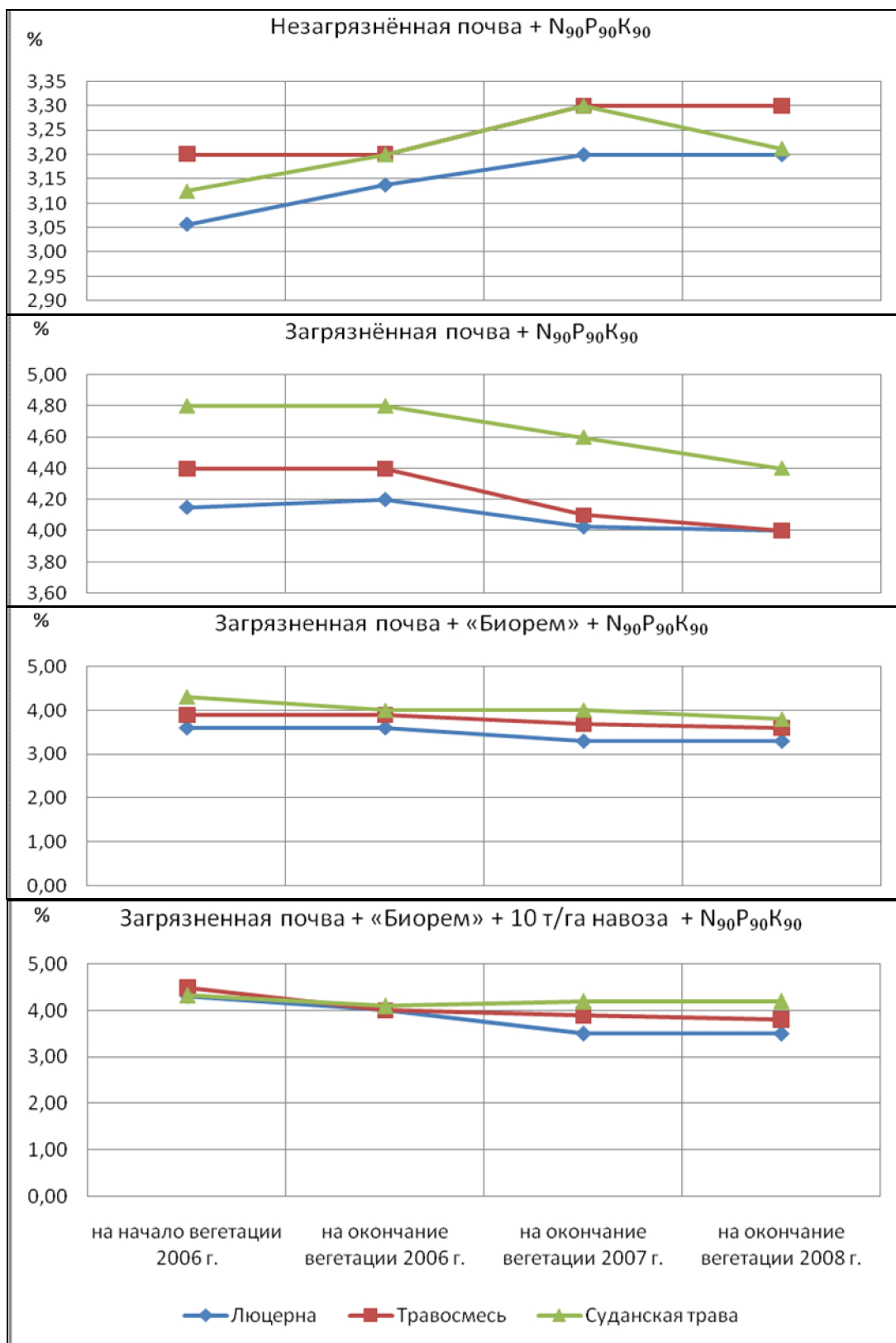


Рисунок 2 – Изменение содержания органического вещества в слое 0–20 см загрязненной нефтепродуктами лугово-черноземной выщелоченной почвы под травами в зависимости от биоремедиации (микрополевой опыт)

Такая же закономерность наблюдается и в содержании легкоокисляемых форм органического вещества. При биологическом обезвреживании содержание органического вещества заметно уменьшается и приближается к содержанию гумуса в незагрязнённой почве.

Результаты определения активной кислотности почвенной среды имеют определённую закономерность в зависимости от степени загрязнения почвы. Так, незагрязнённая и обезвреженная биологическим способом почва имеет нейтральную реакцию почвенной среды (pH_{H_2O}), составляющую в верхнем слое 6,7 – 7,0.

Загрязнённая нефтепродуктами почва имеет слабощелочную реакцию почвенной среды (pH_{H_2O} 7,4), так как нефть и нефтепродукты подщелачивают почву. Расчеты корреляционного анализа подтверждают, что активная кислотность в исследуемой почве в течение трех лет вегетации различных трав изменяется слабо.

Одним из интегральных показателей, характеризующих почвенное плодородие, является биологическая активность или потенциальная дыхательная способность (ПДС) почвы. Установлено, что этот показатель интегрально и адекватно отражает изменение параметров плодородия почв (содержание гумуса, солей, пестицидов, тяжелых металлов и др.) и имеет высокую корреляцию с урожаем сельскохозяйственных культур.

В микрополевых опытах по трехлетним данным нами установлено, что на биологическую активность загрязненной почвы существенное влияние оказали такие показатели, как степень загрязнения ее нефтепродуктами, использование для их обезвреживания биопрепарата «Биорем» в сочетании с различными травами-фитомелиорантами и удобрениями и год вегетации сельскохозяйственных трав (табл. 3).

В первый год после загрязнения почв во всех вариантах опытов биологическая активность была минимальной. Причем, наибольшее снижение ее наблюдалось в вариантах, в которых не применялся биопрепарат «Биорем».

Установлено, что использование при биоремедиации загрязненной лугово-черноземной выщелоченной почвы биопрепарата «Биорем» в комплексе фитомелиоративными травами и удобрениями значительно повышает их биологическую активность, особенно, на третий год вегетации трав и, в первую очередь, под люцерной, достигая уровня зональной почвы.

Таблица 3 – Изменение биологической активности в слое 0-20 см загрязненной нефтепродуктами лугово-черноземной выщелоченной почвы под травами в зависимости от биоремедиации (микрополевой опыт)

№ варианта	Варианты опыта	Биологическая активность, CO ₂ мг на 100 г почвы		
		2006 г.	2007 г.	2008 г.
Люцерна				
1	Незагрязнённая почва + N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀ (контроль)	23,2	24,5	24,2
2	Загрязнённая почва + N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	4,6	7,4	14,6
3	Загрязнённая почва + «Биорем» + N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	10,8	12,9	19,6
4	Загрязнённая почва + «Биорем» + 10 т/га навоза + N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	11,7	14,3	22,1
5	НСР ₀₅	3,8	2,5	2,2
Травосмесь				
1	Незагрязнённая почва + N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀ (контроль)	22,7	25,2	24,7
2	Загрязнённая почва + N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	3,6	6,8	12,4
3	Загрязнённая почва + «Биорем» + N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	1,2	13,4	18,8
4	Загрязнённая почва + «Биорем» + 10 т/га навоза + N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	12,4	14,0	20,2
5	НСР ₀₅	4,1	3,2	2,6
Суданская трава				
1	Незагрязнённая почва + N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀ (контроль)	23,8	23,4	24,1
2	Загрязнённая почва + N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	3,3	7,0	12,4
3	Загрязнённая почва + «Биорем» + N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	10,6	12,4	17,8
4	Загрязнённая почва + «Биорем» + 10 т/га навоза + N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	11,2	13,9	19,2
5	НСР ₀₅	4,4	3,0	2,5

5.2 Экологическая оценка нефтезагрязненного и биологически обезвреженного чернозема обыкновенного

Параллельно с микрополевыми опытами в течении трех лет был проведен и вегетационный опыт по биоремедиации чернозема обыкновенного, загрязненного нефтью и нефтепродуктами.

Результаты анализов образцов почвы на содержание в нем нефтепродуктов также показали, что максимальное их содержание отмечено в начале вегетации люцерны и составляло 47960,0 мг на кг почвы. В течение трех лет вегетации люцерны их содержание уменьшилось на 20496,3 мг на кг почвы, но концентрация нефтепродуктов в черноземе обыкновенном оставалась высокой и соответствовала четвертому уровню загрязнения (табл.4).

Таблица 4 – Изменение валового содержания нефтепродуктов в загрязненном чернозёме обыкновенном под люцерной в зависимости от биоремедиации (вегетационный опыт)

№ варианта	Варианты опыта	Содержание нефтепродуктов, мг на кг почвы			
		на начало вегетации, 2006 г.	по окончании вегетации		
			2006 г.	2007 г.	2008 г.
1	Незагрязнённая почва + N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀ (контроль)	223,7	197,0	184,2	187,8
2	Загрязнённая почва + N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	47960,0	39162,2	35619,4	27463,7
3	Загрязненная почва + «Биорем» + N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	8673,3	2794,2	1443,9	672,
4	Загрязненная почва + «Биорем» + 10 т/га навоза + N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	8826,4	2268,8	1176,1	504,6
	НСР ₀₅		3112,3	2706,0	1329,4

Значительное уменьшение степени загрязнения чернозема обыкновенного, также как и лугово-черноземной выщелоченной почвы наблюдалось в вариантах с использованием биопрепарата «Биорем» в сочетании с минеральными и органическими удобрениями. Содержание нефтепродуктов в начале проведения мелиоративных мероприятий составило 8673,3 – 8826,4 мг на кг почвы, что соответствовало третьему уровню загрязнения. В конце третьего года проведения биоремедиации содержание нефтепродуктов в черноземе обыкновенном существенно уменьшилось и составило 504,6 – 672,3 мг на кг почвы, что соответствует, также как и в лугово-черноземной выщелоченной почве, первому допустимому уровню загрязнения нефтепродуктами. Следовательно, за три года проведения биологической ремедиации происходит значительное очищение исследуемой почвы от нефтяного загрязнения и восстановление ее плодородия.

Результаты агрохимических анализов по изменению содержания органического вещества, реакции почвенной среды «рН» и биологической активности чернозема обыкновенного в зависимости от степени загрязнения нефтью и нефтепродуктами представлены в таблицах 5 и 6.

Из полученных данных следует, что наибольшее содержание общего органического вещества наблюдается в загрязненном черноземе (4,9%), что также объясняется наличием в нем дополнительных органических веществ – нефтепродуктов. При его биоремедиации биопрепаратом «Биорем» содержание органического вещества заметно уменьшается.

В результате определения реакции почвенной среды (рН) установлено, что незагрязненный чернозем обыкновенный в верхнем слое имеет слабощелочную почвенную среду (рН 7,4) из-за наличия в нем карбонатов кальция, нефтезагрязненный – сильнощелочную (рН 8,5). В результате обезвреживания нефтепродуктов активная кислотность снижается до средне- и слабощелочной (рН 7,9 – 8,1).

Таблица 5 - Изменение содержания органического вещества и реакции среды (рН) в загрязненном нефтепродуктами чернозёме обыкновенном под люцерной в зависимости от биоремедиации (вегетационный опыт)

№ варианта	Варианты опыта	Органическое вещество, %			рН _{н. о}		
		2006 г.	2007 г.	2008 г.	2006 г.	2007 г.	2008 г.
1	Незагрязнённая почва + N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀ (контроль)	3,4	3,4	3,5	7,4	7,4	7,3
2	Загрязнённая почва + N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	5,1	4,9	4,6	8,5	8,5	8,3
3	Загрязненная почва + «Биорем» + N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	4,3	4,1	3,8	8,1	8,0	7,9
4	Загрязненная почва + «Биорем» + 10 т/га навоза + N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	4,4	4,2	3,9	8,0	7,9	7,9
	НСП ₀₅	0,14	0,09	0,07	0,11	0,08	0,06

В вегетационном опыте, также как и в микрополевых опытах, по трехлетним данным нами установлено, что на биологическую активность загрязненного чернозема обыкновенного существенное влияние оказали показатели: степень загрязнения его нефтепродуктами, использование для их обезвреживания биопрепарата «Биорем» в сочетании с различными травами-фитомелиорантами и удобрениями и год вегетации люцерны.

Таблица 6 – Изменение биологической активности в загрязненном нефтепродуктами чернозёме обыкновенном под люцерной в зависимости от биоремедиации (вегетационный опыт)

№ варианта	Варианты опыта	Биологическая активность, CO ₂ мг на 100 г почвы		
		2006 г.	2007 г.	2008 г.
1	Незагрязнённая почва + N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀ (контроль)	28,2	28,7	29,2
2	Загрязнённая почва + N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	2,9	6,7	11,3
3	Загрязненная почва + «Биорем» + N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	13,6	15,9	21,2
4	Загрязненная почва + «Биорем» + 10 т/га навоза + N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	14,1	16,4	23,3
5	НСП ₀₅	5,4	3,9	2,6

Следовательно, использование при биоремедиации нефтезагрязненного чернозема обыкновенного биопрепарата «Биорем» в комплексе с фитомелиорантом и удобрениями также значительно повышается его биологическая активность, особенно, на третий год вегетации люцерны, практически достигая уровня незагрязненного чернозема.

5.3 Агрономическая продуктивность нефтезагрязненных почв

Агрономическая продуктивность почв является одним из основных показателей, характеризующих их потенциальное плодородие. Поэтому резкие изменения в физических и химических свойствах зональных почв, происходящих в результате их загрязнения нефтью и нефтепродуктами, значительно ухудшают условия произрастания сельскохозяйственных культур и снижают их урожайность.

Результаты влияния степени загрязнения почв нефтью и нефтепродуктами и их биологического обезвреживания на урожайность фитомелиорантов представлены на рисунке 3.

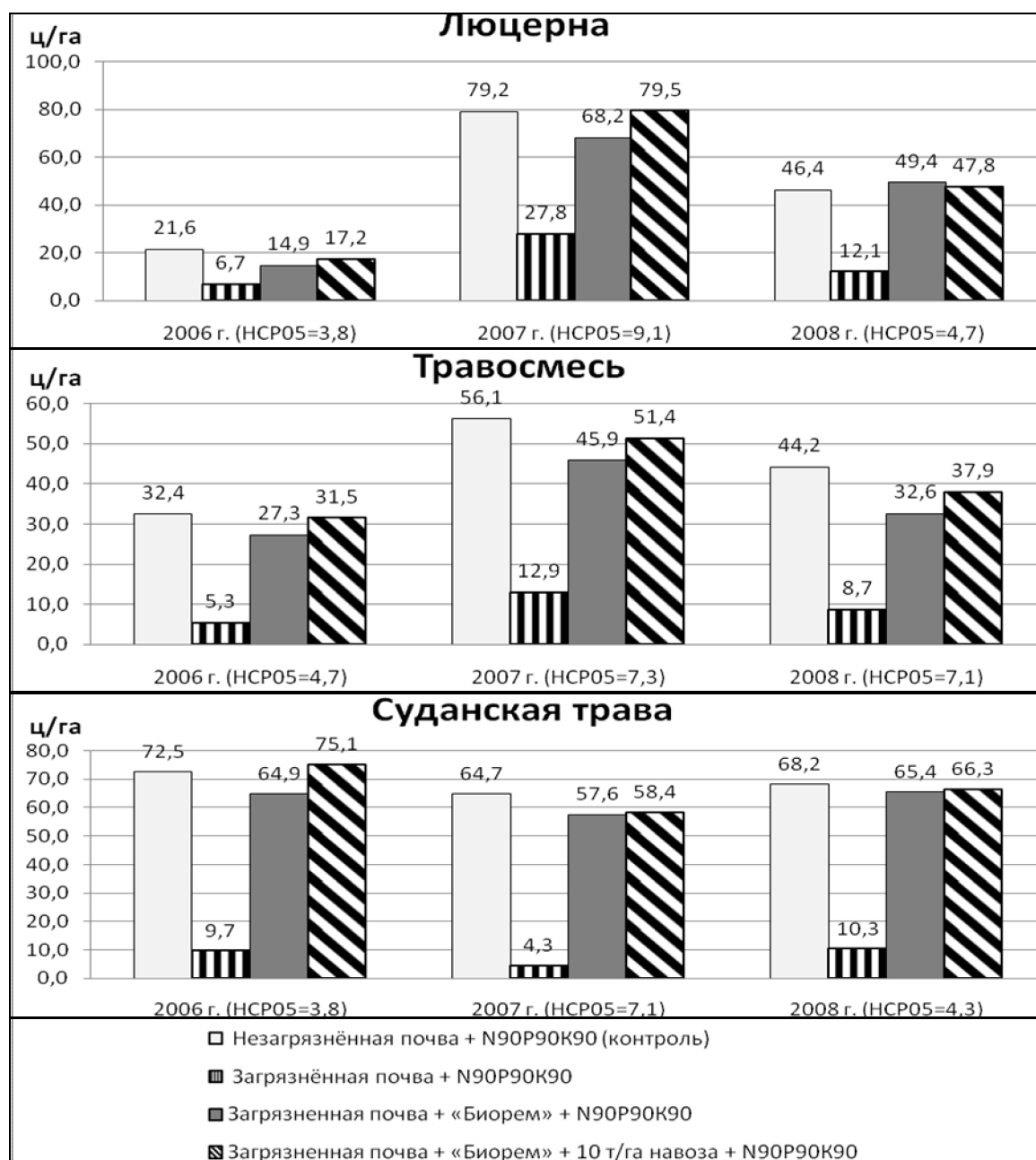


Рисунок 3 – Урожайность различных трав на загрязненной нефтепродуктами лугово-черноземной выщелоченной почве в зависимости от биоремедиации (микрополевой опыт)

Установлено, что наибольшая урожайность сена люцерны, травосмеси и суданской травы получена на незагрязнённой почве. При биологическом обезвреживании нефтезагрязнённой лугово-черноземной выщелоченной почвы урожайность сена этих трав приближается к урожайности сена на незагрязнённой почве.

Таким образом, результаты проведённых исследований показывают, что биологическая ремедиация, загрязнённых нефтью и нефтепродуктами лугово-черноземных выщелоченных почв, проведенная с использованием биопрепарата «Биорем» в сочетании с минеральными и органическими удобрениями, способствует значительному снижению в них нефтепродуктов, улучшению агрохимических показателей, увеличению биологической активности и повышению их продуктивности.

Такая же закономерность отмечена и в вегетационном опыте с черноземом обыкновенным при возделывании на нем люцерны (табл. 7). Наибольшая урожайность сена люцерны получена на незагрязнённой почве. После проведения биоремедиации загрязнённого чернозема обыкновенного урожай сена люцерны на нем приближается к урожаю на зональной почве.

Таблица 7 – Урожай сена люцерны на загрязнённом нефтепродуктами чернозёме обыкновенном в зависимости от биоремедиации (вегетационный опыт)

№ варианта	Варианты опыта	Урожай сена, г на сосуд				% к контролю
		2006 г.	2007 г.	2008 г.	средний за 3 года	
1	Незагрязнённая почва + N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀ (контроль)	12,3	47,5	29,4	29,7	100,0
2	Загрязнённая почва + N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	3,7	16,6	8,4	9,6	32,3
3	Загрязнённая почва + «Биорем» + N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	9,2	40,6	29,2	26,3	88,5
4	Загрязнённая почва + «Биорем» + 10 т/га навоза + N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	9,5	43,3	29,8	27,5	92,6
	НСР ₀₅	2,5	5,7	2,1		

Для контроля за качеством сена сельскохозяйственных трав, выращенной на исследуемых загрязнённых нефтепродуктами и затем биоремедированных почвах, нами проведены мониторинговые исследования и выданы результаты экспертизы об их качестве.

С этой целью нами были отобраны в конце третьего года исследований пробы сена сельскохозяйственных трав, так как после биоремедиации нефтезагрязнённых почв, они могут использоваться для корма сельскохозяйственных животных. В аккредитованной Краснодарской межобластной ветеринарной лаборатории выполнены анализы на содержание в них солей тяжелых металлов (свинец, ртуть, мышьяк, кадмий), бенз(а)пирена и радионуклидов и выданы заключения (результаты

экспертизы).

Результаты экспертизы показывают, что содержание во всех пробах сена трав вышеуказанных показателей не превышает предельной допустимой концентрации.

6. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО БИОРЕМЕДИАЦИИ ПОЧВ, ЗАГРЯЗНЕННЫХ НЕФТЬЮ И НЕФТЕПРОДУКТАМИ

Биоремедиация почв, загрязненных нефтью и нефтепродуктами, проводится в три этапа: технический, микробиологический и фитомелиоративный.

В техническом этапе определяется степень загрязнения почвы и фоновая концентрация в зональной почве, а так же определяются следующие показатели: содержание общего органического вещества, реакция почвенной среды (рН), биологическая активность и агрофизические свойства. На этом этапе происходит выветривание нефти, испарение и частичное разрушение легких фракций, фотоокисление нефтяных компонентов на поверхности почвы, восстановление микробиологических сообществ, развитие нефтеокисляющих микроорганизмов, частичное восстановление сообщества почвенных животных. Часть компонентов превращается в твердые продукты, что улучшает водно-воздушный режим почвы.

Микробиологический этап осуществляется путем внесения биопрепарата «Биорем» (ТУ 9291-001-47463954-2004) по обезвреживанию отходов и биоремедиации почв в определенном соотношении объемов (1:40). В ходе обезвреживания производится периодическое рыхление, перемешивание, поддержание влажности загрязненной почвы (45 %) и внесение указанных доз удобрений. В процессе этого этапа биопрепарат «Биорем» способствует разуплотнению почвы и улучшению ее агрофизических и агрохимических свойств. Входящие в состав препарата «Биорем» микроорганизмы активно усваивают углеводороды нефти.

Фитомелиоративный этап осуществляется путем посева сельскохозяйственных трав на обезвреженную микробиологическим способом почву. Выбор трав производится с учетом агроклиматических условий территории и вида земельных угодий.

После биоремедиации почв проводится их анализ по определению изучаемых в работе показателей.

ВЫВОДЫ

1. Интенсивное развитие в Западном Предкавказье добычи нефти и производство нефтепродуктов, а также аварии на магистральных нефтепроводах способствуют загрязнению и исключению из сельскохозяйственного использования значительных площадей высокопродуктивных земельных угодий и ухудшению экологических условий на техногенных и прилегающих территориях.

2. Максимальное содержание нефтепродуктов в загрязненных зональных почвах в слое 0-20 см в начале вегетации сельскохозяйственных трав составляло 38-48 г на кг почвы, что соответствовало пятому уровню загрязненности. Загрязненность почв нефтью и нефтепродуктами значительно ухудшили их агрофизические и агрохимические свойства, структурный и агрегатный составы.

3. Почвы, загрязненные нефтью и нефтепродуктами, обладают очень низкой биологической активностью и продуктивностью агрофитоценоза. Биологическая активность в верхнем слое загрязненных почв после первого года вегетации трав составляла 2,9-4,6, в незагрязненных почв – 22,7-28,2 мг CO₂ на 100 г почвы.

4. Использование в течение трех лет многолетних и однолетних сельскохозяйственных трав в качестве фитомелиорантов в сочетании с минеральными удобрениями способствовало незначительному снижению валового содержания нефтепродуктов в лугово-черноземной выщелоченной почве и черноземе обыкновенном.

5. Биоремедиация нефтезагрязненных почв с использованием микробиологического препарата «Биорем» и сельскохозяйственных трав в сочетании с органическими и минеральными удобрениями в течение трех лет способствовали значительному снижению в них нефтепродуктов до 0,5 – 0,6 г на кг почвы, улучшению их агрофизических и агрохимических свойств и увеличению биологической активности.

6. Продуктивность агрофитоценозов после трех лет проведения биоремедиации загрязненных почв значительно повышается и составляет 88 - 93 % от продуктивности агрофитоценозов незагрязненных зональных почв.

ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВУ

Разработанный способ биоремедиации почв, загрязненных нефтью и нефтепродуктами рекомендуется к использованию в производственной деятельности природоохранных предприятий на территории Западного Предкавказья.

Рекомендуемая технология характеризуется сравнительно небольшими временными сроками восстановления биологической активности загрязненных почв, возможностью их использования в сельскохозяйственном производстве и повышению продуктивности агрофитоценозов.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в изданиях, рекомендуемых ВАК:

1. Терпелец В.И. Биологическая ремедиация почв, загрязненных нефтью и нефтепродуктами / В.И. Терпелец, Ю.В. Мосунова // Тр. / КубГАУ. – Краснодар, 2009. – Вып. № 3. – С. 69-73.

Статьи в других изданиях:

2. Есипова Ю.В. Биологическая рекультивация земель, загрязненных нефтесодержащими отходами / Ю.В. Есипова, В.И. Терпелец // Научное обеспечение агропромышленного комплекса. – Матер. 1-ой Всерос. конф. мол. ученых. - Краснодар: КГАУ, 2007. – С. 68-69.
3. Мосунова Ю.В. Влияние почв, загрязненных нефтью и нефтесодержащими отходами, на урожайность люцерны сорта «Славянская»/ Ю.В. Мосунова, В.И. Терпелец // Научное обеспечение агропромышленного комплекса. – Матер. 2-ой Всерос. конф. мол. ученых. – Краснодар: КГАУ, 2008. – С. 98-99.
4. Мосунова Ю.В. Биоремедиация черноземов обыкновенных, загрязненных нефтепродуктами, в условиях Азово-Кубанской низменности / Ю.В. Мосунова // Энтузиасты аграрной науки. – Краснодар: КГАУ, 2009. – Вып. № 10. – С. 422-424.
5. Мосунова Ю.В. Воспроизводство плодородия почв, загрязненных нефтью и нефтепродуктами в условиях Западного Предкавказья. / Ю.В. Мосунова // Матер. 2-ой Междунар. научно-практической конференции: «Проблемы мелиорации земель и воспроизводства почвенного плодородия», Краснодар: КГАУ, 2009. – С. 112-114.