

На правах рукописи



**ПОЛЯНСКАВА Екатерина Александровна**

**ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СЕРЫХ ЛЕСНЫХ  
И ЧЕРНОЗЕМНЫХ ПОЧВ РАЗЛИЧНОЙ  
СТЕПЕНИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ НЕФТЬЮ**

**Специальность 03.02.08 – экология (биология)**

**АВТОРЕФЕРАТ**

**диссертации на соискание ученой степени  
кандидата биологических наук**

**Пенза – 2011**

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования “Пензенская государственная технологическая академия”, на кафедре “Биотехнологии и техноносферная безопасность”.

Научный руководитель: доктор биологических наук, доцент  
**Ефремова Сания Юнусовна.**

Официальные оппоненты: доктор биологических наук  
**Аканова Наталья Ивановна;**  
кандидат биологических наук  
**Княжнева Елена Владимировна.**

Ведущая организация: ФГОУ ВПО «Санкт-Петербургский  
государственный аграрный университет».

Защита диссертации состоится 23 декабря 2011 г. в 15 часов 30 минут на заседании диссертационного совета ДМ 212.337.02 при Пензенской государственной технологической академии по адресу: 440039, г. Пенза, пр. Байдукова / ул. Гагарина, д. 1а / 11, конференц-зал.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВПО “Пензенская государственная технологическая академия”.

Автореферат разослан «\_\_\_» ноября 2011 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета



М.И. Яхкинд

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** Почва является индикатором природных процессов, и ее состояние – результат длительного воздействия разнообразных источников загрязнения. Она в большей степени аккумулирует загрязнения, чем атмосфера и природные воды. Являясь неотъемлемой частью экосистемы, играет важную роль в поддержании устойчивости биосферы.

Главной особенностью современного развития почв является многостороннее антропогенное воздействие на почвообразовательный процесс. По экспертным оценкам, площадь загрязнения почвы в результате деятельности нефтедобывающих и транспортирующих предприятий на территории России достигает сотен тысяч гектаров. Нефть и продукты ее переработки, даже в небольших количествах, могут нанести значительный ущерб окружающей среде, а разливы нефти вследствие аварий на нефтепроводах оцениваются миллионами тонн.

Для оценки результативности того или иного воздействия на почву необходим выбор комплексного показателя, отражающего направленность изменений, происходящих в почве. В качестве такого фактора целесообразно использовать показатели биологической активности почв (Звягинцев, 1998; Вальков, Казеев, 2001; Макаров, 2003; Евдокимов, Мозгова, 2004; Свистова, 2004; Шаркова, 2010). В связи с этим актуальным является изучение влияния нефти на биологическое состояние почв в условиях антропогенного воздействия.

Следует особо подчеркнуть, что исследования по влиянию загрязнений окружающей среды продуктами переработки нефти в условиях лесостепи Среднего Поволжья, в настоящее время крайне ограничены, поэтому проблема создания комплекса методических рекомендаций для исследования экологического состояния биогеоценозов и разработка оценочных критериев степени деградации почв и методов их реабилитации является актуальной.

**Цель исследования** – выявление закономерностей влияния нефтяного загрязнения на эколого-биологические свойства серых лесных и черноземных почв, а также определение возможных приемов, снижающих его негативное воздействие.

Для достижения указанной цели были поставлены следующие задачи:

1. Дать экологическую оценку состояния серых лесных и черноземных почв изучаемого региона и установить степень их загрязнения нефтью.
2. Изучить закономерности изменений физико-химических свойств серых лесных и черноземных почв при нефтяном загрязнении.
3. Установить закономерности воздействия загрязнения нефтью на комплекс микроорганизмов, фитотоксичность, биологическую и ферментативную активность исследуемых почв.
4. Провести сравнительную оценку устойчивости серых лесных и черноземных почв к загрязнению нефтью.
5. Выявить биологические показатели, наиболее полно характеризующие экологическое состояние нефтезагрязненных почв для мониторинга, диагностики и индикации загрязнения нефтью почв и экосистем в целом.

6. Изучить влияние приемов реабилитации на биологическую активность серых лесных и черноземных почв с целью разработки методических рекомендаций для снижения последствий разлива нефти на исследуемых почвах.

**Основные положения, выносимые на защиту.**

- Зависимость содержания поллютантов в серых лесных и черноземных почвах от глубины проникновения, удаленности от источников загрязнения, таких как магистральный нефтепровод, АЗС, автомагистраль.
- Влияние воздействия различных доз нефтяного загрязнения на комплекс физико-химических свойств серых лесных и черноземных почв.
- Влияние воздействия различных доз нефтяного загрязнения на комплекс биологических свойств серых лесных и черноземных почв.
- Рекомендации по использованию показателей эколого-биологического состояния почв при оценке воздействия загрязнения окружающей среды нефтью, биомониторинге и биодиагностике.
- Способ стимулирования биологической активности нефтезагрязненной почвы комплексом мелиорантов (нитрофоска, активный ил, биопрепарат “Бациспектин”).

**Научная новизна.**

Впервые, в условиях Среднего Поволжья проведена комплексная экологическая оценка почв с целью изучения влияния нефтезагрязнения на эколого-биологические свойства почв и разработки научных основ их реабилитации.

Выявлено изменение всего комплекса физико-химических свойств серых лесных и черноземных почв при внесении различных доз загрязнения.

Проведено исследование динамики биологической активности почв в зависимости от различных уровней техногенного загрязнения нефтепродуктами. Установлены закономерности изменения под влиянием нефтяного загрязнения основных эколого-биологических свойств, таких как численность микроорганизмов, ферментативная активность, фитотоксичность.

Установлено, что ферментативная и микробиологическая активность могут быть использованы как диагностические показатели экологического состояния почв, испытывающих антропогенное воздействие. Дана сравнительная оценка устойчивости серых лесных и черноземных почв к загрязнению нефтью.

Предложены приемы снижения уровня негативного воздействия нефтью. Выявлено положительное влияние мелиорантов на микробиологическую и ферментативную активность почвы. Для санации нефтезагрязненных почв предложено использовать в комплексе активный ил и промышленный биопрепарат “Бациспектин”.

**Практическая значимость и реализация результатов исследований.**

Полученные результаты исследования позволяют прогнозировать ответные реакции и устойчивость почв к нефтяному загрязнению. Установлены уровни содержания нефтезагрязнения, свыше которых наблюдается снижение интенсив-

ности микробиологических процессов. Полученные данные могут использоваться при разработке предельных нагрузок на экосистему, в частности на почвы.

Результаты исследований рекомендуется учитывать при разработке способов оптимизации функционирования экосистем, находящихся в зоне влияния источников нефтяного загрязнения.

Предложенные тест-объекты (почва, комплекс микроорганизмов) могут применяться для оценки нефтяного загрязнения почв в условиях Среднего Поволжья.

Положения диссертационной работы внедрены и используются в учебном процессе на кафедре “Биотехнологии и техносферная безопасность” ПГТА и включены в содержание учебных пособий “Мониторинг окружающей среды”, “Экологическая экспертиза, оценка воздействия на окружающую среду”, “Глобальные и региональные проблемы экологии”.

**Апробация работы.** Результаты исследований докладывались на Всероссийской научно-технической конференции “Информационные технологии и системы в науке, образовании, промышленности” (Пенза, 2009); Всероссийской научно-практической конференции “Безопасность в чрезвычайных ситуациях” (Санкт-Петербург, 2010); Международной научно-практической интернет-конференции “Молодёжь. Наука. Инновации” (Пенза, 2010); Международной научно-практической конференции “Агроэкологические аспекты устойчивого развития АПК” (Брянск, 2010, 2011); Международной научной конференции “Вопросы повышения урожайности сельскохозяйственных культур” (Иваново, 2011); Международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых “Молодежь и наука: модернизация и инновационное развитие страны” (Пенза, 2011); Международной научно-практической конференции “Экология: Образование, наука, промышленность и здоровье” (Белгород, 2011); Международной научной конференции “Математические методы в технике и технологиях” (Киев, 2011).

**Публикации.** Основные положения диссертационной работы изложены в 13 публикациях, включая 3 работы в рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК.

**Личный вклад автора.** Все результаты, составляющие содержание диссертации, получены диссертантом самостоятельно. Научному руководителю принадлежит разработка концепции решаемой проблемы и постановка задач исследования. Автор лично проводил экспериментальные исследования, обрабатывал, интерпретировал и обобщал полученные результаты, формулировал выводы.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, 5 глав, заключения, выводов. Работа изложена на 135 страницах машинописного текста, содержит 16 таблиц, 30 рисунков, 2 приложения. Список использованной литературы включает 233 источника, в том числе 15 иностранных авторов.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обоснована актуальность работы, сформулированы цели и задачи исследования, раскрыты научная новизна и практическая значимость. Представлены положения, выносимые на защиту.

### **Глава 1. Влияние нефти и нефтепродуктов на почвенные экосистемы.**

Анализируется современное состояние проблемы влияния нефтяного загрязнения на свойства почвы и приемы рекультивации нефтезагрязненных земель.

Загрязнение нефтью влияет на весь комплекс свойств почвы, определяющих её плодородие. Изменение свойств почвы при загрязнении нефтью и аккумуляции зависят от физико-химического состава и количества пролитой нефти, типа почвы (Солнцева, Пиковский, 1980; Киреева, 1994; Хазиев и др., 1995, 1997; Габбасова и др., 1997; Шаркова, 2010 и др.).

В настоящее время в зарубежной и отечественной практике разработаны и применяются различные методы восстановления нефтезагрязненных земель, которые можно условно разделить на физические (Самосова и др., 1979), физико-химические, химические и биологические. Показано, что наиболее перспективным является биологический метод, основанный на применении биопрепаратов, созданных на основе комплекса микроорганизмов, позволяющий интенсифицировать процессы разложения нефтепродуктов, не нанося дополнительного ущерба нарушенной экосистеме.

### **Глава 2. Условия и методы исследования.**

Рассматриваются природные условия на территории лесостепи Среднего Поволжья, приводятся характеристики климата, почвенного покрова и растительности. Формулируются объект и методы исследования.

Основным объектом исследований являлся почвенный покров (естественные и техногенные ландшафты). Для его изучения были исследованы на территории г. Пензы и области почвы, в различной степени подверженные техногенезу.

Почвенный покров в зоне исследований представлен, в основном, черноземами и серыми лесными почвами различного гранулометрического состава.

Исследования проводились стационарными методами наблюдений в сочетании с вегетационными и лабораторными опытами. Загрязнение производилось товарной нефтью и вносилось в концентрациях 5, 10, 20 л на м<sup>2</sup>. Контролем в эксперименте служили образцы почв без внесения нефти.

Все наблюдения, анализы и учеты проводились общепринятыми методами:

- в почвенных образцах содержание гумуса по ГОСТу-26213-91; легкогидролизуемый азот – по Тюрину и Кононовой; рН<sub>KCl</sub> потенциметрически (ГОСТ 26483-85); сумма поглощенных оснований – по Каппену-Гильковицу (ГОСТ 27821-88); гидролитическая кислотность – по Каппену (ГОСТ 26212-91); подвижный фосфор и обменный калий – по Чирикову (ГОСТ 26204-91). Определение проводили в лаборатории ГЦАС “Пензенский”;

- ферментативная активность (Хазиев, 1990), общая численность микроорганизмов (Звягинцев, 1980), целлюлозоразлагающая способность, интенсив-

ность нитрификации, интенсивность выделения  $\text{CO}_2$  (Штатнов, 1983).

Статистическая обработка экспериментальных данных осуществлялась методами корреляционного и регрессионного анализа (Доспехов, 1985) на ПЭВМ с использованием пакетов прикладных программ для статистической обработки Excel и Statistica 7.0.

## Результаты исследований

### Глава 3. Оценка техногенного нефтезагрязнения почв.

Выявлено, что в настоящее время происходит интенсификация антропогенного воздействия в Пензенской области: имеются пять коридоров, по которым проходят магистральные трубопроводы, транспортирующие нефть, нефтепродукты и газ, в том числе крупнейший магистральный нефтепровод “Дружба”, протяженностью по территории области более 300 км. В регионе имеются самые западные месторождения нефти в России. Добыча ведется в Колышлейском и Кузнецком районах, ее объемы в настоящее время составляют порядка 200 тыс. тонн в год. Запасы нефти в области составляют 45–50 млн. тонн.

Для констатации нефтяного загрязнения на региональном уровне устанавливались: площадь его распространения, глубина проникновения, концентрация и вид. Степень нефтяного загрязнения оценивалась по превышению содержания нефтепродуктов над фоновым значением в конкретном районе, согласно руководящему документу (РД 52.18.575).

В ходе исследований по оценке техногенного загрязнения почв проводилось наблюдение за изменением содержания нефтяных углеводородов в них в сравнении с фоновым содержанием (фон – 40 мг/кг почвы). Результаты исследования по оценке влияния на почвенный покров нефтеперекачивающей станции “Магистральные нефтепроводы “Дружба”, показаны на диаграмме (рис. 1).

В почвенных пробах, отобранных от трех резервуаров с нефтью, на расстоянии 6 метров отмечено самое низкое содержание нефтепродуктов (НП). Высокий уровень загрязнения выявлен в пробах, взятых непосредственно в месте разлива нефти (Н).

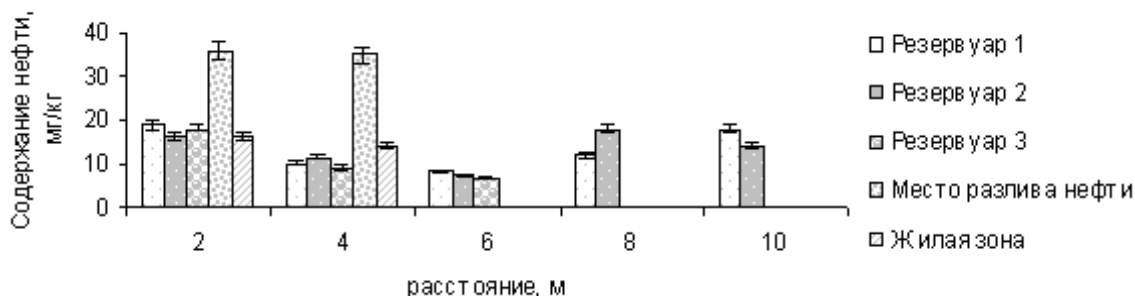


Рис. 1. Содержание нефтепродуктов в почве  
Планки погрешностей при  $p=0,05$

Вблизи расположения наблюдательных скважин (№№ 1Н; 2Н; 3Н) автозаправочной станции (АЗС), с различных глубин в интервале 0–5 м было отобрано 15 проб грунта. Информация о содержании НП в грунте АЗС представлена на рис. 2.

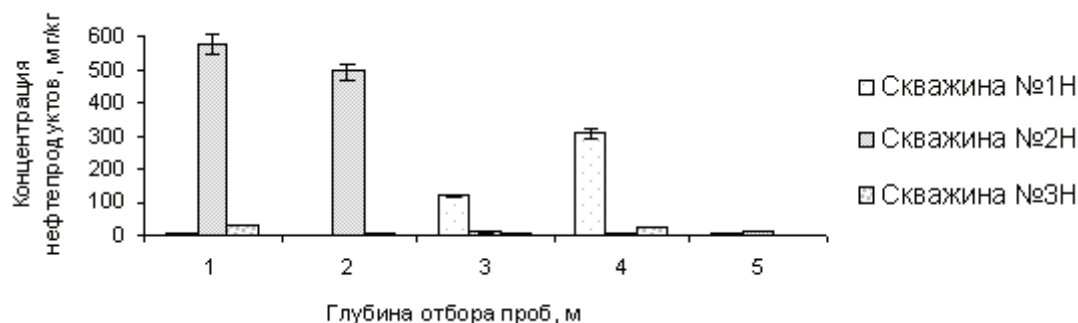


Рис. 2. Содержание НП в почве с различных глубин грунта  
Планки погрешностей при  $p=0,05$

Из диаграммы видно, что содержание НП составляет от 4,34 до 577,6 мг/кг почвы. Наблюдается превышение фонового содержания в пробах, взятых на удалении до 5 метров: от скважины № 2 на глубине до 3 метров – до 11 раз, от скважины № 1 на глубине 2,5–4,7 метра – до 6 раз.

Важным показателем для характеристики загрязненных участков является глубина проникновения поллютантов, от которой зависят темпы самоочищения и технология рекультивационных работ.

Изучение техногенного загрязнения почв НП в зоне влияния автомагистрали М-5 “Москва-Челябинск”, проходящей по территории Пензенской области, показало, что почвы обследуемой территории в разной степени загрязнены НП, около 80% обследованных образцов почв имели превышения фонового значения (рис. 3).

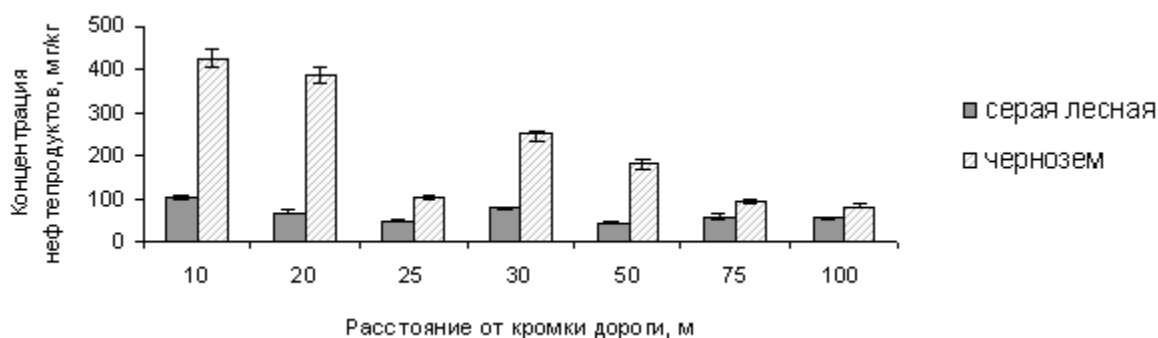


Рис. 3. Содержание НП в почве на различном расстоянии от обочины автомагистрали  
Планки погрешностей при  $p=0,05$

Различия в содержании НП на серых лесных и черноземных почвах связаны, по-видимому, с тем, что биоэкологические последствия техногенного загрязнения зависят не только от параметров загрязнителя, но и от свойств самой



почвы. Почвы легкого гранулометрического состава в меньшей степени загрязнены НП, чем тяжелые. Так, в зоне серых лесных почв превышение фона по НП отмечается максимум в 2 раза, хотя данные по другим загрязнителям свидетельствуют о большой техногенной нагрузке на этом участке трассы. В зоне почв тяжелого гранулометрического состава превышение фонового содержания достигает почти 8 раз и обнаруживается максимум загрязнения. Поскольку образцы почвы отбирались нами с глубины 0–10 см, можно предположить, что в почвах лёгкого гранулометрического состава происходит просачивание загрязняющих веществ, а тяжелые почвы имеют достаточно высокий удерживающий эффект, что снижает миграцию НП по профилю почвы.

Данные исследования территорий, прилегающих к АЗС, показывают, что содержание НП на глубине до 1 метра варьируется от 76 мг/кг до 560 мг/кг почвы. На расстоянии до 50 м от мест забора горюче-смазочных материалов содержание НП превышает фоновые значения, почвы относятся к среднезагрязненным (рис. 4).

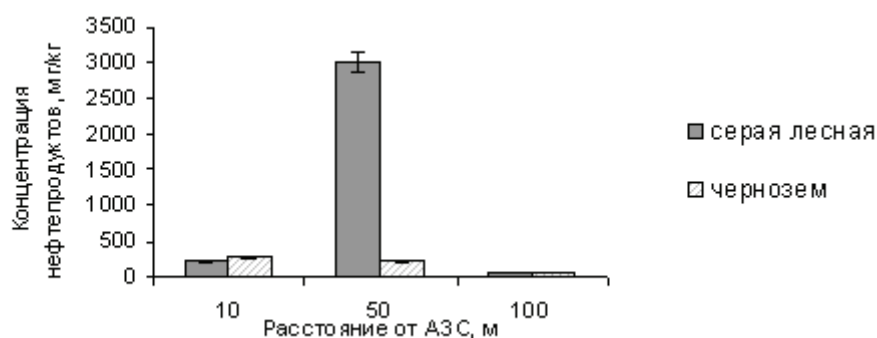


Рис. 4. Содержание НП в почве на различном удалении от АЗС  
Планки погрешностей при  $p=0,05$

По мере удаления от объекта содержание НП снижалось. Исключение составила серая лесная легкосуглинистая почва, в которой на расстоянии 50 м от АЗС количество НП составило 3004 мг/кг почвы, что соответствует высокому уровню загрязнения. Это свидетельствует о наличии разлива НП. В данных почвах, имеющих более тяжелый гранулометрический состав, происходило большее накопление НП, что вероятно связано с большей емкостью поглощения и содержания гумуса.

Содержание НП в почвах, загрязнённых вследствие производственной деятельности, а также аварийных ситуаций на железной дороге (ЛПДС “Пенза”, сортировочная станция Пенза-3), достигает от 1935 мг/кг до 16570 мг/кг почвы, что соответствует высокому и очень высокому уровню загрязнения.

Таким образом, изучение техногенного загрязнения почв НП в Пензенской области показало, что содержание поллютантов в изучаемых типах почв сильно варьирует, и биоэкологические последствия его зависят от свойств почв, которые формируют её устойчивость, от параметров самого загрязнения, удаленности от источников загрязнения.

## Глава 4. Изучение влияния различных уровней загрязнения нефтью на свойства почв.

В качестве параметров экологического мониторинга почв и нефтяного загрязнения используются: рН, органический углерод, гумус, азот, различные физиологические группы почвенных микроорганизмов, газовая составляющая почв (Рогозина, 2006).

### Влияние нефти на физико-химические свойства почв

С целью изучения влияния нефтезагрязнения на почвы были проведены исследования её физико-химических свойств (рис. 5).

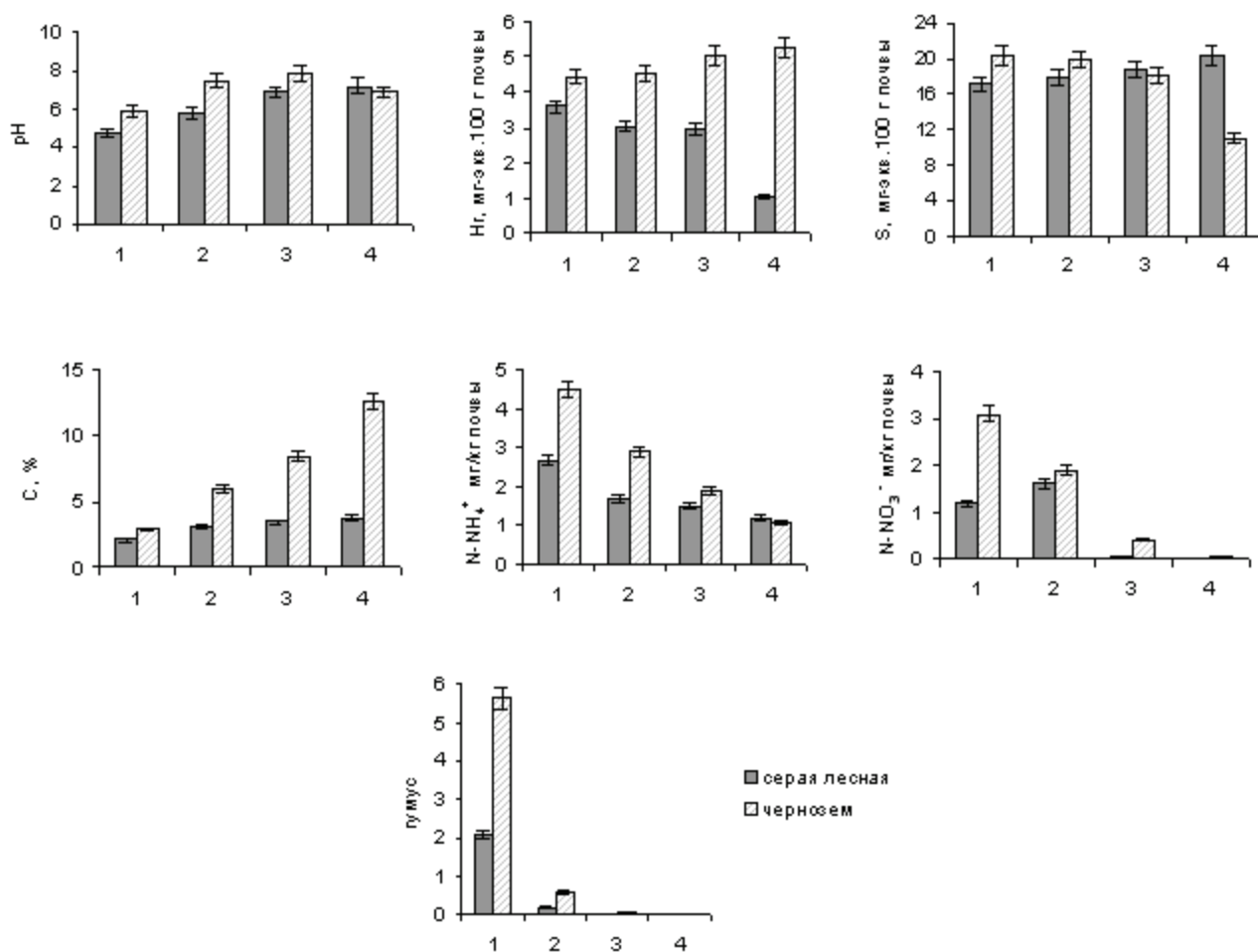


Рис. 5. Влияние нефтезагрязнения на химические свойства почвы:  
1 – без загрязнения; 2 – 5 л/м<sup>2</sup>; 3 – 10 л/м<sup>2</sup>; 4 – 20 л/м<sup>2</sup>. Планки погрешностей при  $p=0,05$

Изучение показало, что в процессе загрязнения существенно изменяется реакция почвенной среды. С увеличением уровня загрязнения происходило снижение кислотности почвенной среды и подщелачивание на обоих типах почв. Показатель  $pH_{KCl}$  повышался с 4,8 в незагрязненной почве до 7,2 на серых лесных почвах. Гидролитическая кислотность резко снижалась на серой лесной почве, а на черноземах незначительно повышалась.

Сумма поглощенных оснований возрастала по сравнению с контролем на серых лесных почвах, а на черноземах, наоборот, несколько снижалась. Анало-

гичные изменения кислотных свойств почв отмечали и другие исследователи. Ф.Х. Хазиев (1981) связывает уменьшение кислотности и появление щелочности с заменой ионов водорода в почвенном поглощающем комплексе (ППК) на ионы натрия. Доля его в ППК на загрязненных нефтью почвах резко возрастает.

Загрязнение почвы нефтью привело к повышению содержания углерода ( $C_{\text{общ}}$ ), по сравнению с контролем. Если в отсутствии загрязнения содержание общего углерода составляло 2,87% на черноземах, то с повышением уровня загрязнения содержание его увеличивалось и достигало максимума – 12,7% при 20 л/м<sup>2</sup>, что вполне объяснимо, так как нефть представляет собой смесь углеводородов и, в среднем, содержит 82–87% углерода.

Увеличение количества углерода в почве приводило к нарушению отношения между азотом и углеродом: от максимальной дозы нефти отношение углерода к азоту увеличилось по сравнению с контролем.

Изучение содержания минеральных форм азота в почве показало, что под действием нефтезагрязнения количество обменно-поглощенного аммония снижалось более, чем в два раза – с 2,7 мг/кг контроля до 1,2 мг/кг при уровне загрязнения 20 л/м<sup>2</sup> на серых лесных и с 4,5 мг/кг до 1,1 мг/кг, соответственно – на черноземных почвах.

Содержание нитратной формы азота менялось иначе, при уровне загрязнения 5 л/м<sup>2</sup> количество N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> возрастало на 37,5 % по отношению к незагрязненной почве. При уровне 10 л/м<sup>2</sup> отмечались лишь “следы”, а при 20 л/м<sup>2</sup> нитратная форма вообще не обнаруживалась как на серых лесных, так и на черноземных почвах.

Первый барьер, который встречают на своем пути факторы деградации почв – это гумусовые горизонты почв. Гумус считается главным показателем плодородия почвы, поскольку в нем накапливаются азот, фосфор, калий и другие элементы питания растений.

С увеличением дозы нефти содержание гумуса резко снижалось и было менее 1%, а при загрязнении 20 л/м<sup>2</sup> на черноземах и 10 л/м<sup>2</sup> на серых лесных почвах – уже не определялось. Почвы с низким содержанием гумуса отличаются бесструктурностью, плохими водными, воздушными и тепловыми свойствами.

Увеличение общего содержания органического углерода ведет к изменению качественного состава гумуса: уменьшается относительное содержание гуминовых и фульвокислот, увеличивается содержание негидролизованного остатка (Добровольский, Никитин, 1990) и, как указывает Е.А. Бочарникова (1990), в составе гумуса загрязненных почв увеличивается доля гумина, и снижаются процессы минерализации органического вещества.

Результаты исследований показали, что зависимость показателей химических свойств и содержания нефти в почвах можно выразить уравнениями регрессии, представленными в табл. 1.

Таким образом, сравнительный анализ проведенных исследований воздействия различных доз нефтяного загрязнения (5 л/м<sup>2</sup>, 10 л/м<sup>2</sup>, 20 л/м<sup>2</sup>) на зональные типы почв выявил изменения всего комплекса их физико-химических свойств, что сказывается на азотном режиме почв и, в конечном итоге, – на их

плодородии. Эти изменения специфичны, зависят от типа почв и уровня загрязнения, и могут служить показателями нефтезагрязнения почв при почвенно-химических мониторинговых исследованиях.

Табл. 1

	Серые лесные почвы		Черноземные почвы	
	Уравнение	R	Уравнение	R
pH <sub>KCl</sub>	$y=0,12x+5,14$	R=0,92	$y=0,03x+6,74$	R=0,35
Hg, мг-экв. 100 г почвы	$y=0,13x+3,75$	R=0,96	$y=0,04x+4,44$	R=0,95
S, мг-экв. 100 г почвы	$y=0,16x+17,1$	R=0,99	$y=-0,49x+21,68$	R=0,95
C, %	$y=0,07x+2,43$	R=0,89	$y=0,48x+3,26$	R=0,99
N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , мг/кг почвы	$y=-0,07x+2,36$	R=0,88	$y=-0,16x+4,02$	R=0,95
N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , мг/кг почвы	$y=-0,15x+2,7$	R=0,92	$y=-0,07x+1,36$	R=0,78
Гумус	$y=-0,09x+1,33$	R=0,73	$y=-0,23x+3,64$	R=0,74

### Влияние нефти на комплекс почвенных микроорганизмов

Эколого-биологический подход рассматривает экосистему как единое целое, и оценка её состояния в условиях техногенных нагрузок заключается в определении эффекта от внешнего воздействия. Показателями состояния при этом являются характеристики её микробиоты.

Изменение численности и ограничение видового разнообразия микробценоза является общей особенностью всех загрязненных почв. При этом типы ответной реакции разных групп микроорганизмов на загрязнение неодинаковы: количество одних возрастает, других – снижается, третьих – остается практически постоянным.

Результаты модельного эксперимента с нефтью показали, что комплекс почвенных микроорганизмов отвечает изменением своей общей численности (рис. 6).

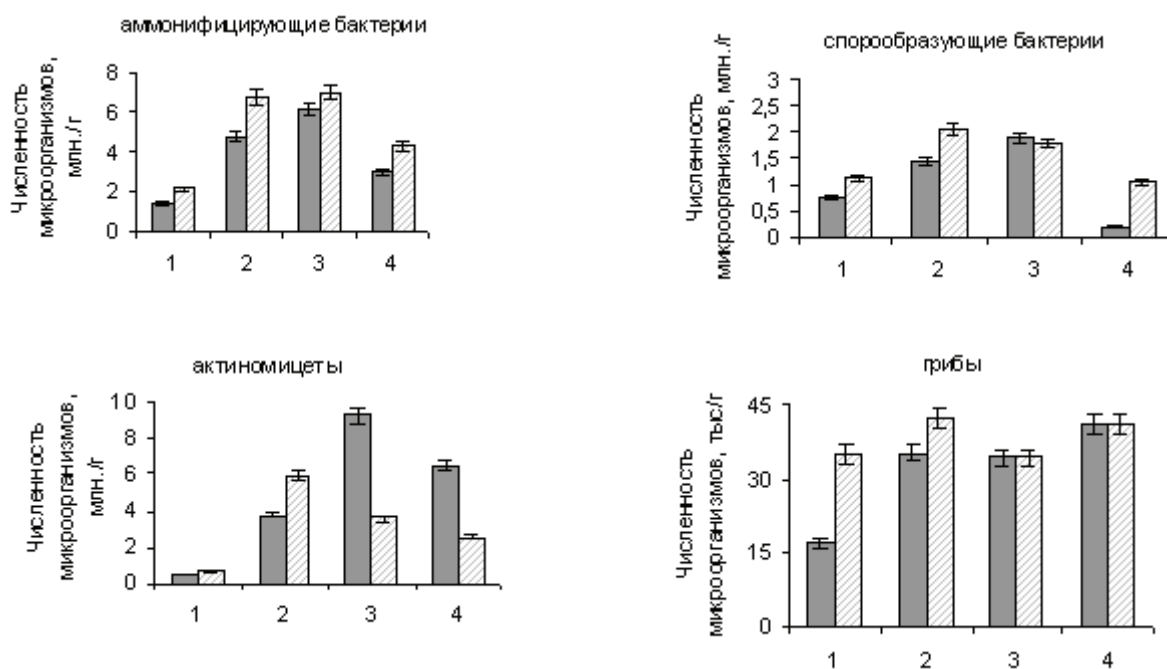


Рис. 6. Влияние нефтезагрязнения на численность микроорганизмов: 1 – без загрязнения; 2 – 5 л/м<sup>2</sup>; 3 – 10 л/м<sup>2</sup>; 4 – 20 л/м<sup>2</sup>. Планки погрешностей при p=0,05.

При воздействии разных доз нефти на исследуемые почвы обнаружено стимулирующее влияние на рост *бактерий* в серой лесной почве при загрязнении в дозе до 10 л/м<sup>2</sup>, а в черноземной – до 5 л/м<sup>2</sup>.

Увеличение численности *актиномицетов*, соответствующее зоне стресса, в исследуемых почвах различается: для серой лесной почвы концентрация составляет 5, 10 л/м<sup>2</sup>, а для чернозема – 5 л/м<sup>2</sup>.

Влияние нефти в любой дозе на серую лесную почву приводит к стимуляции роста численности почвенных *грибов*, что может быть связано с использованием нефти как дополнительного источника углерода. Известно, что при значительном увеличении численности микромицетов формируется неустойчивое сообщество, характерное для зоны стресса, трофической основой которого являются углеводороды нефти (Гузев и др., 1989). В черноземе развитие грибов незначительно изменялось при внесении нефти в исследуемых концентрациях; ингибирующий эффект свидетельствует о том, что микробный пул чернозема менее подвержен перестройке за счет более благоприятных свойств самой почвы, главным образом, содержания органического вещества.

Исследования показали, что количественные изменения в составе почвенных *бактерий* и *грибов* находились в зависимости как от дозы внесения нефти, так и от типа почвы, и выражаются уравнениями регрессии, представленными в табл. 2.

Установлено, что микроорганизмы отвечают на загрязнение изменением своей общей численности: нефть провоцирует развитие *бактерий* и *актиномицетов* в дозах до 10 л/м<sup>2</sup> на серой лесной почве, и до 5 л/м<sup>2</sup> – на черноземе. С увеличением дозы развитие всех групп микроорганизмов подавлялось. На обоих типах почв выявлен рост численности *грибов*.

Табл. 2

	Серые лесные почвы		Черноземные почвы	
Аммонифицирующие бактерии	$y=-0,10x+2,85$	$R=0,47$	$y=-0,14x+4,17$	$R=0,46$
Спорообразующие бактерии	$y=-0,05x+1,15$	$R=0,71$	$y=-0,06x+1,76$	$R=0,68$
Актиномицеты	$y=0,18x+2,14$	$R=0,65$	$y=0,08x+2,95$	$R=0,43$
Грибы	$y=0,5x+25,04$	$R=0,51$	$y=-0,04x+28,6$	$R=0,13$

Таким образом, более устойчивы к загрязнению нефтью черноземы, серые лесные почвы оказались более чувствительными. Это объясняется тем, что черноземы отличаются хорошими окислительными условиями и высокой биологической активностью, что и способствует их большей устойчивости к загрязнению, и в частности, большей скорости разложения нефти.

### **Влияние нефти на фитотоксичность почв**

Фитотоксичность является одной из причин замедления роста и развития растений и снижения продуктивности продовольственных культур на почвах, загрязненных нефтью (Помазкина, 1999). Возрастание токсичности почвы при этом объясняется как действием самой нефти, так и изменением комплекса микромицетов в направлении увеличения доли фитотоксичных видов и стимулирования образования ими фитотоксинов.

Оперативную информацию о фитотоксичности загрязненной почвы можно получить, используя в качестве тест-объектов семена и проростки растений.

С этой целью были проведены лабораторные исследования и получены первичные данные определения токсичности нефтезагрязненной (20%) серой лесной почвы по всхожести семян, росту корней и проростков (табл. 3).

Результаты показали, что при воздействии почвенных вытяжек снижалась всхожесть семян ряда растений по сравнению с контрольным вариантом опытов почти вдвое, и это наиболее выражено по отношению к семенам проса, овса, кукурузы. Самой чувствительной к нефтезагрязнению оказалась кукуруза, у которой рост проростков тормозился на 90%, корешков – на 82%. Для яровой пшеницы эти показатели составили 77 и 67%, для овса – 61 и 44% соответственно.

Табл. 3

Культура	Длина, мм				Всхожесть семян, %	
	Проросток		Корень		контроль	опыт
	контроль	опыт	контроль	опыт		
ячмень	1,13±0,13	0,36±0,14	1,13±0,15	0,67±0,08	89,5	84,7
кукуруза	1,24±0,07	0,22±0,12	1,79±0,14	0,18±0,13	76,8	65,4
просо	1,32±0,15	0,46±0,15	1,54±0,15	0,72±0,14	92,4	72,3
овес	5,60±0,59	2,21±0,65	3,51±0,55	1,94±0,41	90,6	78,5
пшеница	9,58±0,90	2,64±0,64	9,05±0,65	2,91±0,43	87,3	82,1

Таким образом, загрязненность почв нефтью оказывает сильное негативное влияние на всхожесть семян и изменение ростовых и продукционных процессов. Среди испытанных культур (яровая пшеница, ячмень, овес, просо, кукуруза) относительно уязвимыми оказались пшеница и кукуруза, а наиболее стабильную толерантность к нефтяному загрязнению проявили просо и овес.

#### **Влияние нефти на биологическую активность почв**

Протекание биологических процессов в почвах определяется численностью микроорганизмов и их активностью. Возрастание биологической активности является характерной особенностью нефтезагрязненных почв, как показатель одного из первых этапов нарушения их экологических свойств.

Биологическая активность – совокупность процессов, связанных с почвенной биотой – важнейшая характеристика почвы, во многом определяющая ее функциональные и структурные свойства. Для оценки биологической активности почв использовались такие показатели, как эмиссия CO<sub>2</sub> и активность процессов нитрификации.

Исследования показали, что уровень эмиссии CO<sub>2</sub> за трехчасовую экспозицию значительно повышался относительно контроля под влиянием исследуемых доз нефти на серых лесных почвах. Известно, что при дальнейшем усилении токсического воздействия на микробное сообщество, может наступать следующий этап реакции на загрязнение, что выражается в резком снижении уровня биологической активности почвы относительно контроля.

Интенсивность дыхания почвы является исключительно вариабельной величиной и зависит от большого количества факторов (температурного режима, влажности, состояния фитоценоза и др.).

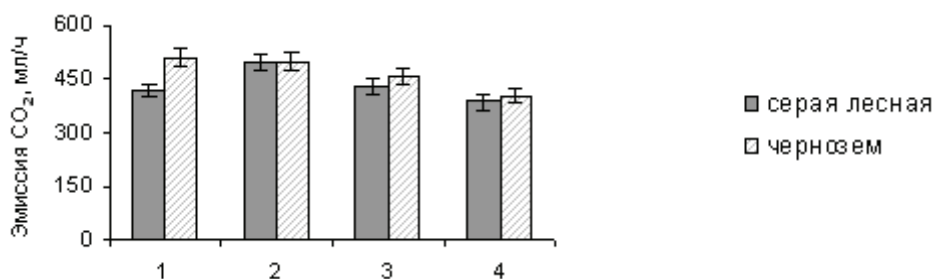


Рис. 7. Влияние загрязнения нефтью на почвенное дыхание:

1 – без загрязнения; 2 – 5 л/м<sup>2</sup>; 3 – 10 л/м<sup>2</sup>; 4 – 20 л/м<sup>2</sup>. Планки погрешностей при  $p=0,05$

Анализ данных дыхания почв (рис. 7) показал, что эмиссия CO<sub>2</sub> выше для чернозема. При внесении дозы нефти 5 л/м<sup>2</sup> на серых лесных и черноземных почвах эмиссия CO<sub>2</sub> снижается незначительно.

Таким образом, при внесении высоких доз нефти эмиссия CO<sub>2</sub> снижалась как в серой лесной, так и в черноземной почве. Уравнение регрессии влияния нефтезагрязнения на почвенное дыхание исследованных почв представлены в табл. 4.

Табл. 4

	Серые лесные почвы		Черноземные почвы	
эмиссия CO <sub>2</sub> , мл/ч	$y=-2,92x+456,8$	$R=0,54$	$y=-5,76x+516,2$	$R=0,98$

Процесс нитрификации является конечной стадией минерализации азотсодержащих органических загрязнений, одним из обязательных этапов круговорота азота в биосфере. Процесс происходит в почве под влиянием особых бактерий и имеет огромное значение для земледелия, так как переводит азотистые соединения (нитраты) в форму, доступную для питания растений, что способствует повышению плодородия почвы.

Изучение нитрификационной способности при разном уровне загрязнения позволяет выявить потенциальные возможности почв к образованию одной из главных форм минерального азота – нитратной, необходимой для обеспечения растений азотным питанием.

Результаты исследования, содержания нитратного азота в зависимости от уровня загрязнения почвы, показали что при компостировании почвы при температуре 25°C и при капиллярной влагоёмкости 60% и полном доступе воздуха, количество нитратного азота снижалось с увеличением количества сырой нефти (рис. 8).

Активность нитрификации при внесении нефти в дозе 5 л/м<sup>2</sup> увеличивается незначительно по сравнению с контролем как на черноземе, так и на серых лесных почвах. Устойчивая депрессия процесса установлена при внесении нефти в больших дозах (рис. 9).

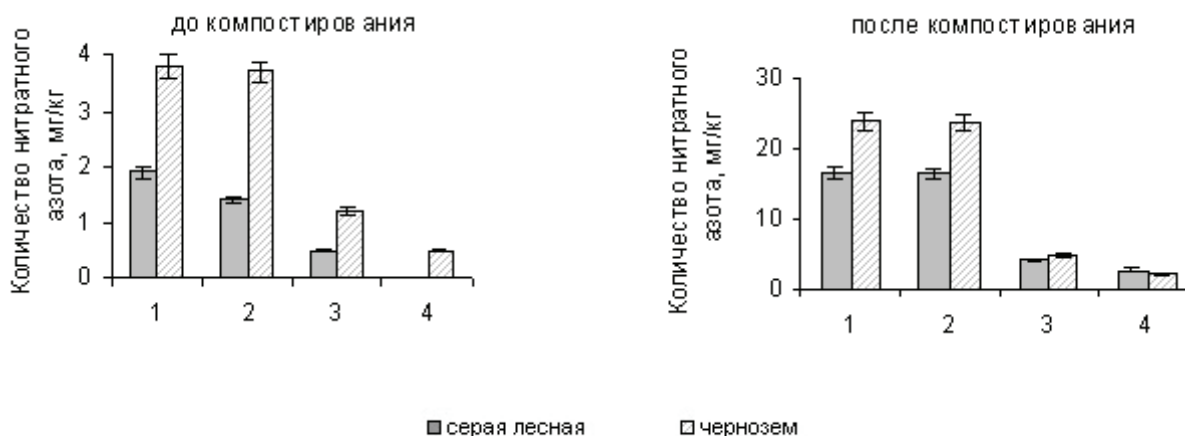


Рис. 8. Содержание нитратного азота в зависимости от уровня нефтезагрязнения: 1 – без загрязнения; 2 – 5 л/м<sup>2</sup>; 3 – 10 л/м<sup>2</sup>; 4 – 20 л/м<sup>2</sup>. Планки погрешностей при  $p=0,05$

Период наибольшего дефицита минерального азота частично совпадает с периодом максимального развития углеводородокисляющих микроорганизмов. Возможно, что снижение нитрификации было вызвано не столько прямым токсическим действием углеводородов, сколько перестройкой трофических цепей, вследствие чего нитратный азот сразу “перехватывается” микроорганизмами.

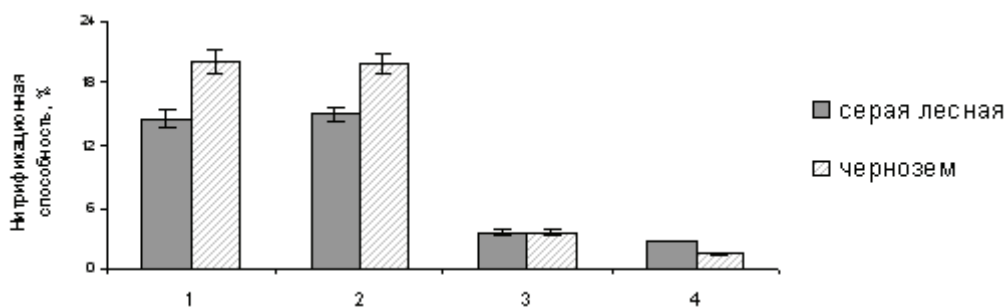


Рис. 9. Влияние загрязнения нефтью на нитрификационную способность: 1 – без загрязнения; 2 – 5 л/м<sup>2</sup>; 3 – 10 л/м<sup>2</sup>; 4 – 20 л/м<sup>2</sup>. Планки погрешностей при  $p=0,05$

Развитие этих бактерий обусловлено характером питания, содержанием нитратного азота. Внесение нефти вызвало снижение нитрифицирующей способности, уменьшение численности нитрификаторов. В нефтезагрязненной почве в процессе разложения создаются, по-видимому, условия, ингибирующие рост и развитие нитрифицирующих бактерий.

Таким образом, исследования по изучению нитрификационной способности почвы при разном уровне загрязнения показали, что количество нитратного азота снижалось с увеличением количества сырой нефти на обоих типах почв. Эта зависимость выражается уравнениями регрессии, представленными в табл. 5.

Загрязнение нефтью вызвало снижение нитрифицирующей способности по сравнению с незагрязненной почвой на 26–130%, т.е. ухудшение азотного режима почвы.



	Серые лесные почвы		Черноземные почвы	
$N-NO_3^-$ до компостирования	$y=-0,1x+1,8$	$R=0,96$	$y=-0,18x+3,9$	$R=0,92$
$N-NO_3^-$ после компостирования	$y=-0,78x+16,74$	$R=0,88$	$y=-1,22x+24,32$	$R=0,89$
Нитрификационная способность	$y=-0,68x+14,94$	$R=0,86$	$y=-1,04x+20,42$	$R=0,88$

### Ферментативная активность нефтезагрязненных почв

Для оценки антропогенного влияния на почву токсических веществ и характеристики биологической активности почв использовались биохимические показатели.

Изучение влияния нефтезагрязнения на ферментативную активность почв показало, что активность ферментов, участвующих в биодegradации углеводов, зависит от степени загрязнения почв.

Изменение активности почвенных ферментов при внесении нефтезагрязнения представлено на рис. 10.

Активность инвертазы без загрязнения в черноземной почве была несколько выше, чем серой лесной. При низком уровне загрязнения её активность стимулируется за счет роста микроорганизмов, разлагающих нефтепродукты. С увеличением уровня загрязнения до 20 л/м<sup>2</sup> активность инвертазы снижается, что, возможно, связано с низкой активностью целлюлозоразрушающих микроорганизмов.

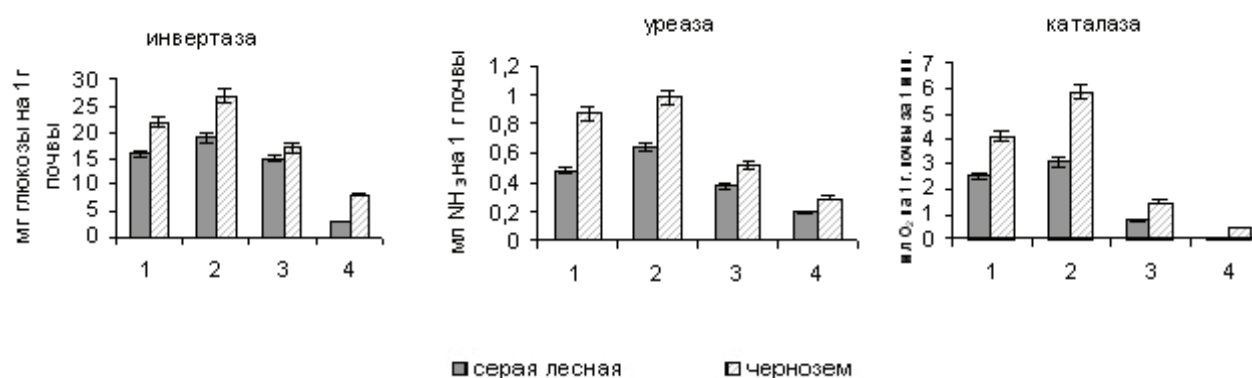


Рис. 10. Влияние нефтезагрязнения на активность почвенных ферментов: 1 – без загрязнения; 2 – 5 л/м<sup>2</sup>; 3 – 10 л/м<sup>2</sup>; 4 – 20 л/м<sup>2</sup>. Планки погрешностей при  $p=0,05$

На фоне слабого нефтезагрязнения разложение мочевины активизируется, однако сильное загрязнение подавляет активность уреазы. Это связано с положительным действием низких доз нефти на численность аммонифицирующих микроорганизмов.

Распад углеводов, аккумулялированных в почве, связан с окислительно-восстановительными процессами, происходящими при участии оксидоредуктаз. Уровень активности окислительно-восстановительных ферментов – один из критериев способности почвы к самоочищению. Активность каталазы – показатель стабилизации почвенных условий, её изменение связано с дозой загрязнения и буферной способностью почвы.

При слабом загрязнении в почве происходит стимуляция окислительно-восстановительных процессов, которая при высоком уровне подавляется и практически не проявляется. Активность каталазы наиболее чувствительна и может быть использована в качестве показателя экологического состояния и критерия восстановления функций почв.

Зависимость активности ферментов от количества нефти в почве выражается следующими уравнениями регрессии (табл. 6).

Табл. 6

	Серые лесные почвы		Черноземные почвы	
Каталаза	$y=-0,1263x+2,88$	$R=0,87$	$y=-0,1931x+4,64$	$R=0,86$
Уреаза	$y=-0,0172x+0,578$	$R=0,81$	$y=-0,0326x+0,97$	$R=0,91$
Инвертаза	$y=-0,7771x+19,8$	$R=0,88$	$y=-0,9886x+26,4$	$R=0,89$

Проведенная оценка позволяет учесть влияние нефтезагрязнения на почвенные процессы. Выявлено, что наиболее чувствительными показателями ферментативной активности оказались активность каталазы, характеризующая интенсивность окислительно-восстановительных процессов и активность уреазы, отражающая интенсивность процессов минерализации соединений азота.

При сравнении особенностей изменения активности ферментов в изучаемых типах почв установлено, что черноземы более устойчивы к загрязнению, чем серые лесные почвы. Устойчивость черноземов объясняется как большей буферностью, так и изначально высокой активностью ферментов.

Таким образом, показатели состояния микробного комплекса, активности ферментов (каталаза, уреазы, инвертазы) эффективно использовать при биомониторинге и биодиагностике загрязненных нефтью серых лесных и черноземных почв.

**Глава 5. Влияние различных приемов рекультивации на биологическую активность почв.** С целью изучения приемов, снижающих негативное действие нефтезагрязнения на почвы, использовались минеральное удобрение (нитрофоска), органическое – в виде активного ила (АИ) и промышленный биопрепарат “Бациспектин” (Б), в различных сочетаниях.

Исследования по минимизации негативного влияния загрязнения показали, что в динамике численности бактерий на мясопептонном агаре (МПА) по всем вариантам опыта проявляется общая закономерность, выраженная в увеличении их количества к середине срока инкубации и снижении – к концу (рис. 11).

Выявлена низкая эффективность внесения полного минерального удобрения в повышении окислительно-восстановительных процессов. Численность бактерий на фоне активного ила и биопрепарата была выше на протяжении всего периода инкубации, что способствовало интенсификации самоочищения нефтезагрязненных почв. Их применение благоприятно сказывалось на микробном и ферментном пуле загрязненных почв.

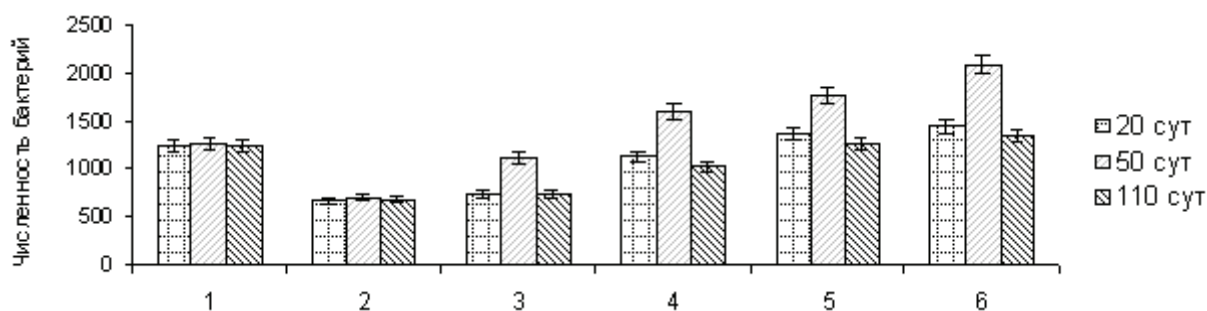


Рис. 11. Влияние приемов санации на численность почвенных бактерий: 1 – почва (контроль); 2 – почва + нефть (фон); 3 – фон + NPK; 4 – фон + AI + NPK; 5 – фон + B + NPK; 6 – фон + B + AI + NPK. Планки погрешностей при  $p=0,05$

Следовательно, внесение комплекса мелиорантов в большей степени стимулирует биологическую активность загрязненной почвы, а значит, и процессы биодegradации нефтяных углеводородов.

Ферментативная активность зависит от вида фермента и находится в прямой зависимости от степени загрязнения почвы. Углеводороды нефти ингибировали ферментативную активность. Биодegradация и разложение углеводородов меняли с течением времени направленность окислительно-восстановительных реакций. Их интенсификация происходила при внесении мелиорантов, при этом минерализация углеводородов ускорялась и повышалась биологическая активность почвы. Нельзя однозначно выделить один из мелиорантов или их сочетание по степени восстановления почвы, все варианты оказали больший или меньший положительный эффект в разные сроки после их внесения. Наилучшие условия создавались при компостировании почвы с органо-минеральным комплексом и биопрепаратом (рис. 12).

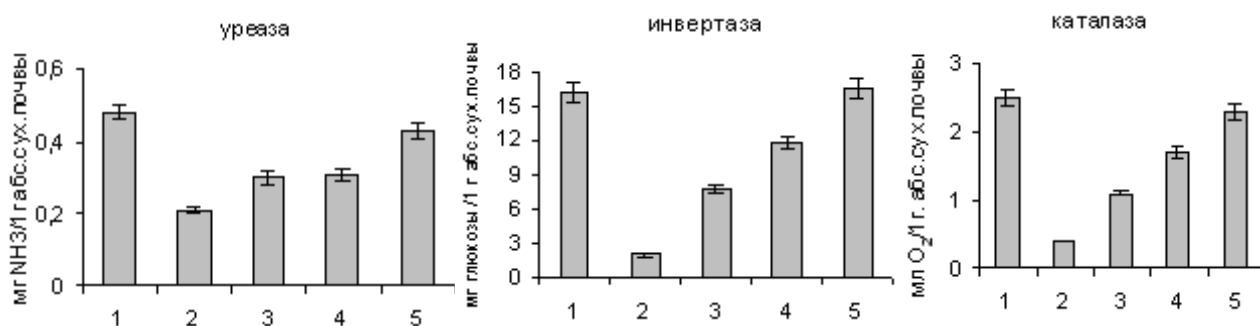


Рис. 12 – Влияние приемов санации на активность почвенных ферментов: 1 – почва (контроль); 2 – почва + нефть (фон); 3 – фон + AI + NPK; 4 – фон + B + NPK; 5 – фон + B + AI + NPK. Планки погрешностей при  $p=0,05$

Таким образом, исследования показали возможность и целесообразность использования нитрофоски, активного ила и промышленного биопрепарата “Бациспектин” в качестве мелиорантов нефтяного загрязнения почвы.

В приложении приведены акты внедрения результатов диссертационного исследования.

## ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

1. Дана экологическая оценка состояния серых лесных и черноземных почв. Установлено, что в изучаемых типах почв содержание поллютантов сильно варьирует и биоэкологические последствия зависят от свойств почв, формирующих её устойчивость, параметров загрязнения, глубины проникновения, удаленности от мест разлива нефтепродуктов.

2. Выявлено изменение физико-химических свойств серых лесных и черноземных почв (почвенной кислотности, суммы поглощенных оснований, содержания общего углерода, азотного режима почвы) от внесения различных доз нефтяного загрязнения. Эти изменения специфичны и зависят от дозы и типа почв.

3. Установлено, что микроорганизмы отвечают на загрязнение изменением своей валовой численности: нефть провоцирует развитие бактерий и актиномицетов в дозах до 10 л/м<sup>2</sup> на серой лесной почве, и до 5 л/м<sup>2</sup> – на черноземе. С увеличением дозы нефти развитие всех групп микроорганизмов подавлялось. На обоих типах почв выявлен рост численности почвенных грибов.

4. Фитотоксичность почв зависит от содержания нефти. Нефть замедляет всхожесть семян и изменение ростовых и продукционных процессов. Наиболее уязвимыми оказались пшеница и кукуруза, стабильную толерантность проявили просо и овес.

5. По результатам оценки воздействие нефти на биологическую активность почв, выявлено, что эмиссия CO<sub>2</sub> выше для чернозема. При внесении дозы нефти 5 л/м<sup>2</sup> на серых лесных и черноземных почвах эмиссия CO<sub>2</sub> снижается незначительно. Количество нитратного азота также снижается с увеличением количества нефти и вызывает снижение нитрифицирующей способности, по сравнению с незагрязненной почвой на 26-130%, и, соответственно, ухудшение азотного режима почвы.

6. Наиболее чувствительными показателями ферментативной активности оказались активность каталазы, характеризующая интенсивность окислительно-восстановительных процессов, и активность уреазы, отражающая интенсивность процессов минерализации соединений азота.

7. Более устойчивы к загрязнению нефтью – черноземы, серые лесные почвы – менее устойчивы. Это связано с тем, что черноземы отличаются хорошими окислительными условиями и высокой биологической активностью, что способствует их большей устойчивости к загрязнению.

8. Выявлены биологические показатели (микробный комплекс, активность ферментов – каталазы, уреазы, инвертазы), характеризующие экологическое состояние нефтезагрязненных почв и позволяющие проводить биомониторинг и биодиагностику их состояния.

9. Изучено влияние приемов реабилитации на биологическую активность серых лесных и черноземных почв, загрязненных нефтью. Показана возможность использования в качестве мелиорантов комплекса нитрофоски, активного ила и промышленного биопрепарата “Бациспектин”.

**СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**  
**Статьи в рецензируемых научных журналах РФ, рекомендованных ВАК**

1. Полянская Е.А. Оценка влияния нефтеперекачивающего предприятия на почвенный покров // Известия ПГПУ им. В.Г. Белинского. 2011. – № 25. – Пенза, 2011. – С. 509–515.

2. Шаркова С.Ю., Полянская Е.А., Парфенова Е.А. Биоиндикация городской среды по состоянию микробного комплекса почв // Экология и промышленность России: Научно-технический журнал. – 2011. – ноябрь. – М., 2011. – С. 44–47.

3. Шаркова С.Ю., Полянская Е.А., Парфенова Е.А. Состояние микробного комплекса почв при нефтезагрязнении // Известия ПГПУ им. В.Г. Белинского. 2011. – № 25. – Пенза, 2011. – С. 579–586.

**Статьи в других изданиях**

4. Полянская Е.А., Парфенова Е.А. Биоиндикация как поиск информативных компонентов экосистем // Информационные технологии и системы в науке, образовании, промышленности: Сборник докладов II Всероссийской научно-технической конференции. – Пенза: Изд-во ПГТА, 2009. – С. 321–325.

5. Полянская Е.А., Таранцев К.В., Авдеев А.Ю. Влияние предприятия нефтяного профиля на почвенный покров с предложением мероприятий по обеспечению экологической безопасности // Безопасность в чрезвычайных ситуациях: Сборник научных трудов II Всероссийской научно-практической конференции. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2010. – С. 366–370.

6. Шаркова С.Ю., Полянская Е.А., Омельченко Е.А. Физико-химические свойства техногеннозагрязненной серой лесной почвы под влиянием известкования // Агроэкологические аспекты устойчивого развития АПК: Материалы VII Международной научной конференции. – Брянск: Изд-во БГСХА, 2010. – С. 195–198.

7. Шаркова С.Ю., Полянская Е.А., Омельченко Е.А. Влияние нефтеперерабатывающего предприятия на почвенный покров // Агроэкологические аспекты устойчивого развития АПК: Материалы VII Международной научной конференции. – Брянск: Изд-во БГСХА, 2010. – С. 237–241.

8. Полянская Е.А., Парфенова Е.А., Шаркова С.Ю. Оценка влияния автозаправочных станций на окружающую среду // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего <sup>плюс</sup>: Научно-методический журнал. – 2011. – № 01(01). – Пенза: Изд-во Пенз. гос. технол. акад., 2011. – С. 91–96.

9. Полянская Е.А., Парфенова Е.А. Использование процедуры идентификации экологических аспектов для оценки воздействия промышленного предприятия на окружающую среду / Вопросы повышения урожайности сельскохозяйственных культур: Материалы международной научной конференции – Иваново: Изд-во ФГОУ ВПО “Ивановская ГСХА им. академика Д.К. Беляева”, 2011. – С.189–191.

10. Шаркова С.Ю., Полянская Е.А. Показатели биологического состояния почв в диагностике нефтезагрязненной почвы // Агроэкологические аспекты устойчивого развития АПК: Материалы VII международной научной конференции. – Брянск: Изд-во БГСХА, 2011. – С.65–68.

11. Ефремова С.Ю., Полянскова Е.А., Парфенова Е.А. Моделирование влияния автозаправочных станций на экосистемы // Математические методы в технике и технологиях – ММТТ-24: Сборник трудов XXIV Международной научной конференции. Т. 4. – Киев: Изд-во Национ. техн. ун-та Украины, 2011. – С. 87–89.

12. Полянскова Е.А., Ефремова С.Ю., Можачкина А.Ю. Фитотоксичность нефтезагрязненных почв // Молодежь и наука: модернизация и инновационное развитие страны: Материалы международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых. – Пенза: Изд-во ПГУ, 2011. – С. 378–380.

13. Полянскова Е.А., Ефремова С.Ю. Изучение ферментативной активности нефтезагрязненных почв // Экология: Образование, наука, промышленность и здоровье: Материалы Международной научно-практической конференции. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2011. – С. 337–340.

**Благодарности.** Автор выражает глубокую благодарность научному руководителю, д.б.н. С.Ю. Ефремовой, за помощь на всех этапах работы, заведующему кафедрой д.т.н., профессору К.Р. Таранцевой, д.с-х.н., профессору И.А. Шильникову (ВНИИА, Москва), за методические советы и поддержку при подготовке диссертации, а также Е.А. Парфеновой за помощь в обработке некоторых экспериментальных данных, полученных в совместной работе.

**ПОЛЯНСКАВА Екатерина Александровна**

**ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СЕРЫХ ЛЕСНЫХ  
И ЧЕРНОЗЕМНЫХ ПОЧВ РАЗЛИЧНОЙ  
СТЕПЕНИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ НЕФТЮ**

Автореферат

Редактор Л.Ю. Горюнова  
Компьютерная верстка Д.Б. Фатеева, Е.В. Рязановой

Сдано в производство 21.11.2011. Формат 60x84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>  
Бумага типогр. №1. Печать трафаретная. Шрифт Times New Roman Cug.  
Усл. печ. л. 1,27. Уч.-изд. л. 1,28. Заказ № 2094. Тираж 100.

---

Пензенская государственная технологическая академия.  
440605, Россия, г. Пенза, пр. Байдукова/ ул. Гагарина, 1<sup>а</sup>/11.