

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение  
Уфимский федеральный исследовательский центр Российской академии наук  
(УФИЦ РАН)

Уфимский институт биологии - обособленное структурное подразделение  
Федерального государственного бюджетного научного учреждения  
Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии  
наук (УИБ УФИЦ РАН)

*На правах рукописи*

**Гаршин Михаил Владимирович**

**ВЛИЯНИЕ НЕФТЯНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ НА ПОЧВЫ ЛЕСОСТЕПНОЙ  
ЗОНЫ БАШКИРСКОГО ПРЕДУРАЛЬЯ**

Специальность: 1.5.19 – почвоведение

**НАУЧНЫЙ ДОКЛАД**

Уфа – 2025

Работа выполнена в лаборатории почвоведения Уфимского Института биологии – обособленного структурного подразделения Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук (УИБ УФИЦ РАН) 2021–2025 гг.

Научный руководитель:

**Сулейманов Руслан Римович**  
доктор биологических наук,  
профессор, главный научный  
сотрудник лаборатории почвоведения  
Уфимского Института биологии –  
обособленного структурного  
подразделения Федерального  
государственного бюджетного  
научного учреждения Уфимского  
федерального исследовательского  
центра Российской академии наук

Рецензенты:

**Хазиахметов Рашит Мухаметович**  
доктор биологических наук, профессор  
– консультант кафедры биологии и  
экологии Института природы и  
человека Уфимского университета  
науки и технологии

**Зайцев Глеб Анатольевич**  
доктор биологических наук,  
профессор, ведущий научный  
сотрудник лаборатории лесоведения  
Уфимского Института биологии –  
обособленного структурного  
подразделения Федерального  
государственного бюджетного  
научного учреждения Уфимского  
федерального исследовательского  
центра Российской академии наук

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность работы.** Нефтяная промышленность Республики Башкортостан является одним из основных источников загрязнения окружающей среды, особенно почвенного покрова. Загрязнения нефтепродуктами негативно влияют на плодородность земель, биоразнообразии и экологическое равновесие экосистем региона.

Башкирское Предуралье обладает значительными сельскохозяйственными ресурсами и развитым сельским хозяйством. Ухудшение качества почв, вследствие нефтяных загрязнений, ведет к снижению урожайности сельскохозяйственных культур, ухудшению состояния пастбищ и кормовых угодий, что создает угрозу продовольственной безопасности региона. Чрезмерное загрязнение территории влияет на здоровье населения, вызывая различные заболевания, такие как онкология, аллергии и другие болезни, связанные с воздействием токсичных веществ на организм человека. Исследование позволит выявить степень воздействия нефти и нефтепродуктов на почвы, разработать методы оценки загрязненности и предложить эффективные меры реабилитации территорий, подвергшихся негативному воздействию нефтегазодобычи. Изучение влияния нефтяного загрязнения на почвы Башкирского Предуралья имеет важное значение для сохранения экологической безопасности региона, защиты здоровья населения и устойчивого развития региона.

**Цель работы:** изучение влияния нефтяного загрязнения на почвы лесостепной зоны Башкирского Предуралья.

Для достижения поставленной цели решались следующие **задачи:**

1. Исследовать и сравнить свойства светло-серых лесных почв нефтяных месторождений.
2. Оценить остаточное содержание нефтепродуктов в почвах с давними сроками загрязнения (в начале 60-х и середине 70-х гг.) и выявить их гидрофобность.
3. Выявить сопутствующее загрязнение тяжелыми металлами и радионуклидами нефтезагрязненных почв.
4. Разработать метод оценки гидрофобности нефтезагрязненных почв.
5. Разработать предложения по способу рекультивации гидрофобных почв.

**Степень разработанности темы.** В настоящее время изучению почв подверженных негативному влиянию нефтегазовой промышленности посвящено достаточно много работ. Хорошо изучены механические нарушения почвенного покрова на стадии разработки нефтяных месторождений. Так же для оценки и выявления нарушенного почвенного покрова нефтегазовых месторождений широко применяются методы дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ).

Всесторонне изучены химические загрязнители почв нефтегазовых месторождений, которые представляют собой нефть, нефтепродукты (НП) и полициклические ароматические углеводороды (ПАУ), а так же буровые хлоридные кальциево-натриевые растворы и реагенты, используемые при добычи нефти.

Особое внимание многие работы уделяют таким поллютантам в составе нефти, таким как тяжелые металлы (ТМ) и естественные радионуклиды (ЕРН). Накоплено большое количество фактического материала по изменению разных свойств почвы после нефтяного загрязнения. Достаточно много работ уделяют внимание о воздействию нефти на изменение физических и физико-химических свойств почвы. В равной степени разработаны методы рекультивации и ремедиации нефтезагрязненных почв.

Несмотря на наличие значительных результатов научных исследований, многие аспекты остаются недостаточно изученными, особенно применительно к специфическим условиям Башкирского Предуралья. Требуется дальнейшее углубленное исследование процессов трансформации компонентов нефти в почвенном профиле, разработка региональных норм допустимого уровня содержания нефтепродуктов в почве и совершенствование методик мониторинга и ликвидации последствий аварийных разливов нефти.

**Научная новизна.** Впервые проводится комплексное исследование влияния нефтяного загрязнения на различные типы почв Башкирского Предуралья, характеризующихся особенностями геоморфологии, климата и растительности региона. Выявлены новые закономерности распределения и миграции углеводородов и их компонентов в почвенном профиле различных зон Башкортостана, включая зоны с высокой степенью антропогенной нагрузки. Установлена взаимосвязь между остаточным содержанием нефтепродуктов и комплексом почвенных свойств, определяемых содержанием гумуса, микро- и макроэлементов. Разработаны оригинальные методы анализа состояния почв и диагностики степени воздействия нефти и её производных на почву, адаптированные специально для условий изучаемого региона. Представлен новый подход к оценке риска загрязнения почв и разработке мер реабилитации территорий, подвергшихся воздействию нефтеуглеводородов, учитывающий региональные особенности ландшафта и климатические условия. Полученные результаты расширяют существующие представления о механизмах функционирования загрязнённых почв и создают основу для дальнейшего развития научно обоснованных стратегий природопользования и сохранения экологии в регионах интенсивной нефтегазодобывающей деятельности.

**Объекты исследования.** Исследования проводились на участках с нефтезагрязненными почвами с разной степени давности, загрязненных вначале 60-х и середине 70-х гг. Почвы на участках исследований в Калтасинском и Краснокамском районе представлены серыми лесными почвами, которые характеризуются слабокислой реакцией, содержание гумуса в гумусово-аккумулятивном горизонте достигает 4%.

**Теоретическая и практическая значимость работы.** Исследование воздействия нефтяных загрязнений на почвы региона имеет важное теоретическое значение для понимания механизмов взаимодействия загрязняющих веществ с почвенными компонентами. Это способствует углублению научных представлений о процессах трансформации органических соединений нефти в почве, влиянии углеводов на структуру и функционирование экосистем, биоразнообразии микроорганизмов и динамике биохимических процессов. Получение новых данных позволит расширить знания о поведении загрязнителей в условиях специфического рельефа и климатических особенностей Башкирского Предуралья, внести вклад в развитие теории экологического мониторинга и моделирования распространения загрязнений.

Полученная информация обладает существенной практической ценностью для разработки эффективных методов защиты окружающей среды от негативных последствий разливов нефти. Результаты исследования необходимы для формирования рекомендаций по выбору оптимальных технологий очистки почв, восстановлению плодородия земель, предотвращению вторичных загрязнений подземных вод и воздуха. Эти данные будут полезны специалистам-экологам, работникам служб охраны природы и представителям местных органов власти, занимающихся вопросами экологической безопасности. Практические рекомендации также способствуют созданию нормативной базы и стандартов оценки качества почвенного покрова в регионе, обеспечивая сохранение природных ресурсов и устойчивое социально-экономическое развитие территории.

**Методология и методы исследования.** Исследование основывается на междисциплинарном подходе, объединяя достижения наук о земле, химии, биологии и экологии. Основными принципами являются комплексность, систематичность и сравнительный анализ полученных результатов.

Методы отбора проб и полевых исследований. Полевые наблюдения и отбор образцов: определение участков изучения с различным уровнем нефтяного загрязнения; геохимический мониторинг и картирование местности; отбор проб почвы по вертикальному профилю.

Использование современных приборов и инструментов: анализ химического состава поверхностных и глубинных слоев почвы методом вольтамперометрии на

анализаторе типа ТА; измерения удельной активности спектрометром-радиометром гамма- бета- и альфа излучения «РАДЭК»; измерение физических характеристик почвы (коэффициент фильтрации) специальными приборами.

Лабораторные анализы и экспериментальные методики. Химико-аналитические методы: количественное определение содержания основных компонентов нефти методами газовой хроматографии и масс-спектрометрии; оценка токсичности нефтезагрязненных почв с применением биотестов и индикаторных растений.

Применение программного обеспечения для обработки данных: статистический анализ показателей для выявления корреляций между показателями почвенного профиля и концентрацией нефтепродуктов; создание моделей выявления загрязнений с использованием ГИС-технологий.

Предложенный подход позволяет всесторонне исследовать влияние нефтяного загрязнения на почвы Башкирского Предуралья, используя современные технологии и методики анализа, что обеспечивает получение объективных и достоверных данных для принятия решений по охране окружающей среды и рациональному использованию земельных ресурсов.

#### **Положения, выносимые на защиту.**

1. Исследование и сравнение свойств почв нефтяных месторождений выявило специфические изменения физико-химических характеристик, обусловленные нефтяным загрязнением, что существенно влияет на их экологическое состояние и продуктивность.
2. Оценка остаточного содержания нефтепродуктов в почвах показала различную степень накопления загрязнителей, при этом выявлена выраженная гидрофобность, затрудняющая естественное восстановление почвенных свойств.
3. В нефтезагрязненных почвах не установлено сопутствующего загрязнения тяжелыми металлами и радионуклидами, значения тяжелых металлов и радионуклидов не превышают допустимых норм.
4. Разработана методика оценки гидрофобности нефтезагрязненных почв, позволяющая количественно характеризовать это явление, а также предложены эффективные методы борьбы с гидрофобностью, направленные на восстановление водного режима почвы.

**Степень достоверности.** Достоверность представленных результатов подтверждена результатами модельных опытов, современными методами экспериментальных и аналитических исследований, статистической обработкой

полученных результатов, их анализом и обобщением, которые подтверждаются корреляцией с экспериментальными литературными данными.

**Апробация работы.** Основные положения диссертационной работы доложены и опубликованы в материалах международных, Всероссийских и региональных конференциях: Международном форуме «Степная Евразия – устойчивое развитие» (Ростов-на-Дону, 2022); «Пярых ландшафтно-экологических чтениях, посвященных Г.Е. Гришанкову: Природа и общество: интеграционные процессы» (Севастополь, 2022); VII Всероссийской научно – практической конференции «Актуальные проблемы геодезии, картографии, геоинформатики и кадастра» (Уфа, 2024); IX съезде Общества почвоведов им. В.В. Докучаева «Почвы – опора России» (Казань, 2024); XI Международной (XIX Всероссийской) научно – практической конференции «Нефтепромысловая химия» (Москва, 2024); Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 120-летию со дня рождения чл.-корр. АН СССР В.А. Ковды. «Почва как компонент биосферы: актуальные проблемы в условиях изменений климата» (Пушино, 2024); XI Сибирской конференции молодых ученых по наукам о Земле (Новосибирск, 2024); IV Всероссийской научная конференция молодых ученых «Геоэкология и рациональное недропользование: от науки к практике» (Белгород, 2024); II Всероссийской (с международным участием) научно-практической конференции «Обеспечение безопасности: производственной, пожарной, экологической» (Ростов-на-Дону, 2024); Международной научно-практической конференции «Устойчивость природных ландшафтов и их компонентов к внешнему воздействию» (Грозный, 2024); Международной научно-практической конференции молодых исследователей «Саммиты БРИКС и ШОС: устойчивое развитие» (Москва, 2024); Международной научной конференции XXVIII Докучаевские молодежные чтения «Информационная емкость знаний о почве» (Санкт-Петербург, 2025).

**Личный вклад автора** состоит в поиске, анализе и обобщении научной литературы по теме диссертации; проведении расчетов, разработке методики, интерпретации полученных результатов; формулировке основных научных выводов; представлении результатов работы на конференциях; подготовке материалов к публикации в научных журналах. Все данные и результаты, представленные в научно-квалификационной работе, принадлежат автору и получены им лично.

**Публикации.** По материалам научно-квалификационной работы опубликовано 4 статьи, в том числе в журналах «Белого списка» – 1, в изданиях, рекомендованных ВАК РФ – 3, тезисы докладов конференций – 13.

**Объем и структура диссертации.** Научно-квалификационная работа состоит из введения, списка сокращений, 3 глав, выводов и списка литературы и приложений. Список литературы включает 172 источников, в том числе 63 работ зарубежных авторов. Диссертация изложена на 124 страницах машинописного текста, включает 4 таблицы и 27 рисунок.

**Работа выполнена** в лаборатории почвоведения Уфимского Института биологии – обособленного структурного подразделения Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук.

**Благодарности.** Автор выражает благодарность научному руководителю, д.б.н. Сулейманову Р.Р., а также сотрудникам УИБ УФИЦ РАН д.б.н. Габбасовой И.М., д.б.н. Коршуновой Т.Ю., к.б.н. Актуганову Г.Э. за помощь в проведении модельных опытов, аналитических исследований и консультации.

## **ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ**

### **1. Мониторинг светло-серых лесных почв на участках с давними разливами нефти**

На момент проведения исследований (2022 г.) участки трансформировались из пашни в залежь. В 1997 году земли еще использовались под пашню (рис. 1). На загрязнённых участках присутствует слабое угнетение растительности, определяемое меньшим проективным покрытием. На участках присутствуют единичные березы от 0,3 до 1,8 м, с диаметром ствола от 0,5 до 2,5 см (рис. 1), что дает нам возможность примерно определить возраст залежи, который составляет 13-16 лет.

По данным исследований, содержание в почвах сухого остатка легкорастворимых солей, хлоридов, сульфатов, являющихся основными поллютантами на объектах нефтедобычи, в пробах почв не превышают уровней таковых в незасоленных почвах. Однако на почвенном разрезе №3 выделяются показатели бикарбоната, которые свидетельствуют о слабой степени щелочноземельного засоления, являющегося особенно токсичным для растений. Водородный показатель в пробах изменяется от слабокислого до слабощелочного (рН=6,6-7,7).

На участках исследований, характерных визуальных признаков нефтяного загрязнения нет, однако анализ на содержание нефтепродуктов в пахотном слое показал их небольшую концентрацию. Содержание нефтепродуктов в пробах на участке юго-западнее н.п. Нижняя Татья (почвенные разрезы №1 и №2) составило 55 мг/кг, в фоновой

точке менее 5 мг/кг. На участках западнее н.п. Графское (почвенные разрезы №3 и №4) содержание нефтепродуктов составило 33 мг/кг, в фоновой точке менее 5 мг/кг.

ПДК содержания нефтепродуктов в почвах в России не установлены; региональные нормативы допустимого остаточного содержания нефти и продуктов ее трансформации после рекультивационных работ для Республики Башкортостан так же не разработаны на текущий момент. В соответствии с письмом Минприроды России от 27.12.1993 N 04-25, содержание нефтепродуктов ниже показателей загрязнения, что соответствует допустимому уровню (<1000мг/кг). Результаты ранее проведенных исследований в 1997 г. так же показывают слабое загрязнение нефтью. Среднее количество НП в пахотном слое тогда составляло 1,42 г/кг. К тому же, было замечено, что на загрязненных участках при добавлении воды сверху она скапливалась, что говорит о возможном появлении гидрофобных свойств (рис. 2).

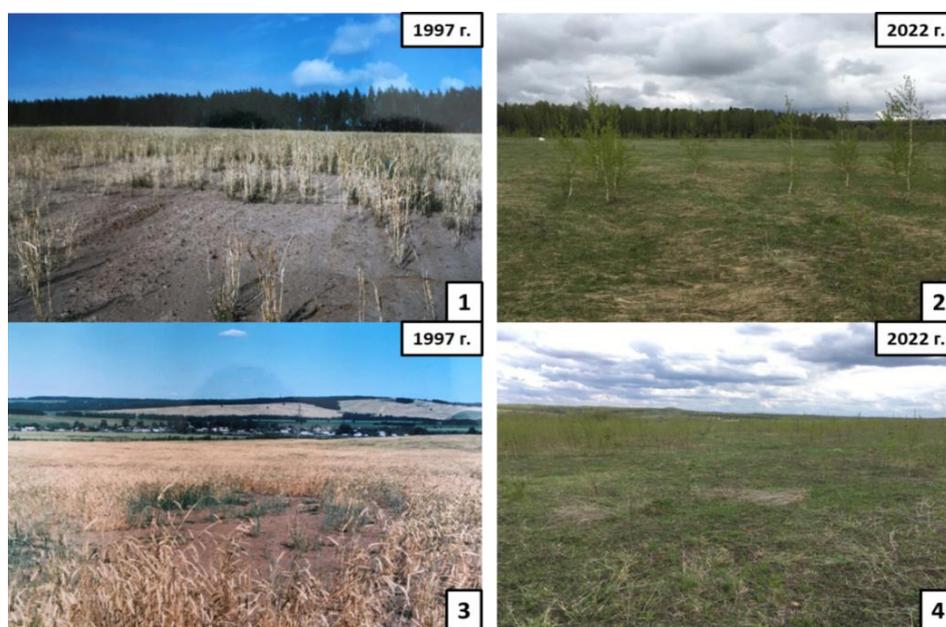


Рисунок 1. Трансформация пашни в залежь.

Участок близ н.п. Нижняя Татъя: 1 – Фото загрязнённого участка от 1997 года; 2 – Фото загрязнённого участка от 2022 года.

Участок близ н.п. Графское: 3 – Фото загрязнённого участка от 1997 года; 4 – Фото загрязнённого участка от 2022 года.



Рисунок 2. Визуальная оценка гидрофобности: 1 – загрязненный участок (н.п. Графское);  
2 — загрязненный участок (н.п. Нижняя Татья).

Вследствие обнаружения небольших концентраций нефтепродуктов и возможного изменения гидрофильно-гидрофобных свойств, на почвенных разрезах №3 и №4 (н.п. Графское) был определен коэффициент фильтрации. На данном участке, при добавлении сверху воды, она скапливалась больше всего именно на участке с разрезом №3.

Согласно полученным результатам, коэффициент фильтрации на загрязненном участке в среднем на 84% ниже, чем на фоновом участке (рис. 3).

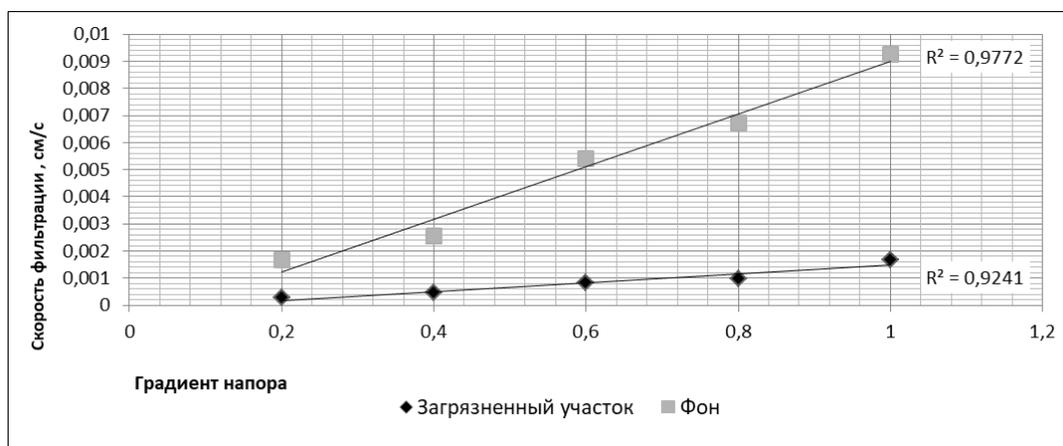


Рисунок 3. Коэффициент фильтрации на загрязненных светло-серых лесных почвах (определялся на почвенных разрезах №3 и №4, н.п. Графское).

Также, была проведена агрохимическая оценка почв, согласно методическим указаниям по проведению комплексного мониторинга плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения, разработанным Почвенным институтом им. В.В. Докучаева.

По содержанию органического вещества, почвы из разрезов №1 и №2 соответствуют слабогумусированному классу, а из разрезов №3 и №4 - низкогумусированному для Поволжского и Уральского регионов. Гумусное состояние исследуемых участков относительно фоновых выше, а также содержание органического

углерода выше, чем в 1997 году. Содержание элементов питания в пробах следующее: обменный калий (по методу Чирикова) в разрезе №1 варьируется от среднего до повышенного; в разрезе №2 - от низкого до повышенного; в разрезе №3 - от низкого до среднего; в разрезе №4 - от среднего до высокого. Концентрация подвижного фосфора в разрезе №1 варьируется от очень низкого до низкого; в разрезе №2 - от низкого до среднего; в разрезе №3 от - очень низкого до высокого; в разрезе №4 - от очень низкого до среднего. Содержание общего азота во всех пробах по горизонтам очень низкое. По степени солонцеватости (поглощение Na) почвы относятся к типу несолонцов.

## 2. Содержание тяжелых металлов в нефтезагрязненных почвах

Анализ содержания валовых форм (Zn, Cu, Pb, Ni,) ТМ в исследуемых почвах показывает, что концентрация элементов, значения которые регламентируются санитарно-гигиеническими требованиями, не превышает предельно допустимые (ПДК) и ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) (Рис. 4).

Содержание остальных элементов соответствует природногеохимическому фону и генетическим особенностям почвообразовательных процессов, характерных для почв изучаемой территории Республики Башкортостан.

Согласно ГОСТ Р 70281–2022 загрязняющие почву ТМ подразделяются на три класса токсичности – к первому классу в нашем случае относятся Zn, Pb, ко второму – Cu, Ni.

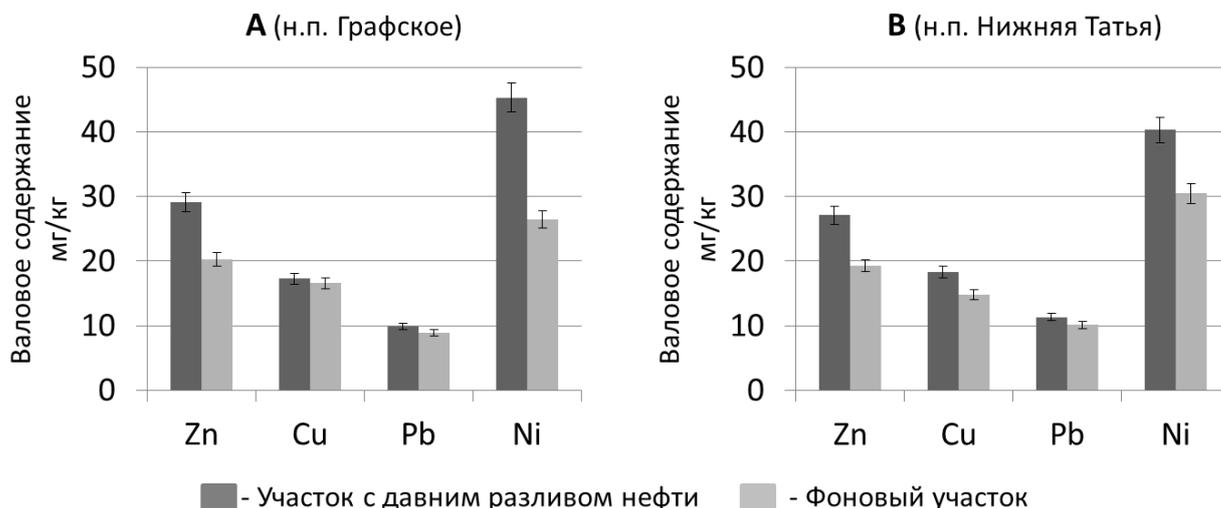


Рисунок 4. Валовое содержание некоторых ТМ на участках с давними разливами нефти.

Вертикальные планки погрешности представляют собой стандартное отклонение

Проанализированы содержания ТМ (Zn, Cu, Pb, Ni) на участках исследования с давними разливами нефти. На всех исследуемых участках нет превышений ПДК, но стоит отметить повышенное содержание тяжелых металлов относительно фона от 10 до 30 %.

На участках с давними разливами нефти присутствует небольшая концентрация нефтепродуктов (НП): участок **А** – 55 мг/кг; участок **В** – 33 мг/кг. В фоновых образцах концентрация НП не превышает 5 мг/кг. В соответствии с письмом Минприроды России от 27.12.1993 N 04-25 содержание НП ниже показателей загрязнения и соответствует допустимому уровню (<1000мг/кг).

Корреляционной зависимости между содержанием ТМ и НП не наблюдается, при содержании НП 55 мг/кг на участке **А**, происходит увеличения Zn в 1,4 раза, Cu в 1,04 раза, Pb в 1,1 раза, Ni в 1,7 относительно фона. В тоже время на участке **В** НП при содержании НП 33 мг/кг увеличения Zn в 1,4 раза, Cu в 1,2 раза, Pb в 1,1 раза, Ni в 1,3 раза относительно фона.

### **3. Распределение удельной активности радионуклидов**

Проведенные исследования показали, что превышений по активности радионуклидов нет и аномальных значений не выявлено.  $^{137}\text{Cs}$  меньше 10 по всем почвенным профилям,  $^{226}\text{Ra}$  меньше 20, содержание  $^{232}\text{Th}$  находится в диапазоне от 10 до 55 Бк/кг (Рис. 5).

Однако на загрязнённых участках н.п. Графское и н.п. Нижняя Татъя заметно выше содержание  $^{40}\text{K}$  относительно фона. В диапазоне от 0 до 20 см, т.е. в пахотном слое.

Для сравнения, мировые средние значения удельной активности  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  и  $^{40}\text{K}$  составляют 35 Бк/кг, 30 Бк/кг и 400 Бк/кг соответственно.

Анализ полученных данных показывает, что максимальная удельная эффективная активность естественных радионуклидов (Аэфф) в исследованных пробах грунтов составляет 130 Бк/кг и не превышает значений установленных СанПиН 2.6.1.2523-09 (НРБ-99/2009) – Аэфф.< 370 Бк/кг (СанПиН 2.6.1.2523-09).

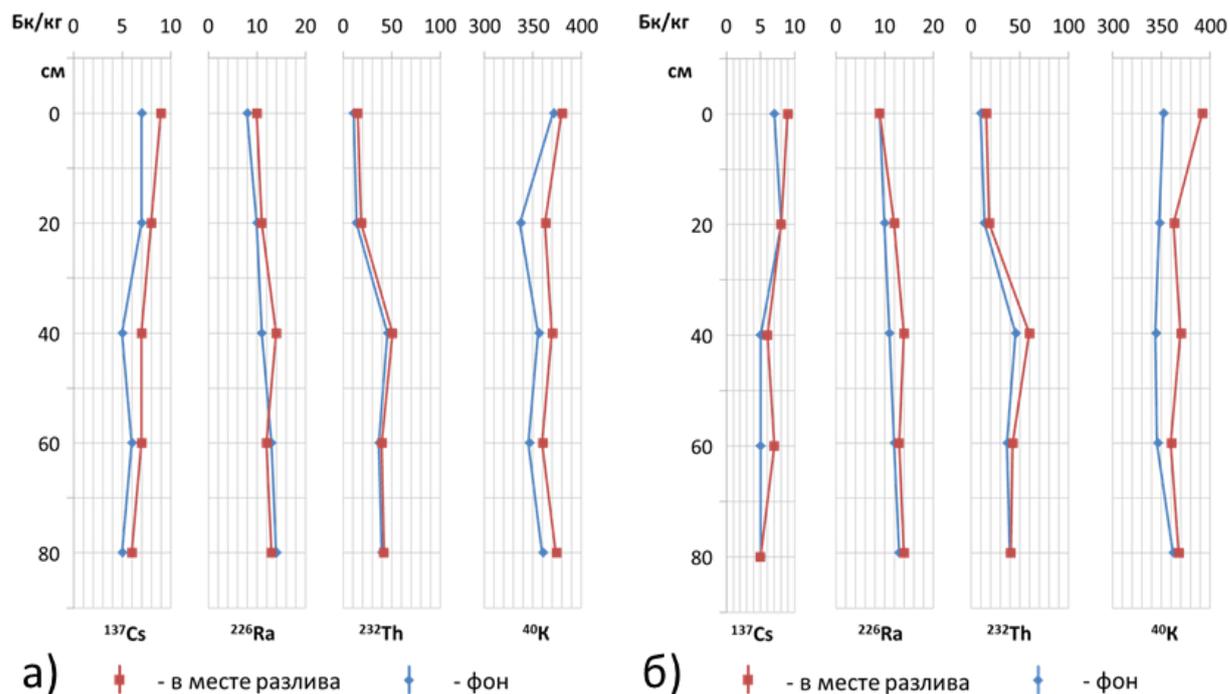


Рисунок 5. Распределение удельной активности радионуклидов по глубине на участках с давним разливом нефти и на фоновых участках: а – н.п. Графское; б – н.п. Нижняя Татъя;

#### 4. Применение метода «Water Spot» (водяного пятна) для оценки степени гидрофобности нефтезагрязнённых почв

Исследования проводили в лабораторных условиях с чернозёмом типичным и серой лесной почвой (Классификация ..., 1977). Почвенный образец серой лесной почвы характеризуется нейтральной кислотностью; ёмкость катионного обмена составляет 26,9 ммоль (экв)/100 г, степень насыщенности основаниями – 79,1%, сумма фракций менее 0,01 мм – 28,7%, содержание гумуса – 2,8%; полная влагоёмкость – 49%. Почвенный образец чернозема типичного характеризуется нейтральной кислотностью; ёмкость катионного обмена составляет 56,3 ммоль (экв)/100 г, степень насыщенности основаниями – 92,0%, сумма фракций менее 0,01 мм – 70,8%, содержание гумуса – 7,5%; полная влагоёмкость – 56%.

Почвенные образцы доводили до воздушно-сухого состояния, измельчали на грунтовой мельнице МГ-1Ф и просеивали через сито с размером ячеек 2 мм. В чашке Петри диаметром  $d = 90$  мм взвешивали необходимую расчётную массу нефти, которую определяли исходя из выбранного процента загрязнённости почвы (0, 0,2, 0,5, 1, 3 и 5%). Для уменьшения вязкости нефти добавляли 1 мл гексана, а также дистиллированную воду весовым методом для создания влажности почвы 20%. Затем в чашку Петри помещали

навеску исследуемой почвы. После добавления всех компонентов тщательно перемешивали образовавшуюся массу, распределяли по всей поверхности чашки Петри ровным слоем и утрамбовывали цилиндрическим грузом 1 кг с прямым дном. Накрывали другой чашкой Петри, герметизировали полиэтиленом и выдерживали сутки для равномерного распределения загрязнения и влаги по всей площади образца.

После двух суток выдержки почвы в закрытом состоянии, на образец при помощи градуированной пипетки капали водный раствор флуоресцеина натрия с концентрацией 2 г/л в три точки для более точной фиксации границ капель. Объём, приходящийся на одну точку, составлял 0,3 мл. Результат фотографировали в тёмном месте, при свете ультрафиолетового светодиодного фонаря (рис. 6-7).

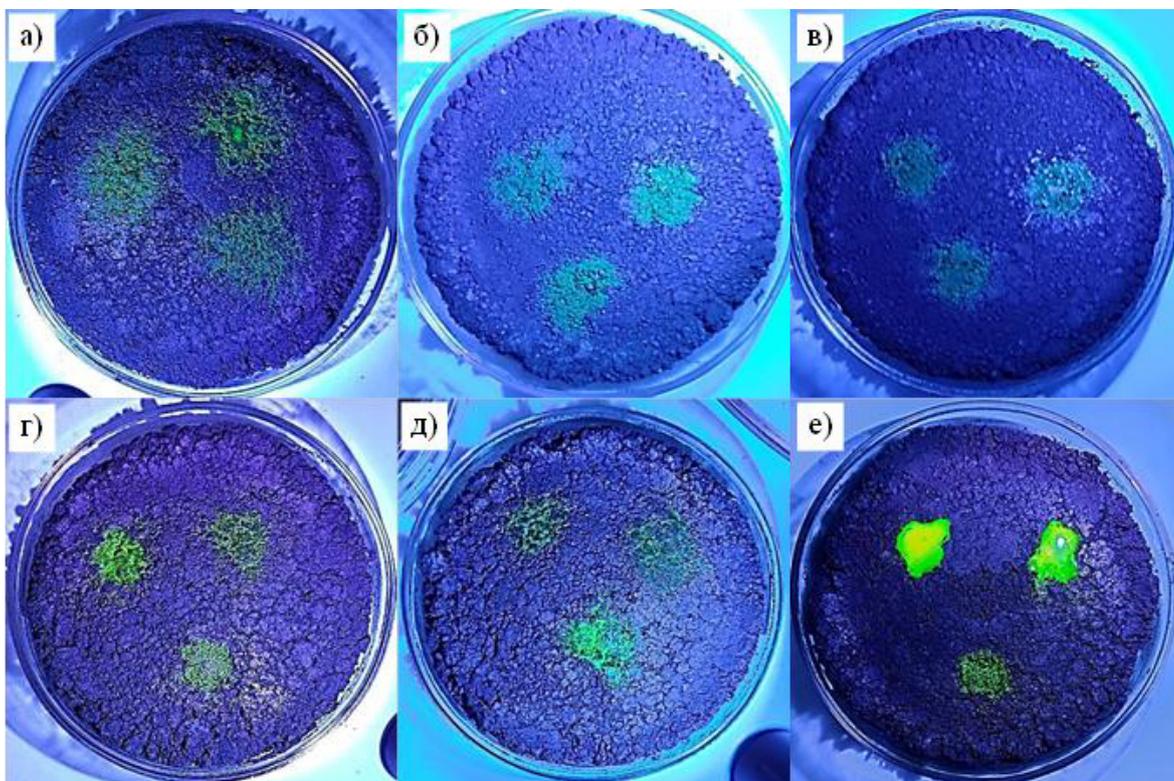


Рисунок 6. Фотографии исследования гидрофобности чернозёма типичного методом «Water Spot» в зависимости от загрязнённости. Степень загрязнения почвы нефтепродуктами в процентах (здесь и на рис. 2): а) – 0; б) – 0,2; в) – 0,5; г) – 1; д) – 3; е) – 5.

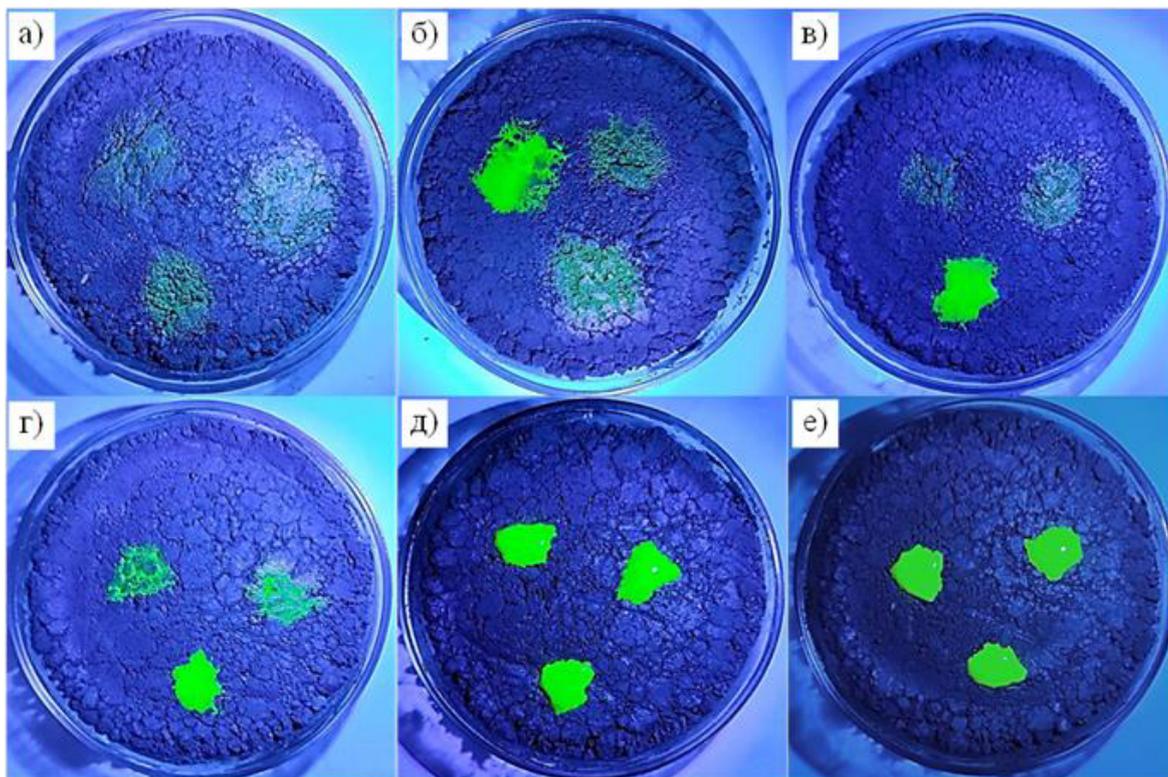


Рисунок 7. Фотографии исследования гидрофобности серой лесной почвы методом «Water Spot» в зависимости от загрязнённости. Степень загрязнения почвы нефтепродуктами в процентах (здесь и на рис. 2): а) – 0; б) – 0,2; в) – 0,5; г) – 1; д) – 3; е) – 5.

## **5. Оценка эффективности применения хитозана для нейтрализации гидрофобных свойств нефтезагрязнённых почв**

Для апробации разрабатываемого метода «Water Spot» было решено провести вторую серию экспериментов, а именно использовать данный метод для определения степени гидрофобности почв после хемосорбции нефтепродуктов раствором хитозана, а также дополнительно проверить эффективность хитозана как природного сорбента. Положительными качествами сорбционной обработки загрязнённых сред природными сорбентами являются довольно высокий уровень очистки и экологическая безопасность.

Согласно литературным данным, хитозан – это природный сорбент, который может быть использован для очистки нефтезагрязнённых почв. Он обладает свойством набухать в органических средах и стойко удерживать в своей структуре растворитель, а также растворенные в нём вещества, тем самым снижая гидрофобность почвы. Сорбционный потенциал данного экологически безопасного природного сорбента определён присутствием в его макромолекуле свободных аминогрупп, с помощью которых образуются надмолекулярные комплексы с органическими соединениями.

Аналогично первому эксперименту загрязняли нефтью почвенные образцы определённой влажности, выдерживали сутки. После этого наносили на образцы раствор хитозана в уксусной кислоте в двух концентрациях – 0,1 и 0,2%, выдерживали ещё двое суток для проявления действия хитозана на поверхности почвы. Затем наносили раствор флуоресцина натрия и фиксировали на фото площадь образовавшегося водяного пятна. Результаты обрабатывали при помощи пакета программ CorelDRAW и пакета анализа в Microsoft Excel.

Метод «Water Spot» для оценки гидрофобных свойств нефтезагрязнённых почв является модификацией ранее созданного метода продолжительности диффузии воды в почву. Основным отличием от данного метода является фиксация результата не по времени диффузии воды в почву, а по средней площади пятна воды на почве. После растекания и диффузии капли воды пятно будет слабозаметным и для решения этой проблемы применяется раствор флуоресцеина натрия в концентрации 2 г/л, который окрашивает капли в зелёный цвет при воздействии ультрафиолетового излучения, что позволяет точно выделять полученные пятна. Эти водяные пятна фотографировали и определяли их площадь посредством сканирования изображения в CorelDRAW, что позволяло получать результат до десятитысячных значений.

Метод обеспечивает оценку гидрофильных и гидрофобных свойств почв в большом спектре показателя влажности. Погрешность измерения данным методом при трёхкратной повторности не превышает 20%). Полученные данные не противоречат существующим описанным представлениям о гидрофобности почв.

На увеличение сорбционной способности повлияло внесение раствора хитозана, что вызвано не только его физико-химическими свойствами, но и тем, что он аналогичен по составу обычным органическим соединениям почв. Хитозан имеет высокую прикладную ценность, обеспечивая новую стратегию биоремедиации загрязнённой нефтью почвы; кроме того, хитозан является носителем иммобилизованных микроорганизмов, что позволяет повышать естественную рекультивацию почти в два раза.

Исследования показали, что при внесении 0,1% раствора хитозана и выдерживании в течение двух суток на загрязнённой нефтепродуктами серой лесной почве наблюдается увеличение площади водяного пятна в среднем на 43%; на чернозёме типичном отмечается незначительный эффект – площадь пятна возросла на 6%. При увеличении концентрации хитозана до 0,2% эффект от его внесения значительно проявляется на обеих почвах: на серой лесной почве площадь водяного пятна увеличивается в среднем на 48%, на чернозёме типичном – на 46%. Таким образом, раствор хитозана можно использовать в качестве сорбента при загрязнении почв нефтепродуктами.

Факторами, влияющими на результат определения, являются: концентрация раствора хитозана в уксусной кислоте и время экспозиции (время нахождения раствора сорбирующего вещества на поверхности образца нефтезагрязнённых почвы).

Также, сравнивая большую разницу средней площади пятен между разными почвами, а именно слабую работу сорбента хитозана на чернозёме типичном при 0,1% растворе хитозана, стоит отметить, что количество раствора для всех типов почв было одинаково и большая часть раствора в чернозёме типичном израсходована на сорбцию почвенного органического вещества, а не загрязнителя. В используемом образце чернозёма типичного содержание гумуса больше, чем в серой лесной почве на 4,7%, что и повлияло на данный результат. В то же время, при увеличении концентрации раствора хитозана в два раза этого сорбента хватает и для загрязнителя, и для органического вещества почвы. Следовательно, для лучшего эффекта требуется разработка подбора концентраций раствора хитозана для разных типов почв.

Следует подчеркнуть, что на получаемые результаты в большой степени оказывают влияние буферные свойства почв, обеспечивая разные варианты и особенности взаимодействия химических элементов в почве; с ними связана и подвижность различных соединений, в том числе токсичных для растений.

Буферные свойства чернозёма типичного выше, чем у серой лесной почвы, а при загрязнении почв нефтью, как правило, происходит значительное уменьшение буферной способности почв в кислом интервале.

По результатам исследования у серых лесных почв, обладающих более низкой буферной емкостью по сравнению с чернозёмом типичным, при нефтяном загрязнении устойчивость снижается ещё сильнее. Кроме того, в серых лесных почв содержание гумуса меньше в сравнении с чернозёмом типичным, что позволяет раствору хитозана сорбировать органический загрязнитель, отчего увеличивается площадь водяного пятна и уменьшается гидрофобность. У чернозёма типичного, напротив, несмотря на то что почва была загрязнена нефтью с последующим добавлением раствора хитозана в уксусной кислоте, буферные свойства, вероятнее всего, не снизились, а большее количество гумуса привело к минимальным изменениям гидрофобности после добавления сорбента. Однако при увеличении концентрации раствора хитозана, сорбента хватает и на связывание с почвенным органическим веществом, и на сорбцию загрязнителя.

Степень гидрофобности предстала на рисунках 8 и 9, где чем ниже процент тем выше проявление гидрофобности почвы. Важно отметить, что при применении раствора хитозана разных концентраций, наблюдается прямая корреляционная зависимость ( $r=0,98$ ) по всем образцам и уменьшению гидрофобных свойств относительно контроля. На серой

лесной почве этот процесс вырожен более явно чем на черноземе типичном. Однако при повышении концентрации сорбента до 0,2% на черноземе типичном заметно уменьшается степень гидрофобности. Таким образом проявляются буферные свойства почв. У чернозема типичного буферные свойства выше, чем у серой лесной почвы, а при нефтяном загрязнении в кислом интервале происходит уменьшение буферной способности (Сулейманов и др. 2021). К тому же содержание почвенного органического вещества в серых лесных почвах меньше, чем в черноземе типичным, а сорбция хитозаном происходит как органического загрязнителя так и почвенного органического вещества. Поэтому при увеличении концентрации сорбента до 0,2% на черноземе типичном значительно снижается гидрофобность, чем при 0,1% сорбента. При этом на серой лесной резких изменений степени гидрофобности при разной концентрации сорбента не происходит.

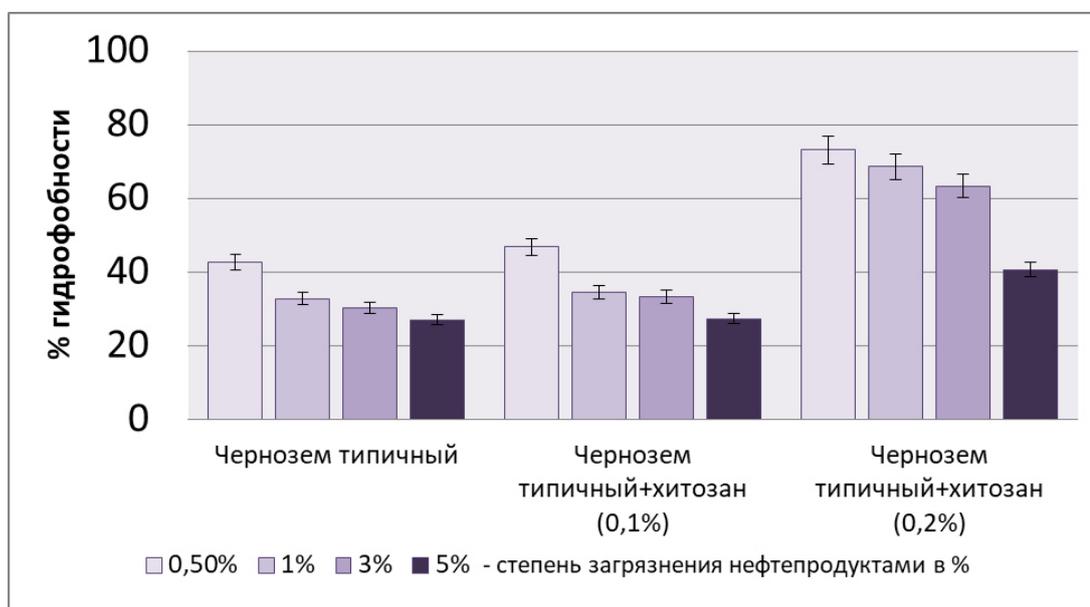


Рисунок 8. Динамика изменения гидрофобности на черноземе типичном.

Вертикальные планки погрешности представляют собой стандартное отклонение.

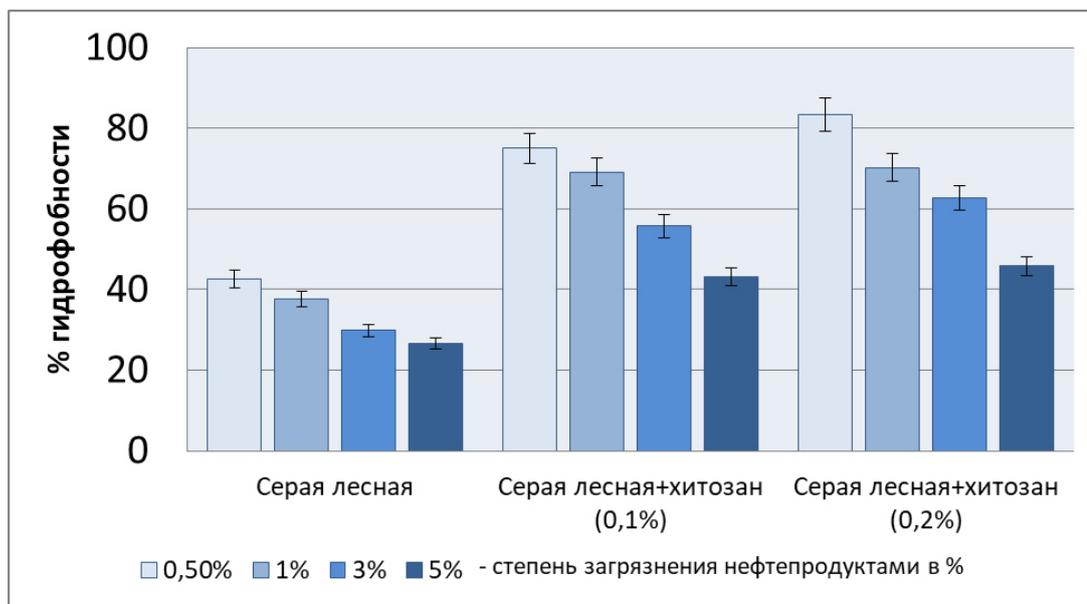


Рисунок 9. Динамика изменения гидрофобности на серой лесной почве.

Вертикальные планки погрешности представляют собой стандартное отклонение.

В результате полученных данных прослеживается прямая корреляционная зависимость по всем образцам на уменьшении гидрофобных свойств относительно контроля при применении хитозана, а также наблюдается уменьшение гидрофобных свойств при увеличении концентрации сорбента. На серой лесной почве наблюдается более активная сорбция загрязнителя, чем на черноземе типичном, что связано с буферными свойствами разных типов почв.

Очевидно, что хитозан способствует нейтрализации, появившегося после нефтяного загрязнения, гидрофобных свойств почв. Поэтому перспективным видом биологической рекультивации являются биологические сорбенты и в особенности хитозан, так как он доступен в большом количестве и содержится во многих живых организмах.

В тоже время исследование разных хитинсодержащих организмов и в частности грибов, является наиболее потенциальным для разработки дальнейших методов рекультивации нефтяных разливов на поверхности почвы.

## **6. Биотестирование нефтезагрязненных почв после ремедиации природным сорбентом – хитозаном**

Исследования проводили в лабораторных условиях с серой лесной почвой. Используемый почвенный образец серой лесной почвы характеризуется нейтральной кислотностью (контроль –6,7рН, загрязненная нефтью и с добавлением хитозана – 6,3 рН); ёмкость катионного обмена составляет 26,9 ммоль (экв)/100 г, степень насыщенности основаниями – 79,1%, сумма фракций менее 0,01 мм – 28,7%, содержание гумуса – 2,8%;

полная влагоёмкость – 49%. При биотестировании почв применялся метод проростков (использовались семена универсального индикатора – кресс-салата *Lepidium sativum*). Этот метод позволяет выявлять токсичное (ингибирующее) или стимулирующее действие тех или иных веществ на тест-культуры. Пробу серой лесной почвы довели до воздушно-сухого состояния. Измельчили почвы на грунтовой мельнице, просеяли через сито с размером ячеек 2 мм. Отобрали навески в чашки Петри по 50 грамм. После загрязнения нефтепродуктами выдерживали в течение 1 суток. Наносили 0,2% раствор хитозана в 0,05% растворе уксусной кислоты объемом 10 мл на каждую чашку с образцами № 7, 8, 9. Образцы № 7, 8, 9 после пропитки предварительно перемешали, так как раствор хитозана в уксусной кислоте распределялся неравномерно по всей поверхности. Выдерживали еще 2 суток в закрытом виде. В каждую чашку помещали семена кресс-салата в количестве 30 штук. Увлажнили почву 20 мл дистиллированной воды.

Прорастание семян наблюдается на пятые сутки после посева во всех вариантах опыта и не превышает 20 % всхожести семян. На шестые сутки происходит активное прорастание в образцах с присутствием нефти (№ 4, 5, 6), всхожесть семян выросла до 40 %, в остальных образцах так же менее 20 %. Стимулирующий эффект может выражаться при слабых загрязнениях нефти). Данный эффект проявляется до седьмых суток, а далее происходит умеренное появление всходов, что говорит о затухании данного эффекта. Начиная с одиннадцатых суток и до завершения эксперимента, процент всхожести семян в образцах с присутствием нефти (№ 4, 5, 6) составил 61 % (Рис. 10).

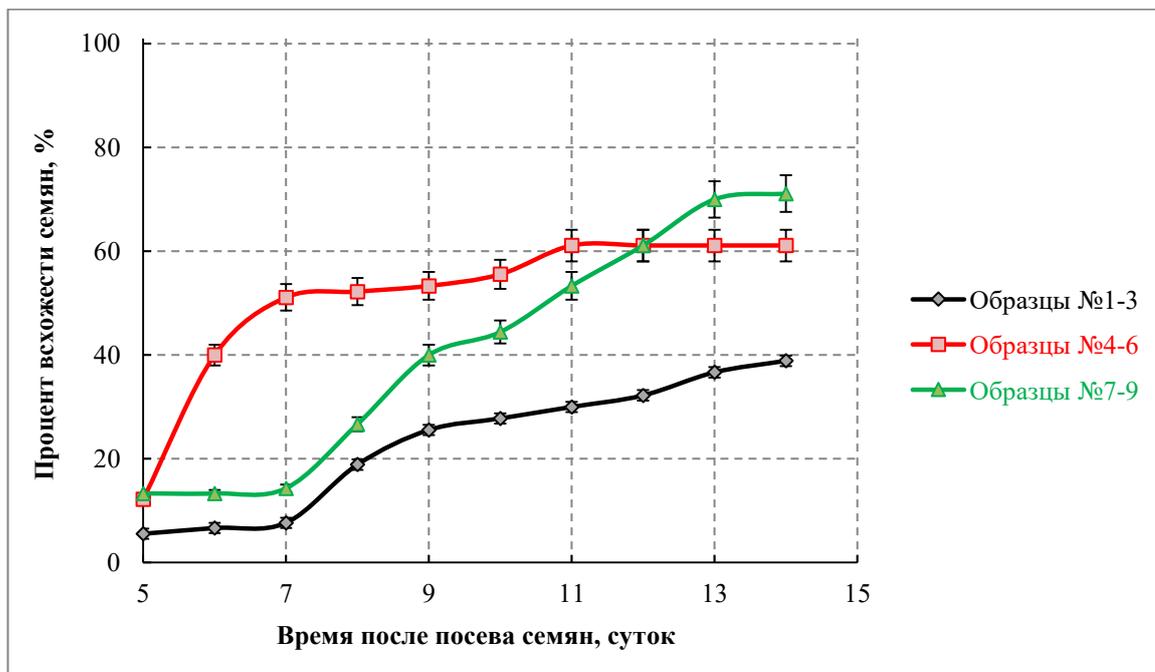


Рисунок 10. Динамика всхожести семян: а) Образцы № 1-3, чистая почва, контроль; б) Образцы № 4-6, загрязненная нефтью почва; в) Образцы № 7-9, загрязненная нефтью почва, обработанная раствором хитозана.

В образцах с присутствием нефти и обработанных хитозаном (№ 7, 8, 9) после седьмых суток происходит равномерное увеличение всходов. 40 %-ная всхожесть наблюдается на девятые сутки. В данном варианте не наблюдается взрывной всхожести, однако, по сравнению с контролем, можно констатировать, что небольшие концентрации нефти тоже дали стимулирующий эффект. На четырнадцатые сутки по завершению эксперимента всхожесть составила 71 % (Рис. 10).

В образцах с чистой почвой (№ 1, 2, 3) наблюдается равномерное прорастание и самый низкий процент всхожести на протяжении всего наблюдения. На четырнадцатые сутки всхожесть составила 39% (Рис. 10).

Однако, при оценке динамики средней высоты надземной части растений варианты образцов, загрязненные нефтью, проявляют ингибирующий эффект на высоту растений. Уже на девятые сутки образцы №1-3 выше образцов №4-6 на 24%, и образцов №7-9 – на 12%. При этом процент всхожести составляет 27 %, 40 % и 52 % соответственно. Далее высота растений в незагрязненных образцах только увеличивается, и на четырнадцатые сутки образцы №1-3 выше образцов №4-6 на 39%, и образцов №7-9 – на 33% (Рис. 11).

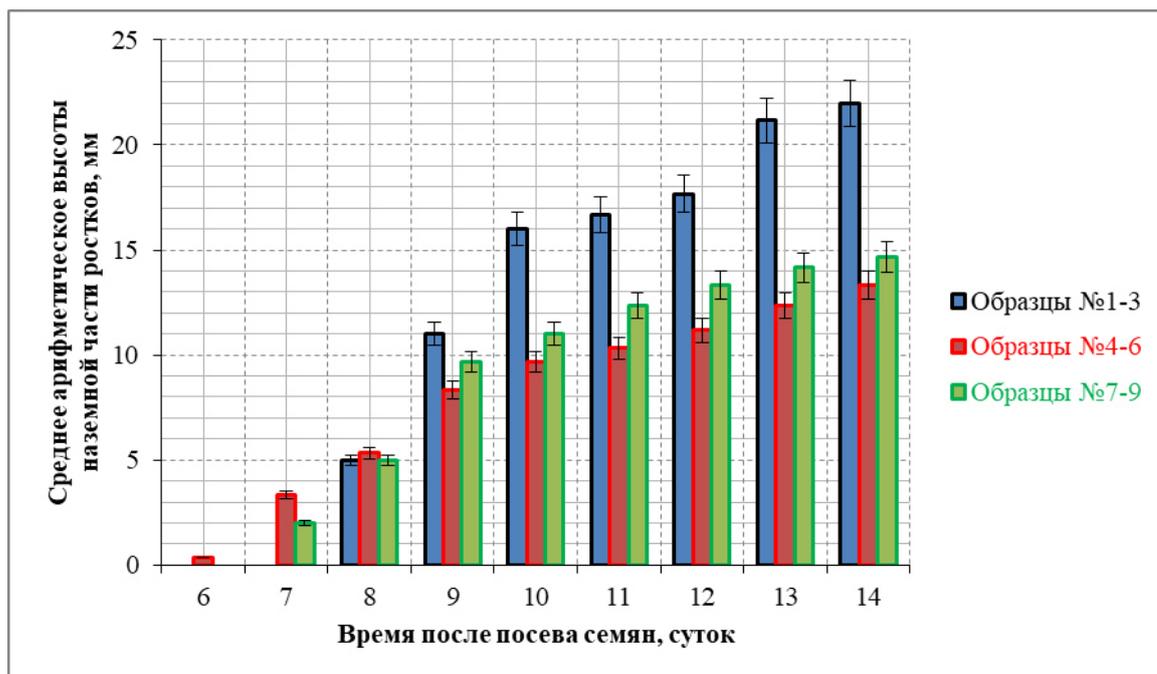


Рисунок 11. Динамика высоты надземной части растений: а) Образцы № 1-3, чистая почва, контроль; б) Образцы № 4-6, загрязненная нефтью почва; в) Образцы № 7-9, загрязненная нефтью почва, обработанная раствором хитозана.

Между тем, в вышеперечисленных результатах прослеживается положительная динамика при использовании хитозана, а именно: конечная всхожесть семян выше, чем в контроле и в загрязненной почве; динамика средней высоты растений выше, чем в загрязненной почве; длина корней больше, чем в загрязненной почве.

## ВЫВОДЫ

1. Изменение комплекса свойств светло-серых лесных почв после многолетней контаминации нефтью, показали, что процесс самоочищения почв протекает весьма медленно (уже около 60-ти лет) и, в настоящее время, еще не завершился. Профиль почвы за эти годы рассоляется. По обеспеченности подвижными азотом, фосфором и калием почвы остаются обедненными и полностью не восстанавливаются. Содержание органического углерода повысилось.
2. Характерные признаки нефтяного загрязнения отсутствуют. Содержание нефтепродуктов составляет от 33 до 55 мг/кг, что выше фона, но соответствует допустимому уровню в <1000мг/кг. Проявляются признаки гидрофобности почвы, которые не характерны для данного типа почв. Коэффициент фильтрации на загрязненном участке на 84% ниже, чем на фоновом участке.
3. Корреляционной зависимости между содержанием ТМ и НП не наблюдается, при содержании НП 55 мг/кг на участке н.п. Графское, происходит увеличение Zn в 1,4 раза, Cu в 1,04 раза, Pb в 1,1 раза, Ni в 1,7 относительно фона. В тоже время на участке н.п. Нижняя Татяя при содержании НП 33 мг/кг, происходит увеличение Zn в 1,4 раза, Cu в 1,2 раза, Pb в 1,1 раза, Ni в 1,3 раза относительно фона. Максимальная удельная эффективная активность естественных радионуклидов ( $A_{эфф}$ ) в исследованных пробах грунтов составляет 130 Бк/кг и не превышает значений установленных санитарных норм. Средняя активность радионуклидов  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  и  $^{40}\text{K}$  составляют 11,94Бк/кг, 31,67 Бк/кг и 355,50 Бк/кг соответственно, что ниже глобального рекомендуемого среднего значения.
4. Разработанный нами метод, основанный на измерении площади водного пятна на поверхности почвы, позволяет определить степень гидрофобности нефтезагрязненной почвы.
5. Предложено использовать хитозан для рекультивации гидрофобных почв. Образцы нефтезагрязненной почвы, обработанные хитозаном, показывают лучшую всхожесть, а так же снижают токсический эффект, негативно влияющего на морфологические признаки растений

### Основное содержание работы изложено в следующих публикациях:

1. **Гаршин М.В.**, Сулейманов Р.Р., Полякова Н.Г. Оценка содержания тяжелых металлов в почвах нефтепромысловых районов Республики Башкортостан [Электрон. ресурс] // *АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал*. 2024. № 6. DOI: <https://doi.org/10.51419/202146601>.

2. **Гаршин М.В.**, Храмова Л.А., Сулейманов Р.Р. Оценка гидрофобных свойств нефтезагрязнённых почв методом водяного пятна (метод «Water Spot») // *Почвы и окружающая среда*. 2024. Том 7. № 4. DOI: 10.31251/pos.v7i4.273
3. **Гаршин М.В.**, Сулейманов Р.Р., Гумеров А.Ф. Мониторинг почв с многолетним загрязнением нефтью в Республике Башкортостан на примере серых лесных почв // *Нефтяное хозяйство*. 2025. № 2. С. 100-104. DOI: 10.24887/0028-2448-2025-2-100-104
4. **Гаршин М.В.**, Храмова Л.А., Сулейманов Р.Р., Бiotестирование нефтезагрязнённых почв после ремедиации природным сорбентом – хитозаном // *«Живые и биокосные системы»*. 2025. № 52; URL: <https://jbks.ru/archive/issue-52/article-6>; DOI: 10.18522/2308-9709-2025-52-6
5. **Гаршин М.В.**, Сулейманов Р.Р. Перспективы применения хитозана для восстановления деградированных почв на нефтяных месторождениях // *Вестник аграрной науки Узбекистана*. 2025. №3 С.219-222.
6. **Гаршин М.В.** Проблемы нарушенных ландшафтов нефтепромысловых регионов // В сборнике: *Природа и общество: интеграционные процессы. Материалы международной научно-практической конференции*. Ред. Е.А. Позаченюк [и др.]. Симферополь, 2022. С. 247-252.
7. **Гаршин М.В.** Современное состояние почв нефтепромысловых районов Республики Башкортостан // В сборнике: *СТЕПНАЯ ЕВРАЗИЯ - УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ*. Сборник материалов международного форума. Ростов-на-Дону, 2022. С. 28-29.
8. **Гаршин М.В.** Использование сервиса «Onesoil Scouting» для выявления и мониторинга нефтезагрязнённых почв // В сборнике: *Актуальные проблемы геодезии, картографии, геоинформатики и кадастра. Материалы VIII Всероссийской научно-практической конференции*. Уфа, 2024. С. 31-33.
9. **Гаршин М.В.**, Сулейманов Р.Р. Проблема локальной гидрофобности нефтезагрязнённых почв: методы её оценки и борьбы с ней // *Почвы – опора России: тезисы докладов IX съезда Общества почвоведов им. В.В. Докучаева (Казань, 12-16 августа 2024 г.)*. /Отв. ред.: П.В. Красильников, Н.О. Ковалева, Е.М. Столпникова. – Москва-Казань: МАКС-Пресс. 2024. 800 с. (стр. 752-753)
10. **Гаршин М.В.**, Храмова Л.А., Прикладные аспекты применения хитозана на почвах при ликвидации негативных факторов разливов нефти // В книге: *Нефтепромысловая химия. XI Международная (XIX Всероссийская) научно-практическая конференция: тезисы докладов*. Москва, 2024. С. 266-268.

11. **Гаршин М.В.** Оценка трансформации почвы после захоронения нефтезагрязненного слоя // В сборнике: Почва как компонент биосферы: актуальные проблемы в условиях изменений климата. материалы Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 120-летию со дня рождения чл.-корр. АН СССР В.А. Ковды. Пушкино, Московская область, 2024. С. 121-123.
12. **Гаршин М.В.** Геоэкологическая оценка содержания тяжелых металлов в почве на участке с давним разливом нефти // В книге: XI Сибирская конференция молодых ученых по наукам о Земле. Материалы конференции. Новосибирск, 2024. С. 174-176.
13. **Гаршин М.В.** Проблемы рекультивации почв, загрязненных нефтью // В книге: Геоэкология и рациональное недропользование: от науки к практике. Сборник материалов IV Всероссийской научной конференции молодых ученых. Белгород, 2024. С. 165-168.
14. **Гаршин М.В.** Оценка рисков для обеспечения безопасности и охраны почв при авариях в нефтегазовой отрасли // В сборнике: Обеспечение безопасности: производственной, пожарной, экологической. Материалы II Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Ростов-на-Дону, 2025. С. 354-355.
15. **Гаршин М.В.** Использование данных дистанционного зондирования земли в исследовании гидрофобности почв Башкирского Предуралья // В сборнике: Устойчивость природных ландшафтов и их компонентов к внешнему воздействию. Сборник материалов Международной научно-практической конференции. Грозный, 2024. С. 125-127.
16. **Гаршин М.В.** Удельная эффективная активность естественных радионуклидов в почвах нефтяных месторождений // Материалы Международной научной конференции XXVIII Докучаевские молодежные чтения «Информационная емкость знаний о почве» / Под ред. Б.Ф. Апарина. – СПб., 2025. – 234 стр. (стр.106-107)