

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «ИЖЕВСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ  
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ»

На правах рукописи

СКВОРЦОВА ИРИНА АНАТОЛЬЕВНА

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЙ  
БИОТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ТОРФЯНЫХ ПОЧВ  
ПОД ДЕЙСТВИЕМ НЕФТЯНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

Специальность 03.02.08 - экология (биология)

Диссертация на соискание ученой степени  
кандидата биологических наук

Научный руководитель:  
доктор с.-х. наук А.В. Леднев

**Ижевск – 2019**

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ.....</b>	<b>4</b>
<b>Глава 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ .....</b>	<b>9</b>
1.1. Характеристика нефти как загрязнителя почв в районах нефтедобычи .....	9
1.2. Характеристика торфяных почв как объекта нефтезагрязнения...	13
1.3. Биотический компонент почв, как составляющая часть системы индикации её нефтяного загрязнения .....	16
<b>Глава 2. ОБЪЕКТ, УСЛОВИЯ И МЕТОДЫ ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ .....</b>	<b>29</b>
2.1. Объект исследований .....	29
2.2. Условия проведения исследований .....	29
2.3. Методика постановки экспериментов .....	33
2.4. Методы лабораторных исследований .....	37
<b>Глава 3. ИЗМЕНЕНИЕ ПОЧВЕННОГО БИОТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ТОРФЯНЫХ ПОЧВ, ПОДВЕРГНУВШИХСЯ НЕФТЯНОМУ ЗАГРЯЗНЕНИЮ.....</b>	<b>40</b>
3.1 Оценка изменения численности микробиологического сообщества загрязненных почв.....	40
3.2 Оценка ферментативной активности загрязнённых почв.....	52
3.3 Оценка видового разнообразия фаунистического комплекса педобионтов .....	64
3.4. Оценка токсикологических свойств загрязнённых почв.....	69
<b>Глава 4. ИЗМЕНЕНИЕ МОРФОЛОГИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ И АГРОХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТОРФЯНЫХ ПОЧВ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ИХ НЕФТЕПРОДУКТАМИ.....</b>	<b>79</b>
4.1. Морфологические признаки загрязнённых аллювиальных торфяных почв.....	79
4.2. Оценка агрохимических показателей загрязненных почв.....	83

<b>Глава 5. ОБОСНОВАНИЕ НОРМАТИВА ДОПУСТИМОГО СОДЕРЖАНИЯ НЕФТЕПРОДУКТОВ В ЗАГРЯЗНЁННЫХ ТОРФЯНЫХ ПОЧВ УДМУРТСКОЙ РЕСПУБЛИКИ.....</b>	<b>92</b>
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....</b>	<b>100</b>
<b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....</b>	<b>102</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЯ</b>	

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность проблемы.** Нефть, в настоящее время, является важнейшим сырьем в химической промышленности и основным источником получения энергии в различных отраслях народного хозяйства, удовлетворяя более 70% её потребления. Однако нефтегазовая промышленность по опасности воздействия на окружающую среду занимает третье место в числе 130 отраслей современного производства. На всех этапах добычи и транспортировки нефти периодически возникают аварийные ситуации, при которых происходит загрязнение окружающей среды. Наиболее сильное и многостороннее техногенное воздействие осуществляется на почвенный покров. Это связано с тем, что на территории нефтепромыслов функционируют комплексы производственных сооружений, разобшённых территориально, но связанных системами трубопроводов, энергопередач, транспортными системами, организацией работ. По данным Международного социально-экологического союза на сегодня в России добывается ежегодно около 450 млн. тонн нефти, при этом, по данным экологов, каждый год происходит 50 - 60 тыс. случаев прорыва трубопроводов. В трехстах из них в почву и водоемы попадает более 10 тыс. тонн нефти (Сейронян, 2017). Удмуртская Республика входит в регион с хорошо развитой нефтедобывающей промышленностью. На её территории расположено свыше 100 нефтяных месторождений, 60 % из которых находятся в разработке. Ежегодная добыча нефти составляет более 9 млн. тонн. Протяжённость трубопроводных коммуникаций составляет около 30000 километров, уровень аварийности на них постепенно снижается, но тем не менее по отдельным месторождениям число аварийных ситуаций измеряется в пределах 0,04-0,70 шт/год (Саламатова, 2002).

Любые технические сооружения на промысле (скважины, трубопроводы, факелы и др.) являются потенциальными источниками техногенных потоков, различающихся по составу, концентрациям и объёмам выбрасываемых в природу веществ. Сброс чужеродных и, как правило, геохимически активных соединений вызывает трансформацию и последующее разрушение природных

систем, вплоть до полной деградации. Происходит отчуждение на длительный срок земель из сельскохозяйственного или лесохозяйственного производства. Нефтедобывающие предприятия несут большие затраты по восстановлению загрязнённых почв и выплате длительный период штрафных санкций.

Необходимость скорейшего возвращения земельных участков в хозяйственный оборот требует оперативного устранения последствий нефтяного загрязнения почвенного покрова. Это достигается проведением комплекса работ по их рекультивации, для повышения эффективности которых требуется четко понимать процессы, происходящие в почве после её загрязнения. Кроме того, в настоящее время в нормативных и директивных документах отсутствуют реальные критерии экологической оценки уровней загрязнения нефтью и нефтепродуктами почв, не утверждены нормативы допустимого остаточного содержания нефти в почве (ДОСНП). Всё это придаёт исследованиям нефтезагрязнённых почв высокую степень актуальности.

Из всех типов почв, распространённых на территории Удмуртской Республики, для изучения выбраны аллювиальные (пойменные) торфяные почвы. Несмотря на их небольшую площадь – 3,2 % от всей площади республики (Ковриго, 2004), они имеют большое экологическое и народно-хозяйственное значение, и именно на них происходят аварийные ситуации, которые наиболее сложно исправлять с технологической и экологической точки зрения. Кроме того, на этих почвах недостаточно хорошо изучено изменение их свойств под действием нефтяного загрязнения.

**Цель исследований** – экологическая оценка биотического комплекса торфяных почв Удмуртской Республики по состоянию биологических и токсикологических свойств под действием нефтяного загрязнения.

**Задачи исследований:**

1. Изучить влияние различных уровней загрязнения торфяных почв нефтью на их ферментативную активность, численность аборигенной микрофлоры и педобионтов.
2. Изучить влияние различных уровней загрязнения торфяных почв

нефтью на их токсикологические свойства.

3. Определить норматив допустимого остаточного содержания нефти для торфяных почв Удмуртской Республики.

**Научная новизна.** Впервые в условиях Удмуртской Республики на территории типичной для восточно-европейской части южной таёжной подзоны таёжно-лесной зоны изучены биологические, токсикологические и агрохимические свойства торфяных почв, загрязненных нефтью, определен видовой состав почвенной зоофауны, степень токсичности на различные группы живых организмов (*Triticum aestivum*, *Daphnia magna*, *Paramecium caudatum*, бактериальный препарат «Эколюм»). Определен норматив допустимого остаточного содержания нефти в торфяных почвах Удмуртской Республики.

**Теоретическая и практическая значимость работы.** Установлены закономерности влияния различных доз нефтяного загрязнения на биологические и токсикологические свойства торфяных почв. Разработан норматив допустимого остаточного содержания нефти в торфяных почвах Удмуртской Республики, который является региональным нормативно-правовым документом для нефтедобывающих предприятий.

#### **Основные положения, выносимые на защиту:**

1. Влияние нефти на численность актиномицетов, микроскопических грибов, целлюлозоразлагающих и аммонифицирующих микроорганизмов в торфяных почвах определяется дозой загрязнения. Низкая степень загрязнения нефтью увеличивает их численность, а при достижении определённого для каждого вида микроорганизмов уровня, их количество в почве резко уменьшается.

2. Нефтяное загрязнение вызывает снижение ферментативной активности торфяных почв. Наиболее негативное действие нефти проявляется на ферментативную активность уреазы и инвертазы.

3. В результате нефтяного загрязнения торфяных почв нарушается видовая структура сообществ педобионтов, снижается их численность, биологическое разнообразие, изменяется качество почвенной среды.

4. При мониторинге, диагностике и нормировании загрязнения торфяной почвы нефтью целесообразно совместное использование комплекса биохимических, микробиологических и токсикологических показателей.

**Реализация результатов исследований.** На основании полученных данных разработан норматив допустимого остаточного содержания нефти в торфяных почвах Удмуртской Республики, который прошёл экологическую экспертизу и утвержден Постановлением правительства Удмуртской Республики. В настоящее время он является региональным нормативно-правовым документом для нефтедобывающих предприятий республики.

Результаты исследований используются в проведении курсов повышения квалификации специалистов экологических служб, учебном процессе на агрономическом и лесном факультетах ФГБОУ ВО «Ижевская ГСХА».

**Апробация работы и публикации.** Основные результаты исследований докладывались на ежегодных научно-практических конференциях профессорско-преподавательского состава ФГБОУ ВО «Ижевская ГСХА» (2014-2016).

По теме диссертации опубликовано 8 научных работ, в том числе в журналах, рекомендованных ВАК РФ, опубликовано 4 работы.

**Объём и структура диссертации.** Диссертация изложена на 134 страницах компьютерного текста, состоит из введения, 5 глав заключения. Содержит 27 таблиц, 18 рисунков, 8 приложений. Список использованных источников включает 296 наименований, в том числе 22 на иностранных языках.

Автор выражает искреннюю признательность за оказанную помощь и содействие в выполнении химических анализов Т.Р. Голубевой – зав. аналитической лабораторией кафедры агрохимии и почвоведения Ижевской ГСХА. Автор благодарен за помощь и полезные советы преподавателям и лаборантам кафедры агрохимии и почвоведения Ижевской ГСХА. За научное руководство, большую помощь и практические советы в проведении

исследований автор выражает особую благодарность и сердечную признательность доктору с.-х. наук, профессору Андрею Викторовичу Ледневу.



## **Глава 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ**

### **1.1. Характеристика нефти как загрязнителя почв в районах нефтедобычи**

Нефть - это жидкая осадочная органогенная горючая порода, которая образуется на глубине 1-2 км. Она представляет собой маслянистую жидкость чёрного, реже темно-коричневого цвета, со специфическим запахом. Элементный состав нефти состоит в основном из углерода – 83-87%, водорода – 12-14 %, серы – 0,01-6 %, кислорода – 0,005-0,35 %, азота – 0,001-1,8% и незначительного количества минеральных элементов, содержание которых не превышает 0,1 %. Всего в нефти обнаружено более 50 элементов (Химия нефти, 1984; Бахшиева, 1989). Она состоит из сложной смеси почти 1000 индивидуальных жидких, небольшого количества твердых и газообразных соединений различной молекулярной массы, большую часть из которых составляют углеводороды (80-90 мас. %). Углеводороды, входящие в состав нефти, можно разделить на три группы: 1) предельные углеводороды с прямой или разветвленной цепью (в нефти встречаются почти все гомологические члены ряда метана); 2) пяти- и шестичленные циклоалканы (нафтены) и их гомологи; 3) ароматические углеводороды (бензол и его гомологи).

В Удмуртской Республике добываемая нефть имеет свои особенности: она, как правило, сернистая (содержание серы 1-3 %), парафинистая (парафина 3 - 5%), высокосмолистая (смола 20-25 %), обладает повышенной вязкостью, тяжелая или битуминозная (Оценка воздействия..., 1996; Саламатова, 2002).

Отрицательное воздействие нефти на окружающую среду общеизвестно и при нарушении природоохранного законодательства приводит к изменению состава почв, загрязнению подземных и поверхностных вод, атмосферы (Хабилов и др. 2009). По данным большого числа исследователей (Пиковский, 1988; Солнцева, 1998; Аммосова,

Трофимов, Суханова, 1999, Логинов, 2000; Гилязов, 2003; Леднев, 2008 и др.) загрязнение нефтью влияет на весь комплекс морфологических, физических, физико-химических и биологических свойств почв, определяющих ее плодородные и экологические функции. Выраженность этого влияния зависит как от интенсивности загрязнения, так и от свойств самих почв, их использования и наличия тех или иных биохимических барьеров.

После загрязнения почвы нефтью характер ее распределения определяется свойствами самой почвы: площадью поверхности почвенных частиц в единице объема, сорбционной способностью, величиной порово-капиллярных сил, возможностью гравитационного движения загрязнителя или его закреплением и др., характером поступления поллютанта (поверхностно или внутрипочвенно) и временем с момента загрязнения (Солнцева, 1998). И. Б. Шумилова (1999), Е. С. Елин (2002) указывают на вертикальное распределение нефти по почвенному профилю. Смолистые компоненты нефти сорбируются интенсивнее, чем низкомолекулярные, которые просачиваются в нижележащие слои. Фронтальное просачивание приводит к почти полному насыщению нефтью верхних горизонтов почвы. По данным М.Ю. Гилязова, И.А. Гайсина (2003), М.Т. Устинова и др. (2000) и Р.Н. Ситдикова (2002) накопление или вынос тех или иных компонентов нефти связано с нефтеёмкостью почвы, а также с наличием геохимических барьеров. Глеевые, глинисто-иллювиальные, иллювиально-глеевые и мерзлотные горизонты почв являются барьерами-экранами, которые практически не пропускают органические поллютанты за счет наличия минимальных по размеру пор и капилляров. Наличие грунтовых вод также является барьером на пути вертикального просачивания нефти, что отмечает Е.И. Ковалева (2013). Как отмечено Солнцевой Н.П. (1998) чем сильнее увлажнена почва, тем ниже степень закрепления нефти. Наиболее высокая нефтепроницаемость наблюдается у песчаных почв: при концентрации 50 л/м<sup>2</sup> следы нефти обнаруживаются на глубине более 1 м, а при дозах 10-20

л/м<sup>2</sup> – на глубине 10-30 см (Чижов, 2007). Для дерново-подзолистых почв, загрязнение нефтью отмечают более темное окрашивание верхних горизонтов, неравномерность, мозаичность изменений морфологического строения в результате неравномерного распределения нефти в толще почвы (Солнцева, 1998; Андреева, 2005; Леднев, 2008). Для типичного чернозема, загрязненного товарной нефтью И.М. Габбасова (2003) отмечает также темный цвет загрязненных горизонтов и слипшиеся структурные отдельности. Изменение структуры почвы прослеживается по всему профилю: увеличивается содержание мелких и средних фракций, которые приобретают водопрочность, что приводит к затруднению поступления питательных элементов в почвенный раствор (Салангинас, 2003 а, б). Авторами (Габбасова, 2003; Пермитина, Димеева, 2003; Басюл, 2007; Рогозина, Шиманский, 2007; Леднев, 2008) было отмечено, что образование на поверхности почвенных частиц пленки нефтепродуктов и заполнение ею наиболее крупных пор, приводит к потере почвой способности впитывать и удерживать влагу, резко снижает гигроскопическую влажность, водопроницаемость и влагоемкость. Изменение физических свойств почвы при загрязнении приводит к вытеснению нефтью воздуха, нарушению поступления воды, питательных веществ, что является главной причиной торможения развития растений и их гибели (Логинов, 2000). Согласно исследованиям ряда авторов (Алехин и др., 1998; Солнцева, 1998; Киреева, Ямалетдинова, 2001; Деградация и охрана почв, 2002; Безносиков др., 2004; Сухова и др., 2004; Андреева, 2005; Рогозина, Шиманский, 2007; Басюл, 2008; Леднев, 2008; Новоселова, 2008; Сулейманов, 2008; Каралов, 1989, Чернова, 1977; 1988; Шакиров, 2001) изменения затрагивают не только физические, но и химические свойства почв: изменяется содержание органического углерода, состав гумуса, количество и соотношение макро-микроэлементов. В монографии Н.И. Солнцевой (1998) было отмечено повышению содержания органического углерода не только в верхних почвенных горизонтах, но и по всему профилю, содержание углерода может

превышать более чем в 5 раз фоновый уровень. Е.А. Рогозина, В.К. Шиманский (2007) отмечают, что уже через год остаточное содержание углеводородов в верхних горизонтах значительно снижается, делая возможным достаточно быстрое восстановление биологической продуктивности. Согласно исследованиям Габбасовой И.М., Абдрахманова Р.Ф. и др.(1996) в нефтезагрязненной почве отношение C:N колеблется от 50 до 400 – 420 в зависимости от количества привнесенного углерода и типа почвы, что приводит к ухудшению азотного режима почв и нарушению корневого питания растений. По данным отдела экологии ГНУ УГНИИСХ действие нефти на показатель суммы обменных оснований в дерново-подзолистых почвах различается в зависимости от уровня загрязнения (Леднев, 2009). Нефть, при степени загрязнения до 1 %, обуславливает увеличение этого показателя на 0,1 – 2,6 ммоль/100 г почвы (или на 3 – 14 %), более высокие дозы загрязнения – его резкое уменьшение. Это связано с блокировкой обменных позиций коллоидов гидрофобными нефтяными пленками. Подобные закономерности были отмечены на чернозёмных (Гилязов, 2003), серых лесных (Фарахова, 2009) и аллювиальных (Андреева, 2005) почвах.

Влияние нефтяного загрязнения на кислотно-щелочной баланс определяется исходным состоянием почв: на кислых почвах наблюдается небольшое подщелачивание, на близких к нейтральным и нейтральных – подкисление на 0,1-0,3 единицы pH. Одна из причин подкисления – низкомолекулярные органические кислоты, продуцируемые грибной микрофлорой, активно развивающейся в нефтезагрязненных почвах (Солнцева, 1998; Деградация и охрана почв, 2002; Сухова, 2004; Андреева, 2005; Лапина, 2007; Леднёв, 2008).

В результате нарушения аэрации и создания анаэробных условий в толще нефтезагрязнённых почв повышается их восстановительный и снижается окислительный потенциал, что приводит к развитию процессов

оглеения и даже поверхностному заболачиванию почв (Солнцева, 1998; Андреева, 2005; Лисовицкая, 2008; Казиахмедова, 2009).

Относительно влияния нефтяного загрязнения на торфяные почвы имеется значительно меньше информации. Установлено, что нефтепроницаемость торфяных почв определяется их степенью заболоченности и глубиной залегания грунтовых вод. Нефть достаточно легко просачивается до уровня грунтовых вод, а затем растекается по их поверхности на значительное расстояние от источника загрязнения. Болотные торфяные почвы обладают очень высокой способностью к адсорбции и биоаккумуляции многих химических соединений, в том числе и нефтепродуктов, и являются своеобразным глобальным буфером (Устинов, 2000; Алябина, 2008). Т.И. Бурмистрова, Т.П. Алексеева (2003) отмечают, что торф, вследствие развитой поверхности и наличием углеводородокисляющих микроорганизмов, может служить как сорбентом нефтяных компонентов, так и их деструктором. И.В. Сухова (2004), исследуя нефтезагрязнённые торфяники, показала, что в групповом и фракционном составе органического вещества происходит заметное уменьшение содержания фульвокислот, и в меньшей мере – гуминовых кислот, что привело к доминированию последних в составе гумусовых веществ (отношение 2:1).

## **1.2. Характеристика торфяных почв как объекта нефтезагрязнения**

Торф является уникальным природным образованием, для формирования которого требуется особое сочетание природных факторов (пониженное расположение на рельефе, которое обуславливает хроническое переувлажнение территории, и наличие болотной растительности). Торф – отложения органического происхождения, состоящие из остатков болотных растений (лиственных и хвойных деревьев, кустарников, трав, мха)

подвергнувшихся неполному разложению при недостаточном доступе воздуха (Лиштван, 1989).

Основу торфа составляют растительные остатки твердых полимеров целлюлозной природы и продукты их распада, находящиеся в равновесии с водным раствором низко- и высокомолекулярных веществ. Неорганическая часть представлена в торфе нерастворимыми минералами разной природы, адсорбционными образованиями минералов с гуминовыми веществами, неорганическими компонентами торфяной воды, ионообменными гетерополярными органо-минеральными комплексами и комплексно-гетерополярными производными (Химия нефти, 1984).

Аллювиальные болотные торфяные почвы образуются в глубоких депрессиях пойм, отмирающих руслах староречий в основном таежно-лесной и лесостепной зонах под осоками, тростниками, камышами, ольшаниками, ивняками, березняками со мхами. Избыточное увлажнение создаётся за счёт затопления полыми водами, подтоку грунтовых вод, уровень которых не опускается ниже 1 м, и стоку склоновых вод с более высоких поверхностей.

В зависимости от степени разложения торфа выделяют два типа: аллювиальные торфяно-глеевые и аллювиальные перегнойно-глеевые (Классификация и диагностика почв России, 2004). Почвы первого типа диагностируются по наличию торфяного и глеевого горизонтов. Органический материал торфяного горизонта обычно хорошо разложен, имеет тёмно-бурый или чёрный цвет, характерны ржавые примазки и пятна гидроокислов железа. Горизонт часто содержит прослойки мелкозёма тяжёлого гранулометрического состава или в целом заилен. Почвы второго типа отличаются наличием с поверхности черного или сизовато-чёрного мажущегося перегнойного горизонта с плохо оформленной икряной структурой, не дифференцированного по степени разложения органических остатков, обычно заиленного, переходящего в грязно-сизую глеевую толщу.

Основные подтипы выделяются по признакам засоления, омергеливания, оруденения и заиливания (Классификация и диагностика почв России, 2004).

По мощности торфяного (перегнойного) слоя они подразделяются на следующие виды:

1. Мелкоторфяные – 10-20 см
2. Торфянистые – 20-30 см
3. Торфяные – 30-50 см
4. Маломощные – 50-100 см
5. Среднемощные – 100-200 см
6. Мощные – более 200 см

По степени разложения торфа они подразделяются на следующие виды:

1. Торфяные – менее 25 %
2. Перегнойно-торфяные – 25-50 %
3. Торфяно-перегнойные – 50-75 %
4. Перегнойные – более 75 %

Исследованиями В. Н. Ефимова (1986), В.Н. Ефимова, М. Г. Васильковой (1970), В. Н. Ефимова, М.Ф. Луниной (1986), Т. А. Гореловой, Н.В. Гуловской (1978), Т.А. Гореловой (1982), Н.Н. Бамбалова (1984), Т.Т. Ефремовой (1992), Д.С. Орлова, О.Н. Бирюковой, Н.И. Сухановой (1996) в лесной зоне Европейской части Русской равнины установлено, что гумусообразование в торфяно-болотных почвах зависит как от гидрологических условий, ботанического состава растений-торфообразователей, так и от продолжительности времени торфообразования. Т.А. Горелова, Н.В. Гуловская (1978) выявили влияние нарастающего увлажнения на степень гумификации органического вещества. По их данным с нарастанием гидроморфизма и степени оторфованности почв в подзолистой зоне происходит увеличение отношения Сгк:Сфк от 0,5 в дерново-подзолистых до 1,5-2,5 в торфянистых и торфяных почвах. По мере

усиления увлажнения ухудшаются условия гумификации органических остатков, снижается интенсивность биохимических процессов и глубина их гумификации (Ахтырцев, 1985, 1996, 1999; Ахтырцев, Самойлова, 1983; Ахтырцев, Ахтырцев, Яблонских, 1997).

Аллювиальные болотные торфяные почвы отличаются очень высоким содержанием органического вещества (82-90%), но степень его гумификации очень слабая и содержание нерастворимого остатка составляет 91-94%. Отношение  $C_{гк}:C_{фк}$  расширяется до 2-2,7, содержание гуматов кальция очень низкое, изменение состава органического вещества по генетическим горизонтам связано со степенью разложения торфа (Яблонских, 2001).

Торфяные почвы имеют огромное экологическое значение: они регулируют водный режим на равнинных территориях (аккумулируют осадки в осенне-весенний период и питают реки в течение года), оказывают влияние на микроклимат, значительно обогащают окружающие их биоценозы.

Общая площадь аллювиальных торфяных почв в Удмуртской Республики составляет 3,2 % (Ковриго, 2004), на них располагается значительная часть высокопродуктивных сенокосных угодий.

### **1.3. Биотический компонент почв как составляющая часть системы индикации нефтяного загрязнения**

Биологический компонент почв определяется состоянием сообществ почвенных микроорганизмов и беспозвоночных животных. Почвенные микроорганизмы – ключевой компонент почвы, от них зависит интенсивность её биологических процессов, они играют важную роль в преобразовании органического вещества и биогеохимических циклах основных биогенных элементов (азота, углерода и фосфора), а также в формировании структуры почвы (Seybold, 1999; Szabolcs, 1989). Анализ особенностей функционирования почвенных микроорганизмов в



естественных экосистемах позволяет определять причины происходящих в ней изменений и наметить пути их регулирования (Кутузова, 2001; Лысак, 2015). Микроорганизмы являются важным фактором почвенного плодородия, и микробиологическая активность может быть использована для диагностики состояния почвы, в том числе определения её степени загрязнения нефтепродуктами.

Изучение экологических последствий загрязнения почвы нефтью занимались многие исследователи (Исмаилов Н.М., 1982, 1983, 1988; Пиковский Ю.И., 1988; Хазиев Ф.Х., 1976, 1988 а, 1988 б; Хазиев Ф.В., 2005; Солнцева Н.П., 1988, 1998; Трофимов С.Я., 2000, 2002; Киреева Н.А., 2001, 2002; Гилязов М.Ю., 2003; Леднев А.В., 2008 и др.). В литературе имеются сведения по влиянию на биологические свойства почв бензина, дизельного топлива, керосина (Колесников С.И., 2006, 2007, 2009; Frankenberger W.T., 1982) полициклических ароматических углеводородов (ПАУ), флуорана и бенз(а)пирена, полихлорированных бифенилов (Геннадиев А.Н., 1990; Wilke В.-М., 1997), топливного масла (Рора А., 2000), продуктов окисления нефти (Киреева Н.А., 1998).

В настоящее время нефть является одним из самых распространенных загрязнителей. Попадая в почву, она из-за медленной скорости деструкции тяжелых нефтяных фракций оказывает на почвенные биоценозы длительное воздействие, достигающее в случае сильного загрязнения 10-20 и более лет (Демиденко А.Я., 1983; Шилова И.И., 1988). В результате нефтяного загрязнения изменяется общая численность, биомасса микроорганизмов и структура микробного сообщества почвы (Колесников С.И., 2006; Evans F.F., 2004; Абакумов Е.В., 2006; Аканова Н.И., 2002; Бабенко А.Б., 1984). Известно, что основное действие нефти в почве на микроорганизмы обусловлено наличием в ней легких и тяжелых фракций, из которых первые обладают токсичностью, вторые – ингибирующим эффектом, увеличивая гидрофобность почвы и ухудшая ее водно-воздушный режим (Халимов Э.Н., 1996).

Углеводороды нефти оказывают на микроорганизмы токсическое действие, кроме того, нефтяное загрязнение влияет на них через трансформацию физико-химических свойств почвы: уменьшение доступности элементов минерального питания, ухудшение водного и воздушного режимов, изменение реакции почвенной среды и структуры почвы (Гузев В.С., 1989; Хазиев Ф.Х., 1988; Исмаилов Н.М., 1988; Шильников, 1987; 2006; 2003; 2008 (а, б);). Было исследовано влияние ксенобиотиков на разнообразие и динамику общей численности культивируемых гетеротрофных бактерий в почве. Показано, что азобензол, ингибиторы нитрификации (DCN и DMPP) в концентрации 50 мг/кг не оказывают значительного влияния на общую численность и качественный состав гетеротрофных бактерий в почве, но уменьшают до 2-3 раз общую численность в концентрации 5 г/кг. Ингибитор уреазной активности (HQ) уменьшал численность гетеротрофных бактерий уже при концентрации 50 мг/кг. При внесении ксенобиотиков в почву наблюдался прирост численности азотфиксирующей и олигонитрофильной микрофлоры. Численность нитрификаторов в почве уменьшалась вдвое уже при низкой концентрации ксенобиотиков. Наблюдался токсический эффект, который заключался в уменьшении радиальной скорости роста микромицетов и подавлении спороношения при концентрациях свыше 10 г/л (Ваккерова-Коузова Н.Д., 2010). По данным И.И. Васенева (2011), Л.И. Войно (2003), А.В. Назарова (2010) нефтяное загрязнение оказывает длительное влияние на численность и биомассу почвенных бактерий. Численность и биомасса бактерий в почве без загрязнения превышали таковые в нефтезагрязненных почвах на 12-35 и 35-60% соответственно. Присутствие в почве битумоидов нефтяного происхождения, с одной стороны, незначительно увеличивало биоразнообразие почвенных бактерий, с другой – усиливало доминирование меньшего количества таксонов. Недостаток доступного фосфора является одним из основных негативных факторов, влияющих на биомассу и численность бактерий в условиях «старого» нефтяного загрязнения дерново-

подзолистых почв, а присутствие повышенного количества битумоидов обуславливает изменения в структуре бактериального сообщества. Вопросы выживания и сохранения внесенных в почву популяций микроорганизмов, в том числе биопрепаратов, представляют значительный интерес для разработки приемов почвенной биотехнологии и биоремедиации нарушенных, загрязненных и утомленных почв (Алейникова М.М., 1964; 1969; 1973; Артемьева Т.И. 1982; 1989; Архипова Т.Н. 2011; Бикинина А.Г. 2005; 2007; Киреева Н.А. 2008; Блинников В.И. 1982; Гомонова Н.Ф. 2004 (а,б); Дмитриев А.В. 2003; Егоров Н.С. 1986). В целом, грибы рода *Trichoderma* в черноземе значительно различались по спектру токсического воздействия вторичных метаболитов (Свистова И.Д., 2010). С.Д. Вершинина (2011), А.А. Ветчинников (2010) В.Г. Минеев (1998), Ю.Г. Гельцер (1984), Р.В. Галиулин (1987; 2006), М.С. Гиляров (1939; 1941; 1949; 1951; 1953; 1965; 1985 (а, б)) подчеркивают, что одним из наиболее чувствительных и динамичных показателей процесса почвообразования в меняющихся условиях среды является биологическое состояние почв, которое в значительной степени определяется фитоценотической структурой, а также составом, динамикой и функциональной деятельностью зоомикробных комплексов. Гузев В.С. и Левин С.В. (2001) предлагают для описания изменений, происходящих в сообществе почвенных микроорганизмов использовать модель четырех адаптивных зон. Для низкого уровня нагрузки состав и количественное соотношение видов в сообществе неизменны, при этом суммарная биомасса микроорганизмов может возрасти. Средний уровень нагрузки характеризуется зоной стресса, где состав микробиологического сообщества остается практически неизменной, но происходит перераспределение популяций по степени доминирования. Высокий уровень техногенной нагрузки вводит микробоценоз в зону резистентности, что приводит к резкому снижению видового разнообразия и смене составов почвенных микроорганизмов. Дальнейшее же увеличение техногенной нагрузки приводит к полному подавлению роста почвенных

микробоценозов и переходу в зону репрессии. Также наблюдается конкурентное отношение в сообществе: при низком и среднем уровне исход взаимодействия зависит от плотностей популяций конкурирующих видов, преимущество которых получают микроорганизмы с большей популяционной плотностью. При высоком уровне загрязнения тип конкуренции между видами – облигатное замещение, преимущество получают виды способные расти намного быстрее других.

По данным Н.А. Киреевой и В.В. Водопьянова (2001), Н.А. Киреевой и Е.И. Новоселовой (2009) процесс изменения биомассы микроорганизмов при нефтезагрязнении и последующем восстановлении почвы включает пять стадий: отмирание, адаптация, линейный и экспоненциальный рост, стабилизация. Подобные закономерности в изменении численности и видового состава микробоценоза нашли подтверждения во многих исследованиях различных ученых: Пономарева С.И. (1953); Павлова О.Ю. (2004); Панасов М.Н. (2002); Пивоваров Г.Е. (1985); Артюхов В.Г. и др. (2004); Муха В.Д. (1979; 1988; 1997; 2001; 2002; 2003 (а,б); 2004;); Звягинцев Д.Г. и др. (2002); Минеев В.Г. (1990; 2004; 2006 (а,б)); Яковлева Е.В. и др.(2010); Убугунова и др. (2007); Махонина Г.И. (2003); Марфенина О.Е. (1991); Лиханова И.А. (2008); Кожевин П.А. (1986); Ковалев Н.Г. (2003); Козловская Л.С. (1963; 1976; 1980); Гладков Ю.А. и др. (2006); Корчагин А.А. (2010); Кутровский В.Н. (2011).

В свежезагрязненных почвах численность почвенных микроорганизмов достаточно высокая с преобладанием аммонификаторов, углеводородокисляющих бактерий, представленных в основном бактериями родов *Pseudomonas*, *Rhodococcus*, *Acinetobacter*, *Arthrobacter*, *Bacillus*, *Mycobacterium*. Как было отмечено рядом авторов: Ледневым А.В. (2008); Фокин Д.В. (1999); Фомина А.С. (2005); Худяков Я.П. (1972); Чибрик Т.С. (1991); Чистяков М.П. (1972) на фоне стимуляции развития углеводородокислителей происходит подавление гетеротрофной микробиоты, а при высоких концентрациях нефти ингибируется развитие

обеих групп микроорганизмов, но на более поздних сроках после загрязнения увеличивается численность олиготрофной микрофлоры, олигонитрофилов и целлюлозоразрушающих микроорганизмов, при этом общая численность оставалась по-прежнему высокой. Елин Е.С. (2002), Камаев И.О. (2012) утверждают, что наиболее чувствительными к действию нефти оказались нитрифицирующие бактерии, а численность и активность микроорганизмов, участвующих в процессе азотфиксации, аммонификации и денитрификации, наоборот, увеличивается. При высоких концентрациях нефти ингибируются почти все группы микроорганизмов, в том числе и микромицеты. Происходит перестройка сообщества микромицетов при высоких уровнях загрязнения – выпадают чувствительные виды, а доминирующее положение занимают микромицеты, способные утилизировать углеводороды нефти. Наиболее устойчивыми к нефтезагрязнению оказались представители родов *Aspergillus*, *Penicillium*, *Fusarium*, *Botrytis*, *Oospora*, *Trichoderma* (Лыткин И.И., 2005; Мирчинк Т.Г., 1970; 1988; Михеева В.Л., 2009; Мишустин Е.Н. 1975; 1972; 1954; Морозов А.Е., 2004; Камаев И.О., 2012; Заварзин Г.А. 2001; Завьялова Н.Е., 2006; 2008; Захаров Н.Г., 2011; Звягинцев Д.Г., 2005; 1987; Зенкова И.В., 2009; Зинченко М.К., 2009; 2011; Зубец И.Г., 2008; Лаврентьева Е.В., 2009; Ежов Г.И., 1981; Емцев В.Т., 1990; 2007; 2012; Ермилов С.Г., 2008).

Ряд авторов: Пивоваров и др. (1985); Костина Н.В. и др. (1993); Дегтярева И.А. и др. (2003); Щапова Л.Н. (1974; 2005); Завьялова Н.Е., Митрофанова Е.М. (2008); Зубец А.Н. (2008); Белоголова Г.А. и др. (2011); Егоров Н.С., Ландау Н.С. (1986); Зенова Г.М. (1986); Кожевин П.А. и др. (1986); Добровольская Т.Г. (2002); Паносян А.К. и др. (1961); Полянская Л.А. (1963); Возняковская Ю.М. (1970) Гебгардт А.Г., Дацюк Н.М. (1970); Мирчинк Т.Г., Бондаревская Ф.Г. (1970); Мергель А.А. (1987); Емцев В.Т., Чумаков М.И. (1990); Архипова Т.Н., Шендель Г.В. (2011); Галиулин Р.В. и др. (1987); Ивлева С.Н. и др. (1992) Оценка экологических..., 1992; Изменение свойств..., 1999; Ананьева Н.Д., и др. (2002); Жемчужин С.Г. (2002);

Ананьева Н.Д. (2003); Влияние..., 2003; Галиулин Р.В., Галиулина Р.А. (2006); Стимуляция активности..., 2010; Малинина М.С. и др. (2011); Микроорганизмы..., 1961; Александрова И.В. (1970); Теппер Е.З. (1981); Туев Н.А. (1989); Демкина Т.С., Мироненко Л.М. (1991); Бойко Т.Ф. (1988); Фокин Д.В. и др. (1999); Матаруева И.А. (2005) считают, что главная роль почвенной биоты в корневом питании растений заключается в ее ферментативной и иной химической способности постепенно переводить труднорастворимые и малодоступные формы элементов питания в простые соединения, способные усваиваться корневой системой растений; с другой стороны почвенная биота стабилизирует кислотность почвенного раствора, воздействует на обмен веществ, участвует в разрушении и синтезе гумусовых веществ.

Почвенные беспозвоночные животные, по сравнению с микроорганизмами, более высоко организованны, обладают более сложной морфологией и физиологией, имеют развитые органы чувств и сложное поведение. В почвенной зоологии принято выделять размерные группы животных, различающихся способами использования среды обитания (Гиляров М.С., 1949):

- нанофауна (размеры от микрон до долей мм) – микроскопические объекты, которые могут наблюдаться только с помощью инструментальных методов: простейшие (корненожки, жгутиконосцы, инфузории), мелкие нематоды и коловратки, тихоходки;
- микрофауна (доли мм – доли см) – более крупные немикроскопические организмы: клещи, нематоды, энхитреиды, пауки, коллемболы (ногохвостки), протуры, симфилы, мелкие жуки;
- мезофауна (доли см – несколько см) – крупные беспозвоночные, хорошо различаемые невооруженным глазом, легко учитываемые в полевых условиях при ручной разборке проб почвы: кольчатые и плоские черви, многоножки, пауки, мокрицы, брюхоногие моллюски, насекомые на разных стадиях развития;

- макрофауна (мегафауна) – почвенные позвоночные и крупные формы беспозвоночных.

Установлена обратная зависимость между размерами животных и уровнем их численности. Разные размерные группы животных неодинаково используют почву как среду обитания. Для микроскопических организмов средой обитания оказывается не вся почва, а система микрокапель, капилляров, гравитационной воды, скопления влаги на твердых частицах и между частицами. Существенное значение для этих организмов имеют особенности почвенной влаги: реакция (рН), химический и газовый состав, наличие почвенных коллоидов, состав водорастворимых солей, особенности органического вещества и порового пространства (Муравьев А.Г., 2000).

Почвенно-зоологические исследования охватывают широкий круг современных проблем, связанных с изучением: популяционной структуры и динамики сообществ; специфики биотических связей в сапротрофном зоомикробном комплексе (ЗМК) и структурных особенностей пищевых цепей в почве; роли почвенной биоты в системе биоиндикации антропогенных воздействий на природные экосистемы и биомониторинга окружающей среды. Биоиндикация антропогенных факторов – это определение биологически и экологически значимых антропогенных нагрузок на основе реакций разных организмов и их сообществ (Новиков Ю.В., 1974). Почвенная фауна оказывается более чутким индикатором изменений, чем растения, обладающие значительной инерцией по отношению к ним. Использование почвенных беспозвоночных в качестве индикаторных видов оправдано и потому, что наиболее чувствительные к антропогенному воздействию стадии их жизненного цикла проходят в почве: яйца, личинки, куколки (Алексеев В.П., 2001). Биоиндикация – главный метод биологического мониторинга, т.е. мониторинга биоты экосистемы. Но в биомониторинге используются и другие методы. Например, химический анализ содержания загрязняющих веществ в живых организмах (Самедов П.А., 2001).

Экологический метод диагностики почв, разработанный М.С. Гиляровым (1949), основан на анализе состава животного населения почв, соотношения отдельных его компонентов, численности и экологических особенностей входящих в них популяций. Эти показатели могут быть использованы как индикатор свойств почвы, ее плодородия: каждый вид заселяет те местообитания, где создаются оптимальные условия для его жизнедеятельности (Капин Г.Ю., 1983). В наземных экосистемах во всех районах Земли обитателями почвы являются 50-99 % всех видов животных и на их долю приходится 60-90 % наземной зоомассы. Число особей на единицу площади у некоторых групп достигает фантастических величин (до 1 млн. клещей, ногохвосток на 1 кв. м в лесных и луговых почвах).

В последние годы приобрели большую актуальность исследования формирования и особенностей структуры экотонных сообществ. Экотоны – переходные пространства между различными природными системами, буферные территории, характеризующиеся постоянно высокой изменчивостью факторов среды. Растущие антропогенные нагрузки увеличивают контрастность и мозаичность экосистем и ландшафтов и, как следствие, формируются новые пограничные экотонные системы и сообщества. В экотонах возникают физические и биогеохимические барьеры для миграции загрязняющих веществ. Почвенные беспозвоночные в таких зонах становятся уязвимыми. В то же время экотоны служат местом сохранения биологического разнообразия (Стриганова Б.Р., 1980).

Среди направлений почвенной экологии, связанных с задачами почвоведения – охрана животного мира почвы. Традиционным, одним из ведущих направлений является изучение почвообразовательной роли почвенных животных. Оно многопланово: изучает влияние отдельных видов на свойства почв (механическое размельчение растительных остатков и вовлечение их вглубь, рассеивание в пространстве экскрементов и т.д.); исследует роль комплексов беспозвоночных в разложении органических



остатков и их взаимосвязи с почвенными микроорганизмами в этих процессах.

Исследования влияния нефти на почвенных беспозвоночных проводились как в естественных условиях, так и в условиях модельных лабораторных опытов. Установлено, что мезофауна (дождевые черви, многоножки моллюски, имаго и личинки насекомых) являются одним из наиболее чувствительных компонентов экосистем к углеводородному загрязнению почв (Чернова Н.М., 1988; Каверина Н.В., 2004). Для дождевых червей 2,5-5 г/кг является предельно допустимой концентрацией нефти в почве, при которой пока ещё не наблюдается их гибель. При более высоких концентрациях наблюдается повреждение тканей, происходит изменение физиологического состояния червей и поведенческих реакций (Бызов Б.А., 2005; Ванькова А.А., 2009). Массовая гибель педобионтов в первые несколько суток после загрязнения почвы нефтью связана с токсическим действием углеводородов, которые способны высушивать слизистые оболочки организмов за счет своей гидрофобности (Винник, 2005).

По данным исследования В.Л. Бабкина (2001) установлено, что на наиболее загрязненных участках, даже по прошествии 30 лет, восстановление панцирных клещей не наблюдается, на менее загрязненных участках формируются угнетенные сообщества с бедным видовым составом.

Оказывая ингибирующее действие на почвенную микробиоту, педобиоту, нефть влияет и на ферментативную активность. Ферменты синтезируются высшими растениями, микроорганизмами, почвенными животными (Новоселова, 2008). По данным Киреевой Н.А. (2008) активность микробиологических процессов, протекающих в почве, характеризуется активностью дегидрогеназы и каталазы, а уровень плодородия и биологическая активность почв определяется активностью инвертазы.

Особенности действия ферментов в зависимости от органических и неорганических фракций почвы и жизнедеятельности микроорганизмов весьма обстоятельно изучена зарубежными авторами: An Y.H. (2000);

Andrews S.S. (2004); Bell M.C. (2008); Dunger W. (1964); Arshad M.A. (2002); Aysen A. (2003); Bollag J.-M. (1991); Bouma J. (2002); Carpentier B. (1993) Dunger W. (1964). Одновременно значительным вкладом явились работы Гофмана (Hofmann, 1959) А. Ш. Галстяна (1974), в которых авторы рассматривали действие ферментов как показатель биологической активности и плодородия почв. Наряду с этим, были опубликованы также работы, авторы которых утверждают, что активность ферментов не может служить критерием общей биологической активности и плодородия почв (Naglitsch F., 1962; 1968;; Wilke B.-M, 1998; Soil biochemical..., 2009). К такому заключению авторы в основном пришли на основании отсутствия зависимости между активностью ферментов и интенсивностью дыхания почвы, принятой как суммарный показатель всех биологических процессов. Дальнейшие исследования показали, что интенсивность продуцирования углекислоты из почвы – «дыхание» находится в прямой корреляции с активностью оксидоредуктаз (Галстян, 1974; Козлов, 2003; Александрова, 1970). Было установлено, что при оценке общей биологической активности и плодородия почв необходимо определять действие различных групп ферментов (гидролаз, оксидоредуктаз) и интенсивность «дыхания» (Галстян, 1974). В настоящее время этот подход является общепринятым.

Источником почвенных ферментов являются растения, микроорганизмы и фауна почвы. Корни многих растений и микроорганизмы при жизни выделяют множество биотических веществ, в том числе и ядовитую перекись, которая угнетает растения. Фермент каталаза, относящаяся к группе оксидоредуктаз, разрушает перекись тем самым, создавая оптимальные условия для жизни растений (Галстян, 1974). Инвертаза, каталаза, при загрязнении почвы нефтью ингибируется (Елин, 2002; Медведева, 2003; Водопьянов, 2008; Новоселова, 2008; 2009; Сулейманов и др., 2008; Ибрагимова, 2009; Кабиров, 2009; Мухаматдинова и др., 2013). Большое внимание было уделено исследованию активности уреазы и липазы в почве. Сведения не однозначны: одни утверждают об

увеличении уреазной активности при загрязнении нефтью (Елин, 2002; Новоселова, 2008; Сулейманов и др., 2008; Щемелинина, 2008), так и об уменьшении активности фермента (Водопьянов, 2008; Ибрагимова, 2009).

Загрязнение торфяно-глеевой почвы нефтью в концентрации до 10% приводит к повышению активности каталазы, дегидрогеназы и уреазы. При увеличении концентрации выше 10 % активность этих ферментов ингибируется (Щемелинина, 2008). По результатам Е.М. Сулейманова и др. (2008) анализ ферментативной активности лугово-аллювиальных почв показал, что активность уреазы повышается до уровня содержания нефтепродуктов 13 %, более высокие концентрации поллютанта оказывают ингибирующее действие на активность уреазы. На ферментативную активность также влияет и возраст загрязнения: в период адаптации после загрязнения нефтью (5 %) ферментативная активность снижается в 1,5-2 раза; через 10 лет активность каталазы повышается, усиливаются процессы анаэробного дегидрирования и гидролиза мочевины (Щемелинина, 2008; Шагабиева, 2013). Н.А. Киреева (2007), А.А. Щемелинина (2011) предлагают использовать значения активности ферментов в качестве диагностического признака, позволяющих определить когда и в какой степени произошло загрязнение: если активность липазы и каталазы ниже нормы, то загрязнение произошло не раньше, чем несколько месяцев назад; если уровень каталазы ниже, а липазы выше контрольного – то прошло больше 3-4 месяцев.

### **Заключение по обзору литературы.**

Анализ литературных источников свидетельствует, что загрязнение почв нефтью оказывает многостороннее негативное воздействие на все её свойства. Характер и степень влияния напрямую зависит от вида нефтепродуктов и от уровня загрязнения. Легкие фракции нефтепродуктов оказывают прямое токсическое действие на растения, почвенные микроорганизмы и почвенную фауну. Происходит резкое обеднение их видового состава или наступает полная гибель. Тяжёлые фракции – резко ухудшают агрофизические и агрохимические свойства загрязнённых почв, что, в свою очередь, также негативно влияет на почвенную биоту. Так как почвенная биота является самым чувствительным звеном в экосистеме, то именно её наиболее целесообразно использовать в качестве индикатора для

выявления характера и степени различных антропогенных воздействий на почвенный покров, в том числе и нефтепродуктов.

К настоящему времени известно значительное количество исследований, посвящённых вопросам нефтезагрязнения, однако, подавляющее их большинство проведено на минеральных почвах. Торфяные почвы по своим свойствам кардинально отличаются от минеральных почв и поэтому не допустимо интерпретировать на них уже известные результаты. Имеющиеся данные по влиянию нефти на торфяные почвы единичные и весьма противоречивые. Всё это требует проведения их детального изучения и выявления закономерностей поведения разных уровней загрязнения нефтью на их свойства, в том числе биологические и токсикологические.

## **Глава 2. ОБЪЕКТ, УСЛОВИЯ И МЕТОДЫ ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ**

### **2.1. Объект исследований**

Основным объектом исследований в диссертационной работе являются аллювиальные торфяные почвы, загрязнённые различными дозами нефти. Выбор этого объекта для исследований обусловлен следующими факторами: 1) большим экологическим и народнохозяйственным значением этих почв; 2) слабой изученностью влияния нефтяного загрязнения на свойства торфяных почв, по сравнению с минеральными почвами; 3) именно на этих почвах происходит наибольшее число аварийных ситуаций на нефтепроводах; 4) торфяные почвы, в связи с их месторасположением и свойствами, являются наиболее сложным объектом для ремедиации. Свойства торфяных почв, как объекта для нефтезагрязнения, подробно описаны в главе 1.2.

Общая площадь аллювиальных торфяных почв в Удмуртской Республики составляет 3,2 % (Ковриго, 2004), на них располагается значительная часть высокопродуктивных сенокосных угодий.

### **2.2. Условия проведения исследований**

Полевые исследования по теме диссертационной работы проводились в 2014 – 2016 гг. в Завьяловском районе, который входит в южный агроклиматический район, в тёплый, умерено влажный подрайон Удмуртской Республики (Агроклиматический справочник ..., 1961). Климат его умеренно-континентальный с суровой продолжительной зимой, значительным снежным покровом и довольно теплым, но непродолжительным летом. Данный подрайон характеризуется следующими метеорологическими данными:

1. Среднегодовая температура воздуха + 2,0 °С.
2. Продолжительность вегетационного периода при среднесуточной температуре воздуха более 5 °С составляет 164...171 дней, а более 10 °С – 124...133 дней.
3. Сумма активных температур (более 10°С) равняется 1900 - 2100 °С.
4. Средняя температура июля +18 °С, января – 15 °С.
5. Безморозный период длится 119 – 137 дней.
6. Сумма осадков за год 450 – 500 мм, за вегетационный период 200 - 225 мм.
8. Гидротермический коэффициент равен 1,0-1,2, что свидетельствует о промывном типе водного режима и характеризует увлажнение как не всегда устойчивое.

Климатические условия района благоприятны для возделывания раннеспелых и, частично, среднеспелых сельскохозяйственных культур, включенных в Госреестр УР. Погодные условия вегетационных периодов 2014-2016 гг. представлены в таблицах 1 и 2.

Вегетационный период 2014 г. характеризовался крайне неравномерным поступлением тепловых ресурсов и осадков. Апрель месяц был более холодным (на 1,2 °С ниже среднемноголетних показателей) и влажным (154 % от нормы), что обусловило медленное прогревание почв и задержку наступления вегетационного периода на 4-6 дней.

Май характеризовался более тёплой и сухой погодой по сравнению со средне многолетними показателями (на 4,2°С выше нормы, осадков – 41 %), что неблагоприятно сказалось на прорастание растений и их рост в первый период жизни, но было оптимальным для развития почвенных микроорганизмов. Июнь и июль отличались холодной и дождливой погодой (температура на 0,3-0,7 °С ниже нормы, осадков – 159-137 % от нормы), что способствовало хорошему развитию вегетативной части растений и сдерживало развитие генеративной части.

Таблица 1 - Температура воздуха, С° (по данным МГЦ «Ижевск»)

Месяцы	Декады			Средняя за месяц	Средняя многолетн ая	Отклонени е от ср. многолетн.
	I	II	III			
2014 год						
Апрель	-1,9	4,4	5,4	2,6	3,8	-1,2
Май	11,7	17,7	17,8	15,8	11,6	4,2
Июнь	19,2	14,5	16,4	16,7	17,0	-0,3
Июль	18,9	15,2	16,9	17,0	18,7	-1,7
Август	20,8	19,0	16,6	18,7	15,7	3,0
Сентябрь	11,8	10,5	11,8	11,4	9,8	1,6
2015 год						
Апрель	1,4	4,5	6,6	4,2	3,8	0,4
Май	11,9	13,3	19,1	14,9	11,6	2,5
Июнь	18,1	17,8	23,3	19,7	17,0	2,7
Июль	14,4	15,9	17,8	16,1	18,7	-2,6
Август	16,5	14,7	11,4	14,1	15,7	-1,6
Сентябрь	13,2	12,5	16,1	13,9	9,8	4,1
2016 год						
Апрель	3,3	9,3	8,2	6,9	3,8	3,1
Май	11,0	11,4	17,2	13,3	11,6	1,7
Июнь	13,4	18,3	17,9	16,6	17,0	-0,4
Июль	20,3	20,6	22,1	21,0	18,7	2,3
Август	24,0	24,7	19,6	22,6	15,7	6,9
Сентябрь	14,1	9,5	12,2	11,9	9,8	2,1

Для микрофлоры этот период был не совсем оптимальным. Август и сентябрь были благоприятными для роста и развития культур и микрофлоры, количество тепловых ресурсов превышало средне многолетние показатели на 3,0 и 1,6 °С соответственно, осадков в августе выпало 141 % от нормы, а в сентябре – 24%. В целом погодные условия 2014 г. были благоприятными для роста и развития растений и микроорганизмов.

Вегетационный период 2015 г. характеризовался крайне неравномерным распределением тепла и осадков. Если май и июнь был более тёплым и сухим, по сравнению со средне многолетними показателями, то июль и август были аномально холодными и дождливыми. Всё это способствовало формированию хорошей вегетативной массы травянистых растений, но было не благоприятно для развития микроорганизмов.

Таблица 2 - Сумма осадков, мм (по данным МГЦ «Ижевск»)

Месяцы	Декады			Сумма за месяц	Сумма средне многолетня я	Отклонени е от нормы, %
	I	II	III			
2014 год						
Апрель	28,8	5,0	12,4	46,2	30	154
Май	13,5	0,3	2,1	15,9	39	41
Июнь	29,9	47,6	18,1	95,6	60	159
Июль	68,4	6,0	6,2	80,6	59	137
Август	0,7	52,6	36,9	90,2	64	141
Сентябрь	7,1	3,7	2,7	13,5	57	24
2015 год						
Апрель	20,8	20,1	4,1	45,0	30	150
Май	0,0	29,8	11,2	41,0	39	105
Июнь	13,6	15,6	10,2	39,4	60	66
Июль	33,1	45,5	41,0	119,6	59	203
Август	19,0	52,4	52,7	124,1	64	194
Сентябрь	10,7	12,6	5,2	28,5	57	50
2016 год						
Апрель	18,4	29,3	5,9	53,6	30	179
Май	15,6	2,2	0,6	18,4	39	47
Июнь	26,8	26,7	17,2	70,7	60	118
Июль	20,6	17,2	-	37,8	59	64
Август	14,6	1,0	4,9	20,5	64	32
Сентябрь	23,5	39,0	4,9	67,4	57	118

Весь вегетационный период 2016 г. характеризовался очень тёплой погодой, температура воздуха во все месяцы превышала средние многолетние показатели. Исключение составил только июнь, который на 0,4 С° был прохладнее нормы. Особенно выделялся август, который на 6,9 С° был жарче обычного. Распределение осадков по вегетации было крайне неравномерным: в апреле, июне и сентябре их выпало больше среднемноголетних показателей, а в июле и, особенно, в августе – значительно ниже нормы. Такая погода в течение вегетации оказывала различное влияние на рост и развитие растений. Если в апреле, мае и июне она благоприятствовала появлению хороших всходов и развитию растений в



первые два месяца, то продолжительный очень жаркий и засушливый период в июле и августе явился для них экстремальным и привёл к резкому снижению их продуктивности.

Таким образом, проведение полевых экспериментов в различных погодных условиях позволило повысить достоверность полученных научных результатов.

### **2.3. Методика постановки экспериментов**

Для повышения объективности экспериментальных данных, исследования по теме диссертационной работы проведены в три этапа: лабораторный, полевой и производственный.

1 этап – лабораторные исследования.

Для выявления закономерностей действия различных доз нефтяного загрязнения на токсикологические свойства торфяных почв был заложен лабораторный опыт. Он проведен с почвой, искусственно загрязнённой товарной нефтью. В опыте изучалось 11 уровней загрязнения (с очень низкого до очень высокого). Лабораторные условия позволили выявить их действие на загрязнённую почву в чистом виде, так как было исключено действие посторонних факторов: растений, бокового и грунтового притока и оттока влаги, неравномерного воздействия ветра, солнца и т.д.

Опыт заложен в мае 2014 г. в биохимической лаборатории ФГБНУ «Удмуртский НИИСХ» в полиэтиленовых сосудах ёмкостью 1,5 литра, в которых было размещено одинаковое количество торфа, взятого из верхнего слоя (0-50 см) незагрязнённой аллювиальной иловато-торфяно-перегнойной почвы. Химические и физико-химические показатели торфа, использовавшегося для закладки лабораторного опыта, приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Химические и физико-химические свойства торфа до закладки лабораторного опыта

Зольность, %	pH <sub>KCl</sub>	Физико-химические свойства, ммоль/100г		Химические свойства, мг/кг			
		H <sub>г</sub>	S	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N-NH <sub>4</sub>	N-NO <sub>3</sub>
20,8	6,1	29,7	200	134	20	38	102

Данные таблицы свидетельствуют, что торф характеризовался нейтральной реакцией, очень высокой суммой обменных оснований, очень низким содержанием обменного калия, средним – азота, повышенным – подвижного фосфора. Эти показатели являются типичными для низинных торфяных почв Удмуртской Республики.

#### *Схема лабораторного опыта*

1. Контроль (без нефти)
2. Загрязнение нефтью – 5 г/кг почвы
3. Загрязнение нефтью – 10 г/кг почвы
4. Загрязнение нефтью – 20 г/кг почвы
5. Загрязнение нефтью – 30 г/кг почвы
6. Загрязнение нефтью – 40 г/кг почвы
7. Загрязнение нефтью – 50 г/кг почвы
8. Загрязнение нефтью – 100 г/кг почвы
9. Загрязнение нефтью – 150 г/кг почвы
10. Загрязнение нефтью – 200 г/кг почвы
11. Загрязнение нефтью – 250 г/кг почвы
12. Загрязнение нефтью – 300 г/кг почвы

Опыт заложен в 4-х кратной повторности.

Подготовка почвы и набивка сосудов проведена по методике закладки вегетационного опыта, предложенной А. В. Соколовым (1975). Торф предварительно был подсушен и просеян через сито с диаметром отверстий 3 мм. В каждый сосуд помещено (согласно расчета) 0,3 кг абсолютно-сухой почвы. Загрязнение почвы проведено товарной нефтью согласно схемы

опыта. Для более равномерного загрязнения, перемешивание торфа с нефтью проводилось на полиэтиленовой пленке. После этого сосуды с загрязнённым торфом были доведены дистиллированной водой до одного веса, соответствующего его оптимальной влажности (60 % от полной влагоёмкости). Почва в сосудах компостировалась в течение трёх месяцев в условиях оптимальной влажности (соответствующей 60 % от полной влагоёмкости) и температуры (+ 18 – + 22° С). Из каждого сосуда дважды (через 5 и 90 дней компостирования) отобраны почвенные образцы на проведение в них микробиологических и токсикологических анализов.

2 этап – полевые исследования.

Полевой опыт проведен в 2014-2016 гг. на месторождении торфа «Вожойское» в Завьяловском районе Удмуртской Республики.

Цель полевого опыта – получить объективные данные по влиянию нефтяного загрязнения на биологические и токсикологические свойства торфяных почв в условиях максимально приближенных к производственным. Опытный участок расположен в притеррасной части поймы р. Чернушки. Угодье – осушенный заболоченный смешанный лес. Фактическое использование - торфопеработки. Почва – аллювиальная иловато-перегнойно-торфяная среднесиловая.

#### *Схема полевого опыта*

1. Абсолютный контроль (без нефти)
2. Загрязнение нефтью – 5 г/кг почвы
3. Загрязнение нефтью – 10 г/кг почвы
4. Загрязнение нефтью – 20 г/кг почвы
5. Загрязнение нефтью – 30 г/кг почвы
6. Загрязнение нефтью – 40 г/кг почвы
7. Загрязнение нефтью – 50 г/кг почвы
8. Загрязнение нефтью – 100 г/кг почвы
9. Загрязнение нефтью – 150 г/кг почвы
10. Загрязнение нефтью – 200 г/кг почвы

11. Загрязнение нефтью – 250 г/кг почвы

12. Загрязнение нефтью – 300 г/кг почвы

Опыт заложен в 4-х кратной повторности.

Опытный участок 6 июня 2014 г. с помощью мерной ленты был разбит на делянки размером 1,0 × 1,0 м. Делянки между собой отделены двойной полиэтиленовой плёнкой на глубину 30 см. Размещение делянок систематическое со смещением в 4 яруса. На каждую делянку с помощью лейки было вылито расчётное количество нефти согласно схемы опыта. После этого все делянки были перекопаны лопатой на глубину 20 см. В качестве загрязнителя использована товарная нефть с Мишкинского месторождения.

Для определения биологических и биохимических показателей с каждой делянки четыре раза за период наблюдений были отобраны почвенные образцы из пахотного слоя: 2 раза в 2014 г. (через 5 и 90 дней после загрязнения); два раза в 2015 г. (через 12 и 15 месяцев после загрязнения); два раза в 2016 г. (через 24 и 29 месяцев после загрязнения).

3 этап – производственная проверка полученных результатов.

Проведена в первой декаде августа 2014 г. в качестве объекта обследования выбрана притеррасная часть поймы р. Кама в Камбарском районе Удмуртской Республики, где официально было выявлено загрязнение нефтепродуктами. Источник загрязнения – Камбарская нефтебаза (протечка ёмкостей хранения нефтепродуктов). Угодье – осушенный заболоченный смешанный лес. Почва – пойменная болотная иловато-перегнойно-торфяная на средних торфах.

На обследуемом участке были заложены 3 почвенных разреза: 1 разрез располагался на сильно загрязнённом нефтепродуктами участке, 2 разрез – на слабо загрязнённом участке, 3 разрез – на незагрязнённом (контрольном) участке. В каждом разрезе послойно были отобраны почвенные образцы для проведения биохимических, микробиологических и токсикологических анализов.

На ключевых участках изучалось видовое разнообразие мезофаунистического комплекса педобионтов, токсикологические свойства загрязнённых торфяных почв.

#### **2.4. Методы лабораторных исследований**

Почвенные образцы отобраны по ГОСТ 17.4.3.01-83 (СТ СЭВ 3847-82) и проанализированы в Центральной эколого-аналитической лаборатории РЦ ГЭКМ ОХ УХО УР Автономного учреждения «Управление Минприроды УР» и химико-биологической лаборатории ФГБНУ «Удмуртский НИИСХ» по следующим методикам:

1. Определение массовой доли нефтепродуктов, ПНД Ф 16.1:2.2.22-98.
2. рН сол. – потенциометрическим методом, ГОСТ 27753.3-88.
3. Гидролитическая кислотность – по методу Каппена рН-метрическим методом в модификации ЦИНАО, ГОСТ 26212-91.
4. Сумма поглощенных оснований – по методу Каппена, ГОСТ 27821-88.
5. Подвижный фосфор и обменный калий – по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО, ГОСТ Р 54650-2011
6. Обменный аммоний – по методу ЦИНАО, ГОСТ 26489-85
7. Нитратный азот – по методу ЦИНАО, ГОСТ 26488-85.
8. Зольность торфа – методом сжигания, ГОСТ 11306-83.
9. Полевая влажность – весовым методом (Александрова Л.Н., и др, 1986).
10. Гигроскопическая влажность – весовым методом (Вадюнина А.Ф. и др., 1986).
11. Определение активности каталазы – по методу А. Ш. Галстяна (Титова В.И. и др., 2011).
12. Определение активности инвертазы – весовым методом по методике В.Ф. Купревича (Титова В.И. и др., 2011).
13. Определение активности уреазы – фотоколориметрическим методом (Казеев К.Ш. и др., 2003).
14. Определение хронической фитотоксичности в отношении высших

растений – по ГОСТ Р ИСО 22030-2009.

15. Определение острого токсичного действия с использованием тест-объекта – *Daphnia magna*, ФР.1.39.2007. 03222. Методика основана на определении смертности и изменений в плодовитости дафний при воздействии токсических веществ, присутствующих в исследуемой водной среде, по сравнению с контрольной культурой в пробах, не содержащих токсических веществ (контроль). Критерием острой токсичности служит гибель 50 % и более дафний за 96 часов в исследуемой воде при условии, что в контрольном эксперименте гибель не превышает 10 %.

16. Определение острого токсичного действия с использованием тест-объекта – *Paramecium caudatum*, ФР.1.39.2015.19243

17. Определение острого токсичного действия с использованием тест-системы ЭКОЛЮМ, ПНД Ф Т 14.1:2:3:4.11-04. Методика основана на определении изменения интенсивности биolumинесценции генно-инженерного штамма бактерий при воздействии токсических веществ, присутствующих в анализируемой пробе, по сравнению с контролем. Острое токсическое действие исследуемой пробы на бактерии определяется по ингибированию их биolumинесценции за 30-ти минутный период экспозиции. Количественная оценка параметра тест-реакции выражается в виде безразмерной величины - индекса токсичности «Т», равной отношению  $T = 100(I_0 - I) / I_0$ , где  $I_0$  и  $I$  соответственно интенсивность свечения контроля и опыта при фиксированном времени экспозиции исследуемого раствора с тест-объектом.

18. Определение группового состава микроорганизмов – методом посева на селективные среды, ГОСТ 54653-2011.

19. Для сбора мелких почвенных членистоногих из образцов использовали эклектор. Принцип его работы основан на способности беспозвоночных покидать области с неблагоприятными условиями. Почти все мелкие обитатели рыхлых субстратов обладают отрицательным фото- и термотаксисом и чувствительны к дефициту влаги. В наиболее

распространенных типах эклекторов при помощи электрической лампы накаливания создаются неблагоприятные условия по всем трем факторам. Все обнаруженные членистоногие собирались и фиксировались в 70 % растворе этилового спирта.

Обработка результатов. Математическая обработка материала проведена с помощью статистического пакета «Statistica 5,5». Для интерпретации полученных результатов использовался дисперсионный многофакторный анализ (по перекрестно-иерархической схеме, при последующей оценке различий методом множественного сравнения LSD-test). Сравнительный анализ видового разнообразия проводился с использованием индексов Чекановского-Серенсена, Шеннона, Маргалефа. Для проверки статистически значимых различий между выборками использовался  $t$ -критерий Стьюдента.

### **Глава 3. ИЗМЕНЕНИЕ ПОЧВЕННОГО БИОТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ТОРФЯНЫХ ПОЧВ, ПОДВЕРГНУВШИХСЯ НЕФТЯНОМУ ЗАГРЯЗНЕНИЮ**

#### **3.1 Оценка изменения численности микробиологического сообщества загрязнённых почв**

Численность микробиологического сообщества является наиболее объективным показателем, характеризующим общее экологическое состояние загрязнённых территорий. Биологическая активность почвы любого биогеоценоза обеспечивается направленностью, скоростью и результатом производимых микробным пулом процессов минерализации и трансформации исконных и привнесённых органических и минеральных веществ, что впоследствии способствует формированию водно-воздушного, кислотно-основного и питательного режимов плодородного слоя, оптимальных для произрастания различных фитоценозов (Минеев В.Г., Ремпе Е.Х., 1990). Здесь наиболее значимыми являются микробные ассоциации циклов азота и углерода, отвечающие за проведение процессов азотфиксации, аммонификации, нитрификации, минерализации органических компонентов и образования гумусовых веществ, активность которых, в свою очередь, определяется объемом и скоростью прироста микробомассы определенной функции, а также количеством биохимически активных веществ, ею выделяемых, которые и проводят упрощение почвенного вещества до компонентов, доступных в питании растений.

С другой стороны, микробная система почвы включает различные экологические функциональные группы, взаимосвязь между которыми осуществляется на основе специфики потребления ресурсов питания и биохимических механизмов регуляции процессов разложения сложных высокомолекулярных органических веществ до простых, основанных на определенных гомеостатических механизмах, которые обеспечивают устойчивость ее работы. Причем функционирование всей почвенной биоты



складывается из последовательности потребления пищевого субстрата, от которой в итоге будет зависеть направленность и биохимическая активность трансформации органосодержащих компонентов и, как следствие, их качественный результат.

Каждая микробная ассоциация, видовые популяции которой отвечают за определенный процесс, обладает специфическими физиологическими характеристиками, которые и обеспечивают ей то или иное положение в биотическом микросообществе почвы. При этом все ассоциаты микробного пула последовательно функционируют согласно универсальной концепции множественности экологических стратегий природных популяций жизни, соответствующие различным типам естественного отбора.

Изменение численности микробиологического сообщества аллювиальных торфяных почв под действием различных уровней загрязнения нефтью нами изучалось в полевом опыте в течение трех вегетационных периодов. Рассмотрим наиболее важные группы микроорганизмов.

Группа микроорганизмов, использующих минеральные формы азота, представлена в основном бактериями и актиномицетами. Мицелиальные бактерии – актиномицеты выявляют на крахмало-аммиачном агаре (КАА). На данной среде, как правило, вырастают их колонии, принадлежащих к родам *Streptomyces*, *Streptoverticellum*, *Chainia* (ГОСТ 54653-2011). Как и следовало ожидать, ведущим фактором, оказавшим влияние на их численность, явилась исходная концентрация нефти в почве. Установлено, что слабая степень нефтяного загрязнения (5-20 г/кг) способствовала увеличению численности актиномицетов в 1,5-2 раза по сравнению с отсутствием загрязнения (рис.1). Наиболее существенные различия в численности актиномицетов наблюдали через 15 мес. от начала эксперимента. Учитывая достаточно высокую долю деградации нефти в вариантах с её исходной концентрацией 5-20 г/кг, можно предположить, что небольшая стимуляция развития актиномицетов при невысоком уровне

нефтяного загрязнения обусловлена их ростом за счет дополнительного источника питания, каким являются отдельные углеводороды нефти. Среди актиномицетов хорошо известны представители – активные деструкторы нефтепродуктов (Mobaiyen, 2013; Burghal, 2015). Более выраженное увеличение численности актиномицетов на последних сроках наблюдений, связано, очевидно, с испарением к этому времени токсичных фракций нефти, препятствовавших их росту на первых этапах эксперимента.

Дальнейшее повышение уровня загрязнения почвы нефтью до 30-40 г/кг несколько снижало численность актиномицетов по сравнению с уровнем загрязнения 5-20 г/кг. Однако в данном случае нельзя говорить об угнетении актиномицетов, поскольку их численность в вариантах с 30 и 40 г/кг нефти находилась на уровне контрольного варианта. Однако уже при 50 г/кг и последующем повышении уровня загрязнения наблюдали выраженное снижение численности мицелиальных прокариот, особенно на первых этапах опыта (через 5 дней и 3 мес. от момента закладки), что, вероятно, связано с действием еще не полностью испарившихся к этому времени токсичных фракций нефти. Следует отметить, что в 2015 г. (через 15 мес. после загрязнения) в вариантах опыта с уровнем загрязнения 5-150 г/кг отмечено восстановление численности актиномицетов до её уровня в контрольном варианте. При дозе нефти 200-300 г/кг восстановления комплекса актиномицетов за 15 мес. не происходило. В 2016 г. наблюдается положительная динамика роста при дозах загрязнения с 10-50 г/кг; при дозе загрязнения 200-300 г/кг началось восстановление комплекса актиномицетов.

Срок отбора образцов также влиял на численность мицелиальных прокариот. В эксперименте на протяжении всего периода наблюдений отмечали постепенный рост этого показателя во всех вариантах опыта. Минимальное количество актиномицетных зачатков отмечено в июне 2014 г., что объясняется продолжительными анаэробными условиями, которыми характеризовалась торфяная почва до её осушения в 2013 г. Увеличение

численности актиномицетов в 2015-2016 гг. связано с более длительным периодом, прошедшим после осушения торфяных почв.

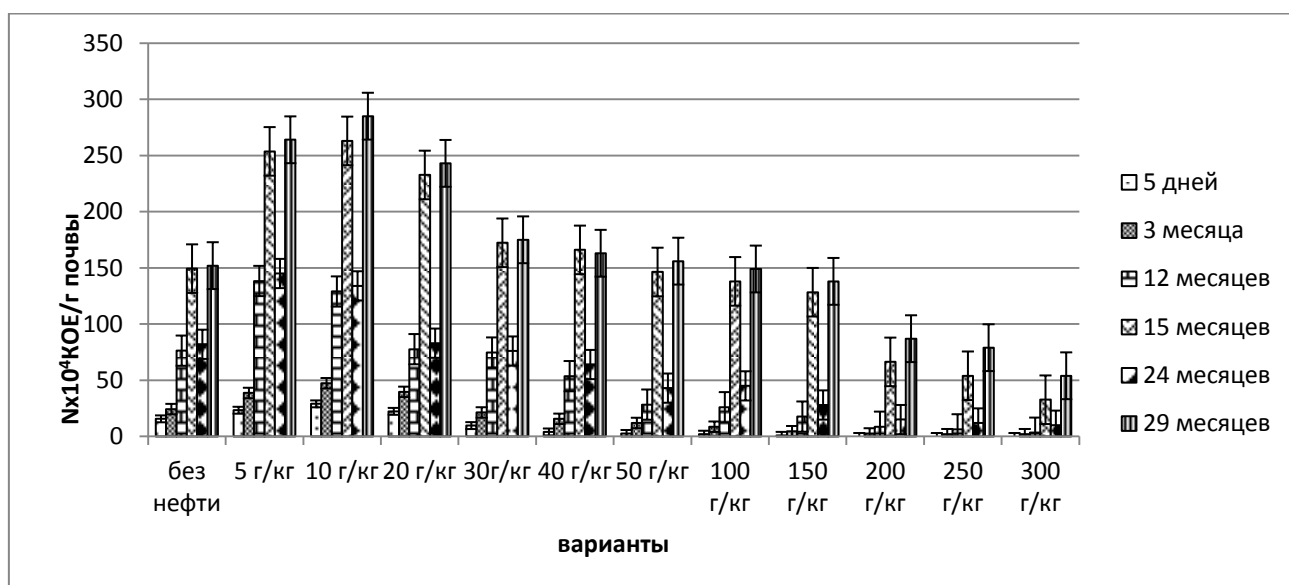


Рис. 1 - Влияние нефтяного загрязнения на численность (N) актиномицетов в торфяной почве

Влияние нефтяного загрязнения на количество микроскопических грибов показано на рис. 2. Эту группу микроорганизмов выявляют с помощью селективной среды – суслоагара. На данной среде, как правило, вырастают колонии микроскопических грибов, принадлежащих к родам *Mucor*, *Rhizopus*, *Penicillium*, *Aspergillus*, *Alternaria*, *Fusarium*, *Macrosporium*, *Chaetomium*, *Cephalosporium*, *Phoma*, *Coremium*, *Trichoderma*, *Trichothecium*, *Stachybotrys* (ГОСТ 54653-2011). Анализ численности микроскопических грибов в целом выявил сходные тенденции с изменениями численности актиномицетов, как по влиянию срока отбора образцов на данный показатель, так и концентрации загрязнителя (рис.2). Однако комплекс микромицетов, в отличие от такового мицелиальных прокариот, оказался более способным к самовосстановлению, уже во второй, тем более третий вегетационный период наблюдений во всех вариантах опыта, в том числе с высоким уровнем загрязнения (200-300 г/кг), численность грибов была либо достоверно выше, либо на уровне этого показателя в контроле без загрязнителя. Это свидетельствует о большей устойчивости сообщества

микровицетов, чем актиномицетов, к нефтяному загрязнению почвы. Известно, что типичные почвенные грибы, такие как представители родов *Mucor*, *Rhizopus*, *Aspergillus*, *Penicillium* и другие обладают высокой способностью к биодegradации нефти (Burghal, 2015).

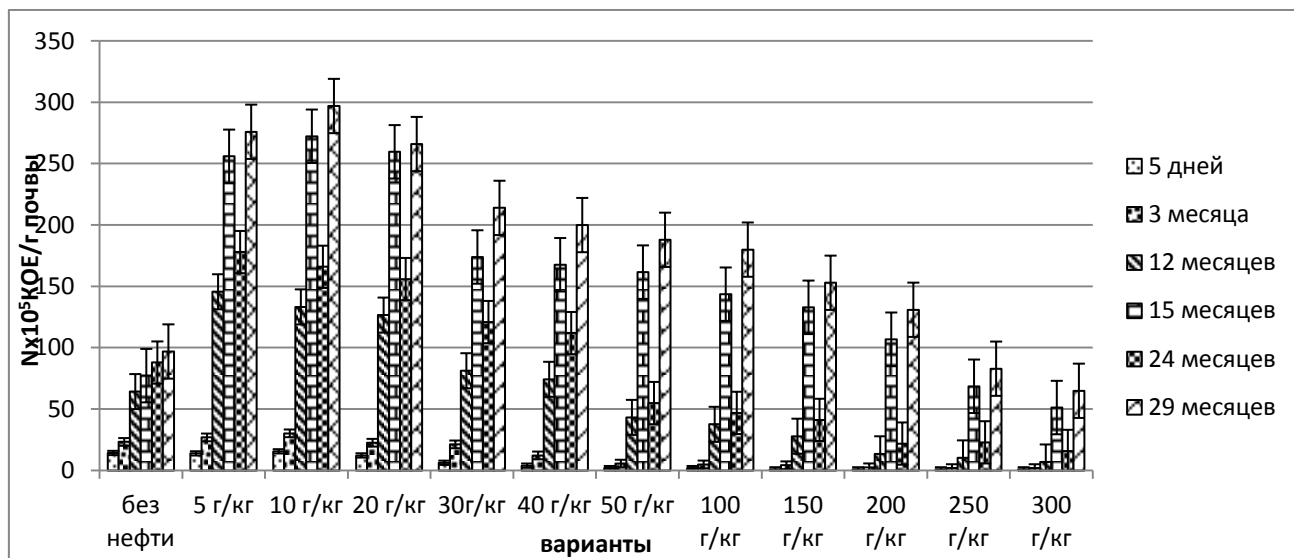


Рис. 2 – Влияние нефтяного загрязнения на численность (N) микроскопических грибов в торфяной почве

Разложение большей части сложных азотсодержащих органических соединений почвы на начальном этапе проводится, главным образом, аммонифицирующими микроорганизмами (Полужков Е.В., 2011). Наиболее активно в процессах аммонификации участвуют представители бактерий родов *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Clostridium* и *Proteus*, представители грибов порядка *Mucorales*, родов *Aspergillus*, *Trichoderma* и др. (ГОСТ 54653-2011). Как и в случае с мицелиальными микроорганизмами (актиномицетами и грибами), небольшое нефтяное загрязнение (5-20 г/кг) стимулировало, хотя и менее значительно (на 38-40%), рост аммонифицирующих бактерий (рис.3). Дальнейшее повышение уровня нефтезагрязнения привело к постепенному уменьшению численности этой группы микроорганизмов. Аммонифицирующие бактерии оказались более чувствительными к присутствующим в почве нефтепродуктам, чем актиномицеты и грибы, поскольку восстановления уровня их численности по окончании

эксперимента до такового в контроле не происходило даже при степени загрязнения 50 г/кг нефти в торфе.

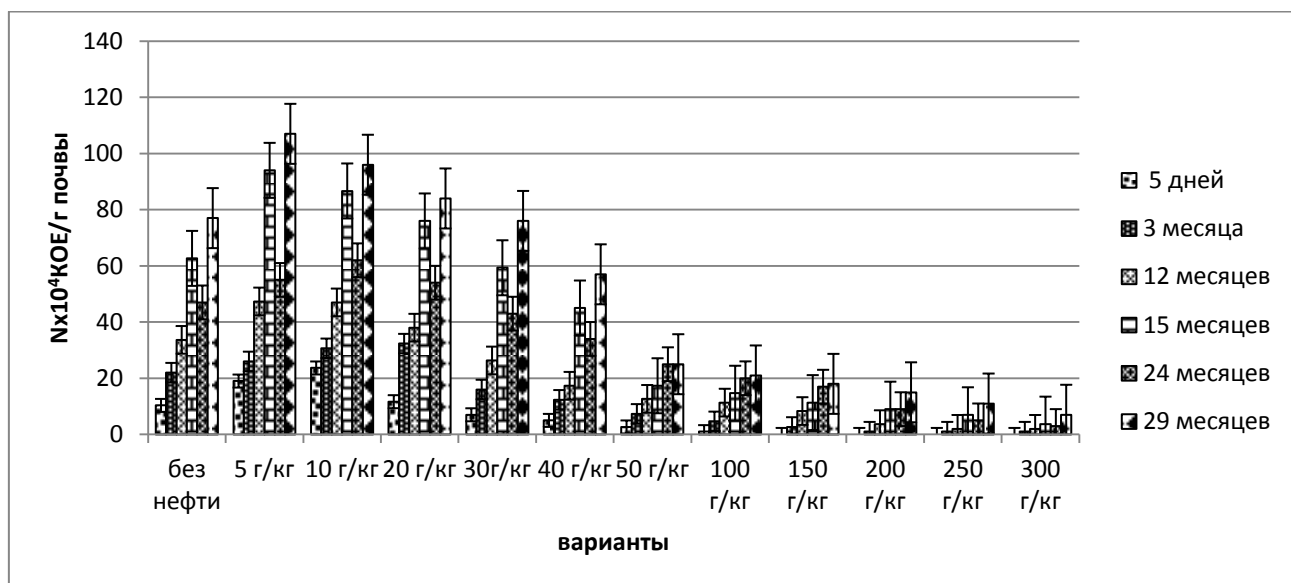


Рис. 3 - Влияние нефтяного загрязнения на численность (N) аммонифицирующих бактерий в торфяной почве

Важнейшей группой микроорганизмов, участвующих в процессах разложения органического вещества, являются целлюлозоразлагающие бактерии (ЦРБ), их определяют с использованием среды Гетчинсона. Из аэробных бактерий, интенсивно разлагающих целлюлозу, наиболее часто встречаются представители родов *Cytophaga*, *Cellvibrio*, *Cellfalcicula*, *Polyangium* и *Sorangium* (ГОСТ 54653-2011). Динамика их численности представлена на рис. 4. Численность этой группы микроорганизмов менялась как в течение периода наблюдений, так и под действием нефтяного загрязнения. В целом закономерности изменения численности целлюлозоразлагающих бактерий под действием изучаемых факторов совпадали с таковыми для аммонифицирующих бактерий. Также как и для аммонификаторов, концентрация нефти в торфе равная 50 г/кг не позволяла целлюлозоразлагающим бактериям полностью восстановить свою численность даже через 29 мес. после загрязнения изучаемым поллютантом.

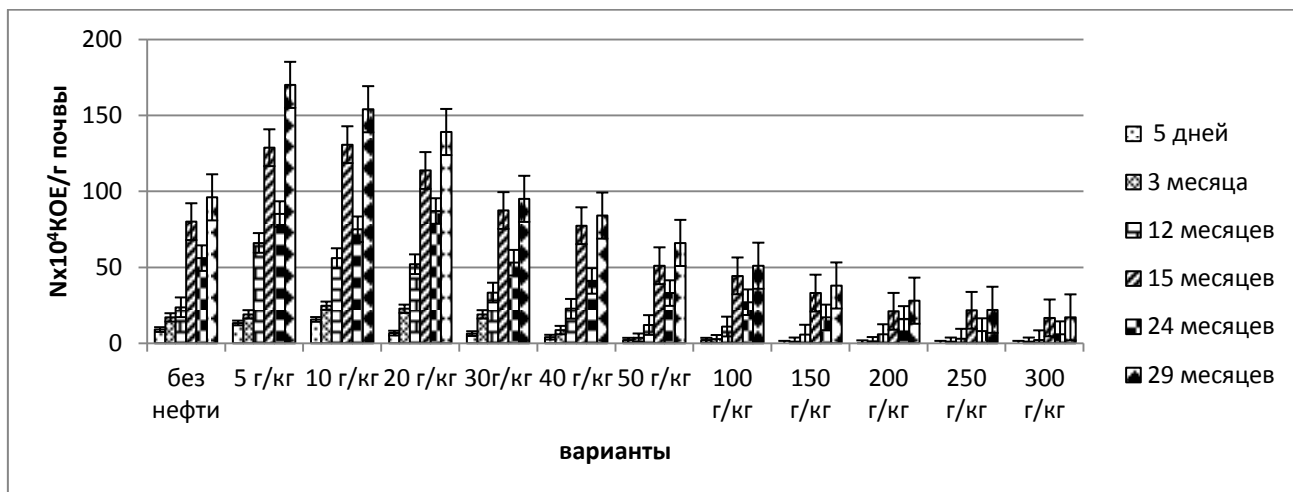


Рис. 4 - Влияние нефтяного загрязнения на численность (N) целлюлозоразлагающих бактерий в торфяной почве

Таким образом, проведенные исследования показали, что слабая степень нефтяного загрязнения (5-20 г/кг торфа) стимулировала развитие всех изученных групп микроорганизмов, что объясняется, по всей видимости, использованием ими отдельных компонентов нефти или продуктов её разложения в качестве источника питания. С данным предположением согласуются результаты химического анализа остаточного количества нефти, свидетельствующие о высокой доле (33-68%) её разложения при слабом уровне загрязнения. Дальнейшее увеличение уровня загрязнения приводило к снижению численности всех изученных представителей микробного сообщества. Наиболее заметное снижение данного показателя для всех групп микроорганизмов наблюдалось при уровне нефтезагрязнения торфа равном 50 г/кг. Эти данные совпадают с результатами подобных исследований, проведенных на бурых лесных почвах (Кириенко О.А., Иманова Е.Л., 2015). При этом следует отметить, что наиболее чувствительными к изучаемому поллютанту оказались аммонификаторы и целлюлозоразлагающие бактерии, численность которых при дозе нефти 50 г/кг даже через 29 мес. от начала эксперимента не восстанавливалась до их численности в контрольном варианте. Наиболее

устойчивым оказался комплекс микроскопических грибов, численность которых через 29 мес. эксперимента восстанавливалась (либо превышала) до их численности в контроле при всех изученных уровнях загрязнения. Учитывая тот факт, что часто под воздействием нефти в комплексе микроскопических грибов происходят перестройки в сторону увеличения токсинообразующих их видов (Кириенко О.А., Имранова Е.Л., 2015), при разработке мероприятий по рекультивации торфяных почв, на наш взгляд, следует более ориентироваться на численность и микробную активность бактерий, в частности аммонифицирующих и целлюлозоразлагающих, которые, кроме того, чувствительнее реагируют на данный вид загрязнения.

Микробное сообщество торфяных почв Среднего Предуралья обладает достаточно высоким потенциалом самовосстановления при концентрации нефти менее 50 г/кг торфа. Более высокие уровни загрязнения требуют проведения рекультивационных мероприятий.

Результаты статистической обработки изменения численности разных групп микроорганизмов под действие нефтяного загрязнения приведены в приложении А, Б, В, Г.

Полученные в полевом опыте экспериментальные данные были проверены в условиях производственного загрязнения. В пойме р. Кама на торфянике, загрязнённом нефтепродуктами, в результате почвенного обследования были выявлены три ключевых площадки: первая площадка расположена на фоновой (незагрязнённой почве); вторая площадка – на участке со слабым загрязнением нефтепродуктами; третья площадка – на участке с сильным загрязнением нефтепродуктами. На ключевых площадках были заложены почвенные разрезы, из которых послойно отобраны почвенные образцы. Содержание нефтепродуктов в почвах ключевых площадок приведено в табл. 22.

Дисперсионный многофакторный анализ установил, что на активность микроорганизмов, использующих минеральные формы азота (табл. 3,4) достоверное влияние оказали степень загрязнения ( $P=1,38 \cdot 10^{-21}$ ;  $2,05 \cdot 10^{-29}$ ),

глубина взятия пробы ( $P = 1,74 \cdot 10^{-22}; 1,33 \cdot 10^{-28}$ ) и их взаимодействие ( $P = 2,4 \cdot 10^{-14}; 1,42 \cdot 10^{-22}$ ). Анализ численности актиномицетов (рис. 5) показал, что загрязнение нефтепродуктами резко снизило их количество в верхней части профиля торфяных почв с  $45,6 \cdot 10^5$  (ключ. пл. 1) до  $8,0 \cdot 10^5$  (ключ. пл. 3), что подтверждает острое токсичное действие нефтепродуктов на эту группу микроорганизмов. Вниз по профилю наблюдалось дополнительное снижение количества актиномицетов, связанное с ухудшением воздушного режима торфяных почв, наиболее важного для аэробных микроорганизмов. Исключение составил только ключ. пл. 2, в котором максимальное количество актиномицетов находилось в слое почвы 28-38 см, что объясняется лучшими условиями увлажнения данного слоя осушенных торфяников.

Таблица 4 – Результаты дисперсионного многофакторного анализа численности микроскопических грибов

факторы	df Effect	MS Effect	df Error	MS Error	F	p-level
1	2	627,0833	24	0,972222	645	$1,38E^{-21}$
2	3	560,1759	24	0,972222	576,181	$1,74E^{-22}$
1,2	6	72,78704	24	0,972222	74,86667	$2,4E^{-14}$

Примечание: факторы 1 – условия загрязнения, 2 – глубина взятия пробы

Таблица 5 – Результаты дисперсионного многофакторного анализа численности актиномицетов

факторы	df Effect	MS Effect	df Error	MS Error	F	p-level
1	2	1550,528	24	0,527778	2937,842	$2,05E^{-29}$
2	3	993,4074	24	0,527778	1882,246	$1,33E^{-28}$
1,2	6	200,9352	24	0,527778	380,7193	$1,42E^{-22}$

Примечание: факторы 1 – условие загрязнения, 2 – глубина взятия пробы



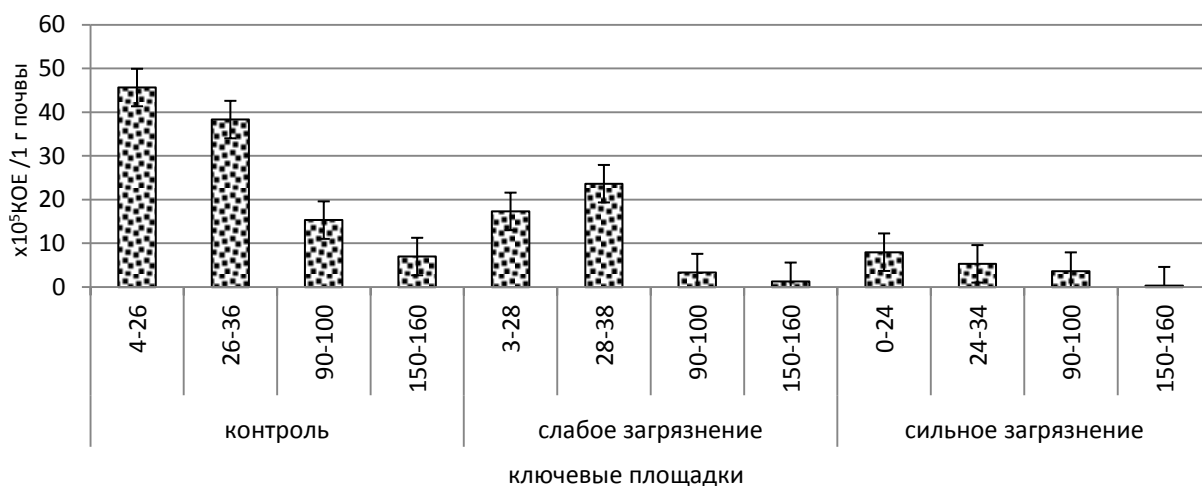


Рис. 5 - Влияние нефтяного загрязнения на численность актиномицетов (Камбарская нефтебаза, 2014 г.)

Еще большее негативное влияние нефтепродукты оказали на активность целлюлозоразлагающих микроорганизмов (ЦРМ). Целлюлозолитическая способность почвы являются одними из основных индикаторов общей активности микроорганизмов почвы и оценки уровня её плодородия (Хазиев, 1988). Основная функция этой группы микроорганизмов переводить безазотистое органическое вещество почвы, представленное компонентами углеводной природы – простыми и сложными полимерными углеводами (галактоза, сахароза, крахмал, клетчатка, гемицеллюлоза, пектины и т.д.) в легкоразлагаемые и быстрогумифицируемые органические компоненты (ЛОВ, детрит) для копитрофной части микробного пула, а также подготовка органического вещества к его гумификации.

Дисперсионный многофакторный анализ показал (табл. 6), что на численность ЦРМ достоверное влияние оказали глубина взятия пробы ( $P=5,17 \cdot 10^{-30}$ ) и взаимодействие факторов ( $P=6,85 \cdot 10^{-28}$ ).

Таблица 6 – Результаты дисперсионного многофакторного анализа численности целлюлозоразлагающих микроорганизмов

факторы	df Effect	MS Effect	df Error	MS Error	F	p-level
1	2	6306,333	24	0,833333	7567,6	0
2	3	2057,963	24	0,833333	2469,5	$5,17E^{-30}$
1,2	6	887,0741	24	0,833333	1064,4	$6,85E^{-28}$

Примечание: факторы 1 – условие загрязнения, 2 – глубина взятия пробы

Численность ЦРМ ещё более значительно менялась, как с увеличением степени загрязнения, так и вниз по профилю (рис.6). Максимальное количество микроорганизмов этой группы находилось в незагрязнённой почве в его верхнем слое (4-26 см) –  $71,6 \cdot 10^4$ . В загрязнённых почвах наибольшая их численность наблюдалось на глубине 28-38 см, где, по-видимому, создавались для них более оптимальные условия. На глубине 150-160 см в разрезах 2 и 3 ЦРМ не обнаружены.



Рис. 6 - Влияние нефтяного загрязнения на численность ЦРМ (Камбарская нефтебаза, 2014г)

Самой устойчивой группой к загрязнению нефтепродуктами являлись микроскопические грибы, но даже они при слабой степени загрязнения снизили свою численность в 2,6 раза (с  $33,6 \cdot 10^3$  до  $13,0 \cdot 10^3$ ), а при сильной степени – в 3,7 раза (до  $9,0 \cdot 10^3$ ). Максимальное количество микроорганизмов этой группы находилось в незагрязнённой почве в его верхнем слое (4-26 см)

–  $33,6 \cdot 10^{-3}$ . В загрязнённых почвах наибольшая их численность наблюдалось на глубине 28-38 см (рис. 7).

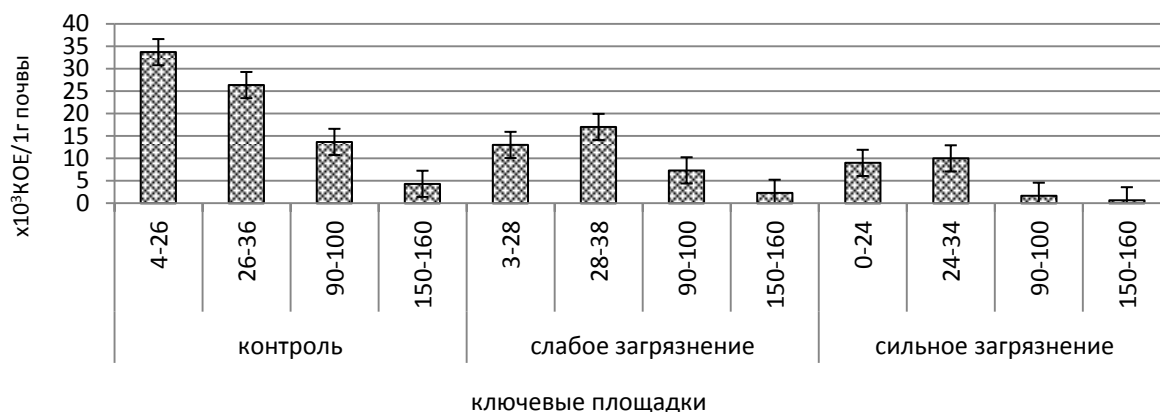


Рис. 7 - Влияние нефтяного загрязнения на численность микроскопических грибов (Камбарская нефтебаза, 2014 г)

Таким образом, экспериментальные данные, полученные в условиях техногенного загрязнения торфяных почв нефтепродуктами, подтвердили сильную зависимость численности микроорганизмов от степени их загрязнения. Наиболее чувствительной группой микроорганизмов к загрязнению почвы нефтепродуктами являлись целлюлозоразлагающие, они снизили свою численность при слабой её степени – в 6,1 раза (с  $78,7 \cdot 10^4$  до  $13,0 \cdot 10^4$ ), при сильной степени – в 17,1 раза (до  $4,6 \cdot 10^4$ ). Наименее чувствительными к нефтепродуктам являлись микроскопические грибы, они при слабой степени загрязнения снизили свою численность только в 2,6 раза (с  $33,6 \cdot 10^3$  до  $13,0 \cdot 10^3$ ), а при сильной степени – в 3,7 раза (до  $9,0 \cdot 10^3$ ). Вторым важнейшим фактором, определяющим численность аэробных микроорганизмов, является степень увлажнения торфяных почв. В горизонтах с оптимальным увлажнением наблюдается максимальная их численность, однако, по мере переувлажнения почвы, которое постепенно возрастает вниз по профилю, она резко снижается.

### 3.2 Оценка ферментативной активности загрязнённых почв

Одним из важнейших показателей биологической активности почв, характеризующий потенциальную способность системы сохранять гомеостаз, является ферментативная активность почв (Звягинцев, 1987). В почве накапливается определённый «пул» ферментов, качественный и количественный состав которого характерен для данного типа почв. Основным источником продуцирования ферментов в почве – микроорганизмы. Поэтому изменения в их составе и численности при загрязнении нефтью отражаются на активности ферментов. Однако такая взаимосвязь выявляется не всегда, поскольку почвенные ферменты обладают определённой автономностью, и в случае, когда окружающие условия неблагоприятны для жизнедеятельности микроорганизмов, метаболизм почвы может оставаться какой-то период неизменным благодаря внеклеточной ферментативной активности. Влияние разных уровней нефтяного загрязнения на ферментативную активность торфяных почв изучалось в лабораторном опыте, полевом опыте и при производственной проверке. Результаты статистической обработки изменения интенсивности ферментов под действие нефтяного загрязнения приведены в приложении Д, Е, Ж. В таблице 7 показаны экспериментальные данные опыта.

Таблица 7 – Влияние нефтяного загрязнения торфяной почвы на её ферментативную активность через 90 дней после загрязнения (опыт 1)

Доза нефти, г/кг	Каталаза, $O_2$ см <sup>3</sup> /г/мин	Уреаза, мг $NH_3$ /10 г/24 ч	Инвертаза, мг глюкозы /1г/24ч
без нефти	0,036±0,023	91±32	16±21
5	0,038±0,025	104±4	18±4
10	0,066±0,033	83±24	19±10
20	0,110±0,040	83±10	16±11
30	0,057±0,033	75±23	14±4
40	0,082±0,012	77±23	13±8
50	0,130±0,015	80±28	13±6
100	0,130±0,008	70±22	12±1
150	0,160±0,015	55±20	11±2
200	0,190±0,013	53±23	11±4
250	0,180±0,023	40±15	10±2
300	0,120±0,022	38±14	9±4

Фермент каталаза относится к классу оксидоредуктаз и катализирует реакцию разложения перекиси водорода, которая является ядовитым веществом для растений (Казеев и др., 2003). Газометрический метод определения каталазной активности почв основан на определении объема кислорода, выделяющегося при разложении перекиси водорода при 16-18 °С. Незагрязнённый торф по шкале Д.Г. Звягинцева (1987) характеризуется очень низкой активностью каталазы –  $0,036 \text{ O}_2\text{см}^3/\text{г}/\text{мин}$ , что является отличительной особенностью торфяных почв и объясняется их низкой общей микробиологической активностью и отсутствием растительного покрова на опытном участке. Нефтяное загрязнение резко увеличило каталазную активность торфа, так как именно с этим ферментом связан распад нефтяных углеводов в почве. Уровень его активности является показателем состояния почвы по отношению к её самоочистительной способности от нефтяных ингредиентов. Данные таблицы 7 свидетельствуют, что максимальное количество каталазы –  $0,190 \text{ O}_2\text{см}^3/\text{г}/\text{мин}$  – выделялось при дозе нефти в торфе 200 г/кг и только при более высокой дозе загрязнения стало постепенно снижаться.

Уреаза – фермент, с действием которого связаны процессы гидролиза и превращения в доступную форму азота мочевины. В почве мочевина (карбамид) образуется в процессе превращения азотистых органических соединений – белков и нуклеиновых кислот. Изменение активности этого фермента находится в соответствии с ростом численности гетеротрофных микроорганизмов, повышением содержания аммонийных форм азота и общего азота в загрязнённой почве. Данные таблицы 7 свидетельствуют, что при дозе загрязнения ниже 50г/кг торфа колебания количества уреазы происходили примерно на одном уровне, и только при увеличении степени загрязнения выше этого показателя, активность уреазы снизилась более чем на 20%, что свидетельствует о проявившемся токсичном действии нефтепродуктов на урезанную активность почв.

Фермент инвертаза является карбогидразой, наиболее активно этот фермент гидролизует сахарозу с образованием редуцирующих сахаров — глюкозы и фруктозы. Инвертазная активность является показателем интенсивности трансформации легкогидролизуемых углеводов типа сахарозы и крахмала. Нефтяное загрязнение до уровня 10 г/кг торфа увеличило инвертазную активность с 16 до 19 мг глюкозы /1 г/24 ч, дальнейшее увеличение степени загрязнения нефтью обусловило её постепенное снижение. При достижении загрязнения торфа нефтью выше 50г/кг, снижение инвертазной активности стало превышать 20 % уровень, что свидетельствует о проявившемся их токсичном действии.

Для проверки результатов, полученных в лабораторном опыте, в 2014-2016 гг. по аналогичной схеме был проведён полевой опыт.

Данные, приведённые на рис. 8, свидетельствуют, что на каталазную активность оказал влияние, как срок, прошедший после загрязнения, так и уровень загрязнения нефтью. Через 5 дней после загрязнения каталазная активность во всех вариантах опыта была очень низкой, даже на контроле равнялась  $0,045 \text{ O}_2 \text{ см}^3/1 \text{ мин/г почвы}$ . Это объяснялось, как уже говорилось, особенностью изучаемой почвы (торфа), во вторых, анаэробными процессам, которые господствовали в почве опытного участка в этот период (первая декада июня). Нефтяное загрязнение, в одних случаях, дополнительно снизило каталазную активность торфяной почвы, в других случаях, несколько её увеличило. Самая высокая активность наблюдалась при степени загрязнения 300 г/кг почвы ( $0,93 \text{ O}_2 \text{ см}^3/1 \text{ мин/г почвы}$ ), минимальные – при загрязнении 10г/кг и 250 г/кг нефтепродуктов ( $0,035 \text{ O}_2 \text{ см}^3/1 \text{ мин/г почвы}$ ;  $0,029 \text{ O}_2 \text{ см}^3/1 \text{ мин/г почвы}$ ). Через 90 дней после загрязнения каталазная активность резко возросла, что связано, как с улучшением аэрации и теплового режима почвы, так и адаптацией микроорганизмов к нефтяному загрязнению. Нефтяное загрязнение способствовало увеличению каталазной активности с достижением максимума при дозе 20 г/кг почвы ( $0,505 \text{ O}_2 \text{ см}^3/1 \text{ мин/г почвы}$ ), после чего она колебалась на каком-то среднем уровне, а после

дозы 150 г/кг наблюдалось её резкое снижение. Таким образом, в полевом опыте подтвердилась возможность использования активности каталазы для определения степени нефтяного загрязнения торфяных почв, так как изменения этих показателей достаточно хорошо коррелируют друг с другом.

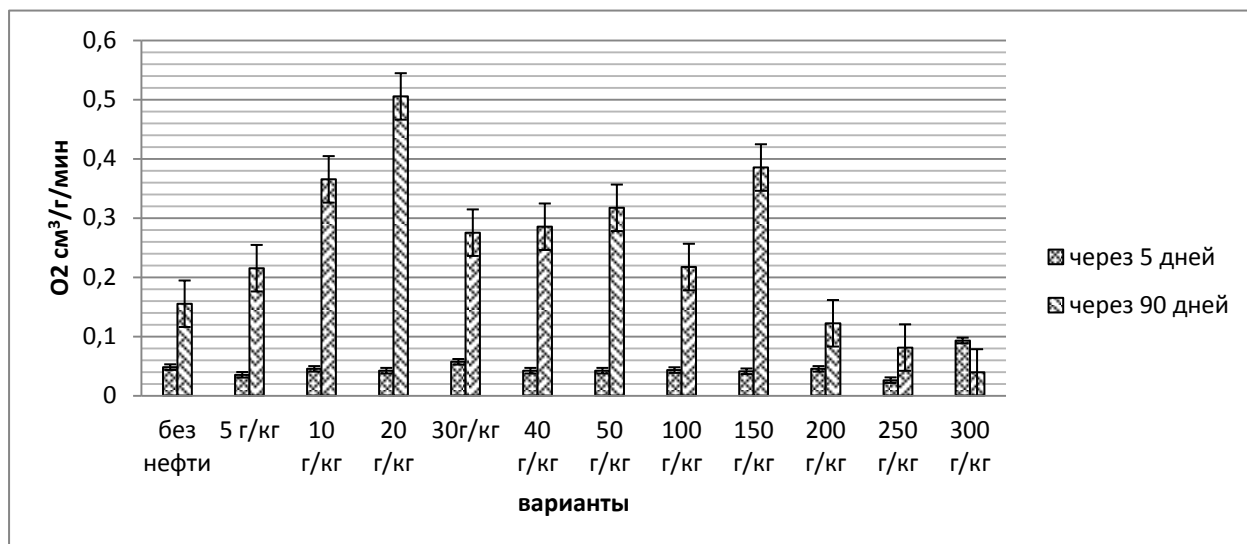


Рис. 8 - Динамика каталазной активности в полевом опыте, O<sub>2</sub> см³ /1 мин/г почвы (2014 г.)

Ферментативная активность уреазы также менялась в течение вегетационного периода 2014 г. (рис. 9). Самые низкие её показатели наблюдались в первый срок отбора образцов (11 июня). В конце вегетации, в зависимости от вариантов опыта, она возросла в 4-10 раз. Нефтяное загрязнение оказало четко выраженное влияние на активность уреазы. Низкие её дозы (до 20-40 мг/кг) увеличивали показатель активности уреазы по сравнению с контролем, как в начале, так и в конце вегетационного периода 2014 г. Наибольший показатель был отмечен при дозе загрязнения 20 г/кг во второй срок отбора образцов (77,5 мгNH<sub>3</sub>/10 г почвы 24 ч). Устойчивое снижение уреазной активности наблюдалось при дозе загрязнения нефтью 50 г/кг почвы с достижением минимума (17,5 мг NH<sub>3</sub>/10 г почвы 24 ч.) при дозе загрязнения 300 г/кг.

Дисперсионный многофакторный анализ результатов исследований 2014 г. показал, что дозы загрязнения и период, прошедший после

загрязнения оказали достоверное влияние на активность уреазы ( $P=4,28 \cdot 10^{-23}$ ).

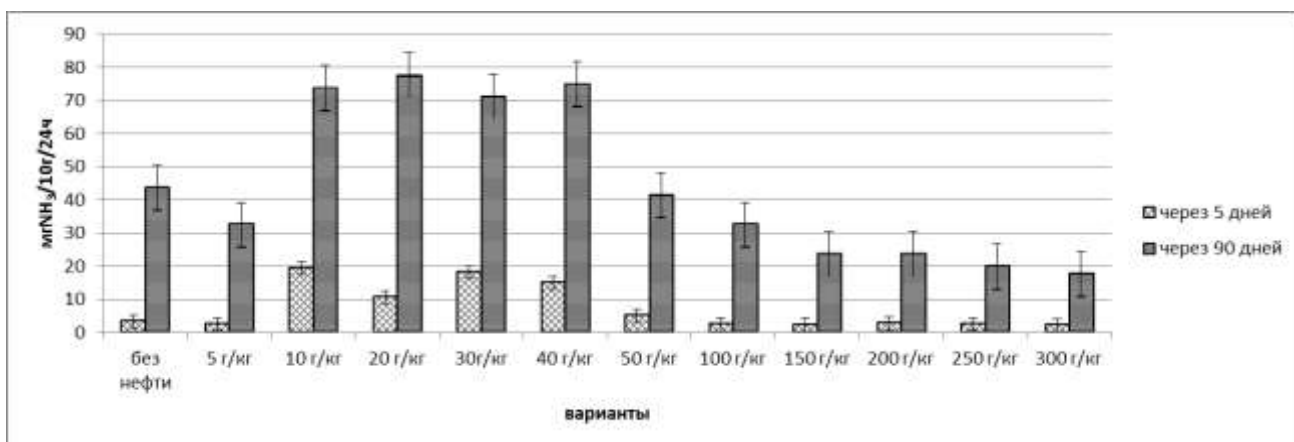


Рис. 9 - Динамика уреазной активности в полевом опыте, мг NH<sub>3</sub> на 10 г почвы/сут. (2014 г.)

Дисперсионный многофакторный анализ результатов исследований 2014 г. показал, что на активность инвертазы достоверное влияние оказали как сроки взятия пробы ( $P = 3,42 \cdot 10^{-16}$ ), так и степень загрязнения нефтью ( $P \leq 0,05$ ), а также взаимодействие всех изучаемых факторов ( $P = 6,19 \cdot 10^{-6}$ ). Анализ влияния интенсивности инвертазы выявил следующее: в первый срок взятия пробы наибольший показатель был при дозе загрязнения 150 г/кг (19,11 мг глюкозы/1 г почвы/24 ч.), наименьший показатель – на контроле (3,43 мг глюкозы/1г почвы/24 ч); во второй срок взятия пробы наибольший показатель был отмечен при дозе загрязнения 50 г/кг (33,12 мг глюкозы/1 г почвы/24 ч.), наименьший показатель – при дозе загрязнения 250 г/кг (12,02 мг глюкозы/1г почвы/24 ч.). Нефтяное загрязнение до 50 г/кг повышало инвертазную активность, дальнейшее увеличение степени загрязнения нефтью обусловило ее постепенное снижение.



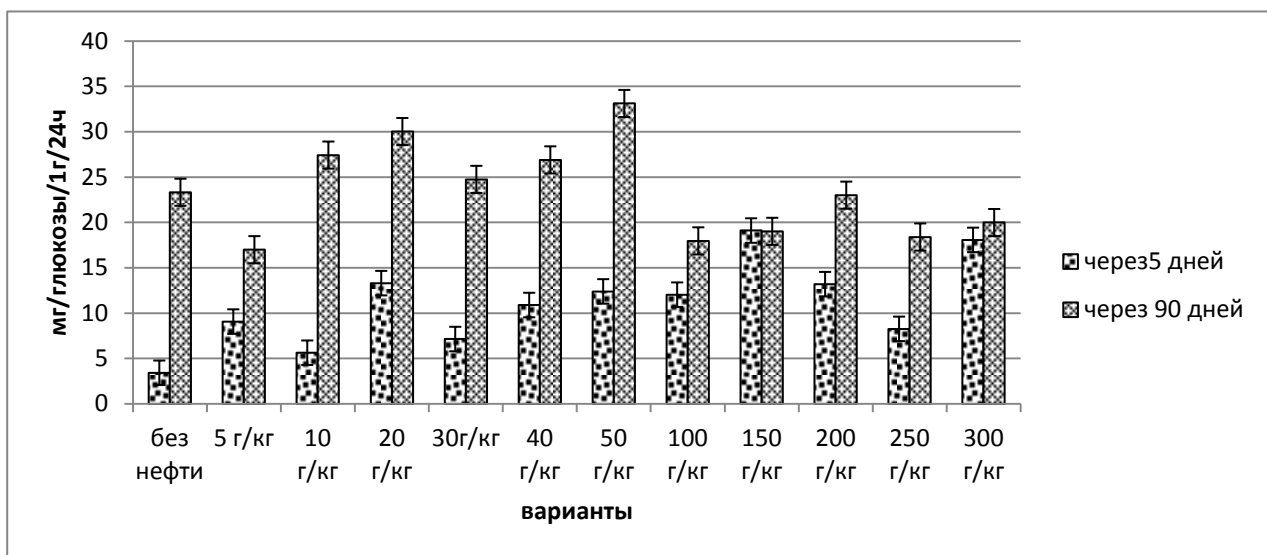


Рис. 10 - Динамика инвертазной активности в полевом опыте, мг глюкозы/1г/24ч (2014 г.)

Прямое последствие нефтяного загрязнения на интенсивность выделения каталазы приведено на рис. 11. Дисперсионный многофакторный анализ показал, что на этот показатель в 2015 г. достоверное влияние оказали как сроки взятия пробы, так и взаимодействие обоих факторов ( $P \leq 0,05$ ). Приведенные данные свидетельствуют, что нефтяное загрязнение обусловило значительное снижение каталазой активности, по сравнению с контролем (без нефти), как в начале, так и в конце вегетационного периода и она не так сильно, как в 2014 г., зависела от дозы загрязнения.

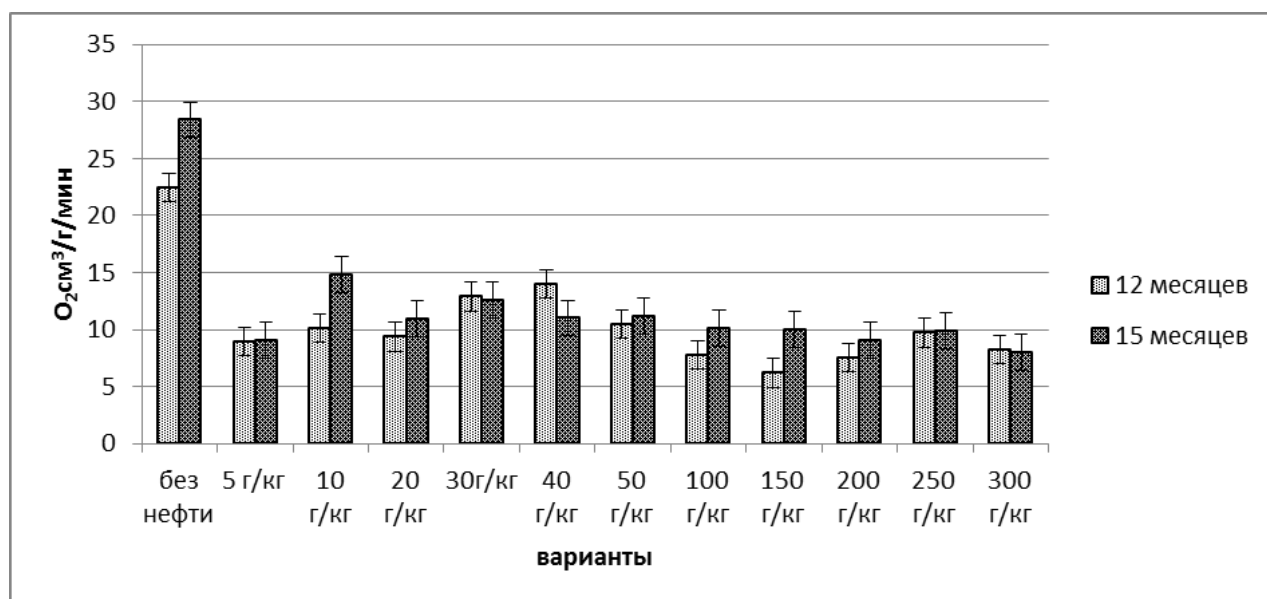


Рис. 11- Динамика каталазной активности в полевом опыте, O<sub>2</sub> см<sup>3</sup> /1 мин/г почвы (2015 г)

В 2016 г. каталазная активность во всех вариантах опыта в целом возросла. На 29 мес. наблюдения этот показатель вырос даже при самых высоких изучаемых дозах загрязнения нефтью (рис. 12).

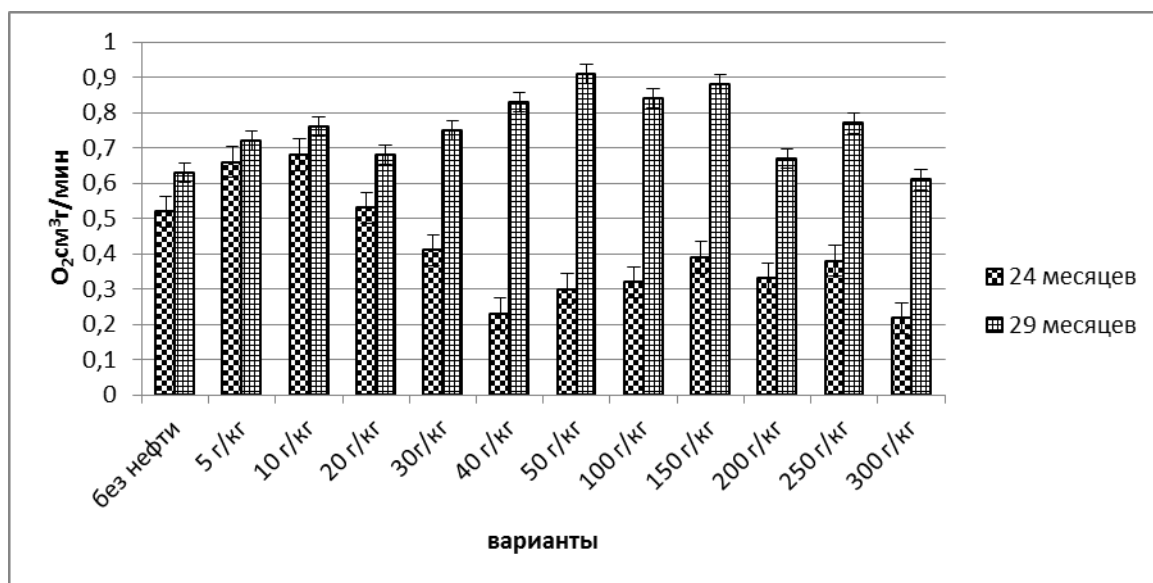


Рис. 12- Динамика каталазной активности в полевом опыте,  $O_2 \text{ см}^3 / 1 \text{ мин/г}$  почвы (2016 г)

Интенсивность выделения фермента уреазы в 2015 г., в первую очередь, определялась сроком отбора почвенных образцов (рис. 13). Во второй срок (6 сентября) её активность в несколько раз превышала показатели первого срока отбора (6 июня). Нефтяное загрязнение до уровня 40 г/кг способствовало повышению активности фермента, а дальнейшее увеличение – обусловило её снижение. Наибольший показатель уреазной активности отмечался в начале сентября при дозе загрязнения 30 г/кг почвы (80 мг  $\text{NH}_3$  на 10 г почвы/24 ч), наименьший – в начале июня при дозе загрязнения 300 г/кг почвы (на 2,77 мг  $\text{NH}_3$  на 10 г почвы/24 ч.).

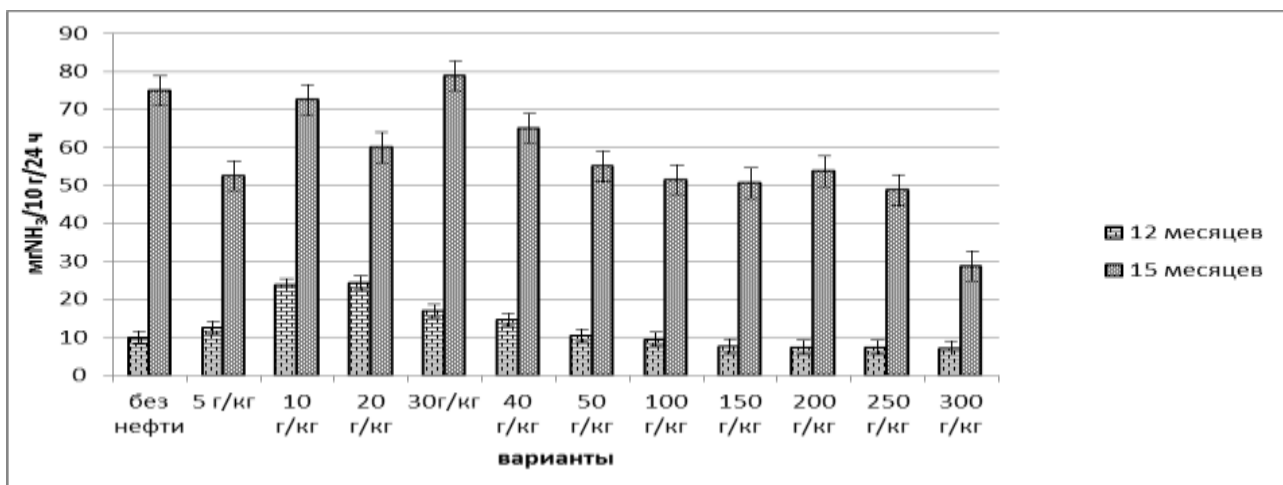


Рис. 13- Динамика уреазной активности в полевом опыте, мг NH<sub>3</sub>/10г/24ч почвы в сутки (2015 г)

Интенсивность выделения фермента уреазы в 2016 г. показана на рисунке 14. Как и в 2015 г. количество фермента определялось сроком отбора проб и менее зависело от дозы загрязнения. Тем не менее, даже через 29 мес. наблюдений, хотя интенсивность его в целом и возросла, но все ещё была ниже контрольного варианта.

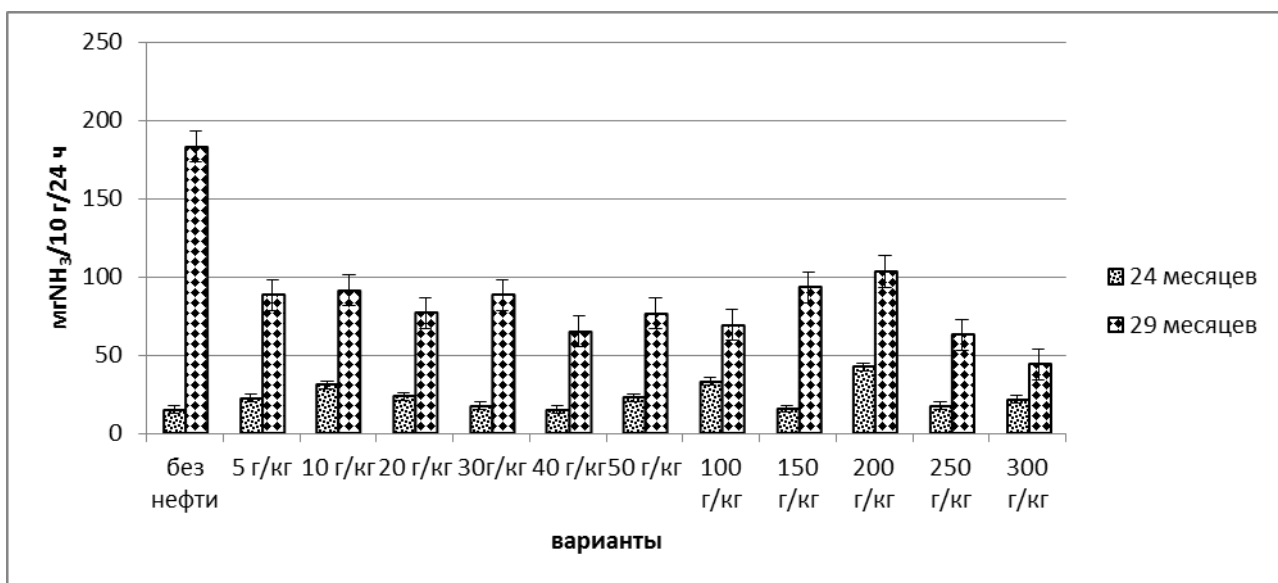


Рис. 14 – Динамика уреазной активности в полевом опыте, мг NH<sub>3</sub>/10г/24ч почвы в сутки (2016 г)

На активность инвертазы, в отличие от уреазы, определяющее влияние оказало нефтяное загрязнение, которое обусловило её снижение в 2,5-3,2 раза по сравнению с контролем без нефти (рис. 15). Срок отбора почвенных

образцов оказал выраженное действие только в контроле и в ряде вариантов с нефтяным загрязнением. Самые высокие показатели инвертазной активности наблюдались в варианте без нефти в начале сентября (58 мг глюкозы/1г почвы/24 ч.), самые низкие – в начале июня при дозе загрязнения 150 мг/кг (12 мг глюкозы/1г почвы/24 ч.). В целом, по сравнению с 2014 г., инвертазная активность в 2015-2016гг. во всех вариантах опыта возросла.

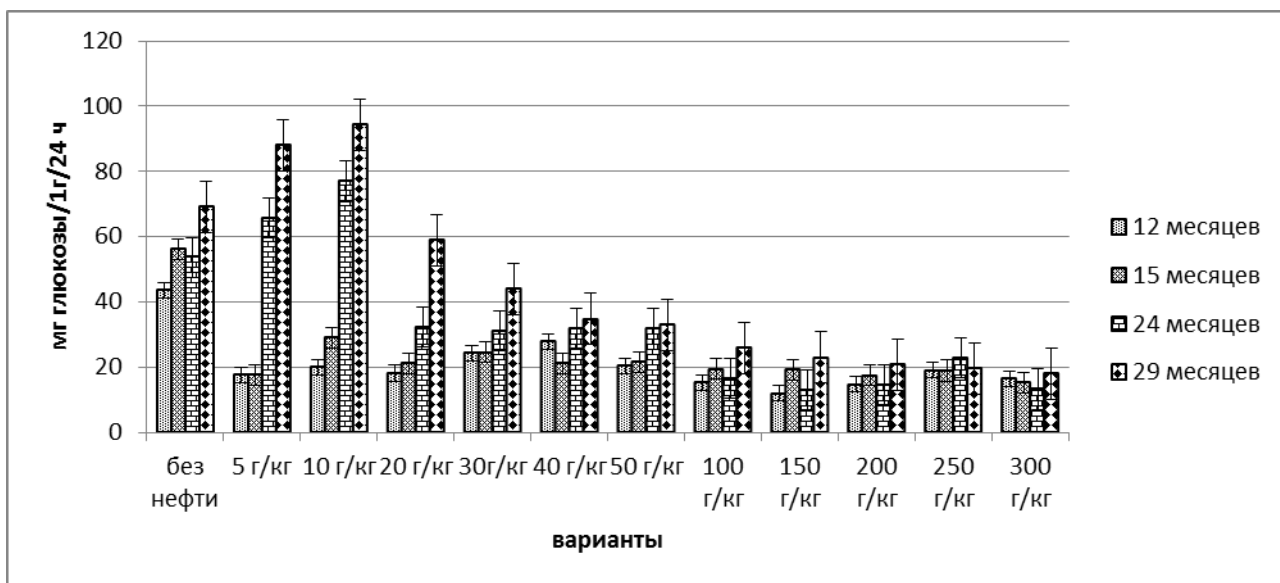


Рис. 15 – Динамика инвертазной активности в полевом опыте, мг глюкозы/1г/24ч ( 2015-2016 гг.)

Таким образом, на ферментативную активность почвы оказывает влияние, как срок отбора почвенных образцов, так и, доза нефтяного загрязнения, однако степень проявления этих факторов зависит от вида фермента. Срок отбора почвенных образцов для торфяных почв играет особую роль, что объясняется их неблагоприятным гидрологическим режимом. В отличие от автоморфных минеральных почв, они только к середине июля приобретают относительно благоприятные водно-воздушные и тепловые свойства, что способствует резкой активации в этот период её микробиологической и ферментативной активности.

Наиболее контрастные изменения ферментативной активности наблюдались в первый год после загрязнения. Невысокие дозы нефти

вызывали повышение её активности, с достижением максимальных значений у каталазы при уровне загрязнения 20 мг/кг, у уреазы – при уровне загрязнения 10-40 мг/кг и инвертазы – при уровне загрязнения 10-50 мг/кг почвы. При более высоких дозах загрязнения происходило значительное снижение интенсивности работы всех ферментов, что свидетельствует о проявившемся токсичном действии нефти. На второй год после загрязнения аналогичная картина наблюдалась только у фермента уреазы. Активность каталазы и инвертазы при всех дозах загрязнения нефтью была невысокая и мало зависела от периода взятия образцов.

Влияние нефтяного загрязнения на ферментативную активность изучалось и в условиях производственного загрязнения нефтепродуктами. Как уже говорилось, почвенное обследование загрязнённых нефтепродуктами торфяников проведено в августе 2014 г. В результате обследования были выявлены три ключевых площадки: первая площадка расположена на фоновой (незагрязнённой почве); вторая площадка – на участке со слабым загрязнением нефтепродуктами; третья площадка – на участке с сильным загрязнением нефтепродуктами.

Дисперсионный многофакторный анализ результатов исследований показал, что на интенсивность каталазной активности достоверное влияние оказали условия загрязнения ( $P=2,49 \cdot 10^{-21}$ ), глубина взятия пробы ( $P= 1,42 \cdot 10^{-23}$ ) и их взаимодействие ( $P= 1,9 \cdot 10^{-24}$ ).

Таблица 8 – Результаты дисперсионного многофакторного анализа интенсивности каталазной активности

факторы	df Effect	MS Effect	Df Error	MS Error	F	p-level
1	2	30,70489	24	0,050056	613,4078	2,49E-21
2	3	35,63519	24	0,050056	711,9029	1,42E-23
1,2	6	27,41008	24	0,050056	547,5855	1,9E-24

Примечание: факторы 1 – условия загрязнения, 2 – глубина взятия пробы

Зависимость ферментативной активности от глубины взятия проб объясняется особенностями гидрологического режима торфяных почв, уже в средней части профиля у них наблюдалась смена аэробных процессов на

анаэробные и поэтому на глубине 30-40 см активность фермента каталазы снизилась во всех разрезах до 0,2-0,4  $O_2 \text{ см}^3 / 1 \text{ мин/г}$  почвы, а на глубине 150-160 см она не была обнаружена (рис. 16). Подтвердилась высокая чувствительность этого фермента к нефтезагрязнению, поэтому самые высокие показатели его активности отмечались в разрезе № 1 на глубине 4-26 см (11,22  $O_2 \text{ см}^3 / 1 \text{ мин/г}$  почвы). Слабое нефтяное загрязнение привело к её снижению на 10,15  $O_2 \text{ см}^3 / 1 \text{ мин/г}$  почвы (разрез № 2), а сильное нефтяное загрязнение на 11,02  $O_2 \text{ см}^3 / 1 \text{ мин/г}$  почвы (разрез № 3).

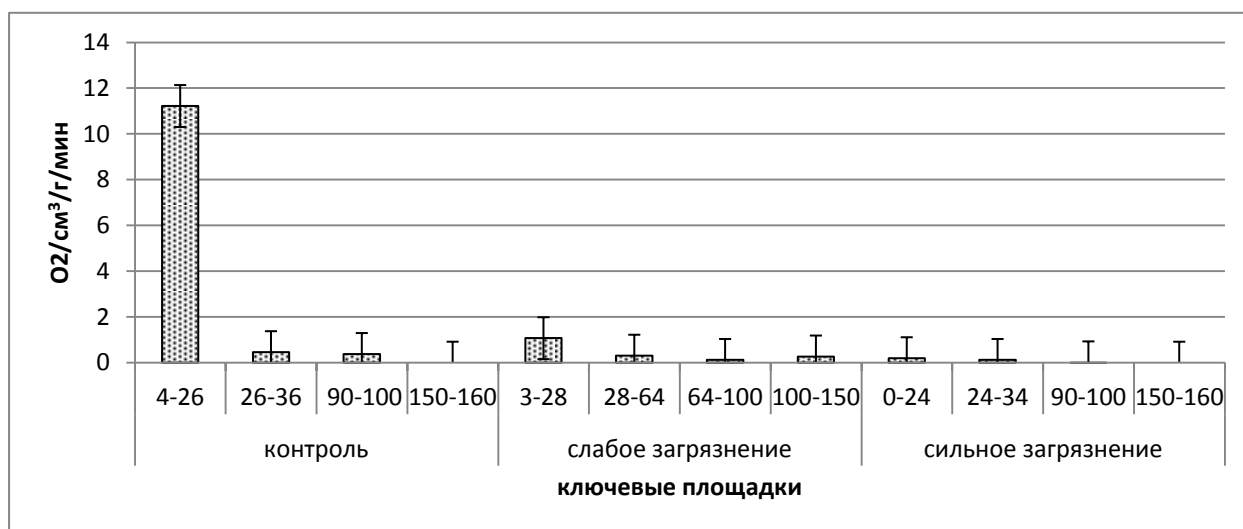


Рис. 16 – Каталазная активность торфяной почвы,  $O_2 \text{ см}^3 / 1 \text{ мин/г}$  почвы (Камбарская нефтебаза 2014 г.)

Дисперсионный многофакторный анализ результатов исследований 2014 г. показал, что на интенсивность уреазной активности достоверное влияние оказали условия загрязнения ( $P = 9,92 \cdot 10^{-10}$ ), глубина взятия пробы ( $P = 2,23 \cdot 10^{-13}$ ) и их взаимодействие ( $P = 3,23 \cdot 10^{-8}$ ).

Таблица 9 – Результаты дисперсионного многофакторного анализа интенсивности уреазной активности

Факторы	df Effect	MS Effect	df Error	MS Error	F	p-level
1	2	39168,75	24	705,4167	55,5257	9,92E-10
2	3	65965,21	24	705,4167	93,51241	2,23E-13
1,2	6	13996,6	24	705,4167	19,84161	3,23E-08

Примечание: факторы 1 – условия загрязнения, 2 – глубина взятия пробы

Как и в случае с каталазой, наблюдалось резкое снижение активности уреазы с глубиной, уже в слое 90-100 см она во всех разрезах не превышала 30-60 мг NH<sub>3</sub>/10 г почвы (рис. 17). Нефтяное загрязнение снизило уреазную активность, но не так значительно, как каталазную, слабая степень загрязнения (разрез № 2) – на 4,8 мг NH<sub>3</sub>/10 г почвы, сильная степень – на 231,7 мг NH<sub>3</sub>/10г почвы 24 ч.



Рис. 17 – Уреазная активность в торфяной почве, мг NH<sub>3</sub>/10г/24ч почвы в сутки (Камбарская нефтебаза, 2014 г.)

Дисперсионный многофакторный анализ интенсивность инвертазной активности достоверное влияние оказали условия загрязнения ( $P \leq 0,05$ ), глубина взятия пробы ( $P = 7,36 \cdot 10^{-8}$ ) и их взаимодействие ( $P \leq 0,05$ ).

Таблица 10 – Результаты дисперсионного многофакторного анализа инвертазной активности

факторы	df Effect	MS Effect	df Error	MS Error	F	p-level
1	2	2,040253	24	18,35754	0,11114	0,895272
2	3	381,6688	24	18,35754	20,79085	7,36E-07
12	6	14,34818	24	18,35754	0,781596	0,592594

Примечание: факторы 1 – ключевые площадки, 2 – глубина взятия пробы

Фермент инвертаза оказался наиболее инертным среди других ферментов. При слабом и сильном загрязнении на глубине 0-24 см наблюдается повышение активности инвертазы на 1,98 и 1,62 мг глюкозы/1г почвы/24 ч по сравнению с фоном (разрез 1). Даже при глубине в 160 см отмечается активность фермента, хотя и ниже чем при оптимальной глубине в 24 см на 8,73 мг глюкозы/1г почвы/24 ч на фоновом участке (рис. 18).

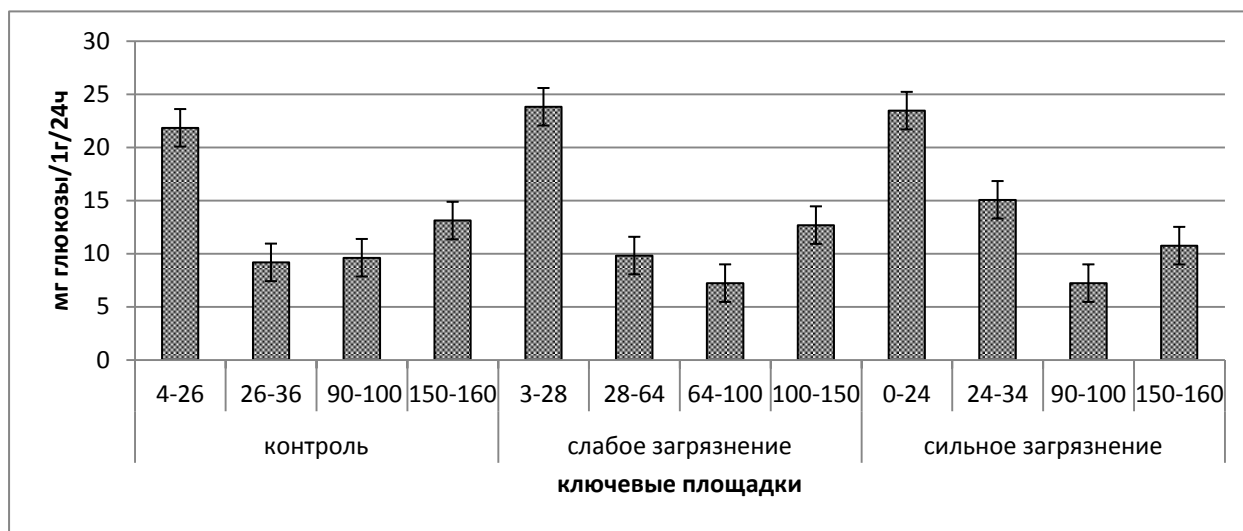


Рис. 18 – Активность фермента инвертазы торфяной почвы, мг глюкозы/1г почвы/24 ч. (Камбарская нефтебаза, 2014 г.)

Таким образом, нефтяное загрязнение оказывает влияние на все виды ферментативной активности торфяных почв. Всё это позволяет использовать ферментативную активность для определения степени нефтяного загрязнения торфяных почв.

### 3.3 Оценка видового разнообразия фаунистического комплекса педобионтов

Оценка видового состава разнообразия педобионтов проведена на техногенно загрязнённой аллювиально-торфяной почве, расположенной в притеррасной части поймы р. Кама. На трех ключевых площадках, отличающихся степенью загрязнения нефтепродуктами (1 ключ. пл. расположена на фоновой незагрязнённой почве; 2 ключ. пл. – на участке со слабым загрязнением; 3 ключ. пл. – на участке с сильным загрязнением) был



изучен фаунистический состав педобионтов в сборах, сведения о которых приведены в таблице 11. Среди учтенных нами почвенных организмов основу составляли, так называемые, микрофауна (мелкие клещи, личинки клещей и мелких насекомых) и мезофауна (клещи, насекомые и их личинки). Всего было выявлено 655 особей, принадлежащих к 17 видам, 14 семействам и 6 отрядам.

Среди педобионтов были выявлены представители 6 отрядов насекомых (1-6 в перечне), отряды клещей:

1. отряд ногохвотки (*Podura*): семейства: *Orchesellidae* – 2 вида, *Onychiuridae* – 2 вида; *Isotomidae* – 1 вид;
2. отряд двухвостки (*Diplura*): семейства *Campodeidae*, *Japygidae*;
3. отряд клопы (*Heteroptera*): семейства: *Myodochidae* – 1 вид, *Dipsosoridae* – 1 вид;
4. отряд равнокрылые (*Homoptera*): семейство *Aphidodea* – 1 вид;
5. отряд жесткокрылые (*Coleoptera*): семейства: *Carabidae* – 1 вид
6. отряд клещи (*Acariformes*): семейства: *Palaecaridae* – 1 вид, *Ctenacaridae* – 1 вид, *Parasitidae* – 2 вида, *Tetranychoidae* – 1 вид, *Pygmephoridae* – 2 вида, *Scutacaridae* – 1 вид.

Наибольшим числом особей в целом в выборках были представлены членистоногие отряда ногохвотки ( $n = 177$ ; 27 %), отряда жесткокрылые ( $n = 99$ ; 16,8 %), отряда клещи ( $n = 142$ ; 24 %). Большим видовым составом отличались представители отряда клещи (*Acariformes*): 8 видов из 6 семейств; отряда ногохвотки (*Podura*): 5 видов из 3 семейств.

Наиболее широко распространенными на исследованных территориях (встречались на всех участках) оказались представители ногохвосток и плоские клещи. Их высокая численность не только на чистых участках, но и на подвергнувшихся загрязнению нефтепродуктами, свидетельствует об их высокой пластичности и малой чувствительности к загрязнению почвы этим поллютантом. Доля ногохвосток по количеству особей в образцах почв на ключевом участке № 1 составляла 31,2%, на участке № 2 – 12,8%, на участке

№ 3 – 40,0%. Доля клещей на участке № 1 составляла 13,5%, на участке № 2 – 14,2%, на участке № 3 – 10,7%.

Дождевые черви, обитающие в верхних слоях почвы, наиболее чувствительны к природным и антропогенным изменениям. Представители семейства *Lumbricidae* нами обнаружены не были. Некоторыми авторами показана возможность использования земляных червей для биоиндикации загрязнённых почв (Киреева, 2002).

Таким образом, в районе исследования было выявлено всего 17 видов, 14 семейств и 6 отрядов. Из них толерантными – вездесущими и многочисленными являлись ногохвостки и клещи, которые встречались в массе даже на загрязненных территориях. Как ни удивительно, но на загрязненных территориях численность ногохвосток даже возрастала. Поэтому возрастание численности ногохвосток можно использовать как показатель неблагополучия почвенной среды.

Таблица 11 – Комплекс педобионтов в почвах ключевых площадок

№ п/п	Таксон, вид	Сроки сбора	Горизонт	Опытные участки
<b>отряд Ногохвостки (<i>Podura</i>):</b> семейство <i>Orchesellidae</i>				
1	<i>Orchesella spectabilis</i> Tullb.	август	I,II,III	1,2,3
2	<i>Orchesella xerothermica</i> Strach.	август	I,II,III	1,2,3
семейство <i>Onychiuridae</i>				
3	<i>Onychiurus armatus</i> Tullb.	август	I,II,III	1
семейство <i>Isotomidae</i>				
4	<i>Folsomia quadrioculata</i> Tullb.	август	I,II,III	1
<b>отряд Двуххвостки (<i>Diplura</i>):</b> семейство <i>Campodeidae</i>				
5	<i>Campodea plusiochaeta</i> Silv.	август	I,II	1,2,3
Семейство Клещехвостки ( <i>Japygidae</i> )				
6	<i>Japyx confusus</i> Silv.	август	I,II	2
<b>отряд Клопы (<i>Hemiptera</i>):</b> семейство Земляные клопы ( <i>Myodochidae</i> )				
7	Черный земляной клопик ( <i>Geocoris ater</i> F.)	август	II	1
семейство <i>Dipsocoridae</i>				
8	<i>Ceratocombus coleoptratus</i> Zett.	август	II	2
<b>отряд Равнокрылые (<i>Homoptera</i>):</b> п/отряд Травяные вши ( <i>Aphidodea</i> )				
9	Капустная тля ( <i>Brevicoryne brassicae</i> L.)	август	I	1
<b>отряд Жесткокрылые (<i>Coleoptera</i>):</b> семейство Жужелицы ( <i>Carabidae</i> )				
10	Жужелица черная настоящая ( <i>Carabus glabratus</i> Pk.)	август	II,III	1,2,3
<b>отряд Клещи (<i>Acariformes</i>),</b> п/отряд <i>Sarcoptiformes</i> , группа <i>Oribatei</i> , н/семейство <i>Palaecaroidae</i> , семейство <i>Palaecaridae</i>				
19	<i>Palaecaroides pacificus</i> Lange, 1972	август	I,II,III	1,3
семейство <i>Ctenacaridae</i>				

20	<i>Beklemishevia galeodula</i> Zachvatkin, 1945	август	II,III	1
п/отряд Гамазовые: семейство <i>Parasitidae</i>				
21	<i>Paragamasus misellus</i> Berlese	август	I,II	1
22	<i>Holoparasitus gontcharovae</i> Davydova	август	I,II,III	1
п/отряд Плоские клещи ( <i>Trombidiformes</i> ): н/семейство <i>Tetranychoidae</i>				
23	<i>Brevipalpus obovatus</i> D.	август	I,II,II	1, 3
семейство <i>Pygmephoridae</i>				
24	<i>Geotrupophorus gozmanui</i> Mahunka	август	I,II,III	3
25	<i>Siteroptes antiquissimus</i> Krezal, 1958			1,2,3
семейство <i>Scutacaridae</i>				
26	<i>Pygmodispus equestris</i> Paoli, 1911	Август	I,II	2

Для сравнительного анализа общности видового состава педобионтов в районе исследования был использован индекс Чекановского-Серенсена. Величина индекса равна 1 в случае полного совпадения видов сообществ и равна 0, если выборки совершенно различны и не включают общих видов. Результаты такого анализа приведены в таблице 12.

Таблица 12 – Общность видового состава по индексу Чекановского-Серенсена

Сравниваемые участки	A	B	C	$I_{Cs}$
1 / 2	4	9	3	0,40
1 / 3	4	9	1	0,44
2 / 3	3	4	1	0,54

Анализ общности видового состава с использованием индекса Чекановского-Серенсена показал, что на участках № 1 и 2 наблюдалось низкое сходство видов (0,40). К тому же это сходство было обусловлено в основном вездесущими ногохвостками. На участках № 2 и 3, наблюдалось высокое сходство видов (0,54). На этих участках общими видами оказались также ногохвостки: *Orchesella xerothermica*, *Siteroptes antiquissimus*.

Высокий показатель индекса видового сходства между участками 2 и 3 объясняется тем, что на загрязненных территориях были обнаружены виды, способные обитать в почвах с разным составом и структурой. Таковыми здесь являлись ногохвостки и почвенные клещи.

Резюмируя, можно отметить, что данные, полученные при помощи индекса Чекановского-Серенсена, не противоречат умозаключениям, что более

чуткими на присутствие ксенобиотиков в почве оказались представители отряда клещей и равнокрылых, общими видами являлись представители ногохвосток и почвенных клещей.

Для анализа значений видового разнообразия педобионтов в районе исследования мы воспользовались индексами Маргалефа и Шеннона. Величина индекса видового разнообразия Шеннона обычно укладывается в интервал от 1,5 до 3,5 и очень редко превышает 4,5 (Мэгарран, 1992). Однако, этот индекс не позволил выявить каких-либо значимых статистических отличий между опытными участками по видовому разнообразию. Он указал лишь на бедность видового состава педобионтов на всех участках (табл. 13).

Индекс Маргалефа оказался наиболее показательным при сравнительном анализе видового богатства на опытных участках. Участок № 3 характеризовался самым низким значением индекса (0,83), что подтверждает предполагаемое утверждение о влиянии ксенобиотиков на видовой состав педобионтов. На остальных участках (1 и 2), менее подверженных техногенному влиянию, видовой состав почвенных обитателей был богаче.

Таблица 13 – Сравнение индексов разнообразия педобионтов

Опытные участки	Индекс Шеннона	Индекс Маргалефа
1	2,63	5,65
2	2,88	2,79
3	2,89	0,83

Таким образом, можно сделать вывод, что загрязнение нефтепродуктами торфяных почв нарушают видовую структуру сообществ педобионтов, снижают их численность, влияют на биологическое разнообразие, изменяют качество почвенной среды. Сравнительный анализ видового богатства педобионтов позволяет утверждать, что на участках, загрязненных нефтепродуктами, обитает в два раза меньше видов, а общими для сравниваемых участков являются ногохвостки и почвенные клещи. Ярким показателем загрязненности почвы является отсутствие здесь земляных червей.

### **3.4 Оценка токсикологических свойств загрязнённых почв**

Одним из наиболее объективных методов оценки биолого-экологических свойств загрязнённых почв является определение их токсичности. Под токсичностью почвы принято понимать снижение показателей, снимаемых с тест-объекта на исследуемой почве, по сравнению с контролем. Токсические свойства почвы обусловлены накоплением в ней вредных для живых организмов веществ, будь то сложные органические соединения (например, образуемые микрофлорой фитотоксины), либо простые неорганические вещества (например, тяжелые металлы) (Вальков, В.Ф. и др., 2012). Токсичность – один из важных факторов, определяющих качество окружающей среды, достаточно информативный, существенно дополняющий наше представление о степени опасности или безопасности объектов при их использовании, являющийся необходимой составной частью комплексной системы контроля при стандартном анализе.

Нефтепродукты оказывают комплексное негативное влияние на биологические свойства почвы, которое зависит, как от дозы поллютанта, так и его химического состава. Легкие и ароматические фракции нефтепродуктов оказывают прямое токсическое действие на высшие растения, почвенную фауну и большинство микроорганизмов (кроме углеводородокисляющих микроорганизмов). Тяжёлые фракции не токсичны для биоты, но они резко ухудшают водно-воздушный и пищевой режим почвы, образуя вокруг почвенных агрегатов гидрофобные плёнки, препятствующие проникновению в них водных растворов. В зависимости от дозы загрязнения происходит частичная или почти полная изоляция почвенных частиц и агрегатов от жидкой фазы. Это приводит к снижению содержания подвижных, а значит и доступных для растений и почвенных микроорганизмов элементов минерального питания, способствует развитию глеевых процессов.

Эффективным и сравнительно недорогим подходом для определения токсичности почв, загрязнённых нефтепродуктами, является использование методов биотестирования. Токсичность среды обитания устанавливается с

использованием биологических объектов (тест-организмов) для выявления степени токсичности тех или иных веществ или их суммарного воздействия. Биотестирование основано на исследовании эффективности гомеостатических механизмов живых организмов, которые способны уловить присутствие стрессирующего воздействия раньше, чем многие обычно используемые методы. В оптимальных условиях организм реагирует на воздействие среды посредством сложной физиологической системы буферных гомеостатических механизмов. Эти механизмы поддерживают оптимальное протекание процессов развития. Под воздействием неблагоприятных условий механизмы поддержания гомеостаза могут быть нарушены, что приводит к состоянию стресса. Такие нарушения можно определить при оценке факторов воздействия, что и составляет основу метода биотестирования (Заболотских, Васильев, 2012).

В основе экологического мониторинга токсического загрязнения почвы с использованием биологических тест-объектов лежит представление о том, что почва как среда обитания составляет единую систему с населяющими ее популяциями разных организмов. В качестве тест-объекта, в зависимости от методики определения токсичности, могут использоваться различные живые организмы: водоросли, инфузории, планктонные рачки, высшие растения. Чем больше использовано различных биологических видов живых организмов для определения токсичности почв, тем более объективными получаются конечные результаты. Мы в своих исследованиях использовали в следующие тест-системы: инфузории (*Paramecium caudatum* Ehrenberg); планктонные рачки (*Daphnia magna* Straus); бактериальный препарат «ЭКОЛЮМ»; яровую пшеницу (*Triticum aestivum*).

Выбор инфузорий в качестве тест-системы определяется тем, что: во-первых, инфузории являются типичными представителями фауны водоемов, почв и биологических очистных сооружений (активный ил); во-вторых, они являются индикаторными видами при оценке загрязнения природных сред; в-третьих, инфузории отличаются довольно высокой чувствительностью ко

многим токсикантам (Латыпова В.З., Селивановская С.Ю., 1999). Возможность непосредственного наблюдения под микроскопом морфологических и функциональных реакций организмов (скорость фагоцитоза, хемотаксис, симптомокомплекс отравления), а также изменений популяционных характеристик (смертность, скорость размножения, численность) ставит их в особое положение по сравнению с другими тест-объектами. На метод определения острого токсичного действия с использованием тест-объекта – *Paramecium caudatum* разработан официальный нормативно-правовой документ: ФР.1.39.2015.19243.

Выбор в качестве второго тест-объекта низших ракообразных дафний *Daphnia magna* Straus обоснован тем, что они являются типичными и широко распространёнными представителями гидробионтов. Благодаря наличию панциря, дафнии обладают несколько меньшей чувствительностью к загрязнению почв. Для них также имеется гостированная методика определения токсичности: ФР.1.39.2007.03222. Методика определения токсичности воды и водных вытяжек из почв, осадков сточных вод, отходов по смертности и изменению плодовитости дафний.

В качестве третьего тест-объекта выбран бактериальный препарат «ЭКОЛЮМ». Методика сертифицирована, является официальным нормативно-правовым документом: ПНД Ф Т 14.1:2:3:4.11-04. Методика определения интегральной токсичности поверхностных, грунтовых, питьевых, сточных вод, водных экстрактов почв, отходов, осадков сточных вод по изменению интенсивности бактериальной биолюминесценции тест-системой «ЭКОЛЮМ».

В качестве четвёртого тест-объекта выбрана одна из самых распространённых сельскохозяйственных культур – яровая пшеница (*Triticum aestivum*). Эта культура имеет высокую чувствительность к токсикантам и достаточно короткий период развития. Для неё также имеется гостированная методика определения токсичности: ГОСТ Р ИСО 22030-2009 Качество почвы. Биологические методы. Хроническая фитотоксичность в

отношении высших растений. Оценка угнетения развития и хронической фитотоксичности в данной методике основана на определении параметров прорастания, вегетационного роста и способности к размножению растений в контролируемых условиях.

Токсичность торфяных почв, загрязнённых различными дозами нефти, изучалось в лабораторном опыте, полевом опыте и в условиях техногенного загрязнения торфяника. Результаты токсикологического тестирования торфяных почв в условиях модельного лабораторного опыта показали, что наиболее чувствительным тест-объектом на нефтезагрязнение оказались инфузории (*Paramecium caudatum*), они снижали свою численность уже при дозе загрязнения торфа на уровне выше 50 г/кг (табл. 14). Необходимо отметить, что даже один торф (без загрязнения) действовал на инфузории отрицательно, он проявил допустимую степень токсичности. Это связано с тем, что в торфе содержатся много водорастворимых органических соединений, обладающих ингибирующими свойствами для многих групп микроорганизмов и простейших. Нефтезагрязнение, хотя и повысило уровень токсичности до умеренной степени, но даже при максимальном изучаемом содержании нефти в торфе (300 г/кг) индекс токсичности его статистически не отличался от незагрязнённого торфа.

Таблица 14 – Определение токсичности загрязнённых торфяных почв с использованием тест-объекта *Paramecium caudatum* Her (лабораторный опыт 1, 90 дней после загрязнения)

Доза нефти, г/кг	Индекс токсичности, ед.	Оценка
без нефти	0,36±0,22	допустимая степень токсичности
5	0,36±0,21	допустимая степень токсичности
10	0,37±0,22	допустимая степень токсичности
20	0,27±0,16	допустимая степень токсичности
30	0,38±0,23	допустимая степень токсичности
40	0,31±0,18	допустимая степень токсичности
50	0,39±0,23	допустимая степень токсичности
100	0,40±0,24	умеренная степень токсичности
150	0,40±0,24	умеренная степень токсичности
200	0,53±0,32	умеренная степень токсичности
250	0,51±0,31	умеренная степень токсичности
300	0,47±0,28	умеренная степень токсичности



Дафнии (*Daphnia magna Straus*) оказались более устойчивыми к нефтяному загрязнению (благодаря наличию защитного панциря), заметное снижение их численности наблюдалось только при содержании нефти в торфе на уровне выше 100 г/кг торфа (табл. 15).

Таблица 15 - Определение токсичности загрязненных торфяных почв с использованием тест-объекта *Daphnia magna Straus* (лабораторный опыт, 90 дней после загрязнения)

Доза нефти, г/кг	Отклонение от контроля, % ( $A \pm \Delta$ ), шт.	Оценка
без нефти	$10,0 \pm 4,0$	не оказывает острое токсическое действие
5	$10,0 \pm 4,0$	не оказывает острое токсическое действие
10	$10,0 \pm 4,0$	не оказывает острое токсическое действие
20	$10,0 \pm 4,0$	не оказывает острое токсическое действие
30	$10,0 \pm 4,0$	не оказывает острое токсическое действие
40	$10,0 \pm 4,0$	не оказывает острое токсическое действие
50	$10,0 \pm 4,0$	не оказывает острое токсическое действие
100	$10,0 \pm 4,0$	не оказывает острое токсическое действие
150	$8,42 \pm 3,3$	оказывает острое токсическое действие
200	$5,5 \pm 2,2$	оказывает острое токсическое действие
250	$4,7 \pm 1,9$	оказывает острое токсическое действие
300	$6,25 \pm 3,3$	оказывает острое токсическое действие

Влияние различных доз загрязнения нефтью торфа на препарат «Эколюм» показано в табл. 16. Исследованиями установлено, что отрицательное влияние нефтяного загрязнения торфа на изменение интенсивности биолюминесценции препарата «Эколюм» проявилось при достижении дозы загрязнения более чем 50 г/кг, хотя достоверная степень токсичности установлена только при превышении её уровня – 200 г/кг торфа.

Результаты токсикологического тестирования водных вытяжек из загрязнённых почв на гидробионтах в полевом опыте через 90 дней после внесения нефти показано в таблицах 17 и 18.

Таблица 16 – Определение токсичности загрязненных торфяных почв с использованием тест-системы «Эколюм» (лабораторный опыт, 90 дней после загрязнения)

Доза нефти, г/кг	Индекс токсичности, ед.	Оценка
без нефти	0	допустимая степень токсичности
5	0	допустимая степень токсичности
10	0	допустимая степень токсичности
20	0	допустимая степень токсичности
30	0	допустимая степень токсичности
40	0	допустимая степень токсичности
50	0	допустимая степень токсичности
100	4,8±1,4	допустимая степень токсичности
150	13,9±1,7	допустимая степень токсичности
200	14,5±4,3	допустимая степень токсичности
250	23,8±7,1	Токсична
300	25,7±7,7	Токсична

Необходимо отметить, что в отличие от лабораторного опыта, наблюдался более значительный разброс содержания нефтепродуктов по проворностям, что привело к более значительным колебаниям показателей токсичности. Кроме того, процесс снижения нефтепродуктов за период наблюдений (90 дней) в полевых условиях происходил более активно.

Таблица 17 – Определение токсичности загрязненных торфяных почв на примере тест-объекта *Daphnia magna Straus* (полевой опыт, 90 дней после загрязнения)

Доза нефти, г/кг	Отклонение от контроля, % (A±Δ), шт.	Оценка
без нефти	10,0±4,0	не оказывает острое токсическое действие
5	10,0±4,0	не оказывает острое токсическое действие
10	10,0±4,0	не оказывает острое токсическое действие
20	10,0±4,0	не оказывает острое токсическое действие
30	10,0±4,0	не оказывает острое токсическое действие
40	10,0±4,0	не оказывает острое токсическое действие
50	10,0±4,0	не оказывает острое токсическое действие
100	10,0±4,0	не оказывает острое токсическое действие
150	10,0±4,0	не оказывает острое токсическое действие
200	10,0±4,0	не оказывает острое токсическое действие
250	10,0±4,0	не оказывает острое токсическое действие
300	10,0±4,0	не оказывает острое токсическое действие

Данные таблицы 18 свидетельствуют, что ни при одном уровне загрязнения нефтью торф не оказал острого токсичного действия на тест-объект *Daphnia magna Straus*, что свидетельствует об устойчивости этого вида гидробионтов к нефтяному загрязнению.

Таблица 18 – Определение токсичности загрязненных торфяных почв на примере тест-объекта *Paramecium caudatum* Her (полевой опыт, 90 дней после загрязнения)

Доза нефти, г/кг	Индекс токсичности, ед.	Оценка
без нефти	0,29±0,17	допустимая степень токсичности
5	0,21±0,12	допустимая степень токсичности
10	0,15±0,09	допустимая степень токсичности
20	0,35±0,24	допустимая степень токсичности
30	0,38±0,23	допустимая степень токсичности
40	0,37±0,28	допустимая степень токсичности
50	0,33±0,20	допустимая степень токсичности
100	0,33±0,19	допустимая степень токсичности
150	0,47±0,28	умеренная степень токсичности
200	0,67±0,38	высокая степень токсичности
250	0,70±0,42	высокая степень токсичности
300	0,74±0,44	высокая степень токсичности

Тест-объект инфузории *Paramecium caudatum*, как и в лабораторном опыте, оказались более чувствительными к нефтезагрязнению (табл. 18). Они значительно снижали свою численность при содержании нефти в торфе на уровне выше 100 г/кг (умеренная степень загрязнения). Необходимо отметить, что даже один торф (без загрязнения) действовал на инфузории отрицательно, он показал допустимую степень токсичности. Нефтезагрязнение повысило уровень токсичности до умеренной степени, и только при максимальных изучаемых дозах загрязнения (200 г/кг и более) степень токсичности стала высокой, а индекс токсичности статистически отличался от незагрязнённого торфа.

Для полноты оценки степени фитотоксичности нефтезагрязнённых почв мы в своих исследованиях использовали и высшие растения. Согласно

ГОСТ Р ИСО 22030-2009 в качестве тест-культуры взята яровая пшеница сорта Нижнеуральская. Хроническая фитотоксичность в отношении высших растений показана в таблице 19.

Таблица 19 - Определение токсичности загрязненных торфяных почв по тест-культуре – *Triticum aestivum*

Доза нефти, г/кг	Количество проросших семян, штук	Биомасса растений, г/сосуд	
		14 дней	36 дней
без нефти	95	0,505	0,790
5	100	0,317	0,380
10	100	0,157	0,492
20	100	0,347	0,397
30	98	0,300	0,520
40	87	0,102	0,357
50	74	0,132	0,457
100	44	0,107	0,362
150	56	0,065	0,195
200	43	0,055	0,175
250	39	0,053	0,190
300	35	0,032	0,105

Данные таблицы 19 свидетельствуют, что влияние нефти на прораствание семян определялось её дозой загрязнения. Низкие дозы (5-20 г/кг) стимулировали прораствание семян пшеницы, и оно достигло 100 %. При дальнейшем повышении дозы загрязнения, нефть стала ингибировать прораствание, особенно при содержании нефти в торфе выше 50 г/кг. Загрязнение нефтью торфа оказало отрицательное влияние на рост пшеницы, особенно контрастно это проявилось на 14 день вегетации. Впоследствии, выжившие растения развивались относительно нормально и несколько сгладили различия в биомассе. Тем не менее, и через 14 и через 36 дней вегетации, критическим содержанием нефтепродуктов в загрязнённом торфе являлась величина – 100 г/кг, при превышении которой наблюдалось резкое снижение массы проростков.

Результаты, полученные в лабораторном и полевом опытах, были проверены исследованиями, проведёнными на техногенно загрязненном

нефтепродуктами участке осушенного торфяника. Результаты токсикологического тестирования приведены в таблицах 20 и 21. Данные таблиц подтверждают, что на третьей ключевой площадке имелось сильное загрязнение торфа нефтепродуктами, которое вызвало токсичное действие на оба тест-объекта: *Daphnia magna* (оказало острое токсикологического действие) и *Paramecium caudatum* (умеренная степень токсичности). Токсичное действие проявлялось, начиная со второго горизонта, так как загрязнение поллютантом осуществлялось путем его подъёма из нижних слоев почвы.

Слабое загрязнение торфяной почвы нефтепродуктами не оказало токсичного действия на данные тест-объекты.

Таблица 20 – Определение токсичности загрязненных торфяных почв на примере тест-объекта *Daphnia magna Straus* (техногенно загрязнённый участок)

Ключевые площадки	Глубина взятия образцов, см	Отклонение от контроля, % ( $A \pm \Delta$ ), шт.	Оценка
1. Без загрязнения нефтепродуктами	4-26	$10,0 \pm 4,0$	не оказывает острого токсикологического действия
	26-36	$10,0 \pm 4,0$	не оказывает острого токсикологического действия
	90-100	$10,0 \pm 4,0$	не оказывает острого токсикологического действия
	150-160	$10,0 \pm 4,0$	не оказывает острого токсикологического действия
2. Слабое загрязнение нефтепродуктами	3-28	$10,0 \pm 4,0$	не оказывает острого токсикологического действия
	28-38	$10,0 \pm 4,0$	не оказывает острого токсикологического действия
	90-100	$10,0 \pm 4,0$	не оказывает острого токсикологического действия
	150-160	$10,0 \pm 4,0$	не оказывает острого токсикологического действия
3. Сильное загрязнение нефтепродуктами	0-24	$10 \pm 4,0$	не оказывает острого токсикологического действия
	24-34	$4,3 \pm 4,7$	оказывает острое токсикологического действие
	90-100	$4,2 \pm 4,0$	оказывает острое токсикологического действие
	150-160	$4,0 \pm 4,0$	оказывает острое токсикологического действие

Таблица 21 – Определение токсичности загрязненных торфяных почв на примере тест-объекта *Paramecium caudatum* Ehrenberg (техногенно загрязнённый участок)

Ключевые площадки	Глубина взятия образцов, см	Индекс Токсичности	Оценка
1. Без загрязнения нефтепродуктами	4-26	0,090±0,054	допустимая степень токсичности
	26-36	0,064±0,038	допустимая степень токсичности
	90-100	0,107±0,064	допустимая степень токсичности
	150-160	0,120±0,072	допустимая степень токсичности
2.Слабое загрязнение нефтепродуктами	3-28	0,115±0,069	допустимая степень токсичности
	28-38	0,137±0,082	допустимая степень токсичность
	90-100	0,220±0,12	допустимая степень токсичности
	150-160	0,217±0,10	допустимая степень токсичности
4. Сильное загрязнение нефтепродуктами	0-24	0,37±0,22	допустимая степень токсичности
	24-34	0,50±0,30	умеренная степень токсичности
	90-100	0,57±0,16	умеренная степень токсичности
	150-160	0,53±0,20	умеренная степень токсичности

Таким образом, наиболее чувствительными тест-системами на нефтезагрязнение являлись *Paramecium caudatum* и лиофилизированные люминесцентные бактерии «Эколюм», они фиксировали повышение степени токсичности при содержании нефти в торфе на уровне выше 50 г/кг, что позволило рекомендовать этот показатель в качестве норматива допустимого остаточного содержания нефти в торфяных почвах на территории Удмуртской Республики.

## **Глава 4. ИЗМЕНЕНИЕ МОРФОЛОГИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ И АГРОХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТОРФЯНЫХ ПОЧВ, ПОД ДЕЙСТВИЕМ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ИХ НЕФТЕПРОДУКТАМИ**

### **4.1 Морфологические признаки загрязнённых аллювиальных торфяных почв**

Каждая почва характеризуется определенными морфологическими (внешними) признаками, которые являются диагностическими. По этим признакам можно отличить одну почву от другой и получить целый ряд сведений об их происхождении, составе, свойствах, уровне плодородия и, в том числе, степени загрязнения некоторыми поллютантами. К главным морфологическим признакам относятся: строение почвенного профиля, мощность почвы и ее отдельных горизонтов, гранулометрический состав, окраска, структура, сложение, новообразования и включения. Все поллютанты, находящиеся в почве, относятся к включениям.

Включениями называются инородные тела в профиле почвы, присутствие которых не связано с характером почвообразовательного процесса (Новицкий и др., 2009).

Морфологические признаки наиболее удобно изучать анализируя почвенные профили, поэтому их изменение под влиянием загрязнения нефтепродуктами покажем на примере описания почвенных разрезов, заложенных на техногенно загрязнённом участке торфяника.

Почвенное обследование проведено в первой декаде августа 2014 г. В качестве объекта обследования выбран участок притеррасной части поймы р. Кама в Камбарском районе Удмуртской Республики, загрязненный нефтепродуктами.

Выявление закономерностей изменения свойств торфяных почв под действием загрязнения их нефтепродуктами осуществлялось на ключевых площадках. Приведем их описание.

**Ключевая площадка 1 (контроль).** Расположена в притеррасной части поймы р. Кама, в 1200 метров на запад от Камбарской нефтебазы. Угодье – заболоченный смешанный лес 5Б3Ос2Е (в настоящее время осушенный), подлесок представлен ивой (*Salixalba*) и лещиной (*CorylusavellanaL.*), травянистый покров – осокой острой (*Carexacuta*), крапивой двудомной (*Urticadioica*), подмаренником мягким (*Galiummollugo*), пыреем ползучим (*Elytrigiarepens*) и др. Общая биомасса растений составила 190 г/м<sup>2</sup> зеленой массы. Загрязнение нефтепродуктами отсутствует. Почва – аллювиальная иловато-перегнойно-торфяная среднemosная. Приведём её морфологическое описание. Название горизонтов приведено в соответствии с Классификацией и диагностикой почв России (2004), в скобках приведено их название по Классификации и диагностике почв СССР.

### **Разрез 1**

A<sub>0</sub> 0-4 см – дернина.

TEmr (T<sub>1</sub>) 4-26 – эутрофно-торфяной, состоит из остатков гигрофильной растительности травянисто-древесного состава, степень разложения 45%, буровато-коричневый, влажный, переход в нижележащий горизонт – резкий.

Hmr1 (T<sub>2</sub>) 26-50 см – торфяно-перегнойный, коричневаточёрный, мажущейся консистенции (пачкает пальцы), состоит из сильно разложившихся, утративших исходное строение растительных остатков, степень разложения 70%, уплотнённый, влажный, переход в нижележащий горизонт – резкий.

Hmr2 (T<sub>3</sub>) 50-180 см – перегнойный, сизоваточёрный, мажущейся консистенции, состоит из сильно разложившихся, утративших исходное строение растительных остатков, степень разложения 85 %, уплотнённый, сырой, переход в нижележащий горизонт – резкий.

G 180-190 см – глеевый, сизоватобелёсый, верхняя часть грязно-серая (за счёт покраски почечным органическим веществом), присутствуют



единичные охристые пятна  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , песчаный, бесструктурный, слабопористый, сырой.

**Ключевая площадка 2.** Расположена в притеррасной части поймы р. Кама, в 900 метров на запад от Камбарской нефтебазы. Участок в настоящее время осушен и используется под торфоразработками. Травянистый покров представлен осокой острой (*Carex acuta*), пыреем ползучим (*Elytrigia repens*), папоротником (*Dryopteris filix-mas*), хвощем лесным (*Equisetum sylvaticum*) и др. Общая биомасса составила  $480 \text{ г/м}^2$  зеленой массы. Загрязнение нефтепродуктами – слабое. Почва – аллювиальная иловато-перегнойно-торфяная среднemosная. Приведём её морфологическое описание.

### Разрез 2

$A_0$  0-3 см – дернина.

TEmr ( $T_1$ ) 3-28 – эутрофно-торфяной, состоит из остатков гигрофильной растительности травянисто-древесного состава, степень разложения 45%, буровато-коричневый, влажный, переход в нижележащий горизонт – резкий.

Hmr1 ( $T_2$ ) 28-64 см – перегнойный, чёрный, мажущейся консистенции (пачкает пальцы), состоит из сильно разложившихся, утративших исходное строение растительных остатков, степень разложения 75%, уплотнённый, влажный, переход в нижележащий горизонт – резкий.

Hmr2 ( $T_3$ ) 64-190 см – торфяно-перегнойный, коричневаточёрный, мажущейся консистенции, состоит из сильно разложившихся, утративших исходное строение растительных остатков, степень разложения 60%, уплотнённый, сырой, переход в нижележащий горизонт – резкий.

G 190-200 см – глеевый, сизовато-белёсый, верхняя часть грязно-серая (за счёт покраски потечным органическим веществом), присутствуют единичные охристые пятна  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , песчаный, бесструктурный, сырой.

**Ключевая площадка 3.** Расположена в притеррасной части поймы р. Кама, в 460 метров на запад от Камбарской нефтебазы. Участок в настоящее

время осушен и используется под торфоразработками. Травянистый покров представлен осокой острой (*Carex acuta*), пыреем ползучим (*Elytrigia repens*), кипреем (*Epilobium hirsutum*) и др. Общая биомасса составила 290 г/м<sup>2</sup> зеленой массы. Общий вид растений – угнетённый. Загрязнение нефтепродуктами – сильное. Почва – аллювиальная иловато-торфяно-перегнойная среднесиловая. Приведём её морфологическое описание.

### Разрез 3

A<sub>0</sub> 0-2 см – дернина.

Hmr1 (T<sub>1</sub>) 2-24 см – торфяно-перегнойный, коричневатого-чёрный, мажущейся консистенции (пачкает пальцы), состоит из сильно разложившихся, утративших исходное строение растительных остатков, степень разложения 60%, уплотнённый, влажный, визуально видны маслянистые пятна нефтепродуктов, переход в нижележащий горизонт – резкий.

Hmr2 (T<sub>2</sub>) 24-160 см – торфяно-перегнойный, буровато-чёрный, мажущейся консистенции, состоит из сильно разложившихся, утративших исходное строение растительных остатков, степень разложения 75%, уплотнённый, сырой, визуально видны многочисленные маслянистые пятна нефтепродуктов, переход в нижележащий горизонт – резкий.

G 160-170 см – глеевый, сизовато-белёсый, верхняя часть грязно-серая (за счёт покраски почвенным органическим веществом и нефтепродуктами), присутствуют единичные охристые пятна Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, супесчаный, бесструктурный, слабопористый, сырой.

Из описания разрезов следует, что слабая степень загрязнения нефтепродуктами практически не отразилась на морфологических признаках торфяных почв. В случае сильного загрязнения в профиле почв чётко просматривались многочисленные маслянистые пятна нефтепродуктов, появился характерный запах нефти. Травянистая растительность на сильнозагрязнённом участке, по сравнению с контролем, выглядит более угнетённой.

## 4.2 Оценка агрохимических показателей загрязнённых почв

К агрохимическим показателям относятся наиболее важные для роста и развития сельскохозяйственных культур (растений) показатели химических и физико-химических свойств почв. С помощью их разрабатываются все основные мероприятия по воспроизводству плодородия и по ним осуществляется контроль за общим состоянием почв. Кроме того, в загрязнённых почвах важнейшим показателем является содержание в них поллютантов, так как именно они определяют степень деградации почвенного покрова и возможность его использования в народном хозяйстве. В нефтезагрязнённых почвах таким ключевым показателем является содержание нефтепродуктов.

Влияние различных концентраций нефти на показатель содержания нефтепродуктов в загрязнённом торфе показано в табл. 22 и 23. В настоящее время наиболее широко используются два метода определения нефтепродуктов: ГОСТ 54039-2010 и ПНД Ф 16.1.41-04. Так как в Удмуртской Республике в основных аккредитованных лабораториях используется второй метод, то именно его мы выбрали для проведения исследований. По этому методу за содержание нефтяных компонентов в почве принимается суммарное содержание неполярных и малополярных органических соединений, извлекаемых из почвы н-гексаном (ПНД Ф 16.1.41-04). Этот метод имеет свои положительные и отрицательные стороны. Из отрицательных сторон отметим только две, которые необходимо учитывать при проведении анализа полученных результатов. Во-первых, экстракция н-гексаном позволяет определить только нелетучие углеводородные компоненты нефти. Алканы с длиной алифатической цепи менее  $C_{12}$  улетучиваются вместе с растворителем. Н-гексан извлекает из нефтезагрязнённого образца минеральной почвы около 80 % нефтяных углеводородов (Сухов, Садовникова, 2004). Во-вторых, вытяжка н-гексана даже из незагрязнённого торфа извлекает какое-то количество органического

вещества, которое условно подходит к понятию «нефтепродуктов». Это связано с тем, что в состав торфа также входит определённое количество неполярных и малополярных органических соединений. Это количество необходимо определять для фоновых (незагрязнённых) почв и отнимать из показателей нефтезагрязнённых почвенных образцов.

Так, в случае с торфом, используемым для закладки лабораторного опыта, содержание «нефтепродуктов», извлекаемых вытяжкой н-гексана из незагрязнённого (контрольного) образца почвы равнялось 70-150 г/кг, в полевом опыте – 90-220 г/кг.

Таблица 22 – Результаты определения нефтепродуктов в загрязненной нефтью торфяной почве (лабораторный опыт)

Доза загрязнения нефтью	5 дней компостирования		90 дней компостирования	
	содержание нефтепродуктов, г/кг	процент извлечения нефтепродуктов	содержание нефтепродуктов, г/кг	процент извлечения нефтепродуктов
Без нефти (контроль)	0,15	-	0,07	-
Нефть – 5 г/кг	1,09	22	0,26	5
Нефть – 10 г/кг	1,64	16	0,50	4
Нефть – 20 г/кг	3,61	18	0,67	3
Нефть – 30 г/кг	7,23	24	2,25	7
Нефть – 40 г/кг	11,77	29	2,40	5
Нефть – 50 г/кг	13,57	27	3,11	6
Нефть – 100 г/кг	24,48	24	13,73	13
Нефть – 150 г/кг	36,45	24	25,15	16
Нефть – 200 г/кг	44,50	22	48,08	24
Нефть – 250 г/кг	53,66	21	51,62	20
Нефть – 300 г/кг	65,00	22	57,75	19
НСР <sub>05</sub>	0,44	-	0,18	-

Данные таблицы 22 свидетельствуют, что н-гексан извлекал из загрязнённого торфа, в отличие от минеральных почв, лишь небольшую часть нефти, прилитой при закладке опыта. Количество извлекаемой нефти зависело от степени загрязнения и периода, прошедшего после загрязнения.

Через пять дней после внесения поллютанта, н-гексан извлекал в среднем от 16 до 29% нефтепродуктов в независимости от уровня загрязнения. Низкий процент извлечения нефтепродуктов из торфа объясняется его очень высокой нефтеёмкостью, по нашим исследованиям 1 кг воздушно-сухого торфа способен поглотить до 0,8-1,1 кг нефти, причём большая её часть поглощается необменно, вступая в прочные химические связи с целым рядом органических соединений торфа, тем самым резко снижая токсичность нефти для биоты. Несмотря на низкий процент извлечения нефти из торфа, наблюдалась четко выраженная закономерность – при увеличении дозы его загрязнения, пропорционально увеличивалось количество нефтепродуктов, извлекаемых из торфа вытяжкой н-гексана, что позволяет использовать этот метод для оценки степени загрязнения торфов нефтью.

При определении нефтепродуктов необходимо учитывать, что сразу после впитывания нефти, в торфе образуются многочисленные микрзоны с более высокой степенью загрязнения, чем окружающие участки. Эта микропестрота полностью не ликвидируется даже при регулярном рыхлении загрязненного слоя, что создает дополнительные трудности при определении общего содержания техногенного углерода.

Через 90 дней, при уровне загрязнения нефтью до 50 г/кг из торфа извлекалось до 6%, при уровне загрязнения до 100-150 г/кг – извлекалось 14-17%, при уровне загрязнения 200-300 г/кг – 20-24% нефтепродуктов. Такие различия в степени извлечения нефти, кроме химических процессов её связывания различными органическими соединениями торфа, объяснялись микробиологическим разложением нефти, которое наиболее интенсивно протекало в вариантах с низким и средним её уровнем загрязнения. В вариантах с уровнем загрязнения более 100 г/кг торфа основная часть биоты была полностью подавлена или находилась в стрессовом состоянии, что подтверждается данными токсикологических исследований (табл. 14,15).

Данные табл. 23 подтверждают результаты, полученные в лабораторном опыте, что вытяжка н-гексана извлекает из нефтезагрязнённой

почвы лишь небольшую часть (не более 21%) нефтепродуктов и даже из «чистого» торфа извлекается от 90 до 220 г/кг этих соединений. В отличие от лабораторного опыта разброс содержания нефтепродуктов по проворностям был более значителен. Кроме того, процесс их снижения за вегетационный период (90 дней) в полевых условиях происходил более активно.

Таблица 23 – Результаты определения нефтепродуктов в загрязненной нефтью торфяной почве (полевой опыт)

Доза загрязнения нефтью	5.06.2014		5.09.2014	5.09.2015	5.09.2016
	содержание нефтепродуктов, г/кг	процент извлечения нефтепродуктов	содержание нефтепродуктов, мг/кг		
Без нефти (к-ль 1)	0,16	-	0,14	0,18	0,17
Нефть – 5 г/кг	0,85	17	0,24	0,27	0,20
Нефть – 10 г/кг	1,10	11	0,44	0,41	0,36
Нефть – 20 г/кг	1,32	7	1,18	0,88	0,70
Нефть – 30 г/кг	2,70	9	2,49	2,39	2,21
Нефть – 40 г/кг	3,65	9	3,08	3,02	3,92
Нефть – 50 г/кг	5,47	11	4,92	4,50	4,18
Нефть – 100 г/кг	20,51	21	19,65	18,00	17,06
Нефть – 150 г/кг	26,43	18	25,85	22,17	20,09
Нефть – 200 г/кг	33,00	17	34,58	26,00	24,14
Нефть – 250 г/кг	47,07	19	42,89	39,78	37,20
Нефть – 300 г/кг	56,03	19	46,08	43,55	40,94
НСР <sub>05</sub>	0,30		0,21	0,26	0,27

Во второй вегетационный период во всех вариантах с загрязнением наблюдалось дальнейшее уменьшение содержания нефти, но её скорость значительно снизилась. Это объясняется тем, что к этому периоду основная часть летучих и легкоразлагаемых компонентов нефти уже испарилась под действием физико-химических факторов, и скорость её разложения стала определяться микробиологическими процессами. В третий вегетационный период интенсивность снижения нефтепродуктов в загрязнённой почве не увеличилось, и по-прежнему определялось биологическими факторами.

Влияние нефтяного загрязнения на агрохимические показатели торфяных почв в лабораторных условиях показано в таблице 24. Данные таблицы свидетельствуют, что торф, использованный для закладки опыта,

характеризовался очень высокой зольностью (содержанием минеральной части, оставшейся после его сжигания) – 21 %, что является характерной особенностью аллювиальных (пойменных) торфяных почв.

Таблица 24 – Изменение агрохимических показателей торфа под действием различных доз загрязнения нефтью (лаб. опыт, 90 дней после загрязнения)

Доза нефти	Зольность, %	pH <sub>KCl</sub>	Физико-химические показатели, ммоль/100 г		Химические показатели, мг/кг			
			H <sub>r</sub>	S	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N-NH <sub>4</sub>	N-NO <sub>3</sub>
Без нефти	21	6,2	29,7	201	144	194	3,9	10,7
Нефть – 5 г/кг	21	6,3	<b>24,1</b>	205	120	183	3,8	<b>5,3</b>
Нефть – 10 г/кг	20	6,2	<b>22,4</b>	197	131	203	5,6	<b>3,5</b>
Нефть – 20 г/кг	20	6,2	<b>19,7</b>	204	145	200	<b>8,0</b>	<b>2,6</b>
Нефть – 30 г/кг	20	6,3	<b>19,1</b>	200	142	180	<b>8,7</b>	<b>1,7</b>
Нефть – 40 г/кг	20	6,2	<b>20,4</b>	196	142	179	<b>9,7</b>	<b>1,7</b>
Нефть – 50 г/кг	20	6,2	<b>20,3</b>	193	138	<b>133</b>	<b>9,4</b>	<b>1,9</b>
Нефть – 100 г/кг	20	6,3	<b>20,5</b>	<b>154</b>	131	176	2,5	<b>2,3</b>
Нефть – 150 г/кг	<b>18</b>	6,2	<b>21,2</b>	<b>142</b>	139	<b>167</b>	1,5	<b>1,8</b>
Нефть – 200 г/кг	<b>17</b>	6,2	<b>20,6</b>	<b>139</b>	128	<b>169</b>	1,5	<b>1,6</b>
Нефть – 250 г/кг	<b>17</b>	6,2	<b>19,8</b>	<b>140</b>	<b>123</b>	<b>150</b>	2,1	<b>1,2</b>
Нефть – 300 г/кг	<b>17</b>	6,2	<b>21,6</b>	<b>132</b>	<b>113</b>	<b>149</b>	1,7	<b>1,1</b>
НСР <sub>05</sub>	<b>1</b>	F <sub>ф</sub> <F <sub>05</sub>	<b>3,7</b>	<b>12</b>	<b>19</b>	<b>24</b>	<b>3,0</b>	<b>2,9</b>

Нефтяное загрязнение обусловило снижение зольности торфа, статистически достоверное начиная с уровня 150 г/кг. При максимальном уровне загрязнения (300 г/кг), это снижение составило 4 абс.% или 19 относит.%, что объясняется значительно более низкой зольностью товарной нефти (менее 0,1%). Зольность торфа может служить косвенным показателем оценки уровня загрязнения его нефтью.

Торф, использованный в опыте, характеризовался нейтральной реакцией ( $\text{pH}_{\text{KCl}} - 6,2$  ед.), что является типичной величиной для низинных торфов. Нефтяное загрязнение не оказало влияние на этот показатель, но достоверно снизило гидролитическую кислотность на 5,6-10,6 ммоль/100 г торфа (на 19-36%). Это связано с нейтральной реакцией самой нефти, что позволило ей нейтрализовать часть ионов водорода и алюминия, находящихся в почвенно-поглощающем комплексе торфа. Это широко известное свойство нефти, которое особенно ярко проявляется на более кислых почвах (Леднев, 2008).

Характерной особенностью всех низинных торфов является наличие у них очень высокого показателя суммы обменных оснований (более 100 ммоль/100 г). Это объясняется химическим составом его органической части. В него входит целый ряд сложных высокомолекулярных органических соединений, обладающих очень высокой ёмкостью поглощения катионов (гуминовые и фульвокислоты, лигнин, битумы и др.). Нефтяное загрязнение оказывает значительное влияние на состав и ёмкость почвенного поглощающего комплекса. Отмечается чётко выраженное снижение суммы обменных оснований под действием нефти, что объясняется не столько уменьшением общего количества поглощенных оснований, сколько с утратой их способности обмениваться вследствие обволакивания почвенных коллоидов нефтяными пленками. Статистически достоверное уменьшение показателя суммы обменных оснований наблюдалось при дозе загрязнения – 100 г/кг, а при максимальной дозе (300 г/кг) снижение составило уже 34%. Аналогичное действие, но на минеральных почвах, отмечали многие исследователи (Солнцева, 1998; Гилязов и др., 2003; Леднев, 2008). Этот физико-химический показатель также предлагаем использовать в качестве индикатора степени загрязнения торфа нефтепродуктами.

Нефть оказывает негативное влияние на пищевой режим торфов, она образует вокруг почвенных агрегатов гидрофобные плёнки, препятствующие проникновению в них водных растворов. В зависимости от дозы загрязнения



происходит частичная или почти полная изоляция почвенных частиц и структурных отдельностей от жидкой фазы. Это приводит к снижению содержания подвижных, а значит и доступных для растений и почвенных микроорганизмов форм элементов минерального питания. Наибольшее снижение содержания подвижных форм наблюдалось у нитратного азота, даже низкая доза загрязнения (нефть – 10 г/кг торфа) уменьшила его количество на 33%. Остальные элементы минерального питания снизили свое содержание при более высоких дозах загрязнения. Отмеченные закономерности нашли своё подтверждение в условиях полевого опыта (табл. 25).

Таблица 25 – Изменение агрохимических показателей торфа под действием различных доз загрязнения нефтью (полевой опыт)

Доза нефти	Зольность, %	рН <sub>KCl</sub>	Физико-химические показатели, ммоль/100г		Химические показатели, г/кг			
			H <sub>г</sub>	S	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N-NH <sub>4</sub>	N-NO <sub>3</sub>
Без нефти (к-ль 1)	<u>13,7*</u> 16,4	<u>5,32</u> 5,61	<u>28,6</u> 18,7	<u>185</u> 216	<u>80</u> 31	<u>28</u> 50	<u>66</u> 46	<u>18,4</u> 8,2
Нефть – 5 г/кг	<u>13,0</u> 16,3	<u>5,35</u> 5,53	<u>25,9</u> 15,3	<u>183</u> 202	<u>73</u> <b>21</b>	<u>20</u> 41	<u>60</u> <b>36</b>	<u>18,1</u> <u>4,6</u>
Нефть – 10 г/кг	<u>12,7</u> 16,0	<u>5,37</u> 5,70	<u>25,7</u> 16,6	<u>177</u> 200	<u>77</u> <b>15</b>	<u>18</u> <b>33</b>	<u>56</u> <b>29</b>	<u>14,8</u> 1,9
Нефть – 20 г/кг	<u>10,9</u> 15,6	<u>5,43</u> 5,44	<u>25,3</u> 15,6	<u>174</u> <b>190</b>	<u>72</u> <b>12</b>	<u>16</u> <b>31</b>	<u>58</u> <b>26</b>	<u>14,1</u> 1,1
Нефть – 30 г/кг	<u>10,5</u> 15,0	<u>5,48</u> 5,62	<u>22,2</u> 14,3	<u>169</u> <b>190</b>	<u>68</u> <b>10</b>	<u>17</u> <b>24</b>	<u>50</u> <b>24</b>	-
Нефть – 40 г/кг	<u>10,4</u> 15,1	<u>5,60</u> 5,50	<u>21,4</u> 15,5	<u>168</u> <b>172</b>	<u>68</u> <b>9</b>	<u>14</u> <b>17</b>	<u>50</u> <b>22</b>	-
Нефть – 50 г/кг	<u>10,4</u> 14,8	<u>5,58</u> 5,36	<u>20,5</u> 18,3	<u>168</u> <b>170</b>	<u>76</u> <b>9</b>	<u>14</u> <b>15</b>	<u>51</u> 22	-
Нефть – 100 г/кг	<u>10,3</u> 14,1	<u>5,65</u> 5,61	<u>20,5</u> 14,2	<u>142</u> <b>161</b>	<u>74</u> <b>10</b>	<u>13</u> <b>16</b>	<u>49</u> <b>19</b>	-
Нефть – 150 г/кг	<u>10,3</u> 13,8	<u>5,68</u> 5,68	<u>18,7</u> 14,9	<u>123</u> <b>137</b>	<u>65</u> <b>11</b>	<u>12</u> <b>16</b>	<u>45</u> <b>24</b>	-
Нефть – 200 г/кг	<u>10,3</u> <b>12,3</b>	<u>5,62</u> 5,74	<u>18,1</u> 14,9	<u>124</u> <b>133</b>	<u>66</u> <b>10</b>	<u>12</u> <b>12</b>	<u>42</u> <b>21</b>	-
Нефть – 250 г/кг	<u>9,4</u> <b>11,9</b>	<u>5,68</u> 5,53	<u>18,2</u> 16,0	<u>121</u> <b>131</b>	<u>65</u> <b>9</b>	<u>11</u> <b>12</b>	<u>46</u> <b>21</b>	-
Нефть – 300 г/кг	<u>8,3</u> <b>11,3</b>	<u>5,73</u> 5,63	<u>17,1</u> 16,6	<u>109</u> <b>126</b>	<u>59</u> <b>7</b>	<u>10</u> <b>11</b>	<u>47</u> <b>16</b>	-
НСР <sub>05</sub>	<u>2,6</u> <b>3,7</b>	<u>0,20</u> <b>0,29</b>	<u>7,4</u> <b>7,3</b>	<u>11</u> <b>26</b>	<u>14</u> <b>5</b>	<u>8</u> <b>10</b>	<u>13</u> <b>7</b>	<u>±</u> -

Примечание: в числителе срок отбора почв – 5.09.2014 г., в знаменателе – 5.09.2015 г.

Средние и повышенные дозы нефтяного загрязнения в течение двух лет наблюдений обусловили статистически достоверное уменьшение зольности торфа (при максимальной изучаемой дозе загрязнения – 300 г/кг это снижение составило 31-39%), суммы обменных оснований (при максимальной дозе - на 41-42%) и содержания всех элементов минерального питания, особенно нитратного азота, который при дозе 30 г/кг практически отсутствовал в загрязнённой почве.

Влияние загрязнения нефтепродуктами на агрохимические показатели почв в условиях техногенного загрязнения показано в табл. 26.

Таблица 26 – Агрохимические показатели почв ключевых площадок

Глубина взятия образца, см	Зольн ость, %	Нефтепр одукты, г/кг	рН <sub>KCl</sub>	Физико- химические показатели, ммоль/100 г		Химические показатели, г/кг			
				H <sub>г</sub>	S	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N-NO <sub>3</sub>	N-NH <sub>4</sub>
Разрез 1 (не загрязнённая почва – контроль)									
4-26	25,4	66	7,18	-	196	200	39	18	80
26-36	32,6	51	7,05	-	216	260	28	26	75
90-100	18,1	68	6,76	8,00	200	164	12	14	20
150-160	15,4	70	6,76	6,80	192	114	20	28	50
Разрез 2 (слабое загрязнение нефтепродуктами)									
3-28	32,1	151	7,25	-	252	160	27	18	62
28-38	14,2	175	6,70	-	216	132	18	22	82
90-100	12,5	272	7,48	-	200	70	9	32	25
150-160	25,9	370	7,48	-	260	48	9	24	13
Разрез 3 (сильное загрязнение нефтепродуктами)									
2-24	23,4	1830	6,73	-	180	120	9	11	30
24-34	16,2	3850	6,17	4,90	204	116	20	14	38
90-100	11,8	3994	6,56	-	204	144	9	-	25
150-160	10,7	4051	6,58	-	132	120	20	-	25

Приведённые данные подтверждают наличие у аллювиальных торфяных почв очень высокой зольности (15,4-32,6%), нейтральной или слабощелочной реакции (6,76-7,18), очень большой суммы поглощённых оснований (192-216 ммоль/100 г) и показателя «нефтепродукты» на уровне

51-70 г/кг. Слабое загрязнение нефтепродуктами привело к увеличению этого показателя до 151-370 г/кг торфа и некоторому уменьшению содержания подвижных форм элементов минерального питания. При сильном загрязнении нефтепродуктами их количество в почве возросло до 1,83-4,05г/кг, причём оно увеличивалось вниз по профилю, что свидетельствовало о внутрипочвенном источнике загрязнения. По сравнению с контрольной почвой наблюдалось значительное снижение зольности торфа, содержания подвижных форм элементов минерального питания и показателя суммы поглощенных оснований.

На основании полученных данных можно сделать следующие выводы:

1. Наиболее распространённый на практике способ определения содержания нефтепродуктов в почвах, с использованием вытяжки н-гексана (ПНД Ф 16.1.41-04), позволяет выявить в загрязнённом торфе в среднем только 15-25% этих соединений, что необходимо учитывать при определении истинного их содержания в загрязнённых почвах.

2. Средние и повышенные дозы нефтяного загрязнения статистически достоверно снизили показатель зольности торфа, уменьшили сумму обменных оснований и содержание подвижных форм элементов минерального питания. При максимальной изучаемой дозе загрязнения – 300 г/кг снижение зольности составило 19-39%, суммы обменных оснований – 34-42%, элементов минерального питания – 26-100%.

3. Параметры изменений вышеперечисленных агрохимических показателей находились в прямой зависимости от уровня загрязнения, что позволяет их использовать в качестве косвенных показателей для оценки степени загрязнения торфяных почв нефтепродуктами.

## **Глава 5. ОБОСНОВАНИЕ НОРМАТИВА ДОПУСТИМОГО СОДЕРЖАНИЯ НЕФТЕПРОДУКТОВ В ЗАГРЯЗНЁННЫХ ТОРФЯНЫХ ПОЧВАХ УДМУРТСКОЙ РЕСПУБЛИКИ**

Существующие способы нефтедобычи и её транспортировки не могут полностью исключить возникновение аварийных ситуаций, при которых происходит загрязнение почвенного покрова нефтепродуктами. Необходимость скорейшего возвращения земельных участков в хозяйственный оборот требует оперативного устранения последствий загрязнения почвенного покрова. Это достигается проведением комплекса работ по их рекультивации.

Целью рекультивации загрязнённых земель является их перевод в состояние, соответствующее санитарно-гигиеническим нормам. В настоящее время действуют следующие показатели уровня загрязнения земель нефтью и нефтепродуктами: 1 уровень допустимый -  $< \text{ПДК}$ ; 2 уровень низкий – от 1000 до 2000 мг/кг; 3 уровень средний - от 2000 до 3000 мг/кг; 4 уровень высокий – от 3000 до 5000 мг/кг и 5 уровень очень высокий -  $> 5000$  мг/кг (Порядок определения ..., 1993). В реальных производственных условиях достижение таких концентраций остаточной нефти за короткий период возможно только при полном изъятии загрязнённого грунта и замене его чистой почвой, поэтому рекультивацию доводят до условного предела – ***«допустимого остаточного содержания нефти в почве» (ДОСНП)***. Однако, этот показатель в Российской Федерации официально не утверждён, что не позволяет на законных основаниях передать загрязнённый участок основному землепользователю, даже после выполнения рекультивационных работ в полном объёме. Это значительно и не всегда обоснованно удлинняет период выплаты штрафных санкций за нанесённый ущерб окружающей среде.

В 2002 г. Министерство природных ресурсов РФ утвердило «Временные рекомендации по разработке и введению в действие нормативов допустимого остаточного содержания нефти и продуктов её трансформации в

почвах после проведения рекультивационных и иных восстановительных работ», в которых впервые было сформировано понятие допустимого содержания нефти и продуктов её трансформации в почвах, установлен регламент его определения, порядок согласования и утверждения.

**Допустимое остаточное содержание нефти в почве** - определенное по аттестованным в установленном порядке методикам содержание в почве нефти и продуктов ее трансформации после проведения рекультивационных и иных восстановительных работ, при котором:

- исключается возможность поступления нефти и продуктов ее трансформации в сопредельные среды и на сопредельные территории;

- допускается вовлечение земельных участков в хозяйственный оборот по основному целевому назначению с возможными ограничениями (не природоохранного характера) режима использования или вводится режим консервации, обеспечивающий достижение санитарно-гигиенических нормативов содержания в почве нефти и продуктов ее трансформации или иных установленных в соответствии с действующим законодательством нормативных значений в процессе самовосстановления, т.е. без проведения дополнительных специальных ресурсоемких мероприятий.

**Нормативы допустимого остаточного содержания нефти в почве** - установленные и введенные в действие в соответствии с настоящими Временными рекомендациями на территории отдельного субъекта Российской Федерации значения допустимого остаточного содержания нефти и продуктов ее трансформации в почвах земельных участков, рекультивируемых под различные виды использования.

В настоящее время в нормативных и директивных документах отсутствуют реальные критерии экологической оценки уровней загрязнения нефтью и нефтепродуктами почв и грунтов, не утверждена унифицированная методика определения нормативов ДОСНП. Тем не менее, на основании проведённых многочисленных исследований установлено, что при разработке нормативов ДОСНП, необходимо опираться на данные о

совокупности свойств почв и процессов, обуславливающих детоксикацию и разложение нефти и продуктов её трансформации в почве.

В настоящее время нормативы ДОСНП разработаны для целого ряда почв в нескольких регионах РФ (в Республике Татарстан, Республике Мари-Эл, в Ханты-Мансийском национальном округе).

В Удмуртской Республике, несмотря на большой научный задел по изучению нефтезагрязнённых почв (Дмитриев, 2003; Леднев, 2008) разработка Нормативов проводится впервые. В наших исследованиях, при разработке нормативов ДОСНП, мы взяли за основу методические подходы, использованные в Республике Татарстан (Шагидуллин, 2011; Шигидуллин, Петров, 2011).

Для определения величины ДОСНП нами использовался комплекс показателей, позволяющий всесторонне оценить влияние нефтяного загрязнения на свойства почвы и её экологическое состояние:

- результаты физико-химических анализов;
- результаты токсикологического тестирования почв и водных вытяжек из почв в остром опыте на высших растениях;
- результаты токсикологического тестирования водных вытяжек из почв в остром опыте на гидробионтах;
- результаты микробиологических исследований численности основных физиологических групп почвенных микроорганизмов, их ферментативной активности.

При разработке нормативов использовались следующие нормативно-правовые документы:

1. Федеральный закон «Об охране окружающей среды» от 10.01.2002 №7 -ФЗ.
2. Постановление Правительства РФ от 03.08.1992 N 545 «Об утверждении Порядка разработки и утверждения экологических нормативов выбросов и сбросов загрязняющих веществ в окружающую природную среду, лимитов использования природных ресурсов, размещения отходов».

3. Временные рекомендации по разработке и введению в действие нормативов допустимого остаточного содержания нефти и продуктов ее трансформации в почвах после проведения рекультивационных и иных восстановительных работ. Утверждены Приказом Министерства природных ресурсов Российской Федерации от 12.09.2002 г. N 574.

4. Положение о Министерстве экологии и природных ресурсов Удмуртской Республики. Утверждены Постановлением Правительства УР от 5.03.2012 г. N 74.

Анализ результатов лабораторного и полевого опыта показал, что имеется большое количество показателей, которые объективно отражают негативные изменения свойств торфяных почв, подвергнувшихся нефтяному загрязнению. Из химических показателей самый основной – определение массовой доли нефтепродуктов. Это прямой показатель, по которому оценивают общее количество нефтепродуктов в почве. При определении нефтепродуктов с помощью н-гексана (ПНД Ф 16.1:2.2.22-98) в торфяных почвах необходимо учитывать два очень важных момента: 1) н-гексан извлекает из торфа не более 15-25 % нефтепродуктов; 2) даже из чистого (незагрязнённого) торфа извлекается от 50 до 150 г/кг как называемых «нефтепродуктов». Второй прямой показатель химических свойств, по которому можно определить нефтяное загрязнение, – содержание в торфе нитратного азота. Незагрязнённые торфа содержат в среднем от 10 до 30 г/кг, при низкой степени загрязнения (до 500 г/кг нефтепродуктов) – этот показатель уменьшается до 3-5 г/кг, при более высокой степени загрязнения – до 1-2 г/кг. Третий прямой показатель – зольность торфа, при сильном нефтяном загрязнении она снижается на 20-30 % по сравнению с фоновыми незагрязнёнными почвами.

Из физико-химических показателей, для оценки степени нефтяного загрязнения, можно использовать показатель суммы поглощённых оснований. В незагрязнённых торфах он превышает 190-200 ммоль/100 г

торфа, в слабозагрязнённых – колеблется от 170 до 190 ммоль/100 г, а в сильно загрязнённых – ниже 170 ммоль/100 г.

Загрязнение торфяных почв нефтепродуктами оказывает чётко выраженное влияние на их педобионтный состав. Нарушается видовая структура сообществ педобионтов, снижается их численность и биологическое разнообразие, изменяется качество почвенной среды. Сравнительный анализ видового богатства педобионтов позволяет утверждать, что на участках, загрязнённых нефтепродуктами, обитает в два раза меньше видов, наиболее устойчивыми видами являются ногохвостки и почвенные клещи, которые могут даже увеличивать свою численность. Ярким показателем загрязнённости почвы является отсутствие здесь земляных червей.

Объективным показателем, характеризующим общее экологическое состояние загрязнённых территорий, является численность микробиологического сообщества. К наиболее значимым из них относятся микробные ассоциации циклов азота и углерода, отвечающие за проведение процессов азотфиксации, аммонификации, нитрификации, минерализации и гумификации органических компонентов. Исследованиями установлено, что слабая степень нефтяного загрязнения (5-20 г/кг торфа) стимулировала развитие всех изученных групп микроорганизмов, что объясняется, по всей видимости, использованием ими отдельных компонентов нефти или продуктов её разложения в качестве источника питания. Дальнейшее увеличение уровня загрязнения приводило к снижению численности всех изученных представителей микробного сообщества. Наиболее заметное снижение данного показателя для всех групп микроорганизмов наблюдалось при уровне нефтезагрязнения торфа равном 50 г/кг, поэтому предлагаем его использовать в качестве граничного, отделяющего слабый уровень загрязнения от среднего. Из отрицательных сторон использования численности различных групп микроорганизмов в качестве индикаторов уровней загрязнения нефтепродуктами необходимо отметить их очень



сильную зависимость от других внешних факторов: суммы активных температур в течение вегетационного периода, количества осадков, глубины залегания торфяного слоя, степени его переувлажнённости.

Таким образом, все выше перечисленные показатели можно использовать для оценки уровня загрязнения торфа нефтепродуктами и эффективности проведения их рекультивации, но они не пригодны для разработки Нормативов допустимого содержания нефти и нефтепродуктов, так как сильно колеблются в зависимости от индивидуальных особенностей торфяных почв и погодных условий вегетационного периода.

Перечень показателей, имеющих тесную корреляцию со степенью загрязнения торфов нефтепродуктами, используемые для определения Нормативов их допустимого содержания, приведены в табл. 27. В большинстве случаев, за основу взяты данные лабораторного опыта, так как модельные условия позволили выявить закономерности в «чистом виде» без наложения посторонних факторов (неравномерного загрязнения, увлажнения, освещения, растительного покрова). Такой подход к определению Нормативов поддерживают и другие исследователи (Шагидуллин, 2011; Шагидуллин, Петров, 2011). Данные, полученные в полевом опыте и с участка с производственным техногенным загрязнением, служили в качестве проверки полученных результатов.

Данные табл. 27 свидетельствуют, что каждый показатель характеризуется своими параметрами, при превышении которых происходит их изменение в негативную сторону более чем на 20 %. Для определения нормативов допустимого содержания нефти и нефтепродуктов использованы самые жёсткие параметры – **3,0 г/кг торфа** (определение нефтепродуктов по ПНД Ф 16.1:2.2.22-98), что соответствует дозе загрязнения нефтью – **50 г/кг торфа**.

Таблица 27 – Показатели, использованные для разработки Нормативов и их параметры

Показатели	Показатели		Обоснование
	доза нефти, г/кг	нефтепродукты, г/кг	
1. Результаты токсикологического тестирования водных вытяжек, тест-объект - <i>Daphnia magna</i>	100	13,6	табл. 14 (гл. 3.4)
2. Результаты токсикологического тестирования водных вытяжек, тест-объект – <i>Paramecium caudatum</i>	50	3,1	табл. 15 (гл. 3.4)
3. Результаты токсикологического тестирования с использованием тест-системы ЭКОЛЮМ	50	3,1	табл. 16 (гл. 3.4)
4. Результаты токсикологического тестирования почвы с использованием тест-культуры – <i>Triticum aestivum</i>	50-100	4,8-19,5	табл. 19 (гл. 3.4)
5. Ферментативная активность уреазы	50	3,1	табл. 7 (гл. 3.2)
6. Ферментативная активность инвертазы	50	3,1	табл. 7 (гл. 3.2)
7. Ферментативная активность каталазы	200	48,0	табл. 7 (гл. 3.2)

Вышеприведённый норматив является граничным показателем, отделяющим слабый уровень загрязнения нефтепродуктами торфяных почв от среднего. В качестве показателя, характеризующего наступление сильной степени загрязнения, предлагаем использовать уровень содержания нефтепродуктов в торфе – 200 г/кг, что соответствует уровню 48 г/кг, определённого с помощью гостированной методики (ПНД Ф 16.1:2.2.22-98). При превышении этого показателя в почве резко снижается численность целлюлозоразлагающих и аммонифицирующих микроорганизмов, которая не восстанавливается даже через 15 мес. после загрязнения, и результаты токсикологического тестирования с использованием тест-системы ЭКОЛЮМ показывают, что почва становится токсичной.

Таким образом, по комплексу химических, физико-химических и биологических показателей степень загрязнения аллювиальных торфяных почв предлагаем подразделить на три уровня:

1. Слабый уровень загрязнения. Соответствует содержанию нефти менее 50 г/кг торфа или менее 3,0 г нефтепродуктов на кг торфа (ПНД Ф 16.1:2.2.22-98).

2. Средний уровень загрязнения. Соответствует содержанию нефти от 50 до 200 г/кг или содержанию нефтепродуктов – 3,0-48,0 г/кг.

3. Сильный уровень загрязнения. Соответствует содержанию нефти более 200 г/кг или содержанию нефтепродуктов – более 48,0 г/кг.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Уровень загрязнения аллювиальных торфяных почв нефтью до 5-20 г/кг торфа стимулировал развитие актиномицетов, микроскопических грибов, целлюлозоразлагающих и аммонифицирующих микроорганизмов. Дальнейшее увеличение уровня загрязнения привело к снижению численности всех изученных представителей микробного сообщества, наиболее заметное при уровне нефтезагрязнения торфа, равном 50 г/кг.

2. Наиболее чувствительными к изучаемому поллютанту оказались аммонификаторы и целлюлозоразлагающие бактерии, численность которых при достижении уровня загрязнения нефтью  $\geq 50$  г/кг даже через 29 мес. от начала эксперимента не восстановилась до их численности в контрольном варианте.

3. Нефтяное загрязнение оказывает влияние на все виды ферментативной активности торфяных почв. Установлено, что наибольшее влияние оно оказывает на ферментативную активность уреазы и инвертазы. При достижении уровня загрязнения торфяных почв выше 50 г/кг (3,0 г/кг по данным вытяжки н-гексана) их ферментативная активность начинает устойчиво снижаться по сравнению с незагрязнённым торфом, что свидетельствует о проявившемся токсичном действии нефти.

4. Загрязнение нефтепродуктами торфяных почв нарушает видовую структуру сообществ педобионтов, снижает их численность, влияет на биологическое разнообразие, изменяет качество почвенной среды. На участках, загрязненных нефтепродуктами, обитает в два раза меньше видов, а общими для сравниваемых участков являются ногохвостки и почвенные клещи.

5. Наиболее чувствительными тест-системами на нефтезагрязнение являются *Paramecium caudatum* и лиофилизированные люминесцентные бактерии «Эколюм», которые фиксировали повышение степени токсичности при содержании нефтепродуктов в торфе на уровне 50 г/кг (3,0 г/кг по данным вытяжки н-гексана).

6. Средние и повышенные дозы нефтяного загрязнения статистически достоверно снизили показатель зольности торфа, уменьшили сумму обменных оснований и содержание подвижных форм элементов минерального питания. При максимальной изучаемой дозе загрязнения – 300 г/кг снижение зольности составило 19-39%, суммы обменных оснований – 34-42%, элементов минерального питания – 26-100%.

7. На основании комплекса показателей, имеющих тесную корреляцию со степенью загрязнения торфов нефтепродуктами, установлен норматив допустимого содержания нефти и нефтепродуктов для аллювиальных торфяных почв Удмуртской Республики. Для земель сельскохозяйственного назначения он равен 3,0 г/кг торфа (определение нефтепродуктов по ПНД Ф 16.1:2.2.22-98), что соответствует дозе загрязнения нефтью – 50 г/кг торфа.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абакумов, Е.В. Почвообразование в посттехногенных экосистемах карьеров на северо-западе Русской равнины / Е.В. Абакумов, Э.И. Гагарина. – С.-Пб.: Изд-во С.-Пб. ун-та, 2006. – 208 с.
2. Агроклиматический справочник по Удмуртской Республике. – Л.: Гидрометеиздат, 1961
3. Аканова, Н.И. Изменение агрохимических свойств дерново-подзолистых почв при систематическом применении минеральных удобрений в сочетании с известкованием / Н.И. Аканова // Вопросы известкования почв. – М.: Агроконсалт, 2002. – С. 11-18.
4. Алейникова, М.М. Животное население почв в агробиогеоценозах Среднего Поволжья / М.М. Алейникова, Н.М. Утробина // Животное население почв агробиогеоценозов и его изменение под влиянием сельскохозяйственного производства. – Казань: Изд-во Каз. ун-та, 1969. – С. 3-61.
5. Алейникова, М.М. О воздействии минеральных и органических удобрений на почвообитающие организмы и биологическую активность серых лесных почв / М.М. Алейникова, Н.М. Утробина // Почвоведение. – 1973. – № 10. – С. 49-56.
6. Алейникова, М.М. Почвенная фауна различных ландшафтов Среднего Поволжья / М.М. Алейникова // Почвенная фауна Среднего Поволжья. – М.: Наука, 1964. – С. 5-51.
7. Александрова, И.В. Изучение новообразованных гумусовых веществ и характера их влияния на растения / И.В. Александрова // Микроорганизмы в сельском хозяйстве. – М.: Изд-во МГУ, 1970. – С. 307-312.
8. Александрова, Л. Н., Найденова, О. А. Лабораторно-практические занятия по почвоведению: 4-е изд., перераб. и доп. / Л.Н. Александрова, Найденова О.А. – Л.: Агропромиздат, 1986. 295 с.

9. Алексеев, С.К. О жужелицах (Coleóptera, Carabidae) Калужской области./ В кн.: Изучение природы бассейна р. Оки. Тезисы докладов научно-практической конференции «Река Ока-третье тысячелетие». Калуга: КГПУ. 2001. С. 9-12.

10. Алехин, В. Г. Биологическая активность и микробиологическая рекультивация почв, загрязненных нефтепродуктами / В. Г. Алехин, В. Т. Емцев, Е.А. Рогозина, А.И. Фахрутдинов // Биологические ресурсы и природопользование: сборник научных трудов. – Нижневартовск: Изд-во Нижневартовского пед. нн-та, 1998, Вып. 2 – С. 95-105

11. Алябина, И.О. Почвенный покров России и его способность к самоочищению (по карте масштаба 1:15000000) / И.О. Алябина, И.С. Урусевская, И.А. Мартыненко, П.П. Кречетов // Доклады по экологическому почвоведению. – 2008, №1, Вып. 7 – С.24-38

12. Аммосова ,Я. М. Нефтезагрязненные почвы / Я.М. Аммосова, С.Я. Трофимов, Н.И. Суханова // Агрохимический вестник. 1999. - № 5

13. Ананьева, Н.Д. Микробиологические аспекты самоочищения и устойчивости почв. – М.: Наука, 2003. – 223 с.

14. Андреева, Т.А. Интегральная оценка воздействия нефтяного загрязнения на параметры химического и биологического состояния почв таежной зоны Западной Сибири: афтореф.дис....канд.биол.наук: 03.0027/ Андреева Татьяна Анатольевна. – Томск, 2005. – 26 с.

15. Артемьева, Т.И. Влияние удобрений на почвенную фауну паровых полей / Т.И. Артемьева // Животное население агробиоценозов и его изменение под влиянием сельскохозяйственного производства. – Казань: изд-во Каз. ун-та, 1969. – С. 106-125.

16. Артемьева, Т.И. Комплексы почвенных животных и вопросы рекультивации техногенных территорий. – М.: Наука, 1989. – 109 с.

17. Артемьева, Т.И. Некоторые закономерности формирования животного населения техногенных агроценозов / Т.И. Артемьева //

Формирование животного и микробного населения агроценозов. – М.: Наука, 1982. – С. 16-17.

18. Артюхов, В.Г. Опыт рекультивации нефтезагрязненных почв биопрепаратом «Валентис» / В.Г. Артюхов [и др.] // Современные проблемы загрязнения почв. – М.: МГУ, 2004. – С. 292-294.

19. Архипова, Т.Н. Цитокинины, продуцируемые ризосферными микроорганизмами, как регуляторы роста и стимуляции экссудации аминокислот растений твердой пшеницы / Т.Н. Архипова, Г.В. Шендель // Агрохимия. – 2011. – № 7. – С. 43-49.

20. Ахтырцев, А.Б. Гидроморфные почвы и переувлажнение земли лесостепи Русской равнины, автореф. дис. докт. биол. наук / А.Б. Ахтырцев. – Воронеж, 1999. 42 с.

21. Ахтырцев, А.Б., Самойлова, Е.М. Влияние гидроморфизма на распределение, накопление и состав гумуса в почвах лесостепи. – Вести. Моск. ун-та, сер. Почвоведение, 1983, I,2, с.3

22. Ахтырцев, Б.П. Водные свойства черноземов обыкновенных Южнорусской степи при разных видах использования / Б.П. Ахтырцев, И.А. Лепилин //Почвоведение, 1985. № 8. – С.91-102

23. Ахтырцев, Б.П. Почвенный покров г. Воронеже и его экологические функции /Б.П. Ахтырцев // Геоэкологические проблемы устойчивого развития городской среды. Воронеж: изд-во ВГУ, 1996. – С.94-97

24. Ахтырцев, Б.П., Ахтырцев, А.Б., Яблонских, Л.А. Тяжелые металлы в почвах пойменных ландшафтов среднерусской лесостепи и их миграция / Тяжелые металлы в окружающей среде. – Пущино, 1997. – С. 15-24

25. Бабенко, А.Б.Формирование населения почвообитающих микроартропод на отвалах горной промышленности : автореф. дис...канд. биол. наук : 03.00.16 / Анатолий Борисович Бабенко – Москва, 1984. – 21 с.

26. Бабкина, В.Л. Влияние нефтезагрязнения почвы на структуру популяций клещей-орибатид / В.Л. Бабкина // Наука и образование XXI века:



сборник тезисов докладов II окружной конференции молодых ученых ХМАО. Ч.1. – Сургут: Изд-во СурГУ, 2001. – С. 3-5

27. Бамбалова, Н.Н. Баланс органического вещества торфяных почв и методы его изучения. Минск: Наука и техника, 1984. – 175 с.

28. Басюл, Е.В, Методы очистки и рекультивации среды от нефтепродуктов / Е.В. Басюл // II Международная научная конференции «Современные проблемы загрязнения почв»: сборник материалов. Том 2 – М.: Изд-во МГУ, 2007. – С. 262-26

29. Батуева, И.Ю., Гайле, А.А., Поконова, Ю.В. и др. Химия нефти – Л.: Химия, 1984. 360 с.

30. Бахишева, Ч.Т. Степень токсичности как важный фактор при изучении нефтяного загрязнения почв Апшеронского полуострова // Успехи почвоведения и агрохимия в Азербайджане: Материалы съезда, Новосибирск, 1989. – Баку, 1989. – С. 43

31. Безносиков, В.А. Экологическая оценка почв в районе эксплуатации нефтяных месторождений в условиях севера / В.А. Безносиков, Е. Д. Лодыгин, Б.М. Кондратенко // Международный экологический форум «Сохраним планету Земля»: сборник докладов – СПб.: Центральный музей почвоведения им. В.В. Докучаева, 2004. – С. 144-148

32. Белоголова, Г.А. Влияние почвенных бактерий на поведение химических элементов в системе почва-растение / Г.А. Белоголова, М.Г. Соколова, О.А. Пройдакова // Агрохимия. – 2011. – № 9. – С. 68-76.

33. Биккинина, А.Г. Биологическая ремедиация почв, загрязненных нефтепродуктами, с использованием комплекса биопрепаратов / А.Г. Биккинина, О.Н. Логинов // Биоразнообразие, экология, эволюция, адаптация. – Одесса: Нац. ун-т им. И.И. Мечникова, 2005. – С. 109.

34. Биккинина, А.Г. Разработка технологии рекультивации нефтезагрязненных объектов с использованием комплекса микробиологических препаратов : автореф. дис...канд. биол. наук : 03.00.23 / Биккинина Альмира Габдулахатовна. – Уфа, 2007. – 24 с.

35. Бойко, Т.Ф. Закономерности развития микрофлоры и микробиологических процессов в выщелоченном черноземе в условиях монокультуры и севооборота : автореф. дис...канд. биол. наук : 03.00.07 / Бойко Таисия Филипповна. – Москва, 1988. – 16 с.
36. Бурмистрова, Т.И. Биodeградация нефти и нефтепродуктов в почве с использованием мелиорантов на основе активированного торфа / Т.И. Бурмистрова, Т.П. Алексеева, В.Д. Перфильева, Н.Н. Терещенко, Л.Д. Стахина // Химия растительного сырья. – 2003. - № 3. – С. 69-72
37. Бызов, Б.А. Зоомикробные взаимодействия в почве. – М.: Геос, 2005. – 213 с.
38. Вадюнина, А. Ф., Корчагина. З. А. Методы исследования физических свойств почв / Ф.Ф. Вадюнина, З.А. Корчагина – М.: Агропромиздат, 1986. 416 с.
39. Ваккер-Коузова, Н.Д. Влияние ксенобиотиков на микробиологические и агрохимические показатели дерново-подзолистой почвы / Н.Д. Ваккер-Коузова // Почвоведение. 2010. - № 8. - С. 979-983.
40. Вальков, В. Ф. Почвоведение : учебник для бакалавров / В. Ф. Вальков, К. Ш. Казеев, С. И. Колесников. — 4-е изд., перераб. и доп. — М. : Издательство Юрайт, 2014. — 527 с.
41. Ванькова, А.А. Становление и развитие сельскохозяйственной микробиологии / А.А. Ванькова, В.Т. Емцев, Л.К. Ницэ // Агрохимический вестник. – 2009. – № 1. – С. 20-23
42. Васенев, И.И. Агрохимические и микробиологические особенности конструкторских земель Москвы и Московской области / И.И. Васенев // Агрохимический вестник. – 2011. – № 4. – С. 37-40.
43. Вершинина, С.Д. Структура почвенной мезофауны в градиенте урбанизации / С.Д. Вершинина // Вестник Удмуртского университета. – 2011. – Вып. 2. – С. 84-89.
44. Ветчинников, А.А. Эколого-агрохимическое обоснование технологии рекультивации сельскохозяйственных земель, нарушенных при

производстве работ на линейных сооружениях : автореф. дис...канд. с.-х. наук : 06.01.04 / Ветчинников Александр Александрович. – Саранск, 2010. – 20 с.

45. Винник, В.В. Влияние влажности субстрата на выживаемость дождевых червей в нефтезагрязненных почвах / В.В. Винник // XXXIV научно-техническая конференция по результатам работы профессорско-преподавательского состава, аспирантов и студентов СевКавГТУ за 2004 год: материалы конференции. – Ставрополь: СевКавГТУ, 2005. – С. 54.

46. Влияние загрязнения почвы на микробоценоз и урожай ячменя в зависимости от удобрений / Д.Г. Свириденко [и др.] / Плодородие. – 2003. – № 3. – С. 19-20.

47. Водопьянов, В.В. Математические модели и методы анализа восстановления биосистем, подверженных антропогенным воздействиям (на примере восстановления нефтезагрязненных почв): автореф. дис. ... доктора тех. наук: 05.13.18 / Водопьянов Владимир Васильевич. – Уфа, 2008. – 43 с.

48. Возняковская, Ю.М. Значение продуктов микробного синтеза для повышения качества урожая / Ю.М. Возняковская // Микроорганизмы в сельском хозяйстве. – М.: Изд-во МГУ, 1970. – С. 295-301.

49. Войно, Л.И. Устойчивость и изменение численности почвенных микроорганизмов при нефтезагрязнении почвы / Л.И. Войно, Т.А. Павликова, О.Д. Сидоренко // Высокоэффективные технологии, методы и способы для их реализации. – М.: Изд-во МГУП, 2003. – С. 160-162.

50. Габбасов, И.М., Абдрахманов, Р.Ф., Батанов, В.Н. Влияние загрязнения нефтью и нефтепромысловыми сточными водами (НСВ) на влажно-луговые почвы // Геоэкология в Урало-Каспийском регионе (тезисы докладов) – Уфа. 1996. – С. 176-179

51. Габбасова, И.И. Агроэкологический подход в системе рекультивации нефтезагрязненных земель / И.И. Габбасова, Р.Н. Ситдилов, Р.Р. Сулейманов // Биологическая рекультивация нарушенных земель: материалы международного совещания. – Екатеринбург: УрО РАН, 2003. – С. 52-60

52. Галиулин, Р.В. Оценка вклада биологического фактора в самоочищение почвы от остатков пестицидов / Р.В. Галиулин, М.С. Соколов, Д.А. Мусикаев // *Агрохимия*. – 1987. – № 7. – С. 105-129.
53. Галиулин, Р.В. Ферментативная индикация загрязненных почв тяжелыми металлами / Р.В. Галиулин, Р.А. Галиулина // *Агрохимия*. – 2006. – № 11. – С. 84-95.
54. Галстян, А.Ш. Ферментативная активность почв Армении. – Ереван: Изд-во «Айастан», 1974. – 276 с.
55. Гебгардт, А.Г. Роль почвенных микроорганизмов как продуцентов витаминов в интенсификации протекания физиологических процессов в растениях / А.Г. Гебгардт, Н.М. Дацюк // *Микроорганизмы в сельском хозяйстве*. – М.: Изд-во МГУ, 1970. – С. 286-294.
56. Гельцер, Ю.Г. Изучение раковинных амёб (*Protozoa, Testacida*) в ненарушенных образцах почвы методом электронной сканирующей микроскопии / Ю.Г. Гельцер, А.А. Бобров // *Микроорганизмы как компонент биогеоценоза*. – М.: Наука, 1984. – С. 55-58.
57. Геннадиев, А.Н. Динамика загрязнения почв полициклическими ароматическими углеводородами и индикация состояния почвенных экосистем / А.Н. Геннадиев, И.С. Козин, Е.И. Шурубор, Т.А. Теплицкая // *Почвоведение*. – 1990. – № 10. – С. 75
58. Гилязов, М.Ю. Агроэкологическая характеристика и приемы рекультивации нефтезагрязненных черноземов Республики Татарстан / М.Ю. Гилязов, И.А. Гайсин. – Казань: Изд-во Фэн, 2003. – 227 с.
59. Гиляров, М.С. Жизнь в почве / М.С. Гиляров, Д.А. Криволуцкий. – М.: «Молодая гвардия», 1985. – 191 с. (а)
60. Гиляров, М.С. Зоологический метод диагностики почв. – М.: Наука, 1965. – 278 с.
61. Гиляров, М.С. Методы количественного учета почвенной фауны / М.С. Гиляров // *Почвоведение*. – 1941. – № 4. – С. 48-77.

62. Гиляров, М.С. Особенности почвы как среды обитания и ее значение в эволюции насекомых. – М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1949. – 270 с.
63. Гиляров, М.С. Почвенная фауна и жизнь почвы / М.С. Гиляров // Почвоведение. – 1939. – № 6. – С. 3-15.
64. Гиляров, М.С. Почвенная фауна и плодородие почвы / М.С. Гиляров // Труды конференции по вопросам почвенной микробиологии. – М.: Изд-во АН СССР, 1953. – С. 109-123.
65. Гиляров, М.С. Разложение растительных остатков в почве / М.С. Гиляров, Б.Р. Стриганова. – М.: Изд-во «Наука», 1985. – 144 с. (б)
66. Гиляров, М.С. Роль почвенных животных в формировании гумусового слоя почвы / М.С. Гиляров // Успехи современной биологии. – 1951. – Т. 31. – Вып. 2. – С. 162-169.
67. Гладков, Ю.А. Комплексная оценка адаптивного потенциала сельскохозяйственных культур / Ю.А. Гладков [и др.] // Плодородие. – 2006. – № 1. – С. 32-33.
68. Гомонова, Н.Ф. Оценка эффективности действия и последствий различных систем удобрений на основе комплексной характеристики показателей плодородия дерново-подзолистой почвы / Н.Ф. Гомонова, М.Ф. Овчинникова // Агрохимия в высших учебных заведениях России. – М.: Изд-во МГУ, 2004. – С. 324-331 (б).
69. Гомонова, Н.Ф. Устойчивость показателей плодородия дерново-подзолистых почв, созданного длительным применением агрохимических средств / Н.Ф. Гомонова // Агрохимия в высших учебных заведениях России. – М.: Изд-во МГУ, 2004. – С. 242-248 (а).
70. Горелова, Т.А. Особенности органического вещества торфяных, торфяно-глеевых и торфянисто-подзолисто-глеевых почв. Автореф. дис. ... канд.биол.наук. М.- 1982. 24 с.
71. Горелова, Т.А., Гумовская, Н.В. Вестн. МГУ. Сер. 17. Почвоведение. -1978. - № 2. – С. 38-45

72. ГОСТ 11306-83 Торф и продукты его переработки. Методы определения зольности (с Изменением N 1). - М.: Издательство стандартов, 1995. – 8 с.
73. ГОСТ 17.4.3.01-83 (СТ СЭВ 3847-82). Охрана природы. Почвы. Общие требования к отбору проб. – М.: Изд-во стандартов, 1983. – 5 с.
74. ГОСТ 26212-91 Почвы. Определение гидролитической кислотности по методу Каппена в модификации ЦИНАО. – М.: Изд-во стандартов, 1992. – 7 с.
75. ГОСТ 26488-85. Почвы. Определение нитратов по методу ЦИНАО. – М.: Изд-во стандартов, 1985. – 4 с.
76. ГОСТ 26489-85. Определение обменного аммония по методу ЦИНАО. - М.: Издательство стандартов, 1985. – 5 с.
77. ГОСТ 27753.3-88 Грунты тепличные. Метод определения pH водной суспензии. – М.: Изд-во стандартов, 1989. – 3 с.
78. ГОСТ 27821-88. Почвы. Определение суммы обменных оснований по методу Каппена. – М.: Изд-во стандартов, 1988. – 6 с.
79. ГОСТ 54653-2011. Удобрения органические. Методы микробиологического анализа. – М.: Стандартинформ, 2012. – 28 с.
80. ГОСТ Р 54039-2010. Качество почв. Экспресс-метод спектроскопии в ближней инфракрасной области для определения содержания нефтепродуктов. - М.: Стандартинформ, 2011. - 9 с.
81. ГОСТ Р 54650-2011 Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО. - М.: Стандартинформ, 2013. – 8 с.
82. ГОСТ Р ИСО 22030-2009. Качество почвы. Биологические методы. Хроническая фитотоксичность в отношении высших растений. – М.: Стандартинформ. – 2010. – 16 с.
83. Гузев, В.С. Техногенные изменения сообщества почвенных микроорганизмов [Текст] / В.С. Гузев, В.С. Левин // Перспективы развития

почвенной биологии: всерос. конф., 22 февр. 2001. – М.: МАКС Пресс, 2001. – С. 178–220.

84. Деградация и охрана почв / Под ред. Г.В. Добровольского. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 2002. – 665 с.

85. Дегтярева, И.А. Влияние различных доз извести на биологическую активность выщелоченного чернозема / И.А. Дегтярева, Е.И. Ломако, А.Х. Яппаров // Агрохимический вестник. – 2003. – № 4. – С. 24-26.

86. Демиденко, А.Я. Изучение питательного режима почв, загрязненных нефтью / А.Я. Демиденко, В.М. Демургджан, Л.Д. Шеянова // Агрохимия. – 1983. - №9. – С. 100

87. Демкина, Т.С. Динамика микробиологических параметров минерализации органического вещества в почвах / Т.С. Демкина, Л.М. Мироненко // Агрохимия. – 1991. – № 8. – С. 65-73.

88. Дмитриев, А.В. Влияние нефтеводосолевой эмульсии на свойства дерново-подзолистых суглинистых почв Среднего Предуралья и разработка научных основ их рекультивации : автореф. дис...канд. с.-х. наук : 06.01.03 / Дмитриев Алексей Валентинович. – Уфа, 2003. – 24 с.

89. Добровольская, Т.Г. Структура бактериальных сообществ почв. – М.: ИКЦ «Академ-книга», 2002. – 282 с.

90. Егоров, Н.С. Влияние продуктов метаболизма на характер популяционных взаимодействий в искусственных экосистемах / Н.С. Егоров, Н.С. Ландау // Экологическая роль микробных метаболитов. – М.: Изд-во МГУ, 1986. – С. 178-200.

91. Ежов, Г.И. Руководство к практическим занятиям по сельскохозяйственной микробиологии. – М.: Высшая школа, 1981. – 271 с.

92. Елин, Е.С. Биогеохимическая трансформация нефти – загрязнителя и болотного биогеоценоза при их взаимодействии / Е.С. Елин // Вестник экологии, лесоведения и ландшафтоведения. – Тюмень: Изд-во ИПОС СОРАН. - 2002. - № 3. – С. 153-166

93. Емцев, В.Т. Биология почв на новом этапе развития / В.Т. Емцев, А.А. Ванькова // Почвоведение. – 2007. – № 9. – С. 1147-1148.
94. Емцев, В.Т. Микробиология / В.Т. Емцев, Е.Н. Мишустин. – М.: Дрофа, 2006. – 444 с.
95. Емцев, В.Т. Микробиология / В.Т. Емцев, Е.Н. Мишустин. – М.: Издательство Юрайт, 2012. – 445 с.
96. Емцев, В.Т. Об эффективности азотфиксирующего ассоциативного симбиоза у небобовых растений / В.Т. Емцев, М.И. Чумаков // Почвоведение. – 1990. – № 11. – С. 116-125.
97. Ермилов, С.Г. Лабораторное культивирование орибатидных клещей надсемейства Орибатидных клещей Crotonioides (Acari, Oribatida) с целью изучения их развития. – Н.Новгород: Изд-во «Вектор ТиС», 2008. – 54 с.
98. Ефимова, В.Н. Торфяные почвы и их плодородие. – Л.: Агропромиздат. – 1986. – 264 с.
99. Ефимова, В.Н., Василькова, М.Г. К методам выделения гуминовых веществ из торфяных почв // Почвоведение. – 1970. - № 5. – С. 121 – 131.
100. Ефимова, В.Н., Лунина, М.Ф. Почвоведение – 1986. - № 7 – С. 79-87.
101. Ефимова, Т.Т. Почвоведение. – 1992. - № 2. – С. 25-34.
102. Заболотских В.В., Васильев А.В. Мониторинг токсического воздействия на окружающую среду с использованием методов биоиндикации и биотестирования: Монография / В.В. Заболотских, А.В. Васильев. – Самара: Издательство Самарского научного центра РАН, 2012. – 333 с.
103. Заварзин, Г.А. Введение в природоведческую микробиологию / Г.А. Заварзин, Н.Н. Колотилова. – М.: Книж. Дом «Университет», 2001. – 256 с.
104. Завьялова, Н.Е. Влияние минеральных удобрений и известкования на биологическую активность дерново-подзолистой почвы / Н.Е. Завьялова, Е.М. Митрофанова // Агрохимия. – 2008. – № 12. – С. 29-34.



- 105.Завьялова, Н.Е. Методические подходы к изучению гумусного состояния пахотных почв / Н.Е. Завьялова // Плодородие. – 2006. – № 1. – С. 11-15.
- 106.Захаров, Н.Г. Влияние обработки почвы на биологическую активность и питательный режим чернозема выщелоченного / Н.Г. Захаров // Агрохимический вестник. – 2011. – № 6. – С. 5-6.
- 107.Звягинцев, Д.Г. Почва и микроорганизмы / Д.Г. Звягинцев. М.: Изд-во МГУ. - 1987. - 236 с.
- 108.Звягинцев, Д.Г. Биология почв / Д.Г. Звягинцев, И.П. Бабьева, Г.М. Зенова. – М.: Изд-во МГУ, 2005. – 445 с.
- 109.Звягинцев, Д.Г. Биология почв / Д.Г. Звягинцев, И.П. Бабьева, Г.М. Зенова. – М.: Изд-во МГУ, 2005. – 445 с.
- 110.Звягинцев, Д.Г. Микробные сообщества и их функционирование в процессах деградации и самовосстановления почв / Д.Г. Звягинцев [и др.] // Деградация и охрана почв. – М.: Изд-во МГУ, 2002. – С. 401-454.
- 111.Звягинцев, Д.Г. Почва и микроорганизмы. – М.: Изд-во МГУ, 1987. – 256 с.
- 112.Зенкова, И.В. Пионерная фауна нефелин-содержащих пород / И.В. Зенкова, В.В. Калмыкова, А.А. Лисковая // Почвоведение. – 2009. – № 8. – С. 962-969.
- 113.Зенова, Г.М. Роль метаболитов во взаимодействиях микроорганизмов в ассоциациях природных экосистем / Г.М. Зенова // Экологическая роль микробных метаболитов. – М.: Изд-во МГУ, 1986. – С. 166-177.
- 114.Зинченко, М.К. Биологическая токсичность серой лесной почвы в зависимости от систем удобрений / М.К. Зинченко, О.В. Селицкая // Агрохимический вестник. – 2011. – № 5. – С. 38-40.
- 115.Зинченко, М.К. Экологическое состояние агроценозов серых лесных почв / М.К. Зинченко // Агрохимический вестник. – 2009. – № 4. – С. 15-18.

116.Зубец, А.Н. Эколого-агрохимические факторы устойчивости серой лесной почвы к подкислению в условиях юга Центрального Нечерноземья : автореф. дис...канд. биол. наук : 06.01.04, 03.00.16 / Зубец Александр Николаевич. – Москва, 2008. – 23 с.

117.Ибрагимова, С.Т. Биологическое диагностирование нефтезагрязненных почв месторождений Казахстана: автореферат дис. ... канд. биол. наук: 03.00.16 / Ибрагимова Самал Токмагамбетовна. – Алматы, 2009. – 18 с.

118.Ивлева, С.Н. Влияние органических токсикантов на ферментативную активность почвы / С.Н. Ивлева, Н.А. Шимко, А.Л. Ефремов // Почвоведение. – 1992. – № 3. – С. 133-138.

119.Изменение свойств дерново-подзолистой почвы и ее микробоценоза при интенсивном антропогенном воздействии / В.Г. Минеев [и др.] // Почвоведение. – 1999. – № 4. – С. 455-460.

120. Исмаилов, Н.М. Влияние нефтяного загрязнения на круговорот азота в почве / Н.М. Исмаилов // Микробиология. – 1983. Т.52. - № 6. – 1003

121. Исмаилов, Н.М. Нефтяное загрязнение и биологическая активность почв / Н.М. Исмаилов // Добыча полезных ископаемых и геохимия природных экосистем. – М.: Наука. - 1982. – С. 227

122. Исмаилова, Н.М. Микробиология и ферментативная активность нефтезагрязненных почвенных экосистем. – М.: Наука. - 1988. – С. 42

123.Кабиров, Т.Р. Использование многоуровневой системы индикации биологической активности почв для оценки эффективности методов биорекультивации нефтезагрязненных территорий: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.00.16, 03.00.23 / Кабиров Тагир Рустэмович. – Уфа, 2009. – 16 с.

124.Каверина, Н.В. Исследование содержания нефтепродуктов в почвах Воронежской области / Н.В. Каверина // Современные проблемы загрязнения почв. – М.: МГУ, 2004. – С. 212.

125.Казеев К.Ш., Колесников С.И., Вальков В.Ф. Биология почв Юга России Ростов н/Д: Изд-во РГУ, 2003. 204 с.

126. Казиахмедова, И.А. Методы биоиндикации в оценке состояния нефтезагрязненных земель / И.А. Казиахмедова // Окружающая среда и устойчивое развитие регионов: новые методы и технологии исследований. Том IV: Экологическая безопасность, инновации и устойчивое развитие. Образование для устойчивого развития; под ред. проф. Латыповой В.З. и доц. Яковлевой О.Г. – Казань: Изд-во «Отечество». - 2009. – С. 106-108

127.Камаев, И.О. Население почвенной мезофауны в экологических градиентах северной тайги Восточной Фенноскандии : автореф. дис...канд. биол. наук : 03.02.08 / Камаев Илья Олегович. – Москва, 2012. – 26 с.

128.Капин, Г.Ю. Влияние органических и минеральных удобрений на микроартропод пахотных почв / Г.Ю. Капин // Фауна и экология почвенных беспозвоночных Московской области. – М.: Наука, 1983. – С. 172-176.

129. Каралов, А.М. регулирование теплового режима нефтезагрязненных земель в условиях их биологической рекультивации / А.М. Каралов // VIII всесоюз. съезд почвоведов: тезисы докладов. Кн. 1. – Новосибирск. - 1989. – С. 37

130. Киреева, Н.А. Активность карбогидраз в нефтезагрязненных почвах / Н.А. Киреева, Е.И. Новоселова, Ф.Х. Хазиев // Почвоведение. – 1998. - № 12. – С. 1441

131. Киреева, Н.А. Активность каталазы и дегидрогеназы в почвах, загрязненных нефтью и нефтепродуктами / Н.А. Киреева, Е.И. Новоселова, Т.С. Онегова // Агрохимия. – 2002. - № 8. – С. 64

132.Киреева, Н.А. Биологическая активность загрязненных нефтью и рекультивируемых торфяно-глеевых почв Республики Коми / Н.А. Киреева [и др.] // Агрохимия. – 2008. – № 8. – С. 68-75.

133.Киреева, Н.А. Биологическая активность нефтезагрязненных почв / Н.А. Киреева, В.В. Водопьянов, А.М. Мифтахова. – Уфа: Гилем, 2001. –376 с.

134. Киреева, Н.А. Влияние загрязнения почв нефтью на физиологические показатели растений и ризосферную микробиоту / Н.А. Киреева, Е.И. Новоселова, А.С. Григориади // Агрохимия. – 2009. – № 7. – С. 71-80.
135. Киреева, Н.А. Детоксикация нефтешлама с использованием целлюлозосодержащих субстратов / Н.А. Киреева, Т.Р. Кабиров, А.С. Григориади, Т.С. Онегова // Вестник Башкирского университета. – 2008. – Т. 13, №1. – С. 47-51.
136. Киреева, Н.А. Комплексное биотестирование нефтезагрязненных почв / Н.А. Киреева, Т.Р. Кабиров, И.Е. Дубовик // Теоретическая и прикладная экология. – 2007. – № 1. – С. 65-69.
137. Киреева, Н.А. Фенолоксидазная активность нефтезагрязненных почв / Н.А. Киреева, Г.Ф. Ямалетдинова // Вестник Башкирского университета. – 2001. - № 1. – С. 48-51
138. Кириенко, О. А. , Иманова, Е. Л. Влияние загрязнения почвы нефтепродуктами на состав микробного сообщества. / О.А. Кириенко, Е.Л. Иманова // Вестник ТОГУ . - 2015. - № 3. – С. 79-86.
139. Классификация почв России 1997-2004-2008 гг. В.Д. Тонконогов, М.И. Герасимова, И.И. Лебедева. Почвенный институт им. В.В. Докучаева. Москва
140. Ковалев, Н.Г. Гумусовые вещества и соединения индивидуальной природы в питании растений / Н.Г. Ковалев, И.Н. Барановский // Плодородие. – 2003. – № 3. – С. 8-10.
141. Ковалева Е.И. Экологические аспекты антропогенного воздействия на земноводные ландшафты в районе нефтедобычи (Нижневартовский район ХМАО – Югры) / Е.И. Ковалева. А.С. Яковлев, С.А. Яковлев // Биодиагностика в экологической оценке почв и сопредельных сред: тезисы докладов международной конференции – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний. - 2013. – С. 96

142. Ковриго, В.П. Почвы Удмуртской республики: моногр. / В.П. Ковриго. Ижевск: РИО Ижевская ГСХА. - 2004. – 409 с.
143. Кожевин, П.А. Экологическая роль антибиотиков в почве / П.А. Кожевин, Л.С. Кожевина, Л.М. Полянская // Экологическая роль микробных метаболитов. – М.: Изд-во МГУ, 1986. – С. 57-65.
144. Козлов, К.С. Дождевые черви (*Lumbricus rubellus*) – биоиндикационный тест почв, загрязненных нефтью / К.С. Козлов // Всероссийская научно-техническая конференция «Наука и образование-2003»: материалы конференции. Ч.4. – Мурманск, 2003. – С. 92-94
145. Козловская, Л.С. Взаимодействие дождевых червей и почвенной микрофауны / Л.С. Козловская, Е. Н. Жданникова // Заболоченные леса и болота Сибири. – М.: Изд-во АН СССР, 1963. – С. 183-217.
146. Козловская, Л.С. Взаимодействие дождевых червей и почвенной микрофауны / Л.С. Козловская, Е. Н. Жданникова // Заболоченные леса и болота Сибири. – М.: Изд-во АН СССР, 1963. – С. 183-217.
147. Козловская, Л.С. Роль почвенных беспозвоночных в трансформации органического вещества в болотных почвах лесной зоны. – Л.: Наука, 1976. – 212 с.
148. Колесников, С.И. Биодиагностика экологического состояния почв, загрязненных нефтью и нефтепродуктами / С.И. Колесников, К. Ш. Казеев, В.Ф. Вальков, Д.К. Азнаурьян, М.Г. Жаркова. – Ростов н/Д: Изд-во ЗАО Ростиздат. – 2007. – 192 с.
149. Колесников, С.И. влияние загрязнения нефтью и нефтепродуктами на биологическое состояние чернозема обыкновенного / С.И. Колесников, К.Ш. Казеев, М.Л. Татосян, В.Ф. Вальков // Почвоведение. – 2006. - № 5. – С. 616
150. Колесников, С.И. Изменение комплекса почвенных микроорганизмов при загрязнении чернозема обыкновенного нефтью и нефтепродуктами / С.И. Колесников, К.Ш. Казеев, Н.В. Велигонова, Е.В. Патрушева, Д.К. Азнаурьян, В.Ф. Вальков // Агрохимия. –2009. -№ 12.– С. 44

151. Корчагин, А.А. Оценка систем удобрений, баланса питательных веществ и гумуса в полевых севооборотах адаптивно-ландшафтных систем земледелия / А.А. Корчагин, Н.И. Шушкевич, М.А. Мазиров // Агрохимический вестник. – 2010. – № 3. – С. 25-27.

152. Костина, Н.В. Изучение комплекса микроорганизмов, восстанавливающих закись азота в почвах / Н.В. Костина, А.Л. Степанов, М.М. Умаров // Почвоведение. – 1993. – № 12. – С. 72-76.

153. Кутровский, В.Н. Почвенный покров и плодородие опытных полей Московского НИИСХ «Немчиновка» / В.Н. Кутровский, Г.А. Гармаш. – Агрохимический вестник. – 2011. – № 5. – С. 3-5.

154. Кутузова, Р.С., Сирота, О.Б., Орлова, О.В., Воробьев, Н.И. Микробное сообщество и анализ почвенно-микробиологических процессов в дерново-подзолистой почве // Почвоведение. – 2001. - № 3. – С. 320-332

155. Лавреньева, Е.В. Ежедневная динамика целлюлазной активности в пахотном слое почвы в зависимости от обработки / Е.В. Лавреньева [и др.] // Почвоведение. – 2009. – № 8. – С. 952-961.

156. Лапина, Г.П. Физико-химические характеристики загрязнения окружающей среды при техногенных катастрофах (разлив нефти) / Г.П. Лапина, Н.М. Чернавская, М.Е. Литвиновский, С.В. Сазонова // Химическая и биологическая безопасность – 2007. - № 1 (31). – С. 24-32

157. Латыпова, В.З., Селивановская, С.Ю. Некоторые аспекты нормирования качества и утилизации осадков сточных вод. / В.З. Латыпова, С.Ю. Селивановская // Эколог, химия. 1999.-№2.-С. 121-132.

158. Леднев, А.В. Изменение свойств почв Среднего Предуралья под действием продуктов нефтедобычи и приемы их рекультивации / А.В. Леднев. – Ижевск : ФГОУ ВПО Ижевская ГСХА. – 2008. – 174 с. Леднев, А.В. Леднев, Н.А. Влияние механического техногенеза на морфологические признаки дерново-подзолистых почв // Аграрная наука Евро-Северо-Востока: научный журнал Северо-Восточного научно-методического центра Россельхозакадемии. – 2009. - № 1. – С. 63-68

159. Леднев, А.В. Леднев, Н.А. Действие удобрений на воспроизводство плодородия нарушенных дерново-подзолистых почв // Аграрная наука Северо-Востока: научный журнал Северо-Восточного научно-методического центра Россельхозакадемии. – 2008. - № 11. – С. 152- 155

160. Лисовицкая, О.В. Углеродное загрязнение почв в условиях комплексного техногенного воздействия: авторев. дис. ... канд. биол. наук: 03.00.27, 03.00.16 / Лисовицкая Ольга Вячеславовна. – Москва – 2008. – 28 с.

161. Лиханова, И.А. Характеристика растительности и почв, рекультивируемых песчаных пустышей Усинского нефтяного месторождения (Коми) / И.А. Лиханова, Ф.М. Хабибуллина, А.В. Кураков // Почвоведение. – 2008. – № 9. – С. 1101-1012.

162. Логинов, О.Н. и др. Биотехнологические методы очистки окружающей среды от техногенных загрязнений / под. ред. О.Н. Логинова, Н.Н. Силищева, Т.Ф. Бойко, Н.Н. Галимзяновой – Уфа: Гос-е изд-во научно-технической литературы «Реактив» - 2000. – 100 с.

163. Лысак, В.В. Микробиология. Практикум: пособие / В.В. Лысак, Р.А. Желдакова, О.В. Фомина. – Минск: БГУ. – 2015. – 115 с.

164. Лыткин, И.И. Интегрированная диагностика плодородия торфяных почв : авторев. дис...докт. с.-х. наук : 06.01.03 / Лыткин Иван Иванович. – Москва, 2005. – 50 с.

165. Малинина, М.С. Влияние растений и микробной активности на содержание металлов в почвенных растворах дерново-подзолистой почвы в условиях модельного эксперимента / М.С. Малинина, Даис Махер Али, Т.Н. Большеева // Почвоведение. – 2011. – № 3. – С. 336-345.

166. Марфенина, О.Е. Микробиологические аспекты охраны почв. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1991. – 120 с.

167. Матаруева, И.А. Микробиологические закономерности формирования гумусных запасов дерново-подзолистых почв. – Кострома: КГСХА, 2005. – 190 с.

168.Махонина, Г.И. Экологические аспекты почвообразования в техногенных экосистемах Урала / Г.И. Махонина. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2003. – 356 с.

169.Медведева, Е.И. Динамика восстановления нефтезагрязненных почв в условиях Среднего Поволжья / Е.И. Медведева // XII Пущинская школа-конференция молодых ученых «Биология – наука XXI века»: сборник тезисов. – Пущино, 2003 – С. 97.

170.Мергель, А.А. Влияние концентрированного очага азотных удобрений на азотный режим и ферментативную активность серой лесной почвы / А.А. Мергель, В.М. Семенов, О.А. Соколов // Почвоведение. – 1987. – № 12. – С. 55-63.

171.Микроорганизмы и органическое вещество почв / Под ред. М.М. Кононовой. – М.: Изд-во Акад. Наук СССР, 1961. – 292 с.

172.Минеев, В.Г. Агрохимия, биология и экология почвы / В.Г. Минеев, Е.Х. Ремпе. – М.: Росагропромиздат, 1990. – 206 с.

173.Минеев, В.Г. Агрохимия. – М.: Изд-во МГУ, «КолосС», 2004.–720 с.

174.Минеев, В.Г. Влияние длительного применения средств химизации на агрохимические и микробиологические свойства дерново-подзолистой почвы / В.Г. Минеев [и др.] // Агрохимия. – 1998. – № 5. – С. 5-12.

175.Минеев, В.Г. Плодородие и биопродуктивность почвы при длительном действии и последствии агрохимических средств / В.Г. Минеев, Н.Ф. Гомонова, М.Ф. Овчинникова // Плодородие. – 2006. – № 4. – С. 12-13. (а)

176.Минеев, В.Г. Решение проблем агрохимии в географической сети опытов с удобрениями / В.Г. Минеев // Плодородие. – 2006. – № 5. – С. 7-9. (б)

177.Мирчинк, Т.Г. Почвенная микология. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1988. – 221 с.



- 178.Мирчинк, Т.Г. Фитотоксины почвенных сапрофитных грибов / Т.Г. Мирчинк, Ф.Г. Бондаревская // Микроорганизмы в сельском хозяйстве. – М.: Изд-во МГУ, 1970. – С. 312-323.
- 179.Михеева, В.Л. Структура сообществ панцирных клещей (*Sarcoptiformes, Oribatei*) в естественных и загрязненных нефтью почвах Среднего Приобья : автореф. дис...канд. биол. наук: 03.00.16 / Михеева Виктория Львовна. – Сургут, 2009. – 19 с.
- 180.Мишустин, Е.Н. Ассоциации почвенных микроорганизмов. – М.: Наука, 1975. – 108 с.
- 181.Мишустин, Е.Н. Микроорганизмы и продуктивность земледелия. – М.: Наука, 1972. – 344 с.
- 182.Мишустин, Е.Н. Микроорганизмы и самоочищение почвы / Е.Н. Мишустин, М.И. Перцовская. – М.: Изд-во Акад. наук СССР, 1954. – 652 с.
- 183.Морозов, А.Е. Экологические аспекты биорекультивации серой лесной почвы, загрязненной нефтью и нефтепродуктами : автореф. дис...канд. биол. наук : 03.00.16 / Морозов Алексей Евгеньевич. – Москва, 2004. – 23 с.
- 184.Муравьев А.Г. Оценка экологического состояния природно-антропогенного комплекса. / А.Г Муравьев // Учебно-методическое пособие. Изд. 2-е. перераб. и дополн. СПб.: "Крисмас+", 2000. - 118 с.
- 185.Муха, В.Д. Агропочвоведение / В.Д. Муха, Н.И. Картамышев, Д.В. Муха. – М.: КолосС, 2003. – 528 с.
- 186.Муха, В.Д. Естественно-антропогенная эволюция почв (общие закономерности и зональные особенности). – М.: КолосС, 2004. – 271 с.
- 187.Муха, В.Д. Закономерность повышения эффективного плодородия почв под действием кальцийсодержащих соединений и органических веществ (диплом № 177) / В.Д. Муха // Научные открытия (сборник кратких описаний научных открытий, научных идей, научных гипотез). – М.: РАЕН, 2001. – С. 42-43.

188.Муха, В.Д. Закономерность эволюции почвообразования в антропогенных условиях (диплом № 196) / В.Д. Муха // Научные открытия (сборник кратких описаний научных открытий, научных идей, научных гипотез). – М.: РАЕН, 2002. – С. 18-20.

189.Муха, В.Д. Изменение физико-химических свойств чернозема типичного при его длительном сельскохозяйственном использовании / В.Д. Муха, В.И. Лазарев // Агрохимия. – 2003. – № 1. – С. 5-7.

190.Муха, В.Д. Общие закономерности и зональные особенности изменения почв главных генетических типов под воздействием сельскохозяйственной культуры : автореф. дис...докт. с.-х. наук : 03.00.27 / Муха Владимир Дмитриевич. – Харьков, 1979. – 36 с.

191.Муха, В.Д. Основные характеристики культурной эволюции почв / В.Д. Муха // Естественная и антропогенная эволюция почв. – Пущино, 1988. – С. 100-107

192.Муха, Д.В. Плодородие почв и социально-экологические системы : автореф. дис...докт. с.-х. наук : 06.01.15 / Муха Дмитрий Владимирович. – Москва, 1997. – 39 с.

193.Мухаматдинова, А.Р. Изучение ферментативной активности почв, загрязненных нефтяными углеводородами / А.Р. Мухаматдинова, А.М. Сафаров, А.Т. Магасумова, Т.П. Смирнова // Биодиагностика в экологической оценке почв и сопредельных сред: тезисы докладов международной конференции. – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2013. – С. 149.

194.Мэгарран, Э. Экологическое разнообразие и его измерение / Э. Мэгарран; Пер. с англ. Н. В. Матвеевой; Под ред. Ю. И. Чернова. - М. : Мир, 1992. - 181 с.

195.Назарова, А.В. Влияние нефтяного загрязнения на бактерии дерново-подзолистой почвы / А.В. Назаров [и др.] // Почвоведение. – 2010. – № 12. – С. 1489-1493.

- 196.Новиков Ю. В Кузьминском лесопарке // Лес и человек, М., 1974, С. 123-124.
- 197.Новицкий, М.В., Донских, И.Н., Чернов, Д.В. и др. Лабораторно-практические занятия по почвоведению / Под общ. ред. проф. М.В. Новицкого. - СПб.: Изд-во Проспект Науки, 2009. - 320 с.
- 198.Новоселова, Е.И. Экологически безопасный метод ускорения трансформации нефти в почвах / Е.И. Новоселова, Н.А. Киреева // Окружающая среда и устойчивое развитие регионов: новые методы и технологии исследований. Том IV: Экологическая безопасность, инновации и устойчивое развитие. Образование для устойчивого развития; под ред. проф. Латыповой В.З. и доц. Яковлевой О.Г. – Казань: Изд-во «Отечество», 2009. – С. 189-191.
199. Новоселова, Е.И. Экологические аспекты трансформации ферментного пула почвы при нефтяном загрязнении и рекультивации: автореф. дис. ... докт. Биол. наук: 03.00.27; 03.00.16 / Новоселова Евдокия Ивановна. – Уфа. – 2008. – 45 с.
200. Орлов, Д.С., Бирюва, О.Н., Суханова, Н.И. Органическое вещество почв Российской Федерации. М.: Наука. – 1996. – 256 с.
201. Оценка воздействия на окружающую среду. Пособие для практиков / Ю.Л. Максименко, И.Д. Горкина. Издательство РЭФИА. Москва. – 1996. - 68 с.
- 202.Оценка экологических последствий применения химических средств защиты растений / В.Г. Минеев [и др.] // Почвоведение. – 1992. – № 12. – С. 61-70.
- 203.Павлова, О.Ю. Изменение показателей почвенного плодородия и гумусное состояние окультуренной дерново-подзолистой глееватой песчаной почвы при ослаблении и прекращении активного антропогенного воздействия : автореф. дис...канд. с.-х. наук : 03.00.27 / Павлова Ольга Юрьевна. – Пушкин, 2004. – 22 с.

204.Панасов, М.Н. Обеспечение бездефицитного баланса гумуса в Заволжье / М.Н. Панасов // Плодородие. – 2002. – № 3. – С. 31.

205.Паносян, А.К. Влияние метаболитов некоторых почвенных микроорганизмов на рост и развитие растений / А.К. Паносян, З.В. Маршавина, Р.Ш. Арутюнян // Микроорганизмы и эффективное плодородие почвы. – М.: Изд-во Акад. наук СССР, 1961. – Вып. XI. – С. 275-283.

206. Пермитина, В.Н. Трансформация почвенного покрова нефтегазовых месторождений Восточного Прикаспия / В.Н. Пермитина, Л.А. Димеева // Биологическая рекультивация нарушенных земель: материалы международного совещания. – Екатеринбург: УрО РАН. – 2003. – С. 383-392

207.Пивоваров, Г.Е. Биологическая активность дерново-среднеподзолистой почвы при длительном применении минеральных удобрений и извести / Г.Е. Пивоваров, Н.Ф. Гомонова, Г.М. Ширская // Агрохимия. – 1985. – № 1. – С. 77-85.

208. Пиковский, Ю.И. Природные и техногенные потоки углеводов в окружающей среде. – М.: Изд-во МГУ. – 1993. – 208 с.

209. Пиковский, Ю.И. Трансформация техногенных потоков нефти в почвенных экосистемах / Ю.И. Пиковский // Восстановление нефтезагрязненных почвенных экосистем. – М.: Наука, 1988. – С. 7-22

210.ПНД Ф 16.1.41-04. Количественный химический анализ почв. Методика выполнения измерений массовой концентрации нефтепродуктов в пробах почв гравиметрическим методом. – М.: Изд-во стандартов, 2004.-13 с.

211.ПНД Ф 16.1:2.2.22-98. Количественный химический анализ почв. Методика выполнения измерений массовой доли нефтепродуктов в минеральных, органогенных, органоминеральных почвах и донных отложениях методом ИК-спектроскопии. – М.: Изд-во стандартов, 1998 – 19 с.

212.ПНД Ф Т 14.1:2:3:4.11-04. Токсикологические методы контроля. Методика определения интегральной токсичности поверхностных, в том числе морских, грунтовых, питьевых, сточных вод, водных экстрактов почв,

отходов, осадков сточных вод по изменению интенсивности бактериальной биолюминесценции тест-системой "ЭКОЛЮМ". – М.: ФБУ «ФЦАО», 2004. – 26 с.

213.Полуэктов, Е. В. Сток талых вод с различной по степени уплотненности / Е.В. Полуэктов // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. –2015. - № 3. – С. 139–149.

214.Полянская, Л.А. Значение витаминов во взаимоотношениях растений и почвенных микроорганизмов / Л.А. Полянская, А.К. Носов, К.Е. Овчаров // Микроорганизмы в сельском хозяйстве. – М.: Изд-во МГУ, 1963. – С. 83-94.

215.Пономарева, С.И. Влияние жизнедеятельности дождевых червей на создание устойчивой структуры дерново-подзолистой почвы / С.И. Пономарева // Труды Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. – М.: Изд-во АН СССР, 1953. – Т. 41. – С. 304-378.

216.Порядок определения размеров ущерба от загрязнения земель химическими веществами. (Методические указания) Утв. Минприроды России 18.11.93, Роскомземом, 1993

217.Рогозина, Е.А. Некоторые теоретические аспекты восстановления нефтезагрязненных почвенных экосистем [Электронный ресурс] / Е.А. Рогозина, В.К. Шиманский // Нефтегазовая геология. Теория и практика. Т.2. – 2007. – Режим доступа: <http://www.ngtp.ru/rub/7/012.pdf>

218.Саламатова Татьяна Викторовна Повышение эффективности разработки месторождений высоковязких и тяжелых нефтей с целью обеспечения промышленной и экологической безопасности: на примере ОАО «Удмуртнефть» / УдГУ. Ижевск. – 2002. дис. ... канд. технич. наук

219. Салангинас, Л.А. Итоги работы ЗАО НПС Элита – Комплекс с 1996 по 2001 гг. по восстановлению нефтезагрязненных земель / Л.А. Салангинас, А.Н. Сатубалдин // Биологическая рекультивация нарушенных земель: материалы международного совещания. – Екатеринбург: УрО РАН – 2003. – с. 201 -203 (b)

220. Салангинас, Л.А. Оценка эффективности применения сидеральных культур в биорекультивации загрязненных нефтью земель / Л.А. Салангинас // Биологическая рекультивация нарушенных земель: материалы международного совещания. – Екатеринбург: УрО РАН – 2003. – С. 193-195 (a)

221. Самедов П. А. Биоиндикация нефтезагрязненных серо-бурых почв Апшерона. // Современные проблемы биоиндикации и биомониторинга: Тез. докл. XI международного симпозиума по биоиндикаторам.- Сыктывкар, 2001. -С.8.

222. Свистова, И. Д. Микромицеты чернозема продуценты целлюлолитических ферментов / И.Д. Свистова; Под ред. А.П. Щербакова - Воронеж: Изд-во ВГУ, 2003. -152 с.

223. Серонян, Т.А. Экология производства / Т.А. Серонян // Торфяные болота. – 2017. - № 3

224. Ситдинов Рустем Наилевич Влияние нефтепромысловых поллютантов и рекультивации на агрофизические свойства почв Приуралья Республики Башкортостан . Уфа. – 2002. дисс. ... канд. с./х. наук

225. Соколов, А.В. Вегетационный методы / А.В. Соколов // Агрохимические исследования почв. – М.: Наука, 1975. – С. 585-604.

226. Солнцева, Н.П. Добыча нефти и геохимия природных ландшафтов. – М.: Изд-во МГУ. – 1998. – 376 с.

227. Солнцева, Н.П. Общие закономерности трансформации почв в районах добычи нефти (формы проявления, основные процессы, модели) / Н.П. Солнцева // Восстановление нефтезагрязненных почвенных экосистем. – М.: Наука. – 1988. – С. 23-42

228. Стимуляция активности микроорганизмов нефтезагрязненных почв гуминовыми препаратами / А.А. Иванов [и др.] // Почвоведение. – 2010. – № 2. – С. 229-234.

229. Стриганова, Б.Р. Питание почвенных сапрофагов. – М.: Наука, 1980. – 244 с.

230. Сулейманов, Р.Р. Ферментативная активность и агрохимические свойства лугово-аллювиальной почвы в условиях нефтяного загрязнения / Р.Р. Сулейманов, Т.А. Абдрахманов, З.А. Жаббаров, Л.Т. Турсунов // Известия Самарского научного центра РАН – 2008. – Т.10. - № 2. – С.294-298
231. Сулейманов, Р.Р. Ферментативная активность и агрохимические свойства лугово-аллювиальной почвы в условиях нефтяного загрязнения / Р.Р. Сулейманов, Т.А. Абдрахманов, З.А. Жаббаров, Л.Т. Турсунов // Известия Самарского научного центра РАН. – 2008. – Т.10, №2. – С. 294-298.
232. Сухов, И.В. Современное состояние органического вещества верховых торфяников Западной Сибири в условиях нефтяного загрязнения / И.В. Сухов, Л.К. Садовникова, С.Я. Трофимов // Сохраним планету Земля: сборник докладов международного экологического форума. – СПб.: Центральные музеи почвоведения им. В.В. Докучаева. – 2004. – С. 188-191
233. Теппер, Е.З. Микроорганизмы рода *Nocardia* и разложение гумуса / Е.З. Теппер // Агрохимия. – 1981. – № 5. – С. 156-157.
234. Титова, В.И. Агро- и биохимические методы исследования состояния экосистем: учеб. пособие для вузов / В.И. Титова, Е.В. Дабахова, М.В. Дабахов; Нижегородская гос. с.-х. академия. – Н. Новгород: Изд.-во ВВАГС, 2011. – 170 с.
235. Трофимов, С.Я. Влияние нефти на почвенных покров и проблема создания нормативной базы по влиянию нефтезагрязнения на почвы / С.Я. Трофимов, Я.М. Аммосова, Д.С. Орлов, Н.Н. Осипова, Н.И. Суханова // Вестник Московского университета. Сер. 17. - Почвоведение. – 2000. - № 2. – С. 30
236. Трофимов, С.Я. Изменение свойств почв под влиянием нефтяного загрязнения / С.Я. Трофимов, М.С. Розанова // Деградация и охрана почв. – М.: Изд-во МГУ. – 2002. – С. 359-373
237. Туев, Н.А. Микробиологические процессы гумусообразования. – М.: Агропромиздат, 1989. – 239 с.

238. Убугунова, В.И. Мезофауна почв Иволгинской котловины (Западное Забайкалье) / В.И. Убугунова [и др.] // Почвоведение. – 2007. – № 8. – С. 968-977.

239. Устинов, М.Т. Мониторинг территорий нефтегазовых промыслов методом почвотестирования / М.Т. Устинов, В.А. Казанцев, Т.Н. Елизарова, Л.А. Магаева, М.В. Якутин // Исследования эколого-географических проблем природопользования для обеспечения территориальной организации и устойчивости развития нефтегазовых регионов России: Теория, методы и практика – Нижневартовск: НГПИ, ХМРО РАЕН, ИОА СО РАН – 2000. – С. 197-199

240. Фарахова, И.З. Агрохимические свойства и приемы рекультивации нефтезагрязненных серых лесных почв Предкамья Республики Татарстан: автореф. дисс. ... канд. с./х. наук: 06.01.04. / Фарахова Ильясия Закариевна – Казань. – 2009. – 25 с.

241. Физика и химия торфа. Учебное пособие // Лиштван И.И., Базин Е.Т. и др. М.: Недра. – 1989. – 304 с.

242. Фокин, Д.В. Участие микроорганизмов в трансформации гумуса почв Д.В. Фокин, Л.М. Дмитраков, О.А. Соколов // Агрохимия. – 1999. – № 9. – С. 79-90.

243. Фомина, А.С. Изменение свойств дерново-подзолистых песчаных почв при прекращении антропогенного воздействия: автореф. дис...канд. с.-х. наук : 03.00.27 / Фомина Анна Сергеевна. – Пушкин, 2005. – 18 с.

244. ФР.1.39.2007. 03222. Биологические методы контроля. Методика определения токсичности воды и водных вытяжек из почв, осадков сточных вод, отходов по смертности и изменению плодovitости дафний. – М.: Акварос, 2007. – 30 с.

245. ФР.1.39.2015.19243. Методика определения токсичности проб почв, донных отложений и осадков сточных вод экспресс-методом с применением прибора серии «Биотестер». - С-Петербург, ООО «СПЕКТР-М», 2015. - 19 с.



246. Хабиров, И.К., Асымбаев, И.Г., Якупов, И.Ж. и др. Оценка степени химического загрязнения почвенного покрова экосистем Южного Урала // Вестник ОГУ. – 2009. - № 6. – С. 402-408
247. Хазиев, Ф.В. Методы почвенной энзимологии / Ф.В. Хазиев. – М.: Наука. – 2005. – 252 с.
248. Хазиев, Ф.Х. Влияние нефтепродуктов на биологическую активность почв / Ф.Х. Хазиев, Е.И. Тишкина, Н.А. Киреева // Биол.науки. – 1988 а. - № 10. – С. 93
249. Хазиев, Ф.Х. Влияние нефтяного загрязнения на некоторые компоненты агроэкосистемы / Ф.Х. Хазиев, Е.И. Тишкика, Н.А. Киреева, Г.Г. Кузяхметов // Агрохимия. – 1988 б. - № 2. – С. 56
250. Халимов, Э.М. Экологические и микробиологические аспекты повреждающего действия нефти на свойства почвы / Э.М. Халимов, С.В. Левин, В.С. Гузев // Вестник МГУ. – Сер. 17. – Почвоведение. – 1996. - № 2. – С. 59
251. Химия нефти и газа / Батуева И.Ю., Гайле А.А. Локонова Ю.В. и др. – Л.: Химия. – 1984. – 360 с.
252. Худяков, Я.П. Периодичность микробиологических процессов в почве и ее причины / Я.П. Худяков // Вопросы численности, биомассы и продуктивности почвенных микроорганизмов. – Л.: Наука, 1972. – С. 20-37
253. Чернова, Н.М. Общие особенности структуры населения ногохвосток лесных почв / Н.М. Чернова, Н.А. Кузнецова // Экология микроартропод лесных почв. – М.: Наука, 1988. – С. 5-24.
254. Чернова, Н.М. Экологические сукцессии при разложении растительных остатков. – М.: Наука, 1977. – 277 с.
255. Чибрик, Т.С. Формирование фитоценозов на нарушенных промышленностью землях (биологическая рекультивация) / Т.С. Чибрик, Ю.А. Елькин. – Свердловск: Изд-во Урал. ун-та, 1991. – 220 с.
256. Чижов, Б.Е. Особенности нефтяного загрязнения территории Ханты-Мансийского автономного округа / Б.Е. Чижов, В.А. Домингер, А.И.

Захаров // Вестник экологии, лесоведения и ландшафтоведения. – Тюмень: Изд-во ИПОС СО РАН – 2007. - № 8. – С. 15-21

257. Чистяков, М.П. Фауна оribатидных клещей выработанных торфяников в Балахнинской низменности Горьковской области / М.П. Чистяков // Ученые записки Горьковского пед. института. – 1972. – Вып. 130. – С. 79-85.

258. Шагабиева, Ю.З. Биодеструкция высоковязкой нефти в загрязненной почве / Ю.З. Шагабиева, Л.И. Сваровская, Д.А. Филатов // Биодиагностика в экологической оценке почв и сопредельных сред: тезисы докладов международной конференции. – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2013. – С. 240.

259. Шагидуллин Р.Р. Методические подходы к нормированию содержания нефти и продуктов ее трансформации в почвах / Р.Р. Шагидуллин, А.М. Петров, Д.В. Иванов, О.Ю. Тарасов, Р.А. Шагидуллина, М.А. Буфатина // Экология и промышленность России. - 2011. - № 6. - С. 24-28

260. Шагидуллин Р.Р. Нормирование допустимого остаточного содержания нефти и продуктов ее трансформации в почвах / Р.Р. Шагидуллин, В.З. Латыпова, Д.В. Иванов, Р.А. Шагидуллина, О.Ю. Тарасов, А.М. Петров // Георесурсы. - 2011. - № 5 (41). - С. 2-5

261. Шакиров, Р.С. Адаптивные системы удобрений в севооборотах лесостепи Поволжья : автореф. дис...докт. с.-х. наук : 06.01.04, 06.01.01 / Шакиров Рафиль Сабинович. – Казань, 2001. – 50 с.

262. Шилова, И.И. Биологическая рекультивация нефтезагрязненных земель в условиях таежной зоны / И.И. Шилова // Восстановление нефтезагрязненных почвенных экосистем. М.: Наука. – 1988. – С. 159

263. Шильников, И.А. Значение известкования и потребность в известковых удобрениях / И.А. Шильников, Н.И. Аканова, В.Н. Темников // Агрохимический вестник. – 2008. – № 6. – С. 28-31. (а)

264. Шильников, И.А. Известкование как фактор урожайности и почвенного плодородия / И.А. Шильников, В.Г. Сычев. – М.: ВНИИА, 2008. – 344 с. (б)
265. Шильников, И.А. Известкование почв / И.А. Шильников, Л.А. Лебедева. – М.: Агропроиздат, 1987. – 167 с.
266. Шильников, И.А. Перспективы химической мелиорации кислых почв / И.А. Шильников, Н.И. Аканова / Плодородие. – 2006. – № 4. – С. 2-3.
267. Шильников, И.А. Плодородие почвы в зависимости от известкования и применения удобрений / И.А. Шильников, Л.С. Федотова, И.А. Богачев // Плодородие. – 2003. – № 2. – С. 38-40.
268. Шумилова, И.Б. Возможные пути борьбы с последствиями разливов нефтепродуктов / И.Б. Шумилова, Н.Г. Максимович, С.М. Блинов, Л.Н. Кузнецов // Геология, разработка, бурение и эксплуатация нефтяных месторождений Пермского Прикамья. Вып.2: сб.науч.трудов - Пермь. – 1999 – С. 240-249
269. Щапова Л.Н. О влиянии режимов увлажнения на микрофлору буротаежных и бурых лесных почв Приморья. В кн.: Водоохраннозащитное значение леса. Владивосток, 1974. С. 150-151.
270. Щапова, Л.Н. Влияние удобрений и извести на микробиологическую активность почвы / Л.Н. Щапова // Агрохимия. – 2005. – № 12. – С. 11-21.
271. Щемелинина, Т.Н. Биологическая активность нефтезагрязненных почв крайнего севера на разных стадиях их восстановления и при рекультивации (на примере Усинского района Республики Коми): автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.00.27, 03.00.16 / Щемелинина Татьяна Николаевна. – Воронеж, 2008. – 24 с
272. Щемелинина, Т.Н. Липазная активность в качестве диагностического критерия оценки нефтезагрязнения почв / Т.Н. Щемелинина // Вестник Института биологии. – 2011. – №10-11. – С. 40-41.

273. Яблонских, Л.А. Особенности состава органического вещества аллювиальных болотных почв // Вестник ВГУ / Серия химия, биология. – 2001. - № 2. – С. 178-181
274. Яковлева, Е.В. Микробиологическая активность почв, загрязненных бенз(а)пиреном / Е.В. Яковлева [и др.] // Агрохимия. – 2010. – № 11. – С. 63-69.
275. An, Y.H. Mechanisms of bacterial adhesion and pathogenesis of implant and tissue infections / Y.H. An, R.B. Dickinson, R.J. Doyle // Handbook of bacterial adhesion: principles, methods, and applications. – 2000. – P. 1-27.
276. Andrews, S.S. The soil management assessment framework: a quantitative soil quality evaluation method / S.S. Andrews, D.L. Karlen, C.A. Cambardella // Soil Sci. Soc, Am, J. – 2004. – № 68. – P. 1945-1962.
277. Arshad, M.A. Identifying critical limits for soil quality indicators in agro-ecosystems / M.A. Arshad, S. Martin // Agriculture, Ecosystems and Environment. – 2002. – № 88. – P. 153-160.
278. Aysen, A. Problem solving in soil mechanics. – L: Balkema Publishers, 2003. – 183 p.
279. Bell, M.C. Soil property indices for assessing short-term changes in soil quality / M.C. Bell, C.W. Raczowski // Agriculture and Food Systems. – 2008. – № 23. – P. 70-79.
280. Bollag, J.-M. Soil biochemistry / J.-M. Bollag, G. Stotzky. – CRC Press: 1991, 432 c.
281. Botkin, D.B. Causality and succession / D.B. Botkin // Forest succession. Concepts and applications. – N.Y.: Springer-Verlag, 1981. – P. 36-55.
282. Bouma, J., Land, quality indicators of sustainable land management across scales / J. Bouma // Agriculture, Ecosystems and Environment. – 2002. – № 88. – P. 129-136.
283. Burghal A.A., Mahdi K.H., Al-Mudaffar N.A. Isolation and identification of actinomycetes strains oil refinery contaminated soil, Basrah-Iraq //

International Journal of Innovations in Engineering and Technology. 2015. V.2. P. 20-27.

284. Carpentier, B. Biofilms and their consequences, with particular reference to hygiene in the food industry / B. Carpentier, O. Cerf // J. Application Bacteriology. – 1993. – P. 499-511.

285. Dunger, W. Die Bedeutung der Bodenfauna für die Streuzersetzung / W. Dunger // Bedeutung und Möglichkeiten der Faunistik und Ökologie für Landschaftspflege und Naturschutz. – 1964. – № 60. – S. 99-114.

286. Evans, F.F. Impact of oil contamination and biostimulation on the diversity of indigenous bacterial communities in soil microcosms Text. / Evans F.F. Rosado A.S., Sebastian G.V., Casella R. // FEMS Microbiology Ecology 2004. – V. 49. P. 295-305

287. Frankenberger, W.T. Influence of crude oil and refined petroleum products on soil dehydrogenase activity / W.T. Frankenberger, Jr. Johanson, J.B. Johanson // J. Environ. Qual. – 1982. – V.11. – N4. – P. 602

288. Hoffman, G. Verteilung und Herkunft einiger Enzyme im Boden / G. Hoffman // Düng, Bodenkunde: Z. Pflanzenernähr, 1959. – S. 174-179.

289. Mobaiyen H., Sedegbayan K., Dehnad A., Naseri A-H., Ahmad por F., Shahla N.M. Studi on liquid paraffin decomposer microorganisms isolated from soils of Julfa-Iran // African Journal of Microbiology Research. 2013. V. 7(1). P. 260-265.

290. Naglitsch, F. Isotomodes armatus / F. Naglitsch, Z. Wiss // Leipzig, Reihe: Karl-Marx-Univ, 1962. – № 3. – S. 11.

291. Naglitsch, F. Zur Fragen des biogenen Abbaues von Stroh unter kontrollierten Versuchsbedingungen / F. Naglitsch, D. Grabert // Pedobiologia. – 1968. – Bd. 7. – S. 353-361.

292. Popa A. Inductia enzimatica in solca lest ecotoxicolog – ie pentru poluanti anorganici si organicill stud. Univ. Babes – Bolyai. Biol. – 2000 – V I. – N45 – P. 128-138

293. Seybold C.A., Herrick J. E., Brejda J.J. Soil resilience a fundamental component of soil quality // Soil Science. – 1999. – N 164 – P. 224-234
294. Soil biochemical indicators as a tool to assess the short-term impact of agricultural management on changes in organic C in a Mediterranean environment / A. Lagomarsino, M.C. Moscatelli, A. Di Tizio, R. Mancinelli, S. Grego, S. Maiinari // Ecological indicators. – 2009. – № 9. – P. 518-527.
295. Szabolcs I. Salt-affected soils. Florida: CRC Press. – 1989 – 274 p.
296. Wilke B.-M., Koch G. Combination effects of selected PAHs; PCBs and heavy metals on bacteria and dehydrogenase activity of sewage farm soils // Res. 16 Coner. Mondial Sci. Motpellier – 1998 – V.2 – P. 685.