

На правах рукописи



РАХМАНОВА ГУЛЬНАРА ФАНИСОВНА

**АГРОХИМИЧЕСКИЕ И БИОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА
НЕФТЕЗАГРЯЗНЕННОЙ СЕРОЙ ЛЕСНОЙ ПОЧВЫ
В ПРОЦЕССЕ РЕМЕДИАЦИИ ПОД ДЕЙСТВИЕМ
НАНОСТРУКТУРНОГО БЕНТОНИТА**

06.01.04 – агрохимия

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата сельскохозяйственных наук

Казань – 2019

Работа выполнена в Татарском научно-исследовательском институте агрохимии и почвоведения – обособленном структурном подразделении Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Федеральный исследовательский центр «Казанский научный центр Российской академии наук» в 2014–2018 годы.

Научный руководитель – доктор биологических наук, руководитель Татарского НИИАХП – обособленного структурного подразделения ФИЦ КазНЦ РАН
Яппаров Ильдар Ахтамович

Официальные оппоненты: **Багаева Татьяна Вадимовна**, доктор биологических наук, профессор кафедры биохимии, биотехнологии и фармакологии ИФМиБ ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет»
Кислицына Антонида Павловна, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры почвоведения, мелиорации и химии ФГБОУ ВО «Вятская государственная сельскохозяйственная академия»

Ведущая организация – ФГБОУ ВО «Чувашская государственная сельскохозяйственная академия»

Защита состоится «19» июня 2019 г. в 10⁰⁰ час. на заседании диссертационного совета Д 220.035.01 при ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет» по адресу: 420011, г. Казань, Ферма-2, д. 53, ауд. 18, тел. (факс) 8(843) 567-47-17, e-mail: info@kazgau.com

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет».

Автореферат разослан «__» _____ 2019 года.

Объявление о защите диссертации, текст автореферата размещены на официальном сайте Министерства образования и науки Российской Федерации www.vak.ed.gov.ru «18» апреля 2019 года; текст диссертации и отзыв научного руководителя размещены на официальном сайте ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет» www.kazgau.ru «26» марта 2019 года.

Просим принять участие в работе совета или прислать отзыв на автореферат в 2-х экземплярах, заверенный печатью, по адресу: 420011, г. Казань, Ферма 2, д. 53, e-mail: info@kazgau.com

Ученый секретарь
диссертационного совета,
д.с.-х.н, профессор

Ф.З. Кадырова

Ф.З. Кадырова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. В последние десятилетия происходит стремительная деградация почв и потеря плодородия вследствие антропогенной нагрузки, в том числе химического загрязнения нефтью и нефтепродуктами, которое приводит к глубокому изменению их агрономических свойств, определяющих глобальную биосферную и хозяйственную ценность земельных ресурсов. Ежегодно в мире разливы нефти при добыче составляют около 45-50 млн т (Гилязов и др., 2009), суммарная площадь нефтезагрязненных земель в Российской Федерации (РФ) – 7430,8 га (Государственный доклад..., 2017). Несмотря на серьезную работу в области охраны окружающей среды, проблема загрязнения нефтяными углеводородами актуальна и в Республике Татарстан (РТ), на территории которой ведется интенсивная нефтедобыча и нефтепереработка.

В связи с этим необходима разработка эффективных технологических решений, направленных на интенсификацию разложения углеводородов и восстановление почвенных экосистем. Экологически безопасным и экономически выгодным приемом является фиторемедиация, однако ее применение ограничено высокой токсичностью углеводородов (Киреева и др., 2011, 2012; Dhanwal et al., 2017; Dickinson, 2017). По этой причине поиск инновационных материалов, обладающих комплексным действием в отношении повышения устойчивости высших растений и благоприятно влияющих на их связи с почвенными микроорганизмами-деструкторами остается актуальной проблемой современности (Лифшиц и др., 2016). С этой точки зрения, особый интерес представляют природные агроминералы, распространенные в РФ и РТ, химический состав которых представлен широким спектром биогенных макро- и микроэлементов. Использование методов нанотехнологий позволяет создать из них материалы нового поколения, обладающие высокой биологической доступностью, химической активностью и улучшенными сорбционными свойствами (Исследования в области..., 2017).

Состояние изученности вопроса. Вопросами восстановления нефтезагрязненных почв, в том числе при внесении сорбентов и фиторемедиации, занимались: за рубежом – В.В. Aken (2011), J. Bramley-Alves et al. (2014), Т.В. Pirzadah (2015), N. Dickinson (2017), P. Dhanwal et al. (2017) и др.; в РФ – Е.В. Коновалова (2009), А.А. Швец (2009), Н.А. Киреева с соавт. (2012), Е.П. Ищенко (2016) и др.; в РТ – М.Ю. Гилязов (1999), Е.В. Гафарова (2006), А.П. Денисова (2009) и др. В последние годы ведутся активные разработки в области применения различных наноматериалов при очистке почв от пестицидов (J. Morillo, 2017), дизельного топлива (А.Я. Хидиятуллина, 2013; M.W. Lim, 2016), мазута (М.Е. Баранов, 2015), полихлорированных бифенилов (H.I. Gomes, 2013), солей тяжелых металлов (Ю.Я. Колида и др., 2014).

Существует большое количество работ о положительном влиянии на процессы роста и развития растений наночастиц металлов – золота (V. Kumar et al., 2013), серебра (С.Н. Маслоброд, 2014; W.N. Wang et al., 2013), меди (С.Н. Маслоброд, 2014), нанопорошков оксидов металлов – магния (R. Raliya et al., 2014; K. Imada et al., 2016), алюминия (Т.П. Астафурова и др., 2011), диоксида титана (H. Feizi et al., 2013), гидроксида железа (Г.Э. Фолманис, 2012), единичны исследования наноматериалов на основе природных минералов (M. Wang, 2012). Вме-

сте с тем, отсутствуют данные об эффективности применения наноматериалов для снижения фитотоксического действия углеводов и усиления фиторемедиации.

Цель и задачи исследований. Цель работы – оценить динамику основных агрохимических и биологических свойств нефтезагрязненной серой лесной почвы РТ при применении наноструктурного бентонита в сочетании с растениями-фитомелиорантами.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

1. Оценить физико-химические свойства наноструктурного бентонита, биологическую безопасность его применения, ремедиационный потенциал и детоксикационные свойства.
2. Охарактеризовать динамические изменения агрохимических показателей почвы и ее биологической активности.
3. Оценить влияние предпосевной обработки семян наноструктурным бентонитом на рост и развитие растений, их фотосинтетическую активность.
4. Оценить экономическую и энергетическую эффективность предпосевной обработки семян наноструктурным бентонитом, рассчитать экономическую эффективность усовершенствованного приема фиторемедиации.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Физико-химические свойства, биологическая безопасность, ремедиационный потенциал и детоксикационные свойства наноструктурного бентонита.
2. Агрохимические и биологические свойства нефтезагрязненной почвы в процессе восстановления.
3. Эффективность применения наноструктурного бентонита в отношении роста и развития растений в процессе фиторемедиации.

Диссертационная работа выполнена в соответствии с концепцией развития аграрной науки и научного обеспечения агропромышленного комплекса Российской Федерации на период до 2025 г. и соответствует паспорту специальности 06.01.04 – агрохимия.

Научная новизна. Получен наноструктурный бентонит (НБ) с размерами частиц 5,0-100,0 нм, изучены его свойства. Впервые установлена биологическая безопасность НБ по показателям фитотоксичности в диапазоне концентраций 0,25-10,0 кг на т посевного материала. Дана оценка агрохимических свойств и биологической активности серой лесной почвы в процессе ремедиации при применении НБ. Установлена эффективность предпосевной обработки семян НБ в дозе 1,25 кг/т в отношении роста, развития и фотосинтетической активности растений. Выявлено усиление процесса фиторемедиации нефтезагрязненной серой лесной почвы при предпосевной обработке семян НБ.

Практическая значимость работы. Усовершенствован прием ремедиации нефтезагрязненной почвы с использованием НБ и растений-фитомелиорантов. Установлена экологическая безопасность приема, основанного на активизации микробиологических процессов и нормализации агрохимических свойств серой лесной почвы в условиях нефтяного стресса. Полученные данные о характере динамических изменений комплекса агрохимических и биологических параметров нефтезагрязненной серой лесной почвы под действием НБ и при использовании

растений-фитомелиорантов могут быть использованы для создания экспериментальной модели ремедиации почв.

Внедрение результатов исследований. Усовершенствованный прием внедрен в 2016 г. на площади 200 м² в КФХ «Сафиуллин Р.Р.» Альметьевского муниципального района и на площади 150 м² в КФХ «Хазеев С.М.» Бавлинского муниципального района Республики Татарстан (акты внедрения прилагаются).

По материалам диссертации разработан нормативно-технический документ: «Усовершенствованный прием фиторемедиации нефтезагрязненных почв Республики Татарстан», утвержденный Татарским НИИАХП – обособленным структурным подразделением ФИЦ КазНЦ РАН (протокол Ученого совета №7 от 27 марта 2018 года).

Апробация работы. Основные результаты и положения диссертации доложены и обсуждены на следующих международных и всероссийских конференциях: 49-ой международной научной конференции молодых ученых, специалистов-агрохимиков и экологов «Агроэкологические функции удобрений в современном земледелии» (Москва, 2015), научно-практической конференции «Актуальные проблемы почвоведения, экологии и земледелия» (Курск, 2016), научно-практической заочной конференции «Современные проблемы АПК и перспективы развития» (Майкоп, 2017), 52-ой международной научной конференции молодых ученых, специалистов-агрохимиков и экологов «Агроэкологические и экономические аспекты применения средств химизации сельскохозяйственного производства» (Москва, 2018).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 27 научных работ, в том числе 10 – в рецензируемых журналах, включенных в перечень ВАК РФ.

Личный вклад. Соискатель непосредственно участвовал в постановке цели и задач исследований, проводил лабораторные, вегетационные и полевые опыты, выполнил статистическую обработку экспериментальных данных, подготовил и опубликовал статьи в научных изданиях и в логической последовательности изложил результаты исследований в диссертации. Общий личный вклад соискателя в объеме диссертационной работы составляет не менее 80%. Доля личного участия в опубликованных научных трудах не менее 75%, в том числе в статьях из перечня ВАК – 70%.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, обзора литературы, экспериментальной части, содержащей объекты и методы, результаты исследований, их обсуждение, выводов, списка литературы (310 источников, из них 57 иностранных). Работа изложена на 163 страницах компьютерного текста, содержит 22 таблицы, 16 рисунков, 37 приложений.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

ГЛАВА I. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

Изучено современное состояние нефтяного загрязнения почв на территории РФ и РТ, обсуждены принципы нормирования содержания углеводородов нефти в почве. Описано влияние углеводородного загрязнения на свойства почвы, рост

и развитие растений. Изложены способы ремедиации нефтезагрязненных почв и применяемые материалы.

ГЛАВА II. УСЛОВИЯ, ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Работа выполнена в соответствии с планом научно-исследовательских работ отдела почвенной биологии Татарского НИИАХП – обособленного структурного подразделения Федерального государственного бюджетного учреждения науки ФИЦ КазНЦ РАН по «Программе фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013-2020 гг.», утвержденной распоряжением Правительства РФ.

Объектами исследований являлись серая лесная среднесуглинистая почва, девонская нефть, агроминералы в термо-механоактивированном (глауконит, фосфорит, бентопорошок) и наноструктурном виде (наноструктурный глауконит, наноструктурный фосфорит, наноструктурный бентонит (НБ), сельскохозяйственные культуры – кукуруза сахарная (*Zea mays* L.) сорта Молдавская 215, пшеница яровая (*Triticum vulgare* L.) сорта Йолдыз, горох посевной (*Pisum sativum* L.) сорта Кабан, вика посевная (*Vicia sativa* L.) сорта Льговская-22 и люцерна изменчивая (*Medicago x varia* Martyn.) сорта Татарская пастбищная. Исследования проводили в лабораторных, вегетационных и полевых стационарных опытах.

Агрохимическая характеристика исследованной серой лесной почвы: содержание органического углерода – 1,62%; рН солевой вытяжки – 6,72; гидролитическая кислотность – 0,75 мг-экв./100 г почвы; сумма поглощенных оснований – 29,8 мг-экв./100 г почвы; щелочно-гидролизуемый азот – 102,0 мг/кг; подвижный фосфор – 136,0 мг/кг и обменный калий – 116,0 мг/кг.

Химический состав бентопорошка Тарн-Варского месторождения представлен, %: SiO₂ – 66,6; Al₂O₃ – 17,04; Fe₂O₃ – 5,5; K₂O – 2,5; MgO – 1,5; CaO – 0,8; TiO₂ – 0,6; SO₃ – 0,4; Na₂O – 0,2; P₂O₅ – 0,1; MnO – 0,03; органический остаток – 4,7. Соединения кадмия, ртути, мышьяка и свинца отсутствуют. Минеральный состав, %: монтмориллонит – 80,0-82,0; гидрослюда – 6,0-8,0; каолинит – 6,0 и кварц – 5,0-7,0 (Научное обоснование..., 2014).

НБ изготавливали методом ультразвукового диспергирования с помощью гомогенизатора UP-400S, мощность прибора 400 Вт, частота 24 кГц, время воздействия 5 минут. Для исследования структуры и размера частиц бентопорошка и НБ использовали метод атомно-силовой микроскопии (АСМ) на сканирующем зондовом микроскопе MultiMode V. Для исследования распределения частиц по размерам и форме использовали анализатор Brookhaven 90 Plus/MAS, работающий по принципу динамического рассеяния света. Аттестацию препаратов проводили в ЦКП «Наноматериалы и нанотехнологии».

Оценку действия НБ на растения по морфологическим признакам проводили по МУ 1.2.2968-11 (Порядок биологической..., 2012).

Определение влияния сорбентов в термо-механоактивированном и наноструктурном виде на фитотоксичность нефтезагрязненной почвы проводили методом элюатного биотестирования (Теория и методы..., 2014).

Вегетационные эксперименты проводили в вегетационном домике по схеме опыта: 1) контроль; 2) нефтезагрязненная почва; 3) внесение глауконита в нефте-

загрязненную почву; 4) внесение фосфорита в нефтезагрязненную почву; 5) внесение бентопорошка в нефтезагрязненную почву; 6) внесение наноструктурного глауконита в нефтезагрязненную почву; 7) внесение наноструктурного фосфорита в нефтезагрязненную почву; 8) внесение наноструктурного бентонита в нефтезагрязненную почву. Загрязнение осуществляли однократно девонской нефтью в концентрации 3% и 7%. Дозы исследуемых веществ при заделке в почву были установлены в соответствии с литературными данными и на основании собственных исследований (Исследования в области..., 2017).

Полевые эксперименты проводили в Тюлячинском муниципальном районе РТ. Схема опыта: 1) контроль - 1 (незагрязненная почва без растений); 2) контроль - 2 (нефтезагрязненная почва без растений); 3) контроль - 3 (незагрязненная почва с растениями); 4) контроль - 4 (нефтезагрязненная почва с растениями); 5) внесение бентопорошка в незагрязненную почву без растений в дозе 12 т/га; 6) внесение бентопорошка в нефтезагрязненную почву без растений в дозе 12 т/га; 7) предпосевная обработка семян бентопорошком в дозе 1,25 кг/т в незагрязненной почве; 8) предпосевная обработка семян бентопорошком в дозе 1,25 кг/т в нефтезагрязненной почве; 9) внесение НБ в незагрязненную почву без растений в дозе 0,3 т/га; 10) внесение НБ в нефтезагрязненную почву без растений в дозе 0,3 т/га; 11) предпосевная обработка семян НБ в дозе 1,25 кг/т в незагрязненной почве; 12) предпосевная обработка семян НБ в дозе 1,25 кг/т в нефтезагрязненной почве.

Учетная площадь делянки составляла 0,25 м². Размещение вариантов рендомизированное. Загрязнение осуществляли однократно девонской нефтью в 3% концентрации. Дозы бентопорошка и НБ при заделке в почву и предпосевной обработке семян были установлены на основании литературных данных, лабораторных и вегетационных опытов (Исследования в области..., 2017).

Агрохимические показатели почвы определяли в соответствии со стандартными методическими указаниями: содержание органического вещества по методу Тюрина в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26213-91); рН солевой вытяжки по методу ЦИНАО (ГОСТ 26483-85); гидролитическая кислотность по методу Каппена в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26212-91); сумма поглощенных оснований по методу Каппена (ГОСТ 27821-88); щелочно-гидролизующий азот по методу Корнфилда (Методические указания..., 1985); подвижный фосфор и обменный калий по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО (ГОСТ Р 54650-2011).

Содержание подвижных форм микроэлементов определяли методом атомно-адсорбционной спектрофотометрии. Вынос питательных веществ рассчитывали по общепринятой методике (Агрономическая тетрадь..., 1986).

Оценку всхожести и энергии прорастания семян проводили в соответствии с ГОСТ 12038-84. Фенологические наблюдения вели согласно методическим указаниям «Практикума по физиологии растений» (2001). Учет урожая проводили поделочно методом взвешивания скошенной зеленой массы с учетной площади делянки. В растительных образцах определяли содержание хлорофилла согласно В.А. Разумову (1986), содержание азота – фотометрическим индофенольным методом по ГОСТ 13496.4-93, фосфора и калия – фотометрическим методом по ГОСТ 26657-97.

Респираторную активность микробного сообщества оценивали по выделению CO_2 в процессе инкубирования почвенных образцов в закрытых сосудах (ISO 16072, 2002). Оценку субстрат-индуцированного дыхания проводили согласно методике ISO 16072 (2002). Микробную биомассу вычисляли на основе субстрат-индуцированной респираторной активности в соответствии с ISO 14240-1, 1997.

Содержание углеводов в почвенных образцах определяли методом ИК-спектromетрии с предварительной экстракцией четыреххлористым углеродом (ПНД Ф 16.1:2.2.22-98).

Статистическую обработку результатов экспериментов проводили с помощью Microsoft Office Excel 2010.

ГЛАВА III. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

3.1 Изготовление наноструктурного бентонита, изучение его строения и биологической безопасности

Методом ультразвукового диспергирования получен НБ. С помощью анализа АСМ изображений установлено существенное различие его частиц от бентопорошка. Частицы НБ имели неправильную эллипсоидную форму, среди которых встречались вытянутые и приплюснутые разновидности. Выделено три группы частиц по размерам и форме: вытянутые овально-сферические частицы с размерами 5,0-100,0 нм (доля частиц от общего количества 80,0-82,0%); крупные конгломераты частиц размером 667,0-872,0 нм (до 15,0%), объемной полигональной формы; единичные крупные образования с размером 2,2 мкм и более (до 3,0%). Частицы НБ имели большую удельную площадь, открытые химически активные связи и увеличенную контактную поверхность.

Установлено, что исходный бентопорошок и НБ биобезопасны при использовании в качестве средств предпосевной обработки семян в диапазоне концентраций от 0,25 до 10,0 кг в расчете на 1 т семян. В вариантах с НБ отмечали повышение энергии прорастания семян по сравнению с контролем без обработки и предпосевной обработкой семян бентопорошком. Длина и биомасса проростков кукурузы повысилась на 2,1-16,0% и 6,4-21,3%, корней – на 5,3-11,7% и 13,3-25,0% соответственно. Наибольшие значения исследуемых показателей отмечены при использовании НБ в дозах 1,25 и 5,0 кг/т семян.

3.2 Ремедиационный потенциал агроминералов и наноструктурных агроминералов в нефтезагрязненной почве

Содержание углеводов в почве. Ключевым показателем степени очистки при загрязнении нефтью и нефтепродуктами является остаточное содержание углеводов в почве. В условиях вегетационного опыта заделка агроминералов способствовала снижению остаточного содержания углеводов в почве в течение 90 сут в следующей последовательности: бентопорошок (снижение до 1,75 и 3,90%) > фосфорит (1,89 и 3,90%) > глауконит (1,83 и 3,89%) при 3% и 7% нефти соответственно. Заделка наноструктурных агроминералов была более эффективна: НБ (1,56 и 3,68%) > нанофосфорит (1,67 и 3,87%) > наноглауконит (1,72 и 3,89%) при среднем и сильном уровне загрязнения соответственно.

Фитотоксичность. Применение агроминералов в термо-механоактивированном и наноструктурном виде было более эффективным способом снижения фитотоксического действия нефти с наилучшими показателями у НБ. На 30 сут длина проростков по сравнению с контролем изменялась в диапазоне от депрессии 0,8-4,2% и 6,0-9,0% до стимуляции 0,9-2,2% и 0,9%, длина корней снижалась на 5,8-9,9% и 9,4-15,0%, биомасса проростков – на 1,0-5,9% и 6,4-10,8%, биомасса корней – на 4,8-8,8% и 9,2-13,9% при 3% и 7% нефти соответственно. На 90 сут стимуляция длины проростков по сравнению с контролем составила 0,8-4,2% и 0,5-2,6%, длины корней – 1,0-2,8% и 0,1-0,9%, биомассы проростков – 0,8-4,0% и 0,2-2,4%, биомассы корней – 0,9-3,5% и 0,2-1,5% при среднем и сильном уровне загрязнения соответственно.

На основании полученных данных был установлен ряд морфобиометрических параметров растений по степени чувствительности к нефтяному загрязнению: длина корней > биомасса корней > биомасса проростков > длина проростков.

Биологическая активность почвы. Заделка в почву агроминералов в термо-механоактивированном и наноструктурном виде сопровождалась увеличением респираторной активности почвенного микробного сообщества. Значения эмиссии CO₂ на протяжении всего периода исследований в контроле колебались в интервале от 9,5 до 60,3 мг CO₂/100 г*24 ч, при применении агроминералов – от 18,9 до 73,7 мг CO₂/100 г*24 ч, при использовании наноструктурных агроминералов – от 22,7 до 85,3 мг CO₂/100 г*24 ч с наибольшими показателями на 30 сут. Среди исследованных агроминералов наиболее сильный эффект как при 3%-ном и при 7%-ном загрязнении оказал бентопорошок, из наноформ – НБ. Аналогичные результаты были получены при исследовании субстрат-индуцированного дыхания.

3.3 Влияние бентопорошка и наноструктурного бентонита на процесс ремедиации нефтезагрязненной серой лесной почвы

Динамика изменения содержания углеводов. В условиях полевого опыта за 3 года исследований внесение сорбентов приводило к снижению содержания углеводов в серой лесной почве при заделке бентопорошка до 1,03% , при заделке НБ – до 0,30% (рис. 1А).

При выращивании растений на нефтезагрязненной почве наблюдали выраженный фиторемедиационный эффект в течение всего эксперимента. К концу вегетации вики и люцерны содержание углеводов в почве при предпосевной обработке семян бентопорошком снижалось до 2,04% в первый год, до 1,77% во второй год и до 1,19% в третий год; при обработке НБ – до 1,40%, 0,87% и 0,08% соответственно (рис. 1Б).

Наиболее эффективная деструкция нефти была достигнута в случае предпосевной обработки семян НБ (содержание углеводов в почве снизилось до значений, не превышающих предельно допустимую концентрацию (ПДК) и допустимое остаточное содержания нефти (ДОСНП)).

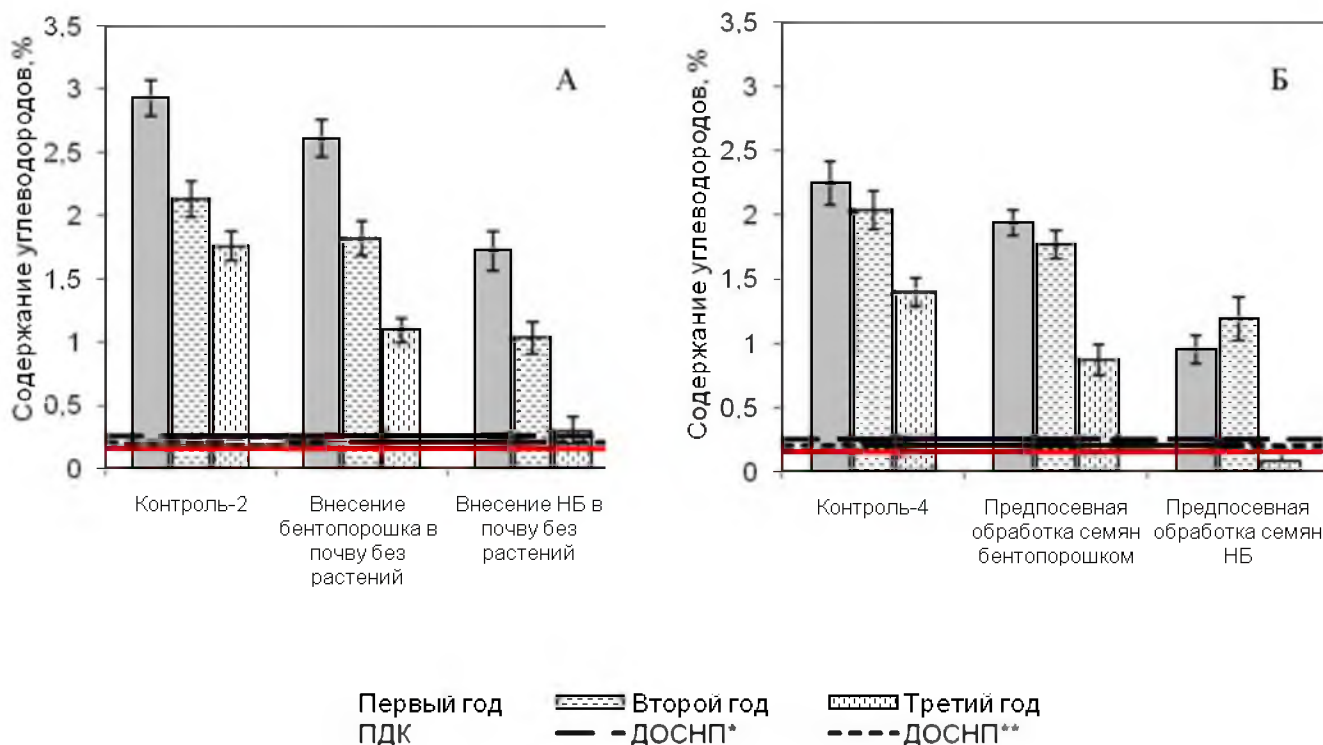


Рисунок 1 – Остаточное содержание углеводов в нефтезагрязненной серой лесной почве при внесении сорбентов (Примечание: ПДК – 0,15%, ДОСНП* – 0,25% для земель сельскохозяйственного назначения, ДОСНП** – 0,20% для особо охраняемых территорий)

Динамика агрохимических показателей незагрязненной почвы. При заделке в почву бентопорошка, НБ и выращивании вики из обработанных ими семян установлено увеличение содержания органического углерода до 1,63-1,70%. Соотношение углерода и азота составило 8,9-9,6, что свидетельствовало о благоприятных условиях в почве для нормального развития растений и микроорганизмов (табл. 1).

В первый год исследований заделка бентопорошка, НБ и выращивание вики из семян, обработанных исследуемыми веществами, способствовали сдвигу рН солевой вытяжки в сторону нейтрализации; гидролитическая кислотность снижалась на 0,11-0,20 и 0,09-0,13 мг-экв./100 г, сумма поглощенных оснований увеличивалась на 1,1-3,7 и 3,4-4,0 мг-экв./100 г, содержание щелочно-гидролизующего азота повышалось на 3,9-8,7% и до 2,7% по сравнению с соответствующими контрольными вариантами. Содержание подвижного фосфора и обменного калия существенно не изменялось (табл. 2).

В последующие годы во всех вариантах использования бентопорошка и НБ содержание органического углерода составило 1,64-1,73%, азота – 0,17-0,21%. Гидролитическая кислотность снизилась на 0,07-0,15 и 0,04-0,11 мг-экв./100 г; сумма поглощенных оснований повысилась на 2,4-2,5 и 3,0-4,0 мг-экв./100 г, щелочно-гидролизующий азот – на 22,9-26,0% и 1,7-2,5% при заделке бентопорошка, НБ и обработке семян по сравнению с соответствующими контрольными вариантами.

Таблица 1 – Содержание углерода и азота в серой лесной почве при применении бентопорошка и наноструктурного бентонита (слой 0-30 см)

Вариант	C _{орг.}	N	C:N
	%		
Контроль - 1	<u>1,62</u>	<u>0,17</u>	<u>9,5</u>
	1,61	0,16	10,1
Контроль - 3	<u>1,63</u>	<u>0,18</u>	<u>9,1</u>
	1,65	0,19	8,7
Внесение бентопорошка в почву без растений	<u>1,63</u>	<u>0,17</u>	<u>9,6</u>
	1,64	0,17	9,6
Предпосевная обработка семян бентопорошком	<u>1,63</u>	<u>0,18</u>	<u>9,1</u>
	1,64	0,19	8,7
Внесение НБ в почву без растений	<u>1,68</u>	<u>0,17</u>	<u>9,9</u>
	1,67	0,17	9,8
Предпосевная обработка семян НБ	<u>1,70</u>	<u>0,19</u>	<u>8,9</u>
	1,73	0,21	8,2

Примечание (здесь и далее): в числителе указаны данные первого года исследований; в знаменателе – усредненные данные второго и третьего года исследований. Значения достоверны при $P \leq 0,05$.

Таблица 2 – Агрохимические свойства серой лесной почвы при применении бентопорошка и наноструктурного бентонита (слой 0-30 см)

Вариант	pH _{сол.}	H _r	S _{по}	N _{цел.}	P ₂ O ₅	K ₂ O
		мг-экв./100 г		мг/кг		
Контроль - 1	<u>6,80</u>	<u>0,52</u>	<u>25,8</u>	<u>103</u>	<u>136</u>	<u>116</u>
	6,64	0,65	27,7	96	139	119
Контроль - 3	<u>6,87</u>	<u>0,43</u>	<u>27,9</u>	<u>110</u>	<u>135</u>	<u>113</u>
	6,70	0,58	28,4	118	134	113
Внесение бентопорошка в почву без растений	<u>7,12</u>	<u>0,32</u>	<u>29,5</u>	<u>107</u>	<u>137</u>	<u>114</u>
	7,08	0,58	30,1	118	138	116
Предпосевная обработка семян бентопорошком	<u>6,99</u>	<u>0,34</u>	<u>31,3</u>	<u>105</u>	<u>135</u>	<u>115</u>
	6,86	0,54	31,4	121	136	115
Внесение НБ в почву без растений	<u>6,97</u>	<u>0,41</u>	<u>26,9</u>	<u>112</u>	<u>140</u>	<u>116</u>
	6,86	0,50	30,2	121	140	121
Предпосевная обработка семян НБ	<u>6,98</u>	<u>0,30</u>	<u>31,9</u>	<u>113</u>	<u>138</u>	<u>116</u>
	6,86	0,47	32,4	120	137	119
НСР ₀₅	<u>0,02</u>	<u>0,04</u>	<u>2,54</u>	<u>5</u>	<u>9</u>	<u>7</u>
	0,03	0,11	1,78	6	8	9

Динамика агрохимических показателей нефтезагрязненной почвы. Загрязнение девонской нефтью в дозе 3% в первый год сопровождалось существенным изменением агрохимических параметров почвы. За счет экзогенного поступления возрастало общее содержание органического углерода до 3,66-3,84%, при этом содержание общего азота не изменялось. В результате соотношение между углеродом и азотом по сравнению с незагрязненными контролями расширилось в 2,2-2,6 раза (табл. 3).

Таблица 3 – Содержание углерода и азота в нефтезагрязненной серой лесной почве при применении бентопорошка и наноструктурного бентонита (слой 0-30 см)

Вариант	C _{орг.}	N	C:N
	%		
Контроль - 2	<u>3,84</u>	<u>0,16</u>	<u>24,0</u>
	1,73	0,16	10,8
Контроль - 4	<u>3,81</u>	<u>0,18</u>	<u>21,2</u>
	1,72	0,19	9,1
Внесение бентопорошка в почву без растений	<u>3,78</u>	<u>0,16</u>	<u>23,6</u>
	1,75	0,15	11,7
Предпосевная обработка семян бентопорошком	<u>3,76</u>	<u>0,18</u>	<u>21,0</u>
	1,75	0,20	8,8
Внесение НБ в почву без растений	<u>3,71</u>	<u>0,15</u>	<u>24,7</u>
	1,77	0,16	11,1
Предпосевная обработка семян НБ	<u>3,66</u>	<u>0,18</u>	<u>20,3</u>
	1,77	0,21	8,4

В контроле - 2 и контроле - 4 повысился рН солевой вытяжки на 0,29 и 0,18 ед., снизилась гидролитическая кислотность на 0,21 и 0,16 мг-экв./100 г, увеличилась сумма поглощенных оснований на 4,4 и 2,3 мг-экв./100 г, уменьшилось содержание подвижных форм фосфора на 8,8% и 8,9%, обменного калия – на 14,7% и 13,3% по сравнению с соответствующими незагрязненными контрольными вариантами. Содержание щелочно-гидролизующего азота не менялось (табл. 4).

Таблица 4 – Агрохимические свойства нефтезагрязненной серой лесной почвы при применении бентопорошка и наноструктурного бентонита (слой 0-30 см)

Вариант	рН _{сол.}	H _г	S _{по}	N _{цел.}	P ₂ O ₅	K ₂ O
		мг-экв./100 г		мг/кг		
Контроль - 2	<u>7,09</u>	<u>0,31</u>	<u>30,2</u>	<u>100</u>	<u>124</u>	<u>99</u>
	6,81	0,73	29,8	115	139	117
Контроль - 4	<u>7,05</u>	<u>0,27</u>	<u>30,2</u>	<u>110</u>	<u>123</u>	<u>98</u>
	6,82	0,49	29,9	113	138	117
Внесение бентопорошка в почву без растений	<u>7,20</u>	<u>0,24</u>	<u>31,4</u>	<u>104</u>	<u>125</u>	<u>100</u>
	7,14	0,40	32,6	114	132	114
Предпосевная обработка семян бентопорошком	<u>7,08</u>	<u>0,21</u>	<u>31,0</u>	<u>117</u>	<u>123</u>	<u>97</u>
	6,90	0,40	31,6	116	133	115
Внесение НБ в почву без растений	<u>7,10</u>	<u>0,27</u>	<u>30,9</u>	<u>107</u>	<u>127</u>	<u>104</u>
	6,92	0,38	30,4	115	130	110
Предпосевная обработка семян НБ	<u>7,09</u>	<u>0,24</u>	<u>31,4</u>	<u>119</u>	<u>125</u>	<u>101</u>
	6,94	0,38	32,8	116	134	116
НСР ₀₅	<u>0,02</u>	<u>0,03</u>	<u>2,01</u>	<u>6</u>	<u>9</u>	<u>8</u>
	0,03	0,07	1,25	7	9	7

При заделке в почву бентопорошка, НБ и выращивании вики из семян, обработанных исследуемыми веществами, гидролитическая кислотность снизилась на 0,04-0,07 и 0,03-0,06 мг-экв./100 г, сумма поглощенных оснований увеличилась на 0,7-1,2 и 0,8-1,2, содержание щелочно-гидролизующего азота – на 4,0-7,0% и 6,4-8,2% по сравнению с соответствующими контрольными вариантами с за-

грязнением. Содержание подвижного фосфора и обменного калия значительно не изменялось.

Сопоставление агрохимических показателей второго и третьего года исследований в вариантах с заделкой бентопорошком и НБ в почву, а также при выращивании люцерны из обработанных ими семян выявило тенденцию постепенного восстановления свойств почвы. Уменьшилось содержание органического углерода до 1,75-1,77%, вследствие чего нормализовалось соотношение углерода к азоту. рН солевой вытяжки снизился до 6,92-7,14 ед. Гидролитическая кислотность уменьшилась на 0,33-0,35 и 0,09-0,11 мг-экв./100 г; сумма поглощенных оснований повысилась на 0,6-2,8 и 1,7-2,9 мг-экв./100 г при внесении бентопорошка, НБ в почву и обработке семян по сравнению с соответствующими контрольными вариантами. Содержание фосфора и калия не менялось.

Загрязнение девонской нефтью в исследуемой концентрации не оказало влияния на содержание подвижных форм микроэлементов в почве (табл. 5).

Таблица 5 – Содержание подвижных форм микроэлементов в нефтезагрязненной почве, мг/кг (слой 0-30 см)

Вариант	Mn	Co	Cu	Zn	Mo	B
Контроль - 2	<u>32,14</u>	<u>1,52</u>	<u>3,23</u>	<u>0,90</u>	<u>0,16</u>	<u>0,55</u>
	32,14	1,52	3,23	0,90	0,17	0,55
Контроль - 4	<u>32,09</u>	<u>1,49</u>	<u>3,21</u>	<u>0,89</u>	<u>0,16</u>	<u>0,54</u>
	32,10	1,50	3,20	0,89	0,16	0,55
Внесение бентопорошка в почву без растений	<u>33,18</u>	<u>1,45</u>	<u>3,18</u>	<u>0,86</u>	<u>0,15</u>	<u>0,53</u>
	33,12	1,46	3,19	0,85	0,15	0,52
Предпосевная обработка семян бентопорошком	<u>32,05</u>	<u>1,48</u>	<u>3,19</u>	<u>0,88</u>	<u>0,16</u>	<u>0,52</u>
	32,07	1,49	3,20	0,87	0,16	0,53
Внесение НБ в почву без растений	<u>31,22</u>	<u>1,45</u>	<u>3,19</u>	<u>0,86</u>	<u>0,15</u>	<u>0,53</u>
	31,20	1,46	3,18	0,86	0,15	0,52
Предпосевная обработка семян НБ	<u>32,03</u>	<u>1,49</u>	<u>3,20</u>	<u>0,87</u>	<u>0,15</u>	<u>0,52</u>
	32,02	1,48	3,20	0,88	0,15	0,53

Во всех вариантах опыта их содержание не превышало норм допустимых концентраций и региональных нормативов фоновых содержаний в почвах РТ (Об утверждении региональных..., 2016).

Биологическая активность нефтезагрязненной серой лесной почвы. В условиях трехлетнего полевого опыта установлено токсическое влияние девонской нефти на активность микробного сообщества серой лесной почвы.

Заделка в почву бентопорошка, НБ и выращивание растений из обработанных ими семян способствовали усилению интенсивности выделения CO₂ в первый год исследований по сравнению с соответствующими контрольными вариантами: скорость базального дыхания увеличилась на 4,5-36,9% на 10 сут, 7,2-42,6% – на 30 сут, 12,8-27,5% – на 90 сут (рис. 2). Значения коэффициента микробного дыхания для всех опытных вариантов в этот период составили 1,02-1,25, что указывало на нарушение стабильности почвенного микробиоценоза и процессы интенсивного разложения органического вещества.

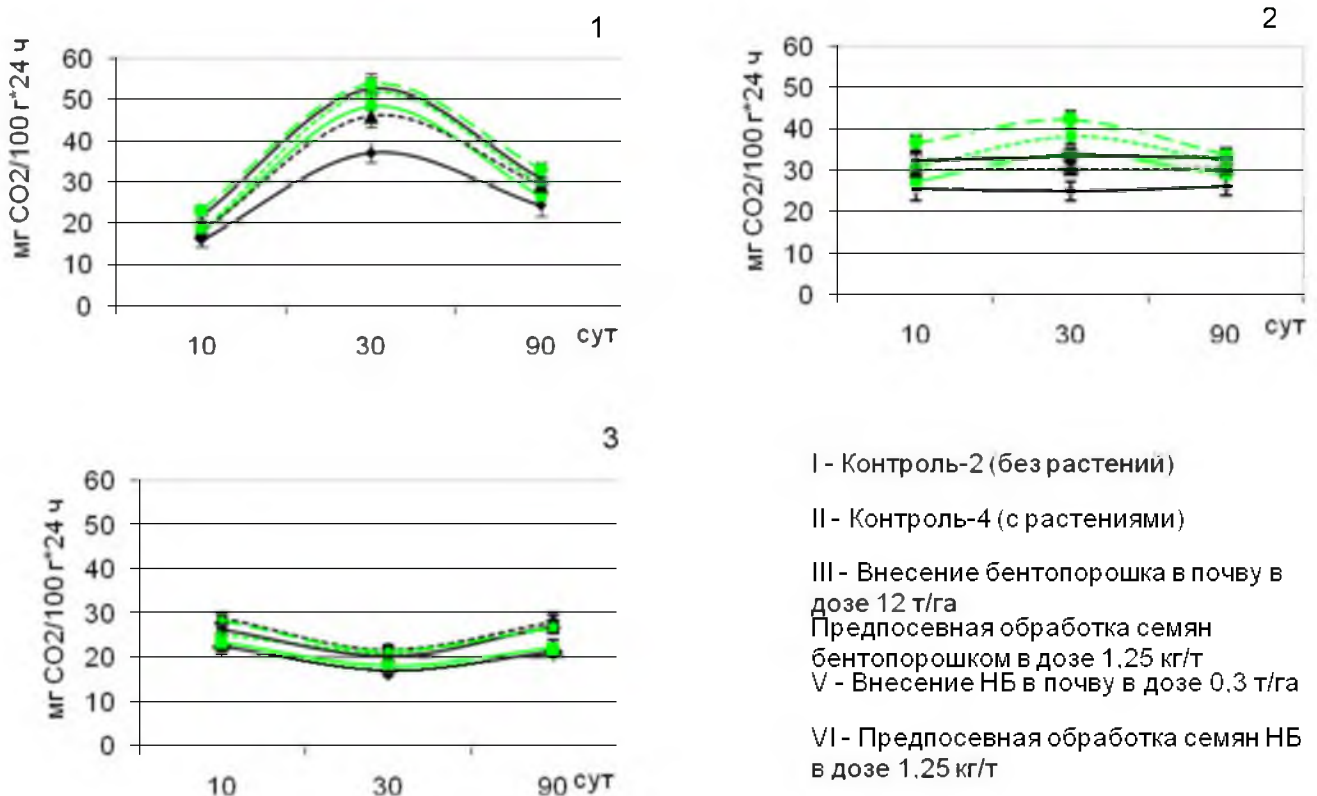


Рисунок 2 – Уровень респираторной активности нефтезагрязненной серой лесной почвы в период исследований: 1 – первый год, 2 – второй год, 3 – третий год

На второй год после загрязнения, как в контрольном, так и в опытных вариантах при внесении бентопорошка и НБ существенных изменений по показателям базального дыхания не наблюдали: эмиссия CO_2 составляла 25,0-33,3 мг $\text{CO}_2/100 \text{ г} \cdot 24 \text{ ч}$, с наилучшими показателями при НБ. Варианты с выращиванием люцерны на нефтезагрязненной почве характеризовались более высокими значениями показателя респираторной активности: в контроле - 4 – прирост на 6,3-35,2% по сравнению с контролем - 2 (без растений); при обработке семян бентопорошком – на 10,0-13,6%, НБ – на 16,2-34,9% по сравнению с контрольным вариантом с растениями без внесения веществ (контроль - 4). Значения коэффициента микробного дыхания в вариантах с предпосевной обработкой семян бентопорошком, заделкой в почву НБ и при обработке семян НБ снижались и составили 0,97; 0,83 и 0,55 соответственно. В других вариантах коэффициент микробного дыхания оставался выше 1,0.

В связи с климатическими условиями показатели дыхания в третий год исследований характеризовались более низкими значениями. Эмиссия CO_2 в динамике на 10, 30 и 90 сут изменялась в пределах от 16,9 до 28,9 мг $\text{CO}_2/100 \text{ г} \cdot 24 \text{ ч}$. Максимальной интенсивностью характеризовались варианты с разными способами применения бентопорошка и НБ.

Коэффициент микробного дыхания в варианте с предпосевной обработкой семян НБ составил 0,19, что указывало на отсутствие негативного воздействия поллютанта на микробное сообщество, что подтверждалось данными об уровне остаточного содержания нефти ниже значений ПДК. Во всех остальных случаях

неблагоприятное влияние на почвенный микробный комплекс сохранялось, значения коэффициента микробного дыхания составили 0,34-0,94.

Установлена сильная отрицательная зависимость между базальным дыханием и остаточным содержанием углеводов в первый год исследований ($r=-0,97$), во второй год исследований ($r=-0,95$) и умеренная в третий год исследований ($r=-0,58$), а также сильная положительная зависимость между коэффициентом микробного дыхания и содержанием углеводов в исследуемый период ($r=0,97$ в первый год, $r=0,94$ во второй год, $r=0,93$ в третий год).

3.4 Рост и развитие растений в нефтезагрязненной почве при применении бентопорошка и наноструктурного бентонита в качестве средств предпосевной обработки семян

Всхожесть и энергия прорастания семян. Полевая всхожесть растений при загрязнении почвы нефтью снижалась: в контроле - 4 (выращивание растений в нефтезагрязненной почве без обработки семян) на 14,3-25,4%, при предпосевной обработке бентопорошком – на 9,7-15,2%, при обработке семян НБ – на 3,2-10,6%. Энергия прорастания также снижалась: в случае бентопорошка на 13,0-30,0%, НБ – 7,0-15,0%, в контроле - 4 – до 50,0%.

Фазы развития. При выращивании растений в контроле - 4 наблюдали запаздывание фаз вегетации: наступление фазы ветвления задерживалось на 7-10 дней, цветения – на 9-13 дней. Отмечали появление хлороза листьев и признаки некроза. Обработка семян НБ способствовала ускорению фаз ветвления – на 3-4 дня, цветения – на 2-4 дня по сравнению с контролем - 4.

Урожайность зеленой массы. Предпосевная обработка семян вики бентопорошком и НБ снизила токсический эффект углеводородного загрязнения. Урожайность зеленой массы растений по сравнению с контролем - 4 повысилась на 15,0% и 23,8% соответственно (табл. 6).

На второй год при выращивании люцерны в нефтезагрязненной почве предпосевная обработка семян бентопорошком и НБ оказывала стимулирующий эффект на формирование урожайности зеленой массы: прирост к контролю - 4 составил 4,9% и 8,7% соответственно. В третий год загрязнение не оказывало достоверного воздействия на урожайность зеленой массы растениями люцерны, за исключением варианта с НБ, где значение превысило показатель контроля - 4 на 7,3%.

Физиолого-биохимические показатели. На протяжении 3-х лет исследований загрязнение почвы нефтью обуславливало снижение выноса азота с урожаем растений на 0,2-0,5 кг/т, фосфора – на 0,1-0,3 кг/т, в выносе калия особых отличий не установлено.

Загрязнение не оказало достоверного влияния на содержание NPK в растениях вики и люцерны. Значения колебались в пределах 0,48-0,56% для азота, 0,13-0,16% – фосфора и 0,35-0,38% – калия, с наилучшими показателями при применении НБ.

Таблица 6 – Влияние предпосевной обработки семян растений бентопорошком и наноструктурным бентонитом на накопление биомассы и химический состав растений при выращивании на серой лесной почве в условиях нефтезагрязнения

Вариант	Урожайность зеленой массы	Содержание хлорофилла,	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
	кг/м ²	мг/кг	%		
Первый год исследований					
Контроль - 4	0,80	3,04±0,19	0,48±0,05	0,13±0,02	0,36±0,02
Предпосевная обработка семян бентопорошком	0,92	3,21±0,19	0,50±0,02	0,15±0,01	0,35±0,02
Предпосевная обработка семян НБ	0,99	3,63±0,20	0,51±0,03	0,16±0,05	0,37±0,02
НСР ₀₅	0,04				
Второй год исследований					
Контроль - 4	1,03	2,03±0,19	0,50±0,04	0,13±0,05	0,36±0,04
Предпосевная обработка семян бентопорошком	1,08	2,14±0,17	0,53±0,01	0,13±0,02	0,35±0,03
Предпосевная обработка семян НБ	1,12	2,23±0,12	0,54±0,02	0,14±0,03	0,36±0,01
НСР ₀₅	0,02				
Третий год исследований					
Контроль - 4	1,09	2,01±0,21	0,52±0,05	0,13±0,01	0,36±0,03
Предпосевная обработка семян бентопорошком	1,10	2,19±0,19	0,55±0,03	0,14±0,02	0,37±0,02
Предпосевная обработка семян НБ	1,17	2,27±0,13	0,56±0,02	0,15±0,01	0,38±0,01
НСР ₀₅	0,03				

Содержание хлорофилла при загрязнении нефтью во всех вариантах опыта повышалось: в контроле - 4 – до 3,04 мг/кг, при обработке семян бентопорошком – до 3,21 мг/кг, при применении НБ – до 3,63 мг/кг, в почве без загрязнения – 2,54 мг/кг. При «старении» загрязнения наблюдали сохранение тенденции повышенного содержания хлорофилла в растениях люцерны по сравнению с растениями, произраставшими на незагрязненной почве. Наилучшие показатели были получены в случае предпосевной обработки семян растений НБ: содержание хлорофилла в этом варианте составило 2,25 мг/кг, прирост к контролю - 4 – 11,4%. По-видимому, биодоступность и усвоение компонентов агроминерала в наноструктурном виде повышались, что стимулировало активность растительных клеток и усиливало фотосинтетические процессы.

ГЛАВА IV. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ

Применение НБ для обработки семян перед посевом являлось экономически и энергетически эффективным приемом при возделывании кормовых культур (табл. 7).

Таблица 7 – Экономическая эффективность применения бентопорошка и наноструктурного бентонита на посевах вики посевной и люцерны изменчивой при выращивании на серой лесной почве

Показатель	Контроль	Предпосевная обработка семян	
		бентопорошок	НБ
Урожайность зеленой массы, т/га	<u>0,96</u> 10,8	<u>1,10</u> 11,2	<u>11,5</u> 11,9
Прибавка урожайности, т/га	-	<u>1,4</u> 0,4	<u>1,9</u> 1,1
Стоимость прибавки, руб/га	-	<u>1260</u> 400	<u>1710</u> 1100
Затраты на обработку семян, руб/га	-	<u>296,3</u> 29,6	<u>296,3</u> 29,6
Затраты на уборку, перевозку и подработку дополнительного урожая, руб/га	-	<u>592,2</u> 169,3	<u>803,7</u> 605,5
Стоимость бентопорошка, руб/га	-	<u>62,4</u> 62,4	<u>168,0</u> 168,0
Итого прямых затрат, руб/га	-	<u>950,9</u> 261,3	<u>1267,4</u> 803,1
Условно-чистый доход, руб/га	-	<u>309,1</u> 51,4	<u>443,6</u> 296,9
Окупаемость одного рубля затрат, руб	-	<u>0,32</u> 0,12	<u>0,35</u> 0,37

Затраты на реализацию усовершенствованного приема ремедиации нефтезагрязненной почвы были в 2 раза меньше по сравнению с традиционной технологией. Прием экологически безопасен и позволяет снизить содержание углеводов нефти при среднем уровне загрязнения в почве до значений ниже ПДК за 3 года.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Методом диспергирования термо-механоактивированного бентопорошка изготовлен наноструктурный бентонит (НБ) с размером частиц 5,0-100,0 нм. Охарактеризовано распределение частиц НБ, их размеры и форма. Установлено отсутствие повреждающего действия НБ на рост и развитие растительных тест-объектов в концентрациях от 0,25 до 10,0 кг/т. Выявлен высокий ремедиационный потенциал НБ при заделке в серую лесную почву: за 90 сут содержание углеводов снижается до 1,56% при средней степени исходного загрязнения (3% нефти в почве), до 3,68% при сильной степени исходного загрязнения (7% нефти в почве).

Установлен ряд морфобиометрических параметров растений по степени чувствительности к нефтяному загрязнению: длина корней > биомасса корней > биомасса проростков > длина проростков. Применение агроминералов в термо-механоактивированном и наноструктурном видах является эффективным способом снижения фитотоксического действия нефти и фитостимуляции с наилучшими показателями у НБ.

Заделка в почву бентопорошка и НБ при средней степени исходного загрязнения почвы способствует снижению содержания углеводородов нефти в серой лесной почве до 1,03% и 0,30% соответственно. Установлен фиторемедиационный эффект при выращивании растений в нефтезагрязненной почве, усиливающийся при предпосевной обработке семян НБ. Содержание углеводородов нефти при выращивании вики посевой и люцерны изменчивой из обработанных НБ семян существенно ниже установленных значений ПДК и ДОСНП для этого типа почв.

Использование бентопорошка и НБ как при внесении в почву без загрязнения в качестве мелиорантов, так и при предпосевной обработке семян растений способствует улучшению агрохимических свойств серой лесной почвы: увеличивается содержание органического углерода до 1,63-1,73%, сумма поглощенных оснований – на 1,1-3,7 и 3,0-4,0 мг-экв./100 г, содержание щелочно-гиролизуемого азота – на 3,9-26,0% и 1,7-2,7%, снижается гидролитическая кислотность на 0,07-0,20 и 0,04-0,13 мг-экв./100 г соответственно по сравнению с контрольными вариантами. При этом эффективность использования НБ при заделке в почву в дозе 0,3 т/га выше, чем бентонита в дозе 12 т/га.

При загрязнении серой лесной почвы девонской нефтью при средней степени загрязнения установлено изменение содержания органического углерода, реакции почвенной среды $pH_{\text{сол}}$, фосфатного и калийного режимов. Применение бентопорошка и НБ как при заделке в почву, так и при предпосевной обработке семян способствует улучшению состояния нефтезагрязненной серой лесной почвы по агрохимическим показателям: снижается гидролитическая кислотность на 0,04-0,35 и 0,03-0,11 мг-экв./100 г, увеличивается сумма поглощенных оснований на 0,6-2,8 и 0,8-2,9 мг-экв./100 г соответственно по сравнению с контрольными вариантами. Выявлена нормализация соотношения углерода к азоту.

Установлены сильная и умеренная отрицательная зависимость между интенсивностью базального дыхания и остаточным содержанием углеводов в почве, сильная положительная зависимость между коэффициентом микробного дыхания и остаточным содержанием углеводов в почве.

Предпосевные обработки семян бентопорошком и НБ по сравнению с выращиванием без обработки при средней степени нефтяного загрязнения серой лесной почвы способствуют снижению фитотоксического эффекта нефти в отношении ряда морфобиометрических и физиолого-биохимических показателей растений: всхожесть семян повышается на 4,6-14,8%, энергия их прорастания – на 12,0-35,0%, наступление фаз развития растений происходит раньше на 2-4 дня, урожайность зеленой массы растений увеличивается на 0,9-23,8%, вынос элементов питания повышается на 0,1-0,4 кг/т.

При выращивании бобовых кормовых растений экономически и энергетически наиболее эффективной является предпосевная обработка семян НБ. На этапе биологической ремедиации нефтезагрязненной почвы общая сумма затрат на реализацию усовершенствованного приема с использованием НБ и растений-фитомелиорантов в 2 раза меньше сравнению с традиционной технологией. При

этом содержание углеводов нефти в почве за 3 года снижается до значений ниже ПДК.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПРОИЗВОДСТВУ

В комплекс мероприятий по ремедиации серой лесной почвы при среднем уровне нефтяного загрязнения рекомендуется включить в полевые севообороты растения-фитомелиоранты из семейства бобовых – вика посевная и люцерна изменчивая с предварительной предпосевной обработкой семян наноструктурным бентонитом в дозе 1,25 кг в расчете на 1 т посевного материала.

СПИСОК ОСНОВНЫХ ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи, опубликованные в ведущих в ведущих рецензируемых научных журналах, рекомендуемых ВАК Российской Федерации:

1. Шаронова, Н.Л. Эффект фиторемедиации на выщелоченном черноземе, загрязненном жидкими углеводородами / Н.Л. Шаронова, И.А. Яппаров, А.М. Ежкова, **Г.Ф. Рахманова** // *Агрохимический вестник*, 2015. – №6. – С. 22-25.
2. **Рахманова, Г.Ф.** Влияние наносорбента на процессы биоремедиации нефтезагрязненной почвы / **Г.Ф. Рахманова**, Н.Л. Шаронова, И.А. Дегтярева // *Вестник Казанского технологического университета*, 2016. – Т.19. – №5. – С. 149-152.
3. **Рахманова, Г.Ф.** Влияние наноструктурной водно-бентонитовой суспензии на агрохимические свойства нефтезагрязненной серой лесной почвы / **Г.Ф. Рахманова** // *Вестник Казанского технологического университета*, 2017. – Т.20. – №10. – С. 124-127.
4. Давлетшина, А.Я. Ремедиация нарушенных земель с применением консорциума аборигенных микроорганизмов-деструкторов и наноструктурного сорбента для получения экологически безопасной продукции сельского хозяйства / А.Я. Давлетшина, И.А. Дегтярева, И.А. Яппаров, Т.Ю. Мотина, **Г.Ф. Рахманова**, Э.Л. Ибрагимов, Д.В. Ежкова // *Вестник Казанского технологического университета*, 2017. – Т.20. – №10. – С. 141-144.
5. **Рахманова, Г.Ф.** Использование сорбентов в рекультивации нефтезагрязненной почвы при выращивании *Vicia sativa L.* / **Г.Ф. Рахманова**, Н.Л. Шаронова, И.А. Яппаров, И.А. Дегтярева, А.М. Ежкова, М.М. Ильясов, Р.Х. Гизатуллин, Н.Ш. Хисамутдинов // *Достижение науки и техники АПК*. – 2017. – Т.31. – №7. – С. 59-62.
6. **Рахманова, Г.Ф.** Влияние внекорневой обработки суспензией наноструктурного материала на урожайность и кормовую ценность зеленой массы кукурузы / **Г.Ф. Рахманова**, Н.Л. Шаронова, Ш.А. Алиев, М.М. Ильясов, Н.Ш. Хисамутдинов // *Ученые записки КГАВМ им. Н.Э. Баумана*. – 2017. – Т.232(4). – С. 120-123.
7. Дегтярева, И.А. Оценка устойчивости микроорганизмов – основы биоудобрений – к действию пестицидов различного назначения / И.А. Дегтярева, Т.Ю. Мотина, А.Я. Давлетшина, И.А. Яппаров, Л.М-Х. Биккинина, **Г.Ф. Рахманова**, М.И. Султанов // *Ученые записки КГАВМ им. Н.Э. Баумана*. – 2018. – Т.235. – №3. – С. 52-57.
8. Шаронова, Н.Л. Эффективность наноструктурной водно-бентонитовой суспензии для предпосевной обработки семян / Н.Л. Шаронова, **Г.Ф. Рахманова**, И.А. Яппаров, Т.А. Сибгатуллин // *Агрохимический вестник*. – 2018. – №6. – С. 53-56.
9. **Рахманова, Г.Ф.** Динамика фитотоксичности нефтезагрязненной серой лесной почвы при применении сорбентов / **Г.Ф. Рахманова**, Н.Л. Шаронова, И.А. Дегтярева, Г.Х. Нуртдинова // *Агрохимический вестник*. – 2018. – №6. – С. 26-28.
10. Шаронова, Н.Л. Влияние предпосевной обработки семян люцерны наноструктурным бентонитом на качественные и количественные показатели зеленой биомассы / Н.Л. Шаронова, **Г.Ф. Рахманова**, Р.Р. Газизов, И.М. Суханова, М.М. Ильясов // *Ученые записки КГАВМ им. Н.Э. Баумана*. – 2018. – Т.236(4). – С. 212-215.

Статьи, опубликованные в других научных журналах и сборниках материалов международных и всероссийских съездов и конференций:

11. **Рахманова, Г.Ф.** Влияние вики посевной в качестве фитомелиоранта на состояние нефтезагрязненной почвы / **Г.Ф. Рахманова** // Материалы 49-ой Международной научной конференции молодых ученых, специалистов-агрохимиков и экологов «Агроэкологические функции удобрений в современном земледелии». – Москва, 2015. – С.171-173.

12. **Рахманова, Г.Ф.** Воздействие нанопрепарата на рост растений и процесс рекультивации нефтезагрязненной почвы / **Г.Ф. Рахманова, Н.Л. Шаронова, М.М. Ильясов** // Актуальные проблемы почвоведения, экологии и земледелия. Сборник докладов научно-практической конференции с международным участием Курского отделения МОО «Общество почвоведов имени В.В. Докучаева». – Курск: ФГБНУ ВНИИЗиЗПЭ, 2016. – С. 258-260.

13. **Рахманова, Г.Ф.** Влияние наноминералов на всхожесть семян и начальный период онтогенеза кукурузы / **Г.Ф. Рахманова, Н.Л. Шаронова, М.М. Ильясов, Р.Х. Гизатуллин** // Актуальные проблемы развития агропромышленного комплекса региона в современных условиях: Сборник научных трудов. – ФГБНУ «Калужский НИИСХ». – Калуга, ИП Чибисова А.П., 2016. – 45-47 с.

14. Шаронова, Н.Л. Исследования воздействия наноминерала на рост и развитие ярового рапса / Н.Л. Шаронова, **Г.Ф. Рахманова, М.М. Ильясов, Р.Х. Гизатуллин** // Актуальные проблемы развития агропромышленного комплекса региона в современных условиях: Сборник научных трудов. – ФГБНУ «Калужский НИИСХ». – Калуга, ИП Чибисова А.П., 2016. – С. 89-92.

15. **Рахманова, Г.Ф.** Влияние предпосевной обработки семян наноструктурной суспензией на рост и физиологические показатели вики посевной / **Г.Ф. Рахманова** / Перспективы развития науки и образования в современных экологических условиях: материалы международной научно-практической конференции. – ФГБНУ «ПНИИАЗ». – Соленое Займище, 2017. – С. 347-349.

16. Давлетшина, А.Я. Фитотоксичность нефтезагрязненной почвы при ее биоремедиации с применением аборигенных микроорганизмов-деструкторов / А.Я. Давлетшина, И.А. Дегтярева, И.А. Яппаров, Т.Ю. Мотина, **Г.Ф. Рахманова, Э.Л. Ибрагимова** // Материалы Всероссийской научно-практической заочной конференции «Современные проблемы АПК и перспективы развития». – Майкоп, 2017. – С. 25-29.

17. **Рахманова, Г.Ф.** Влияние обработки семян органоминеральными суспензиями и их наноналогами на морфометрические параметры проростков / И.М. Суханова, Ш.А. Алиев, Р.Р. Газизов, М.М. Ильясов, **Г.Ф. Рахманова, В.В. Сидоров** // АгроСнабФорум. – 2017. – №8 (156). – С. 70-72.

18. Шаронова, Н.Л. Показатели роста и развития растений при использовании наноматериала в минеральном питании / Н.Л. Шаронова, **Г.Ф. Рахманова, И.А. Яппаров, М.М. Ильясов, И.М. Суханова** // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. – 2018. – №4. – С. 7-19.