

На правах рукописи

ШВЕЦ Александр Александрович

**ФИТОРЕМЕДИАЦИЯ ЗАГРЯЗНЕННЫХ
НЕФТЬЮ ПОЧВ В УСЛОВИЯХ
СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО КАВКАЗА**

Специальность 06.01.03 – агропочвоведение, агрофизика

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата сельскохозяйственных наук

Краснодар – 2009

Работа выполнена в Государственном научном учреждении Всероссийском научно-исследовательском институте биологической защиты растений Россельхозакадемии

Научный руководитель: кандидат сельскохозяйственных наук,
старший научный сотрудник
Белоусов Владимир Степанович

Официальные оппоненты: доктор сельскохозяйственных наук,
профессор
Корсунова Мария Игнатьевна

кандидат биологических наук,
профессор
Карасева Эмма Викторовна

Ведущая организация: **ФГОУ ВПО «Кубанский государственный технологический университет»**

Защита диссертации состоится 25 декабря 2009 г. в 10.00 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.kubsau.ru>

Автореферат разослан « 24 » ноября 2009 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
доктор сельскохозяйственных наук,
профессор

Н.В. Матузок

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В последние десятилетия к уже известным видам деградации почв (потеря гумуса, физическая деградация, накопление остатков пестицидов и их метаболитов) добавился исключительно опасный фактор антропогенного воздействия – нефтяное загрязнение. Эксплуатация существующих месторождений нефти, количество и протяженность которых в последние годы возросла, а также проводимые работы по освоению новых запасов привели к загрязнению нефтепродуктами значительных площадей сельскохозяйственных земель. По данным Комитета природных ресурсов по Краснодарскому краю на 2001 год более 2,2% территории края подвержены загрязнению углеводородами нефти.

Как показывает анализ мирового опыта, одним из наиболее действенных приемов устранения данного вида загрязнения почв являются технологии ремедиации с использованием широкого спектра культур и насыщением почвенной биоты полезными видами микроорганизмов (Н.А. Киреева и др. 2003, 2007). Фиторемедиация является одним из наиболее действенных, экологичных, быстрых и эффективных с экономической точки зрения методов восстановления загрязненных земель. Однако данный метод в Северо-Западном Кавказе изучен недостаточно, что и обусловило актуальность проводимых исследований.

Цель и задачи исследований. Цель исследований – изучение изменения свойств загрязненных нефтью почв и разработка способов их фиторемедиации различными агрофитоценозами на Северо-Западном Кавказе.

Для достижения поставленной цели было необходимо решить ряд задач:

1. Изучить условия почвообразования и состояние почвенных и растительных ресурсов районов интенсивной добычи и транспортировки нефти в регионе.
2. Оценить экологическую устойчивость 20 полевых культур на загрязненных нефтью почвах.
3. Обосновать предложения по экспрессной фиторемедиации загрязненных нефтью черноземов выщелоченных с помощью сорго.
4. Проследить изменение содержания нефтепродуктов в загрязненных почвах при фиторемедиации с помощью агрофитоценозов.
5. Изучить влияние агрофитоценозов на свойства и биологическую продуктивность загрязненных нефтью почв в зависимости от фиторемедиации.

Научная новизна результатов исследований. Проведен комплексный анализ различных способов фиторемедиации почв, загрязненных нефтью, влияющих на восстановление их плодородия и повышения продуктивности земельных угодий в регионе. Дана экологическая оценка устойчивости ряда полевых культур к загрязнению зональных почв различными типами нефти.

Практическая ценность. Разработаны мероприятия по фиторемедиации почв, загрязненных различными типами нефти в условиях региона. Основные результаты исследований будут использованы в производственной деятельности различных природоохранных организаций и сельскохозяйственных предприятий при проведении фиторемедиации загрязненных нефтью почв.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Наибольшей экологической устойчивостью к загрязнению различными типами нефти обладают черноземы Азово-Кубанской низменности, затем – луговые почвы Кубанской пойменной дельты, наименьшей способностью и восстановлению плодородия – серые лесные почвы Кубанской наклонной равнины.
2. Соя, бобы кормовые и сорго отличаются наиболее высоким потенциалом из 20 исследуемых полевых культур для фитремедиации загрязненных нефтью почв.
3. Использование для фиторемедиации нефтезагрязненных почв агрофитоценозов «райграс многоукосный + клевер луговой» и «овсяница луговая + ежа сборная» способствовало снижению содержания нефти в исследуемых почвах, восстановлению их плодородия и повышению биологической продуктивности.

Апробация работы. Материалы диссертации были доложены III Всероссийской научно-практической конференции «Агротехнический метод защиты растений от вредных организмов», Краснодар, 2005г.; Международной научно-практической конференции "Молодые ученые – возрождению агропромышленного комплекса России", Брянск, 2006г.; VI Всероссийской выставке научно-технического творчества молодежи НТТМ–2006, Москва, 2006г.; VIII региональной научно-практической конференции молодых ученых «Научное обеспечение агропромышленного комплекса», Краснодар, 2006г.; XIV Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых "Ломоносов – 2007", Москва, 2007г.; I и II Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых «Научное обеспечение агропромышленного комплекса», Краснодар, 2007г, 2008г; 5-й Международной конференции «Биологическая защита растений, перспективы и роль в фитосанитарном оздоровлении агроценозов и получении экологически безопасной продукции», Краснодар, 2008г.; Всероссийской конференции, посвященной 45-летию факультета агрохимии и почвоведения КубГАУ, 2009г.

Исследования по теме диссертации отмечены стипендией администрации Краснодарского края 2005-2006 гг.; дипломами II и III степени в региональных конкурсах на лучшую научно-практическую разработку в рамках конференций: “Научное обеспечение агропромышленного комплекса”. Краснодар, 2006-2008 гг.; дипломом в рамках всероссийской выставки НТТМ–2006, дипломом Департамента образования и науки Краснодарского края.

Публикации результатов исследований. По теме диссертации опубликовано 11 научных работ общим объемом 2,5 печатных листа, в том числе одна статья в журнале, рекомендованном ВАК.

Структура и объем диссертации: Диссертация состоит из введения, семи глав, выводов, рекомендаций производству, списка литературы из 201 наименований, в т.ч. 30 иностранных авторов и изложена на 129 страницах компьютерного текста. Работа включает 22 таблицы, 8 рисунков и 8 приложений.

Личный вклад автора. Диссертационная работа является результатом самостоятельных исследований автора. Автором, под руководством научного руководителя, лично выполнена следующая работа: разработана программа и методика исследований; произведен отбор почвенных образцов в установленные сроки, выполнен большой запланированный объем аналитических работ, обработан и проанализирован экспериментальный материал; разработаны и обоснованы теоретические положения диссертационной работы, выводы и практические рекомендации.

Автор выражает огромную благодарность всем коллегам и сотрудникам Всероссийского НИИ биологической защиты растений.

Особую благодарность автор адресует научному руководителю В.С. Белоусову, а также директору ВНИИБЗР В.Д. Надыкте за предоставленную возможность проведения исследований.

Автор выражает большую признательность заведующему кафедрой почвоведения КубГАУ В.И. Терпельцу, а также всем профессорам и сотрудникам кафедры.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

1. Влияние нефтяного загрязнения на плодородие почв и приемы их восстановления (обзор литературы)

В этом разделе представлен обзор публикаций отечественных и зарубежных авторов об основных закономерностях трансформации свойств и плодородия почв под влиянием нефтяного загрязнения. Рассмотрены важнейшие агротехнологические и биологические приемы их реабилитации. Проанализированы методы восстановления продуктивности нефтезагрязненных почв, в том числе с использованием современных технологий.

2. Объекты и методика исследований

Исследования по изучению фиторемедиации почв, загрязненных углеводородами нефти, проводились в лабораторных, вегетационных и полевых условиях в 2004-2008 гг.

Полевые и вегетационные исследования велись на опытном участке лаборатории реабилитации почв, лабораторные и аналитические работы – в научно-исследовательской лаборатории Всероссийского НИИ биологической защиты растений.

Настоящая работа является частью научно-исследовательской работы, проводимой в лаборатории реабилитации почв Всероссийского НИИ биологической защиты растений (№ ГР 0120.0 603557). Данные исследований являлись частью международного проекта CRDF грант RBO – 10118 – MO – 03 (ANL).

Для всестороннего изучения возможностей фиторемедиации нефтезагрязненных почв были заложены 3 лабораторно-вегетационных, вегетационный и микрополевой опыты.

Объектами исследований были наиболее подверженные загрязнению нефтью почвы региона: чернозем выщелоченный и обыкновенный (Азово-Кубанская низменность), темно-серая лесная (Кубанская наклонная равнина) и луговая (Кубанская пойменная дельта) почвы.

Выбор почв обусловлен расположением их в местах добычи нефти и трасс нефтепроводов Краснодарского края. Изучалась токсичность легкой и тяжелой нефти Анастасиевско-Троицкого месторождения, планируемая эксплуатация которого составляет 50 лет.

Лабораторно-вегетационные опыты. Для оценки устойчивости к загрязнению нефтью и выбора наиболее перспективных сельскохозяйственных растений с целью дальнейшего использования их в фиторемедиации в соответствии с международным стандартом ISO 11269-2 были проведены 3 лабораторно-вегетационных опыта.

Объектами исследования были три типа почв: чернозем выщелоченный (опытное поле ВНИИБЗР), темно-серые лесные почвы (Апшеронский район), луговые почвы (Славянский район).

В течение трех лет на исследуемых почвах проводилась оценка устойчивости 20 полевых и сельскохозяйственных культур к загрязнению нефтью: в 2004 г. – на черноземе выщелоченном; в 2005 г. – на темно-серой лесной; в 2006 г. – на луговой почве.

Схема опыта, проводимого на трех типах почв включала три фактора: фактор «А» – тип нефти, фактор «В» – внесение удобрений, фактор «С» – доза нефти.

Фактор «А» включал два варианта: А₁ – легкая нефть, А₂ – тяжелая нефть.

Удобрения (фактор «В») вносились исходя из одной для всех культур дозы N₂₀₀P₁₀₀K₁₂₅.

Фактор «С» включал четыре варианта: С₀ – без нефти, С₁ – 10 г/кг почвы, С₂ – 20 и С₃ – 40 г/кг почвы (табл. 1).

Таким образом, исследования проводились на 13 вариантах опыта, повторность опыта – четырехкратная.

Внесение нефти осуществлялось путем дождевания и равномерного перемешивания ее с почвой на поддоне. Сосуды заполнялись почвой, увлажненной до 60% от наименьшей влагоемкости.

Таблица 1 – Схема многофакторного лабораторного опыта

Вариант опыта	Тип нефти (Фактор А)	Внесение удобрений (Фактор В)	Доза нефти, г/кг почвы (Фактор С)
1 (контроль)	–	–	–
2	легкая	–	10
3	легкая	N ₂₀₀ P ₁₀₀ K ₁₂₅	10
4	легкая	–	20
5	легкая	N ₂₀₀ P ₁₀₀ K ₁₂₅	20
6	легкая	–	40
7	легкая	N ₂₀₀ P ₁₀₀ K ₁₂₅	40
8	тяжелая	–	10
9	тяжелая	N ₂₀₀ P ₁₀₀ K ₁₂₅	10
10	тяжелая	–	20
11	тяжелая	N ₂₀₀ P ₁₀₀ K ₁₂₅	20
12	тяжелая	–	40
13	тяжелая	N ₂₀₀ P ₁₀₀ K ₁₂₅	40

Проводилась экспозиция три дня, затем высев семян двадцати культур (табл. 2).

Таблица 2 – Полевые культуры, изученные в условиях лабораторно-вегетационных опытов в 2004-2006 гг.

Культура	Сорт
1. Соя (<i>Glicine max</i> /(L.) Merr.)	Вимна
2. Пшеница озимая (<i>Triticum aestivum</i> L.)	Победа 50
3. Райграс многоукосный (<i>Lolium muetiflorum</i> Lam. SSP. <i>Italicum</i> (A,Br)volkart)	Талан
4. Сорго-суданковый гибрид (<i>Sorghum saccharatum</i> x <i>S.Sudaneuse</i>)	Геркулес 3
5. Овсяница луговая (<i>Festuca pratensis</i> Huds.)	Краснодарская 14
6. Пырей удлиненный (<i>Argopyrum elongatum</i>)	Ставропольский 10
7. Канареечник канадский (<i>Phalaris</i> L.)	Талисман
8. Клевер луговой (<i>Trifolium pratense</i> L.)	Наследник
9. Житняк гребневидный (<i>Agropyron pectiniforme</i> Roem. Et schuet)	Викрав
10. Чумиза (<i>Setaria italica</i> (L.)Ssp. <i>Maxima</i> Alf)	Стачуми 3
11. Кострец прямой (<i>Bromus arvensis</i> L.)	Краснодарский 8
12. Ежа сборная (<i>Dactylis glomerata</i> L.)	Союз 60
13. Овсяница тростниковидная (<i>Festuca arundinacea</i> Schreb)	Краснодарская 50
14. Эспарцет (<i>Onobrychis viciifolia</i> Scop.)	Краснодарский 90
15. Тимофеевка луговая (<i>Phleum bertoloni</i>)	Краснодарская 1
16. Люцерна синяя (<i>Medicago sativa</i> L.)	Кевсала
17. Кукуруза (<i>Zea mays</i> L.)	Краснодарская 382 МВ
18. Подсолнечник (<i>Helianthus annuus</i> L.)	Березанский
19. Сорго веничное (<i>Sorghum technikum</i> Roshey)	Венста
20. Бобы кормовые (<i>Vicia faba</i> L.)	Белорусские

Растения вегетировали в течение 21 дня после всходов при влажности 55-60 % от наименьшей влагоемкости. В дальнейшем проводился учет свежей зеленой массы путем среза и последующего взвешивания.

Вегетационный опыт. На следующем этапе исследований проводилась оценка эффективности многокомпонентных посевов в фиторемедиации почв, загрязненных нефтью, в условиях многолетнего (2005-2008 гг.) вегетационного опыта.

Опыт был заложен на трех типах почв: черноземе обыкновенном (Ленинградский район), темно-серой лесной (Апшеронский район) и луговой (Славянский район). Использовались образцы почв ненарушенного сложения. Отбор образцов проводился путем их вырезания из целинных участков почв соответствующих типов с последующим помещением в контейнеры размером 25×25×60 см.

Загрязнение почв легкой и тяжелой нефтью в слое 0-10 см проводилось по следующей схеме:

1. Незагрязненная почва (контроль).
2. Загрязнение легкой нефтью в дозе 10 г/кг почвы.
3. Загрязнение легкой нефтью в дозе 20 г/кг почвы.
4. Загрязнение тяжелой нефтью в дозе 10 г/кг почвы.
5. Загрязнение тяжелой нефтью в дозе 20 г/кг почвы.

По данной схеме опыта производилось исследование двух агрофитоценозов:

I – райграс многоукосный (*Lolium multiflorum Lam*) + клевер луговой (*Trifolium pratense L.*);

II – овсяница луговая (*Festuca pratensis Huds*) + ежа сборная (*Dactylis glomerata L.*).

Растительные сообщества отличаются по архитектонике и продолжительности продуктивной вегетации. Соотношение культур 1:1. Исследования проводились в четырехкратной повторности.

Ежегодно после первого укоса растений с помощью бура проводился отбор почвенных образцов из монолитов в слое 0-20 см, в которых определялось общее содержание нефтепродуктов методом ИК–спектрометрии на приборе АН-2. Кроме того в начале и в конце исследований в почвенных образцах были определены и рассчитаны следующие показатели:

- содержание нитратного азота ионометрическим методом;
- подвижный фосфор по Чирикову и Мачигину;
- активная кислотность (рН водной суспензии) – потенциометрически;
- активность уреазы оценивали в продуцировании N-NH₃ за 24 часа.
- в начале и в конце исследований было определено общее содержание углерода в почве по методу Тюрина в модификации Симакова.

Учет надземной массы растений в монолитах производился путем их среза на высоте 5 см от поверхности почвы в момент ее максимального нарастания. Полученная сырая надземная масса взвешивалась.

Микрополевой опыт. Для изучения возможности фиторемедиации загрязненных нефтью почв с помощью культуры сорго на опытном поле ВНИИБЗР на черноземе выщелоченном в 2004 году был заложен микрополевой опыт.

Схема микрополевого опыта фиторемедиации чернозема выщелоченного под культурой сорго:

1. Незагрязненная почва (без сорго, контроль);
2. Незагрязненная почва;
3. Загрязненная легкой нефтью почва (без сорго);
4. Загрязненная легкой нефтью почва.

В данном опыте загрязнение осуществлялось легким типом нефти в дозе 10 г/кг почвы в слое 0-20 см.

Общая площадь делянки 6 м² (2×3 м), учетная– 4,16 м² (1,6×2,6 м). Расположение делянок систематическое. Повторность четырехкратная. В опыте использовалась культура сорго веничного, сорт Венста. Посев сорго был произведен во второй декаде июня на глубину 5-6 см широкорядным способом. На каждой опытной делянке 3 ряда (междурядье 70 см).

Трижды за вегетацию (в конце июня, начале сентября и в конце октября) был произведен отбор образцов и выполнены в двукратной повторности следующие виды анализов: содержание нефтепродуктов методом ИК–спектрометрии; рН водной суспензии потенциметрически; содержание нитратного азота ионометрически и подвижного фосфора по Чирикову.

Уборка сорго проводилась вручную в момент полного созревания. В собранном урожае учитывались: надземная масса, высота растений, масса и длины метелки.

Характеристика почв, входящих в объекты исследований. Перед закладкой опытов для характеристики изучаемых почв на территории исследований были заложены основные разрезы. Из всех генетических горизонтов были отобраны образцы и выполнены следующие анализы: гранулометрический состав по Качинскому, плотность сложения с помощью бура, плотность твердой фазы пикнометрически, максимальная гигроскопичность (МГ) адсорбционным методом, наименьшая влагоемкость по Кабаеву, порозность общая, полная влагоемкость и влажность завядания – расчетным методом, гумус по Тюрину в модификации Симакова, сумма поглощенных оснований по Каппену-Гильковицу и трилонометрически, гидролитическая кислотность по Каппену, емкость катионного обмена и степень насыщенности почв основаниями – расчетным методом, рН водной и солевой суспензии потенциметрически.

Все аналитические работы выполнялись согласно ГОСТ 26 483-85, ГОСТ 26 423-85 и ГОСТ 26 213-91.

Статистическая обработка всех полученных результатов исследований проведена дисперсионным методом по Б.А. Доспехову (1985 г.).

Характеристика изучавшихся типов нефти. В опытах использовалась нефть Анастасиевско-Троицкого месторождения. Классификация нефти по

плотности предполагает деление ее на легкую (с плотностью менее $0,9 \text{ г/см}^3$) и тяжелую (более $0,9 \text{ г/см}^3$).

Изучаемые типы нефти в своем составе имеют большое количество углеводородов с различной длиной цепи. В состав легкой нефти входят низкомолекулярные ароматические компоненты с кислородными связями, тяжелой – полициклические ароматические углеводороды и смолисто-асфальтеновые соединения.

3. Природные условия района исследований

Территория исследований по географическому положению и в геоморфологическом отношении входит в область северных склонов и западной оконечности большого Кавказа, Азово-Кубанскую низменность и Кубанскую дельту Западного Предкавказья.

Наиболее характерные черты климата региона определяются умеренной континентальностью. Среднегодовое количество осадков увеличивается по территории с севера на юг и составляет от 500 до 713 мм. Недостаточное количество осадков в сочетании с высокими температурами в равнинных районах определяют сухость воздуха и почвы, это вызывает большую повторяемость засух и суховеев. В целом, климат района исследований является благоприятным для выращивания зональных сельскохозяйственных культур.

Почвообразующими породами для черноземов и серых лесных почв исследуемой территории являются лессовидные глины и суглинки, встречаются также плотные древние аллювиально-делювиальные глины, характеризующиеся значительной мощностью, хорошими физическими свойствами, значительными запасами фосфора, калия и других элементов зольного питания растений. Аллювиальные отложения различного гранулометрического состава послужили почвообразующими породами для луговых почв.

4. Характеристика почвенного покрова и растительности территории исследований

Объектами исследований на Азово-Кубанской низменности являлись черноземы выщелоченные и обыкновенные; темно-серая лесная почва Кубанской наклонной равнины и луговая почва Кубанской пойменной дельты.

Чернозем выщелоченный слабогумусный сверхмощный легкоглинистый опытного поля ВНИИБЗР имеет вполне удовлетворительное состояние структуры. В пределах гумусового горизонта плотность сложения находится в пределах $1,20-1,39 \text{ г/см}^3$, а общая порозность от 45,9 до 51,8%. Емкость катионного обмена в гумусовом горизонте составляет 41,8-48,0 мг-экв. на 100 г почвы, реакция почвенной среды в верхних горизонтах слабокислая и нейтральная (pH_{H_2O} 6,8-6,9). Чернозем относится к слабогумусным видам, так как содержание гумуса в пахотном слое составляет 3,5%. Запасы гумуса в гумусовом горизонте составляют 584,7 т/га. Исследуемые почвы

характеризуются высоким содержанием подвижного фосфора и очень высоким – обменного калия.

В целом чернозем выщелоченный исследуемого участка обладает благоприятными физическими и физико-химическими свойствами, гранулометрическим и структурным составом и не препятствует возделыванию зональных сельскохозяйственных культур.

Чернозем обыкновенный малогумусный сверхмощный легкоглинистый Ленинградского района также имеет хорошую структуру и водопрочность. Содержание гумуса в пахотном горизонте составляет 4,6% и с глубиной постепенно уменьшается. Содержание подвижного фосфора в верхнем слое в доступной для растений форме низкое и среднее, обменного калия – высокое. Реакция почвенного раствора по профилю колеблется от слабо- до сильнощелочной (pH_{H_2O} 7,8-8,4). Описываемые черноземы обладают высокой поглотительной способностью. Сумма поглощенных оснований в горизонте A_d составляет 33,7-38,7 мг-экв/100г почвы, причем 70-90% от суммы приходится на долю поглощенного кальция. Таким образом, черноземы обыкновенные обладают благоприятными агрохимическими и водно-физическими свойствами, гранулометрическим и структурным составом и пригодны под все сельскохозяйственные культуры.

Темно-серая лесная глинистая почва Апшеронского района Кубанской наклонной равнины характеризуется удовлетворительными водно-физическими свойствами, имеет высокое содержание (в верхнем горизонте 4,5%) и запасы гумуса, которые постепенно уменьшаются с глубиной. В составе поглощенных катионов преобладает кальций. Реакция почвенной среды от кислой ($pH_{КС1}$ 5,2) в горизонте A_0 , до нейтральной в почвообразующей породе. Величина гидролитической кислотности в верхнем горизонте у описываемой почвы составляет 3,5 мг-экв. на 100 г почвы и снижается вниз по профилю. Таким образом, темно-серая лесная почва Апшеронского района характеризуется благоприятными агрохимическими и удовлетворительными водно-физическими свойствами.

Исследуемая луговая насыщенная глубоко слабозасоленная маломощная малогумусная тяжелосуглинистая почва Кубанской пойменной дельты имеет уплотненное сложение, плотность сложения составляет 1,25-1,40 г/см³, общая порозность 48,8-53,2 %. По содержанию гумуса в верхних горизонтах луговые почвы относятся к малогумусным видам (4,2%). Поглотительная способность относительно высокая, особенно в верхнем горизонте (до 32,5 мг-экв. на 100 г почвы). В составе поглощенных катионов преобладает кальций. Реакция почвенной среды по профилю исследуемых почв средне- и сильнощелочная. Луговые почвы относятся к глубоко слабозасоленным. Сумма солей в нижних горизонтах составляет 0,126%, тип засоления – хлоридно-сульфатный. Почвы не солонцеваты, содержание поглощенного натрия не превышает 5% от суммы поглощенных оснований. В целом луговые насыщенные глубоко слабозасоленные почвы обладают удовлетворительными агрохимическими и водно-физическими свойствами и имеют довольно высокое потенциальное плодородие.

Исследования флористического состава региона показали, что в районах нефтедобычи загрязнение почв приводит к изменению видового состава и структуры естественных фитоценозов. Семейство сложноцветных в условиях нефтяного загрязнения показало наибольшее видовое разнообразие. Широко представлены также семейства бобовых на серых лесных почвах и рогозовых – на почвах лугового типа.

5. Устойчивость полевых культур в стрессовых условиях нефтяного загрязнения

Хотя механизмы очистки почв от углеводородов нефти до конца не изучены, уже сейчас стало очевидным, что способность различных растений произрастать в условиях нефтяного загрязнения неодинакова. Выявление и изучение растений, способных не только произрастать на нефтезагрязненных почвах, но и способствовать восстановлению – один из важнейших аспектов фиторемедиации почв.

По результатам лабораторно-вегетационных опытов для анализа данных по накоплению растениями надземной биомассы на различных почвах в условиях нефтяного загрязнения был использован показатель депрессии, который выражает снижение массы растений в процентах по отношению к контролю. С увеличением концентрации нефти на всех исследуемых почвах происходит значительное снижение надземной фитомассы, о чем свидетельствовал показатель депрессии, доходивший у отдельных культур до 80-90% при высокой степени загрязнения почвы (40 г/кг почвы). Особенно явно данная закономерность проявилась на темно-серой лесной почве, и меньше всего – на черноземе выщелоченном.

Легкая нефть во всех вариантах опыта проявила более высокую токсичность по сравнению с тяжелой. Вероятно, это связано с наличием в ее составе низкомолекулярных летучих соединений, которые оказывают токсическое влияние на рост и развитие растений именно в начальный период вегетации. В целом ряде случаев имеет место заметное увеличение фитомассы тест-культур при содержании нефтезагрязнений в почве до 10 г/кг почвы. В ряде случаев при внесении невысоких доз нефти на фоне применения удобрений проявлялась стимуляция роста растений до 26,0% (бобы на черноземе). На двух других почвах это явление также прослеживалось, особенно у люцерны и костреца (на луговой почве); а также у райграса и озимой пшеницы (на темно-серой лесной почве).

Наиболее устойчивы вне зависимости от типовых особенностей почв и нефти были: бобы кормовые, соя, сорго.

6. Фиторемедиация чернозёмов выщелоченных, загрязненных нефтью, с помощью сорговых культур

Значительное фитомелиоративное воздействие культуры сорго на почвы с развивающимися процессами физической деградации широко известно (А.П. Царев, 2001; В.С. Белоусов, 2006), однако не достаточно изучено. Культура сорго показала высокую устойчивость к нефтяному загрязнению на

черноземных почвах в условиях проведенного лабораторно-вегетационного опыта. Это обусловило выбор данной культуры для дальнейшего изучения ее как фитомелиоранта в условиях микрополевого опыта.

6.1. Изменение содержания нефти в почве под культурой сорго

В проводимом микрополевым опыте дважды за вегетацию культуры сорго определялось содержание нефтепродуктов в слое 0-20 см чернозема выщелоченного (табл. 3). Из полученных данных видно, что содержание нефтепродуктов уже к середине вегетации сорго было на 38% меньше, чем на варианте без его посева. К концу вегетации под культурой сорго количество нефтепродуктов в почве уменьшилось на 48-50% по сравнению с первоначальным, хотя и не достигло фонового уровня. Снижение содержания нефтепродуктов на варианте без посева сорго было менее значительным и составило 35%.

Предварительный итог проведенного фитомелиоративного эффекта культуры сорго показал, что данная культура способна продуктивно произрастать в условиях нефтяного загрязнения. При этом в течение первого года вегетации наблюдается значительное снижение содержания нефтепродуктов. Выше сказанное позволяет рекомендовать данную культуру для проведения фиторемедиации нефтезагрязненных почв.

Таблица 3 – Изменение валового содержания нефтепродуктов в слое 0 – 20 см чернозема выщелоченного при выращивании культуры сорго, 2004 г.

Вариант опыта	Содержание нефтепродуктов, г/кг почвы	
	в середине вегетации	после уборки урожая
Загрязненная легкой нефтью почва (без сорго)	8,25	6,50
Загрязненная легкой нефтью почва	6,00	4,25

6.2. Фиторемедиация чернозема выщелоченного в условиях нефтяного загрязнения и продуктивность сорго

Оценивая динамику агрохимических свойств чернозема выщелоченного в течение всего вегетационного периода (табл. 4), можно констатировать, что в испытываемой концентрации нефтяное загрязнение практически не изменило реакцию почвенной среды, которая была близка к нейтральной.

Нефтяное загрязнение не сказалось и на количестве доступных фосфатов, содержание которых было на уровне высокой обеспеченности.

Наиболее существенным было влияние нефтяного загрязнения на содержание нитратного азота. В варианте с внесением нефти под культуру сорго в течение всего вегетационного периода нитратный азот в верхнем горизонте практически отсутствовал, и обеспеченность им почв была очень

низкой. Вероятно, этому способствовало резкое угнетение активности нитрификаторов токсическим действием нефти, а также поглощение их растениями. Однако о полном подавлении процессов нитрификации говорить не приходится, поскольку в небольших количествах азот присутствовал на нефтезагрязненной почве, не покрытой растительностью. Следовательно, необходимо проведение подкормок для обеспечения растений этой формой азота.

Таблица 4 – Изменение агрохимических свойств в слое 0-20 см загрязненного легкой нефтью чернозема выщелоченного в зависимости от фиторемедиации культурой сорго (микрополевой опыт), 2004 г.

Вариант	pH _{H2O}			N-NO ₃			P ₂ O ₅ (подв.)		
	мг/ 100 г почвы								
	15.06	23.08	08.10	15.06	23.08	08.10	15.06	23.08	08.10
1. Не загрязненная почва (без сорго)	6,3	6,5	6,5	22,5	11,1	6,8	45,1	43,4	39,7
2. Не загрязненная почва	6,4	6,4	6,4	14,8	2,4	1,1	39,6	37,6	33,1
3. Загрязненная почва (без сорго)	6,5	6,3	6,3	5,8	4,7	1,8	42,5	46,5	39,0
4. Загрязненная почва	6,2	6,4	6,4	0,6	1,9	1,3	40,8	40,9	36,2
НСР ₀₅	0,3	0,2	0,2	7,5	5,3	3,1	9,3	3,5	3,4

Результаты учета биометрических измерений и урожайности растений приведены в таблице 5. Из представленных данных видно, что урожайность зеленой массы на варианте с внесением нефти была ниже по сравнению с вариантом без нее, однако разница на 5% уровне значимости была несущественной, что отмечается и для биометрических показателей. Исключением являлся показатель длины метелки, где на варианте нефтяного загрязнения он был выше на 14,3%.

Таблица 5 – Урожайность и биометрические показатели культуры сорго на черноземе выщелоченном в зависимости от загрязнения нефтью, 2004 г.

Вариант	Высота растений	Длина метелки	Масса зерна в метелке, г	Урожайность зеленой массы, т/га
	см			
2. Не загрязненная почва	256,3	46,6	90,7	65,4
4. Загрязненная почва	247,9	53,3	102,3	63,8
НСР ₀₅	11,1	3,7	21,0	4,3

Таким образом, способность культуры сорго произрастать на загрязненном нефтью черноземе выщелоченном, сохраняя высокую биологическую продуктивность, а также способствовать снижению

содержания нефти в почве, свидетельствует о перспективности данной культуры для фиторемедиации.

7. Изменение свойств нефтезагрязненных почв под агрофитоценозами

7.1. Влияние агрофитоценозов на содержание нефти в почвах

В процессе проведения исследований в вегетационном опыте осуществлялся мониторинг содержания в почвах нефтепродуктов.

Поскольку в рассматриваемых опытах нефтепродукты вносились в почву искусственно в строго фиксированных дозах, начальное содержание нефти было определено. Общеизвестным является тот факт, что даже при отсутствии аварийных ситуаций и разливов на поверхности почвы, в местах добычи и транспортировки нефти в почвенном покрове обязательно имеется фоновое содержание нефтепродуктов. В нашем опыте на различных почвах оно составило от 0,15 до 0,21 г/кг.

Результаты исследований показали, что к концу вегетации растений в первый год исследований снижение содержания нефти в почвах составило 29-35% от первоначального (табл. 6).

К концу вегетации второго года исследований содержание в почвах углеводородов нефти снизилось еще на 30-34% от первоначального и составило таким образом 59-69 % от исходного загрязнения. По окончании третьей и четвертой вегетации исследуемых агрофитоценозов снижение содержания нефти в почвах происходило, но уже не столь значительное, и составило 10-15% от первоначального.

Таким образом, после проведения фиторемедиации с использованием агрофитоценозов райграс + клевер и овсяница + ежа по окончании четырех вегетационных периодов общее содержание нефтепродуктов в зависимости от типа почвы снизилось на 69-84%.

Полученные данные показали, что из всех исследуемых почв наибольшей способностью к самоочищению отличается чернозем обыкновенный.

Использование агрофитоценозов на луговой почве также способствовало значительному снижению содержания нефтепродуктов. Темно-серая лесная почва обладает наименьшей способностью к фиторемедиации. Содержание нефти на ней к четвертому году исследований было больше, чем на черноземе обыкновенном и луговой почве.

Следует отметить, что на всех исследуемых почвах разложение легкой нефти идет быстрее. Использование в качестве фитомелиоранта сочетания трав райграс+клевер (злакобобовое сообщество) способствовало несколько более эффективному процессу восстановления почв, что согласуется с данными других исследователей. Таким образом, значительное снижение содержания нефтепродуктов в почвах подтверждает фитомелиоративный эффект исследуемых агрофитоценозов.

Таблица 6 – Изменение валового содержания нефтепродуктов в слое 0–20 см в загрязненных нефтью почвах под различными агрофитоценозами (вегетационный опыт), г/кг почвы

Вариант опыта	райграс+клевер				овсяница+ежа			
	2005	2006	2007	2008	2005	2006	2007	2008
Чернозем обыкновенный								
1. Незагрязненная почва (контроль).	0,21	0,20	0,19	0,19	0,19	0,18	0,20	0,18
2. Загрязнение легкой нефтью 10 г/кг почвы.	6,11	3,48	2,79	2,37	6,29	3,71	3,04	2,65
3. Загрязнение легкой нефтью 20 г/кг почвы	13,47	7,54	6,03	5,13	13,85	8,03	6,67	5,60
4. Загрязнение тяжелой нефтью 10 г/кг почвы.	6,65	3,79	3,07	2,55	6,94	4,03	3,18	2,70
5. Загрязнение тяжелой нефтью 20 г/кг почвы.	14,31	8,87	7,36	5,96	14,70	9,41	8,00	6,80
Темно-серая лесная почва								
1. Незагрязненная почва (контроль).	0,21	0,22	0,20	0,19	0,23	0,23	0,22	0,21
2. Загрязнение легкой нефтью 10 г/кг почвы.	6,45	3,81	3,12	2,72	6,55	4,06	3,37	2,86
3. Загрязнение легкой нефтью 20 г/кг почвы	13,91	8,07	6,70	5,63	14,10	8,46	7,19	6,19
4. Загрязнение тяжелой нефтью 10 г/кг почвы.	6,99	4,05	3,20	2,72	7,28	4,30	3,52	2,96
5. Загрязнение тяжелой нефтью 20 г/кг почвы.	14,86	9,51	8,08	6,87	15,45	10,66	9,49	8,26
Луговая почва								
1. Незагрязненная почва (контроль).	0,18	0,17	0,15	0,16	0,20	0,19	0,19	0,18
2. Загрязнение легкой нефтью 10 г/кг почвы.	6,39	3,45	2,86	2,49	6,57	3,68	3,09	2,75
3. Загрязнение легкой нефтью 20 г/кг почвы	13,99	8,12	6,74	5,52	14,38	8,63	7,33	6,16
4. Загрязнение тяжелой нефтью 10 г/кг почвы.	7,07	4,10	3,28	2,69	7,36	4,34	3,60	3,03
5. Загрязнение тяжелой нефтью 20 г/кг почвы.	15,03	10,07	8,86	7,53	15,22	10,50	9,35	8,13

7.2. Изменение свойств загрязненных почв при фиторемедиации

При загрязнении нефтью происходят значительные изменения агрохимических свойств почв. В первый год после внесения нефти на всех исследуемых почвах наблюдалось увеличение органического вещества на 1–3% по сравнению с контролем за счет внесения углерода нефти.

На черноземе обыкновенном агрофитоценоз райграс+клевер способствовал несколько большему накоплению органического вещества (табл. 7). Однако через четыре года содержание органического вещества под обоими агрофитоценозами снова снизилось и практически вернулось к первоначальному.

Чернозем обыкновенный обладает значительной буферностью – реакция почвенной среды практически не изменялась. Однако на темно-серой лесной и луговой почвах, не обладающих таким свойством, произошли изменения в реакции почвенной среды. Действие нефтепродуктов обуславливало подщелачивание почвенного раствора, хотя статистическая обработка данных показала, что отличия эти несущественны.

Таблица 7 – Изменение агрохимических свойства и активность уреазы в загрязненном нефтью чернозем обыкновенном в различных агрофитоценозах (числитель – агрофитоценоз «райграс+клевер»; знаменатель – «овсяница+ежа»)

Вариант	Органическое вещество, %		pH _{NH2O}		N-NO ₃		P ₂ O ₅ подв.		Активность уреазы N-NH ₃ , мг/100 г почвы	
					мг/кг почвы					
	2005	2008	2005	2008	2005	2008	2005	2008	2005	2008
1. Незагрязненная почва (контроль)	<u>3,92</u>	<u>3,91</u>	<u>8,66</u>	<u>8,45</u>	<u>22,0</u>	<u>32,5</u>	<u>109,8</u>	<u>54,3</u>	<u>18,0</u>	<u>20,8</u>
	3,44	3,52	8,65	8,60	30,0	27,5	112,3	60,0	18,0	20,0
2. Загрязнение легкой нефтью 10 г/кг почвы.	<u>4,43</u>	<u>3,86</u>	<u>8,37</u>	<u>8,46</u>	<u>53,2</u>	<u>20,4</u>	<u>89,4</u>	<u>62,8</u>	не обн.	<u>20,8</u>
	4,15	3,80	8,48	8,45	28,0	24,0	114,8	54,3		17,4
3. Загрязнение легкой нефтью 20 г/кг почвы	<u>5,13</u>	<u>3,60</u>	<u>8,45</u>	<u>8,38</u>	<u>52,0</u>	<u>25,0</u>	<u>113,4</u>	<u>54,3</u>	<u>26,0</u>	<u>23,5</u>
	4,39	3,83	8,50	8,35	27,0	22,5	122,5	62,8	28,0	23,5
4. Загрязнение тяжелой нефтью 10 г/кг почвы.	<u>4,86</u>	<u>3,74</u>	<u>8,62</u>	<u>8,55</u>	<u>55,2</u>	<u>20,0</u>	<u>127,7</u>	<u>52,8</u>	не обн.	<u>20,0</u>
	4,80	3,96	8,40	8,40	39,0	27,5	107,3	48,6		19,13
5. Загрязнение тяжелой нефтью 20 г/кг почвы	<u>5,16</u>	<u>4,19</u>	<u>8,46</u>	<u>8,48</u>	<u>50,8</u>	<u>23,0</u>	<u>122,5</u>	<u>54,3</u>	<u>15,0</u>	<u>19,1</u>
	5,65	3,72	8,35	8,45	53,0	22,5	122,5	51,4	11,0	20,9
НСР ₀₅	<u>0,17</u>	<u>0,12</u>	<u>0,32</u>	<u>0,33</u>	–	–	–	–	–	–
	0,13	0,13	0,36	0,25	–	–	–	–	–	–

Углеводороды нефти оказывают сильное влияние на процесс нитрификации, который ингибируется любой концентрацией нефти. В условиях опыта действие нефти на темно-серой лесной и луговой проявилось в сильнейшем угнетении активности нитрификаторов.

На темно-серой лесной почве содержание нитратного азота с первого года исследований находилось ниже уровня определяемости (табл. 8).

На черноземе обыкновенном тенденция была обратной – внесение нефти способствовало повышению содержания нитратного азота, что связано с действием неучтенных в опыте факторов. Однако к 2008 году по отношению к контролю нитрификационная способность чернозема все же угнеталась.

Нефтяное загрязнение темно-серой лесной почвы практически не сказалось на обеспеченности ее подвижным фосфором и даже способствовало некоторому повышению этого показателя.

Таблица 8 – Изменение агрохимических свойства и активность уреазы в загрязненной нефтью темно-серой лесной почве в различных агрофитоценозах (числитель – агрофитоценоз «райграс+клевер»; знаменатель – «овсяница+ежа»)

Вариант	Органическое вещество, %		pH _{KCl}		N-NO ₃		P ₂ O ₅ подв.		Активность уреазы N-NH ₃ , мг/100г почвы	
					мг/кг почвы					
	2005	2008	2005	2008	2005	2008	2005	2008	2005	2008
1. Незагрязненная почва (контроль)	<u>4,50</u>	<u>3,65</u>	<u>5,00</u>	<u>5,65</u>	<u>34,8</u>	<u>17,5</u>	<u>49,4</u>	<u>42,3</u>	<u>46,0</u>	<u>43,4</u>
	4,10	2,19	4,80	5,30	15,6	17,8	49,8	30,6	43,0	24,3
2. Загрязнение легкой нефтью 10 г/кг почвы.	<u>4,70</u>	<u>2,31</u>	<u>5,80</u>	<u>6,50</u>	не обн.	не обн.	<u>16,8</u>	<u>34,3</u>	не обн.	<u>18,7</u>
	5,18	2,26	5,95	5,90	не обн.	не обн.	15,2	37,1	не обн.	0,18
3. Загрязнение легкой нефтью 20 г/кг почвы	<u>5,08</u>	<u>2,67</u>	<u>6,20</u>	<u>6,80</u>	не обн.	не обн.	<u>21,6</u>	<u>41,4</u>	<u>22,0</u>	<u>36,5</u>
	5,85	1,98	6,40	6,70	не обн.	не обн.	28,9	37,1	27,0	41,8
4. Загрязнение тяжелой нефтью 10 г/кг почвы.	<u>6,05</u>	<u>4,03</u>	<u>6,70</u>	<u>6,85</u>	не обн.	не обн.	<u>18,4</u>	<u>34,1</u>	не обн.	<u>38,3</u>
	5,15	3,07	5,85	6,05	не обн.	не обн.	27,3	37,4	не обн.	17,4
5. Загрязнение тяжелой нефтью 20 г/кг почвы	<u>6,08</u>	<u>3,40</u>	<u>6,95</u>	<u>6,45</u>	не обн.	не обн.	<u>20,6</u>	<u>34,3</u>	<u>33,0</u>	<u>20,0</u>
	6,29	3,14	6,30	6,45	не обн.	не обн.	25,5	28,6	27,0	0,15
НСР ₀₅	<u>0,11</u>	<u>0,15</u>	<u>0,31</u>	<u>0,15</u>	–	–	–	–	–	–
	0,15	0,17	0,34	0,39	–	–	–	–	–	–

На черноземе обыкновенном и луговой почве (табл. 9) содержание фосфора к четвертому году исследований снизилось в 1,5-2,0 раза, но даже после этого обеспеченность почв этим элементом питания оставалась высокой.

Оценка активности фермента уреазы, который определяет потенциальную способность почвы к осуществлению различных биохимических превращений, показала, что в первый год нефтяное загрязнение снизило активность уреазы на всех вариантах опыта исследуемых почв. Обеспеченность почв на всех вариантах была низкой и очень низкой. При этом, в отличие от нитрификационной способности, полного подавления активности фермента не наблюдалось. К четвертому году активность уреазы существенно возросла и, хотя она в целом не достигла активности на контрольных вариантах, почвы имели в целом среднюю обеспеченность этой формой азота.

Таким образом, проведенные исследования показали, что нефтяное загрязнение почв оказывает существенное влияние на их агрохимические свойства, и в большей степени на нитрификационную способность. Применение фиторемедиации почв с помощью агрофитоценозов в целом способствовало стабилизации агрохимических показателей, о чем свидетельствует направленный сдвиг качественных параметров по истечении четырех лет.

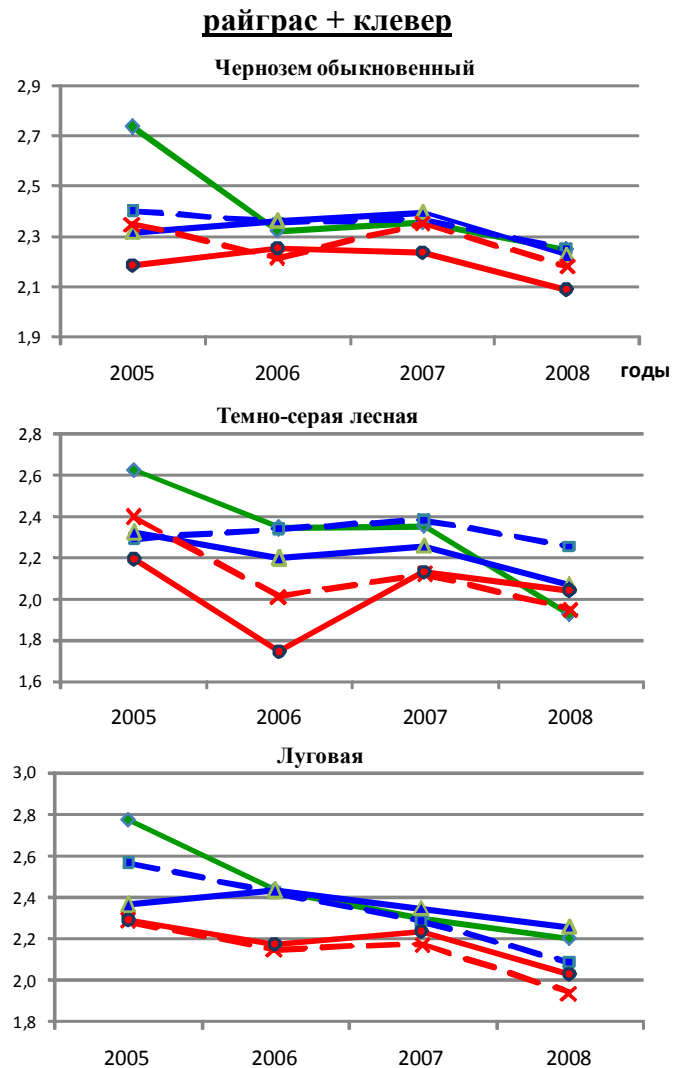
Таблица 9 – Изменение агрохимических свойства и активность уреазы в загрязненной нефтью луговой почве в различных агрофитоценозах (числитель – агрофитоценоз «райграс+клевер»; знаменатель – «овсяница+ежа»)

Вариант	Органическое вещество, %		pH _{H2O}		N-NO ₃		P ₂ O ₅ подв.		Активность уреазы N-NH ₃ , мг/100 г почвы	
	мг/кг почвы									
	2005	2008	2005	2008	2005	2008	2005	2008	2005	2008
1. Незагрязненная почва (контроль)	<u>1,47</u>	<u>2,02</u>	<u>8,70</u>	<u>8,55</u>	<u>84,0</u>	<u>37,5</u>	<u>67,5</u>	<u>28,6</u>	<u>17,0</u>	<u>21,80</u>
	1,81	1,96	8,65	8,65	88,2	25,0	79,1	38,6	15,0	24,80
2. Загрязнение легкой нефтью 10 г/кг почвы.	<u>2,31</u>	<u>1,86</u>	<u>8,50</u>	<u>8,60</u>	<u>22,5</u>	<u>18,0</u>	<u>65,0</u>	<u>31,4</u>	не обн.	<u>23,50</u>
	2,28	2,14	8,50	8,70	42,0	не обн.	53,4	31,4		20,80
3. Загрязнение легкой нефтью 20 г/кг почвы	<u>2,99</u>	<u>1,90</u>	<u>8,55</u>	<u>8,70</u>	<u>19,2</u>	не обн.	<u>90,6</u>	<u>40,0</u>	<u>28,0</u>	<u>19,56</u>
	3,06	2,12	8,60	8,50	38,0		99,5	31,4	26,0	22,60
4. Загрязнение тяжелой нефтью 10 г/кг почвы.	<u>3,84</u>	<u>2,03</u>	<u>8,60</u>	<u>8,55</u>	<u>15,2</u>	не обн.	<u>66,0</u>	<u>40,0</u>	не обн.	<u>21,03</u>
	2,73	2,46	8,55	8,55	30,8		14,0	75,3		40,0
5. Загрязнение тяжелой нефтью 20 г/кг почвы	<u>4,91</u>	<u>3,02</u>	<u>8,65</u>	<u>8,65</u>	<u>12,0</u>	<u>15,0</u>	<u>71,5</u>	<u>50,0</u>	<u>29,0</u>	<u>23,04</u>
	3,18	2,43	8,55	8,50	27,2	17,5	91,9	34,3	22,0	22,60
НСР ₀₅	<u>0,12</u>	<u>0,13</u>	<u>0,21</u>	<u>0,21</u>	–	–	–	–	–	–
	0,10	0,14	0,20	0,15	–	–	–	–	–	–

Существенных различий между влиянием исследуемых агрофитоценозов не отмечено. При этом разные типы почв не одинаково восприимчивы к приемам фиторемедиации. Наибольшей устойчивостью в условиях нефтяного загрязнения отличается чернозем, а наименьшей способностью к восстановлению обладает темно-серая лесная почва.

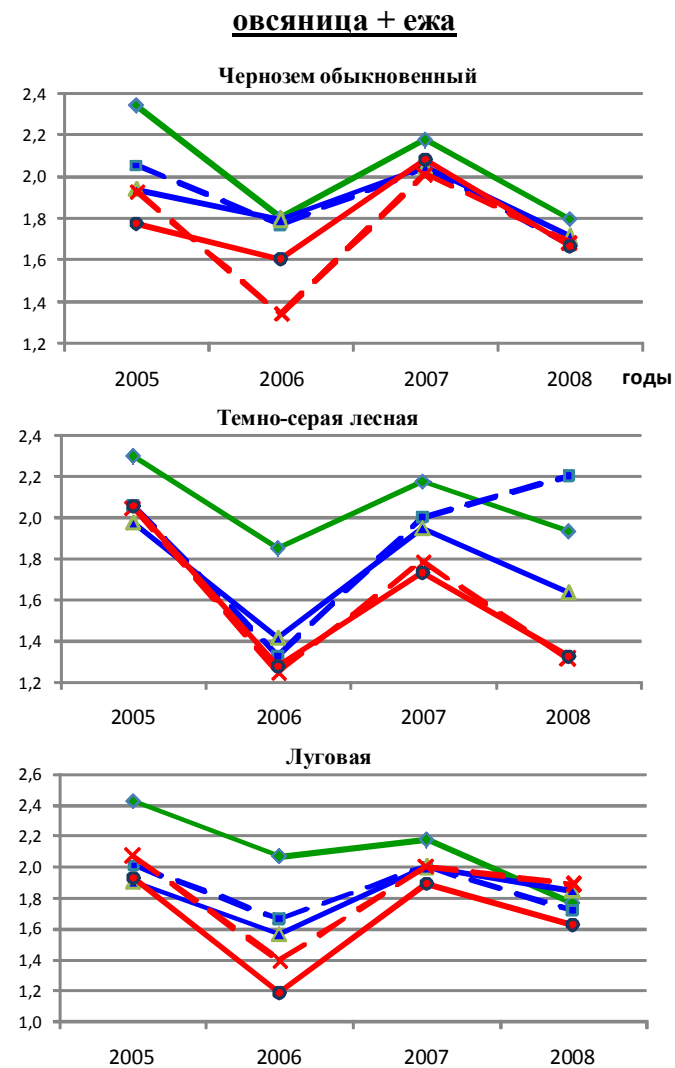
7.3. Продуктивность агрофитоценозов в зависимости от фиторемедиации загрязненных нефтью почв

Изучавшиеся агрофитоценозы обладают значительной биогенностью, но типовые различия свойств почв и нефти обуславливали различия в эффективности фиторемедиации. В первый год исследований внесение нефти способствовало снижению продуктивности обоих фитоценозов (рис. 1) на 38-73% по отношению к контролю (незагрязненная почва), причем наибольшее угнетение проявилось на темно-серой лесной почве (41-63%). К четвертому году исследований продуктивность агрофитоценозов была на уровне контроля и в ряде случаев превышала его. Статистическая обработка результатов исследований показала, что влияние изучаемых доз нефти на продуктивность обоих агрофитоценозов было на черноземе обыкновенном не существенно ($F_{\text{факт.}} < F_{\text{теор.}}$) уже на второй год, на луговой почве – на четвертый год.



Условные обозначения:

- ◆— без нефти (контроль)
- легкая нефть 10 г/кг почвы
- ▲— легкая нефть 20 г/кг
- ×— тяжелая нефть 10 г/кг
- тяжелая нефть 20 г/кг



Примечание: ось абсцисс – год; ось ординат – натуральный логарифм среднего сырого веса растений, г

Рисунок 1 – Влияние нефтяного загрязнения на продуктивность агрофитоценозов

Высокая токсичность тяжелой нефти на темно-серой лесной почве в большей степени проявилась на агрофитоценозе овсяница + ежа. В целом наиболее высокую эффективность в освоении токсичированной среды показал злакобобовый фитоценоз, состоящий из райграса и клевера.

Следует отметить, что на всех вариантах опыта фитотоксичность тяжелой нефти была значительно выше, особенно на темно-серой лесной почве – снижение продуктивности достигало 70% даже на четвертый год исследований. Снижение фитомассы агрофитоценозов находилось в прямой зависимости от внесенной дозы нефти.

Таким образом, данные учета надземной массы растений свидетельствуют, что в границах испытываемых концентраций нефтяного загрязнения изученные агрофитоценозы показали экологическую устойчивость. Применение злакобобового агрофитоценоза райграс + клевер способствовало более эффективной фиторемедиации загрязненных почв.

ВЫВОДЫ

1. Почвенный покров Северо-Западного Кавказа характеризуется разнообразием и различным потенциальным плодородием зональных почв.

2. Загрязнение почв различными типами нефти приводит к снижению их плодородия. Наибольшей экологической устойчивостью к загрязнению нефтью обладают черноземы Азово-Кубанской низменности, затем – луговые почвы Кубанской пойменной дельты, наименьшей способностью и восстановлению плодородия – серые лесные почвы Кубанской наклонной равнины.

3. Для большинства полевых культур «пороговой» концентрацией нефти в почве, при которой проявлялось сильное угнетение (до 80-90%) была доза 40 г/кг почвы. Наиболее высоким потенциалом для фиторемедиации загрязненных нефтью почв обладают соя, бобы кормовые и сорго.

4. Способность культуры сорго произрастать на загрязненном нефтью черноземе выщелоченном, сохраняя высокую продуктивность, а также способствовать значительному (до 50%) снижению содержания нефти в почве, свидетельствует о перспективности данной культуры для фиторемедиации.

5. Использование для фиторемедиации нефтезагрязненных почв агрофитоценозов «райграс многоукосный + клевер луговой» и «овсяница луговая + ежа сборная» способствовало снижению содержания нефти в зависимости от типа почвы на 69-84% от первоначального, восстановлению их плодородия и повышению продуктивности.

6. В границах испытываемых концентраций нефтяного загрязнения изученные агрофитоценозы показали экологическую устойчивость. Их продуктивность на разных типах почв уже ко второму– третьему году вегетации значительно повысилась и достигла уровня продуктивности на незагрязненных почвах.

ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВУ

Для развития агроландшафтного земледелия в условиях нефтяного загрязнения почвенного покрова предлагается проведение технологических приемов фиторемедиации с учетом почвенно-климатических особенностей региона и степени загрязнения. Проведенные исследования позволяют рекомендовать природоохранным организациям региона проводить фиторемедиацию загрязненных нефтью почв с применением агрофитоценозов райграс + клевер и овсяница + ежа.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в изданиях, рекомендуемых ВАК:

1. Белоусов В.С. Оценка устойчивости сельскохозяйственных культур к загрязнению нефтью чернозема выщелоченного Западного Предкавказья / В.С. Белоусов, А.А. Швец // Тр. / КубГАУ. – Краснодар, 2009. – Вып. № 4 (19). – С. 133-135.

Статьи в других изданиях:

2. Швец А.А. Сорговые культуры в системе восстановления почв, загрязненных нефтепродуктами / А.А. Швец, В.С. Белоусов // Агротехнический метод защиты растений от вредных организмов: материалы третьей Всероссийской науч.-практ. конф. / КубГАУ. – Краснодар, 2005. – С. 207-208.
3. Швец А.А. Оценка биологического потенциала полевых культур как фитомелиорантов нефтезагрязненных почв / А.А. Швец, В.С. Белоусов // Молодые ученые – возрождению агропромышленного комплекса России: материалы Междунар науч.-практ. конф. молодых ученых / Брянская ГСХА. – Брянск, 2006. – С. 219-220.
4. Швец А.А. Оценка биологического потенциала полевых культур в качестве фитомелиорантов нефтезагрязненных почв / А.А. Швец, В.С. Белоусов // Научное обеспечение агропромышленного комплекса: материалы 8-ой региональной науч.-практ. конф. молодых ученых / КубГАУ. – Краснодар, 2006. – С. 129-130.
5. Швец А.А. Фиторемедиация почв / А.А. Швец // Ломоносов – 2007: материалы XIV Междунар. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых / МГУ им. М.В. Ломоносова. – М.: МАКС Пресс, 2007. – С. 85-86.
6. Белоусов В.С. Обоснование и разработка биотехнологических приемов реабилитации экологически неблагоприятных ландшафтов / В.С. Белоусов, А.А. Швец // Наука Кубани. – 2007, приложение. – С. 53-56.
7. Швец А.А. Оценка эффективности многокомпонентных посевов в фиторемедиации загрязненных нефтью почв / А.А. Швец, В.С. Белоусов // Научное обеспечение агропромышленного комплекса: материалы 1-ой Всероссийской науч.-практ. конф. молодых ученых / КубГАУ. – Краснодар, 2007. – С. 112-113.

8. Швец А.А. Фитомелиорация загрязненных нефтью почв / А.А. Швец, В.С. Белоусов // Биологическая защита растений, перспективы и роль в фитосанитарном оздоровлении агроценозов и получении экологически безопасной продукции: Материалы 5-й Междунар. конф. – Краснодар, 2008. – С. 438-440.
9. Швец А.А. Многокомпонентные посевы на почвах, загрязненных нефтью / А.А. Швец // Научное обеспечение агропромышленного комплекса: материалы 2-ой Всероссийской науч.-практ. конф. молодых ученых/ КубГАУ. – Краснодар, 2008. – С. 107-108.
10. Белоусов В.С. Пути восстановления плодородия почв, подверженных химической и биологической деградации в Западном Предкавказье / В.С. Белоусов, А.А. Швец // Энтузиасты аграрной науки / Тр. / КубГАУ. – Краснодар, 2009. – Вып. № 9. – С. 142-145.
11. Белоусов В.С. Биотехнологические приемы предотвращения деграционных процессов в почвах южных регионов России / В.С. Белоусов, А. А. Швец, Г. П. Зыкова, Н. В. Пачкина // Наука Кубани. – 2009. – № 2. –С. 40-46.