

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Институт наук о Земле

Кафедра почвоведения и экологии почв

Шамарина Екатерина Сергеевна

Влияние загрязнения дизельным топливом на физические свойства почв

Выпускная квалификационная работа бакалавра

«К ЗАЩИТЕ»

Научный руководитель:
к.б.н., доцент Н. Н. Федорова

_____2016
«___»_____2016

Заведующий кафедрой:
д.с.-х.н., проф. Б. Ф. Апарин

_____2016
«___»_____2016

Санкт-Петербург

2016

Содержание

Введение.....	4
Глава 1. Современные представления о загрязнении почв нефтью и нефтепродуктами.....	6
1.1. Общая характеристика нефти и дизельного топлива.....	6
1.2. Трансформация и распределение нефти по почвенному профилю.....	9
1.3. Влияние нефтезагрязнений на морфологию почв.....	11
1.4. Влияние нефтезагрязнений на агрохимические свойства почв.....	12
1.5. Влияние нефтезагрязнений на физические свойства почв.....	14
1.6. Влияние нефтезагрязнений на биологические показатели почв.....	16
1.7. Рекультивация нефтезагрязнённых почв.....	18
Глава 2. Характеристика объекта исследований.....	21
2.1 Краткая характеристика природных условий.....	21
2.1.1 Климат.....	21
2.1.2 Рельеф.....	22
2.1.3 Почвообразующие породы.....	22
2.1.4 Растительность.....	23
2.2. Краткая характеристика почв.....	24
2.3. Краткая характеристика дизельного топлива.....	25
Глава 3. Методы исследований.....	27
Глава 4. Результаты исследований и их обсуждение.....	29
4.1. Сравнительная характеристика исследуемых почв.....	29
4.2. Определение уровня и глубины загрязнения.....	33
4.3. Влияние загрязнения дизельным топливом на гидрофизические свойства почв.....	35
4.3.1. Влияние загрязнения дизельным топливом на влажность монослоя.....	35
4.3.2. Влияние загрязнения дизельным топливом на удельную поверхность.....	37
4.3.3. Влияние загрязнения дизельным топливом на максимальную гигроскопичность.....	38
4.3.4. Влияние загрязнения дизельным топливом на влажность завядания.....	39

4.3.5. Влияние загрязнения дизельным топливом на влажность разрыва капиллярных связей.....	39
4.3.6. Влияние загрязнения дизельным топливом на наименьшую влагоёмкость.....	41
4.3.7. Влияние загрязнения дизельным топливом на диапазон активной влаги.....	42
4.3.8. Влияние загрязнения дизельным топливом на капиллярную влагоёмкость.....	43
4.3.9. Влияние загрязнения дизельным топливом на полную влагоёмкость.....	45
4.3.10. Влияние загрязнения дизельным топливом на общую порозность.....	46
4.3.11. Влияние загрязнения дизельным топливом на смачиваемость почвы.....	47
4.4. Влияние загрязнения дизельным топливом на физико-механические свойства почв.....	49
4.4.1. Влияние загрязнения дизельным топливом на липкость.....	49
4.4.2. Влияние загрязнения дизельным топливом на верхний предел пластичности.....	51
4.4.3. Влияние загрязнения дизельным топливом на нижний предел пластичности.....	52
4.4.4. Влияние загрязнения дизельным топливом на число пластичности.....	53
4.4.5. Влияние загрязнения дизельным топливом на набухание.....	54
Заключение.....	55
Выводы.....	56
Список использованной литературы.....	57
Приложения.....	61

Введение

Более ста пятидесяти лет нефть, будучи широко востребованным энергоресурсом, является одним из важнейших факторов экономического развития многих стран мира, в том числе и Российской Федерации, где добыча, переработка и транспортировка проводятся достаточно интенсивно, что нередко приводит к потерям нефти и, как следствие, масштабным загрязнениям природных сред. В результате интоксикации даже сравнительно небольшими дозами происходят существенные изменения как важнейших свойств почвы – химических, физических, морфологических, – так и структуры почвенного покрова, а также деятельности почвенных животных и микроорганизмов.

По сей день не угасает интерес исследователей к последствиям нефтяного загрязнения почвы – одного из самых тяжёлых и распространённых ввиду колоссального использования нефтепродуктов во многих отраслях промышленности и транспортной сфере. Нефтезагрязнение является одной из общемировых экологических проблем, нуждающейся в скорейшем разрешении, в связи с чем учёными регулярно уделяется огромное внимание к данному типу поллютантов в самых различных смежных сферах естественных наук, в том числе и в почвоведении.

Большая часть исследований посвящена изучению изменений химических свойств и биологических параметров нефтезагрязнённых почв, как наиболее важных в экологических аспектах и оценке плодородия, физическим же свойствам уделяют несколько меньше внимания. Также менее частым, по сравнению с нефтью, объектом исследований становятся нефтепродукты.

Физические свойства почв являются неотъемлемой частью совокупности показателей, имеющих непосредственное влияние на почвенное плодородие. Нефтяное загрязнение оказывает на них негативное воздействие, изменяя важные для обработки почвы, агротехнических мероприятий, нормальной жизнедеятельности и функционирования почвенных организмов и растений характеристики.

Цель работы состоит в изучении изменений физических свойств почв разного гранулометрического состава под влиянием загрязнения дизельным топливом в естественных и лабораторных условиях.

Для достижения данной цели были поставлены следующие **задачи**:

- Дать сравнительную характеристику гидрофизических и физико-механических свойств почв разного гранулометрического состава;

- Изучить изменение гидрофизических и физико-механических свойств почв разного гранулометрического состава при загрязнении дизельным топливом;
- Выявить влияние загрязнения дизельным топливом на гидрофизические и физико-механические свойства почв разного гранулометрического состава.

Актуальность. Нефтепродукты являются весьма распространённым и опасным источником загрязнения почв, приводящим к резкому катастрофическому ухудшению её свойств, важных для поддержания экологических функций, создания оптимальных условий для жизни почвообитающих организмов и растений и имеющих непосредственное влияние на почвенное плодородие.

Дизельное топливо широко используется грузовым, водным, железнодорожным транспортом и, что немаловажно, практически всей агротехникой – поэтому вероятность попадания данного вида нефтепродукта в почвы, и особенно пахотные, очень и очень высока.

Следовательно, изучение влияния загрязнения дизельным топливом на физические свойства почв разного гранулометрического состава, особенно в природных условиях, является актуальным.

Материалы и источники. Для выполнения выпускной квалификационной работы бакалавра были специально заложены два разреза, из которых для лабораторных исследований отбирались образцы. В качестве загрязнителя было выбрано дизельное топливо Евро-5 сорт Е вид III с завода ООО «КИНЕФ». Работа проводилась на кафедре почвоведения и экологии почв СПбГУ.

На данный момент вопросами воздействия нефтепродуктов на физические свойства почв занимаются не так много специалистов: большая часть работ ориентирована на исследование влияния нефти на биологические параметры почвы и жизнедеятельность связанных с ней живых организмов. Основным источником информации по данной теме были тезисы и доклады научных конференций по экологии и почвоведению и статьи, опубликованные в специализированных журналах, учебники и монографии, соответствующие исследуемой теме.

Личный вклад автора работы состоит в подборе, морфогенетической и аналитической характеристике объектов исследования, заложении натурного и лабораторного экспериментов, изучении физических параметров нативных и загрязнённых дизельным топливом почв, анализе и обработке полученных результатов, а также написании и оформлении данной выпускной квалификационной работы бакалавра.

Глава 1. Современные представления о загрязнении почв нефтью и нефтепродуктами

Основным источником нефтезагрязнений является антропогенная деятельность: разливы сырой нефти при добыче, утечки при авариях транспорта и нефтепроводов, утечки пластовых вод и буровых растворов. С ростом экономики и интенсивным развитием новых технологий потребность в данном энергоресурсе неуклонно, год за годом, возрастает, что приводит к катастрофическому увеличению загрязнённых территорий и, как следствие, нарушению экологической обстановки, крупным финансовым вложениям в рекультивацию или даже отчуждению земель. Всестороннее изучение данного вопроса является всё более актуальным и необходимым, в связи с чем появляется всё больше и больше работ, посвящённых теме загрязнения почвы нефтью и нефтепродуктами.

Естественные процессы самоочищения и самовосстановления идут крайне медленно, а большая часть почв не обладает достаточной устойчивостью к нефтезагрязнениям. Наиболее устойчивы в этом плане почвы с торфяными или глеевыми и иллювиальными глееватыми горизонтами, играющими роль биогеохимических барьеров и препятствующими широкому распространению поллютантов (Касаткина, Федорова, 2005).

Загрязнения почв нефтью и нефтепродуктами носят тяжёлый характер и являются серьёзной экологической проблемой, затрагивающей не только состояние всех компонентов окружающей среды, но и здоровье человека.

1.1. Общая характеристика нефти и нефтепродуктов

Нефть – природный горючий материал, обычно представляющий собой густую маслянистую жидкость со специфическим запахом, цвет которой может варьировать от жёлтого и зеленоватого (реже – бесцветного) до тёмно-коричневого, почти чёрного. Как правило, фракционный состав, химические и физические свойства нефти сильно различаются между собой в зависимости от её месторождения. Наиболее постоянным в этом плане является элементарный состав.

В состав нефти входит ряд биогенных элементов. Главные из них – это углерод (83-87%) и водород (11,5-14%), составляющие основу углеводородов. Также в составе присутствуют кислород и азот – общее количество которых обычно не превышает 2-3%. Содержание серы в нефти может достигать до 7-8%. Как правило, все эти элементы

входят в состав высокомолекулярных органических соединений. Также в золе нефти обнаруживается много других элементов в незначительных концентрациях: Si, Al, Fe, Ca, Mg, Ni, Cu, Ba, Mn, Cr, Co и др. Общее количество этих микроэлементов не превышает десятых долей процентов (Эрих, 1977).

Нефть – это сложный набор органических соединений, в её составе содержатся углеводороды всевозможного строения (C_4 – C_{60}), а также значительное количество гетероциклических соединений.

Основную часть соединений нефти составляют три группы углеводородов: парафиновые (метановые) углеводороды или алканы, нафтеновые (полиметиленовые) углеводороды или цикланы, ароматические углеводороды или арены. Среди кислородных соединений выделяют нафтеновые кислоты, фенолы и смолистые вещества, причём последняя группа включает в себя более 90% всего кислорода и большую часть азота. Сернистые вещества образуют неорганические (элементарная сера сероводород) и органические формы: меркаптаны, сульфиды, дисульфиды, тиофаны. Также в нефти достаточно велика концентрация смолисто-асфальтеновых веществ: смол, асфальтенов, карбенов, асфальтогеновых кислот и их ангидридов (Еременко, 1968).

Нефть легче воды, более того, за счёт своего химического состава она гидрофобна. Состав нефти так же определяет её физические свойства. Например, такой важный параметр как плотность напрямую зависит от содержания смолисто-асфальтеновых соединений, фракционного состава, присутствия растворённого газа.

По плотности нефть разделяют на три группы: лёгкая, в которой содержание бензиновых фракций превалирует над концентрацией смол и серы (менее $0,828 \text{ г/см}^3$), утяжеленная или средняя ($0,828$ - $0,884 \text{ г/см}^3$), тяжелая – в её составе много смол (более $0,884 \text{ г/см}^3$) (Проскураков, 1995).

Вязкость нефти определяется наличием ароматических или нафтеновых циклов – чем больше их содержится, тем выше вязкость. И наоборот, вязкость снижается при увеличении лёгких фракций или растворённых газов. В среднем, вязкость нефти оказывается в пределах 40 - $60 \text{ мм}^2/\text{с}$ (Эрих, 1977).

Теплота сгорания нефти 42 - $43,7 \text{ МДж/кг}$. Температура начала кипения нефти, как правило, выше 28°C . Температура застывания напрямую зависит от содержания парафинов и находится в интервале от -60°C до $+30^\circ\text{C}$.

Нефть растворяется в органических растворителях, в нормальных условиях может образовывать эмульсии с водой.

Фракционный состав является одной из важнейших характеристик качества нефти. Он определяется при лабораторной перегонке, основанной на разной температуре выкипания разных фракций (Проскураков, 1995).

Так, фракции, выкипающие до 350°C называются светлыми дистиллятами. К ним относится петролейный эфир (до 60°C), бензиновая фракция (до 180-200°C), лигроиновая фракция (120-140°C), керосиновая фракция (120-315°C), дизельная фракция (220-350°C). При температуре 300-400°C отгоняется газойлевая фракция, выше 400°C – смазочные масла, выше 500°C – гудрон.

В 1967 году в нашей стране была утверждена технологическая классификация нефти. Согласно этой классификации, нефть делится на классы (по содержанию серы), типы (по выходу фракций до 350°C); группы (по потенциальному содержанию базовых масел) и подгруппы (по индексу вязкости базовых масел) (Проскураков, 1995).

Дизельное топливо – вязкая горючая жидкость, состоящая из средних дистиллятных фракций нефти (как правило, керосиновой и газойлевой), представляющая собой смесь парафиновых, нафтеновых и ароматических углеводородов, используемая в двигателях внутреннего сгорания железнодорожного и водного транспорта, грузового автотранспорта, а также сельскохозяйственной техники.

Согласно российскому стандарту ГОСТ 305-2013 (Топливо дизельное. Технические условия) дизельное топливо выпускается под тремя марками: Л – летнее, используемое при температуре выше 0°C, З – зимнее, до -30°C, А – арктическое, до -50°C. Каждая из этих марок в свою очередь разделяется на несколько видов по содержанию серы: минимально 10 мг/кг (вид III или ДТ-5); максимально 350 мг/кг (вид I или ДТ-3). Для каждого сорта и вида и их совокупности ГОСТом предусмотрены свои собственные параметры.

Более поздний стандарт, предназначенный для конкретного топлива ЕВРО (ГОСТ 32511-2013 Топливо дизельное ЕВРО. Технические условия), предусматривает более подробное дробление марок на сорта и классы в зависимости от различных характеристик: предельная температура фильтруемости, плотность, кинематическая вязкость, цетановое число и т.д.

Важнейшими эксплуатационными характеристиками дизельного топлива считаются воспламеняемость, цетановое число, фракционный состав, вязкость, коксуемость, температура вспышки, помутнение, застывание, содержание смолистых и коррозионно-активных соединений (Проскураков, 1995).

Воспламеняемость дизельного топлива определяет легкость пуска и характер работы дизельного двигателя и оценивается при помощи цетановых чисел –

процентному содержанию хорошо воспламеняющегося цетана или гексадекана ($C_{16}H_{34}$) в смеси с трудно воспламеняемым α -метилнафталином ($C_{11}H_{10}$) в составе эталонного топлива. Оптимальное цетановое число дизельного топлива – 40-50, иные показатели снижают мощностные и экономические показатели работы двигателя. Его напрямую обуславливает углеводородный состав дизельного топлива. Наивысшим цетановым числом обладают алканы нормального строения – парафины, самые низкие показатели – у ароматических углеводородов.

От фракционного состава дизельного топлива, различного для разных классов, зависит полнота сгорания и токсичность отработанных газов. К примеру, если в составе дизельного топлива преобладают легкие углеводороды, то для их сгорания необходимо меньше кислорода.

Вязкость и плотность регулируют подачу топлива, распыление в камере сгорания и работоспособность системы фильтрования.

Содержание сернистых соединений в дизельном топливе отвечает за смолообразование, нагарообразование, коррозию и износ двигателя, а более того приводят к образованию SO_2 , что наносит ущерб состоянию окружающей среды. Содержание серы обычно составляет – 0,08-0,1 % (Проскураков, 1995).

Согласно ГОСТу 305-82, содержание меркаптановой серы в дизельном топливе не должно превышать 0,01 %, непредельных углеводородов – не более 3%, содержание металлов – $0,2-0,7 \cdot 10^{-4}$ %.

1.2 Трансформация и распределение нефти по профилю

По данным Пиковского Ю. И., Калачниковой И. Г. и др. (1985) содержание нефти в почвах резко снижается (вплоть до 40-50%) только в первые месяцы после загрязнения, в последующее время процесс протекает крайне медленно. В почвах закрепляются устойчивые высокомолекулярные и полициклические соединения, как правило, смолисто-асфальтовые компоненты. Их естественное разложение затягивается на длительные периоды. Более лёгкие углеводороды, входящие в состав нефти, или испаряются, или, в результате деятельности адаптировавшихся к новым условиям микроорганизмов, окисляются, переводятся в малоподвижные формы, разрушаются.

Среди других факторов, обуславливающих трансформацию нефти, можно выделить тип почвы, климатические условия, водно-воздушный режим, гранулометрический состав, скорость биологического круговорота, кислотность и состав самой нефти (Пиковский, Калачникова, 1985).

К обширному фронтальному распределению нефти по профилю почвы, прежде всего, приводит лёгкий гранулометрический состав. При этом нефть забивает поровое пространство почв, ухудшая аэрацию и изменяя водно-воздушный режим, также происходит склеивание структурных отдельностей и увеличение плотности (Гайнутдинов, Самосова, 1988). В почвах тяжёлого гранулометрического состава нефть распределяется достаточно неравномерно по ходам корней, трещинам, линзам (Солнцева, Садов, 1998).

Согласно исследованиям Солнцевой Н. П. (1998), распределение нефти в почвах напрямую зависит от свойств самих почв, во многом от их влажности, сорбционных свойств, а также от типа поллютанта, времени загрязнения. Как правило, тяжёлые фракции сорбируются в вышележащих (особенно органогенных) горизонтах, а низкомолекулярные углеводороды лёгких фракций просачиваются в срединные. Таким образом, вниз по профилю наблюдается дифференциация как в плане концентрации самой нефти, так и содержания её отдельных компонентов. Притом различия могут обнаруживаться не только при смене генетических горизонтов, но и в разных частях одного почвенного слоя. Та же тенденция характера и для попадающих в почву нефтепродуктов.

Наряду с фронтальным по профилю происходит и латеральное распределение нефти. Изначально оно сводится к уменьшению содержания поллютанта от эпицентра загрязнения (места загрязнения) к границам. Дальнейшие изменения могут носить неоднозначный характер, зависящий от проходящих в почвах процессов миграции и разрушения нефти. Самый простой случай – уменьшение концентрации поллютанта в верхних горизонтах (при его просачивании в нижележащие слои). Наряду с этим ареал загрязнения может увеличиваться за счёт мигрирующих по профилю и водоносным горизонтам лёгких фракций.

Также на распределение нефти по профилю влияет наличие естественных геохимических барьеров в почвах, в роли которых могут выступать органогенные, торфяные, глеевые, иллювиально-глеевые горизонты (Солнцева, Садов, 1998; Касаткина, Федорова, 2005).

Исследования Оборина А. А., Калачниковой И. Г. и др. (1988) доказывают, что опасность накопления нефти возрастает в географическом плане с юга на север, относительно гранулометрического состава – от песчаных почв к глинистым, в пределах биоклиматических зон – от автоморфных к гидроморфным, от распаханых к целинным. Различна и скорость микробиологического преобразования углеводородов: в аридных зонах эти процессы идут намного интенсивнее, чем в гумидных.

1.3. Влияние нефтезагрязнений на морфологию почв

В ряде случаев морфологические признаки могут служить визуальными индикаторами загрязнений почв нефтью и нефтепродуктами. Подробное изучение морфологии нефтезагрязнённых почв было проведено Солнцевой Н. П. (1982) на примере дерново-подзолистых почв, загрязнённых с поверхности.

Солнцева Н. П. (1982) установила, что нефтезагрязнение вызывает заметные изменения морфологии почвенного профиля, затрагивающие многие морфологические элементы. Горизонты подвергаются значительной, иногда даже абсолютной деградации, вплоть до полного исчезновения первичных признаков. Может отмечаться тенденция увеличения мощности гумусового горизонта. Изменяется характер границ: они становятся языковатыми или карманообразными вследствие миграции компонентов нефти вниз по профилю. На поверхности почвы могут образовываться корки. Вследствие неравномерного распределения поллютанта, по всему профилю отмечается мозаичность изменений. Цвет почвы (особенно в верхних горизонтах) становится более тёмным, начинают преобладать тёмно-коричневые и чёрные тона, так же могут наблюдаться пятна сизовато-зеленоватых оттенков. В более поздней публикации (Солнцева, Никифорова, 1988) отмечается возможность оглеения практически по всему профилю вследствие изменения окислительных свойств почв на восстановительные.

В нижних горизонтах цвет почвенной массы также меняется, но тёмно-коричневых и чёрных тонов становится меньше, начинают преобладать буро-охристая и коричневатато-бурая окраска.

Неоднородное распределение нефти приводит к различиям в изменениях структурных агрегатов в пределах одного и того же почвенного горизонта, отмечается сочетание участков с разными типами структурных отдельностей. В общем, для верхних горизонтов характерно укрупнение педов и возникновение зернисто-комковатой структуры, для иллювиальных – распад структурных отдельностей на мелкие агрегаты. Отмечается сильное сглаживание граней, вплоть до образования комковатой структуры.

Меняется характер ожелезнения. Изменениям подвержены как количество и формы железистых новообразований, так и их распределение по профилю. Появляются признаки усиления оглеения – увеличивается доля зеленовато-серых и охристых участков. В верхних горизонтах отмечается более выраженная сегрегация железа, по всему профилю начинают появляться морфологически оформленные железистые

микроорганотштейны. В нижних горизонтах в составе железистых стяжений может обнаруживаться марганец, в целом, увеличивается доля органического материала. Появляются хорошо заметные диффузионные кольца, железистые пятна и узоры. Может отмечаться интесификация кутанообразования.

Похожие данные были получены при исследовании загрязнённого нефтью чернозёма. Также отмечалось изменение окраски (от сизо-серого до сизо-чёрного), увеличение содержания глыбистых агрегатов и коэффициента структурности, снижение количества агрегатов меньше 0,25 мм, значительно увеличение числа водопрочных агрегатов (Шорина, Русанов, Сулейманова, 2010).

В исследованиях Габбасовой И. М. и др. (1997) наблюдаются сходные тенденции изменения морфологии чернозёмов: потемнение окраски горизонтов, укрупнение структуры, появление маслянистых пленок по граням структурных отдельностей и белесого налета солей, увеличение плотности сложения.

1.4. Влияние нефтезагрязнений на агрохимические свойства почв

Нефтезагрязнения оказывают заметное влияние на химические и физико-химические показатели почв. Изменяется содержание органического углерода, азота, фосфора и других макро- и микроэлементов, а так же состав гумуса (Солнцева, 1988).

По данным Солнцевой Н. П. (1998), содержание углерода в загрязнённых почвах резко возрастает, но позднее, с течением времени, снижается до значений, ниже контрольных в эталонных почвах. В почвах лёгкого гранулометрического состава нефтепродукты, как правило, просачиваются вглубь, что вызывает повышение содержания органического углерода по всему профилю.

Исследованием влияния загрязнения нефтью на химические свойства почв занимались также Андресон Р. К. и Мукатанов А. Х. (1980) на примере дерново-подзолистой почвы, загрязнённой южноарланской и западносибирской нефтью. Их данные показали, что изменение содержания гумуса, фосфора, поглощённых оснований зависит от состава нефти. В опытных загрязнённых южноарланской нефтью образцах заметно возросло содержание органического вещества. Западносибирская нефть вызвала снижение суммы поглощённых оснований в почвенном поглощающем комплексе верхнего горизонта. В составе гумуса возросла доля негидролизуемого остатка и фульвокислот. Реакция среды менялась незначительно.

В работе Габбасовой И. М. и др. (1997) показано, что содержание углерода в гумусово-аккумулятивных горизонтах чернозёмов при недавних загрязнениях, как

правило, выше, чем в незагрязненных почвах. В течение времени, максимум накопления привнесенного углерода смещается вниз по профилю, но и через 20-30 лет в верхних слоях обнаруживается 2-3% привнесенного углерода.

По данным Андреевой Т.А. (2005) в результате загрязнения высокими дозами нефти существенно снижается количество обменных катионов в почве и величина ёмкости катионного обмена. Также происходит подщелачивание кислых почв.

Влияние нефти на свойства почвы в лабораторных условиях изучали Демиденко А. Я. и Демурджан В. М. (1983). Они также установили увеличение содержания углерода и, следовательно, увеличение отношения C:N. Более того, было зафиксировано резкое снижение содержания подвижного фосфора и несущественные колебания реакции среды.

В работе Просянникова Е. В. (2012) изучалось изменение свойств загрязнённых нефтью почв в модельном опыте, имитирующем разные степени загрязнения. Исследования показали увеличение содержания органического углерода и общего азота, уменьшение содержания подвижного фосфора, несущественные колебания содержания обменного калия в первые месяцы после загрязнения. Через год наблюдалось снижение концентрации общего углерода.

По данным Серединой В. П. (2005) в загрязнённых нефтью подзолистых, болотно-подзолистых и аллювиальных почвах наблюдаются схожие тенденции: подщелачивание среды, снижение гидролитической кислотности, уменьшение количества обменных катионов и внедрение натрия в почвенный поглощающий комплекс, уменьшение обменных форм калия, изменение процессов сорбции-десорбции. Также отмечено значительное повышение доли негидролизованного остатка в составе гумуса.

Минебаев В. Г. (1986) в своей работе отметил, что нефтезагрязнение в значительной степени влияет на содержание подвижных форм микроэлементов. Согласно полученным данным, концентрации подвижных форм марганца и цинка существенно снижаются, а молибдена, кобальта и меди, напротив, возрастают. Автор связывал это явление с уменьшением окислительно-восстановительного потенциала в загрязнённых почвах.

В исследовании Водяницкого Ю. Н. и др. (2012) отмечается накопление тяжёлых металлов в загрязнённых нефтью торфяных почвах. Авторы выделяют две зоны загрязнения, различающиеся по составу тяжелых металлов. В зоне первичного загрязнения концентрируются V, Ni, Sr, Ba, Ce и La. В зоне вторичного загрязнения в

меньшей степени накапливаются тяжелые щелочноземельные металлы Sr и Ba и лантаниды Ce и La.

Бочарникова Е. А. и Аммосова Я. М. (1997) изучали органическое вещество почв, загрязнённых нефтью в разные периоды времени. В образцах почв после извлечения нефтяных соединений был исследован групповой и фракционный состав гумуса по методу Тюрина в модификации Пономарёвой-Плотниковой. По их данным, содержание углеводов в загрязнённых почвах достигало 12% (при их содержании на глубине двух метров 1,5%), но с увеличением давности загрязнения постепенно снижалось. Возросло содержание второй и третьей фракций гуминовых кислот, общей суммы гуминовых кислот и негидролизованного остатка. Содержание и состав фульвокислот изменялись незначительно.

Орлова Е. Е. и Бакина Л. Г. (1998) также изучали гумусовое состояние нефтезагрязнённых почв. Было выявлено, что нефтезагрязнения оказывают на почвы как прямое, так и косвенное влияние. Прямое – во взаимодействии углеводов нефти с гумусовыми кислотами, косвенное – в изменении химических и физических свойств, а также состава и активности почвенной биоты. Полученные данные показали, что при взаимодействии гумусовых веществ с нефтью наблюдается увеличение содержания всех групп и фракций гумусовых кислот. Но, не смотря на это, происходит ухудшение его качества – деградация гумуса – вследствие встраивания нефтяных малоазотистых углеводов в молекулы гумусовых кислот, увеличивающих долю периферических структур в молекулах и снижающих общее содержание азота.

Эти данные были подтверждены опытом, проведённым в 2008 году (Орлова, Бакина, Соловьёва, 2008), где в качестве объекта исследования использовалась окультуренная дерново-подзолистая почва, загрязнённая в полевых условиях дозами нефти от 0,7 до 10 л/м². Во всех вариантах опыта наблюдалось увеличение содержания органического углерода и, в меньшей степени, азота, вследствие чего возрастало соотношение C:N. Также фиксировалось увеличение содержания гумусовых кислот за счёт их химического взаимодействия с углеводородами нефти и встраивании последних в алифатическую часть молекул.

1.5. Влияние нефтезагрязнений на физические свойства почв

В своей работе М. Ю. Гилязов (2002) изучил изменение агрофизических свойств выщелоченного (глинисто-иллювиального) чернозёма в условиях производственного и искусственного загрязнения нефтью. В качестве контроля использовались почвы на

периферии загрязнённого участка. Автором было выявлено, что под влиянием нефтяного загрязнения увеличивается глыбистость почв и уменьшается содержание агрономически ценных мезоагрегатов, а, следовательно, снижается и коэффициент структурности. Также происходит небольшое уменьшение распылённости почвы.

При воздействии нефти значительно повышается водопрочность и количество агрегатов крупнее 1 мм при одновременном и довольно сильном снижении доли водопрочных агрегатов размером меньше 0,25 мм. Однако Гилязов М. Ю. (2002) не считает это явление положительным из-за его природы: агрегаты становятся гидрофобными.

Удельный вес и плотность загрязнённой нефтью почвы меняются в противоположных направлениях: уменьшение удельного веса сопровождается увеличением плотности, вследствие чего порозность снижается пропорционально содержанию нефти в почве. Также Гилязов М. Ю. (2002) отметил тенденцию к уменьшению гигроскопической влаги, максимальной гигроскопичности, полной и особенно капиллярной влагоёмкости. Следовательно, почва становится гидрофобной и перестаёт нормально поглощать влагу как из грунтовых вод, так и из атмосферы. Одновременно с вышеизложенными процессами происходит снижение испарения с поверхности, что свидетельствует о закупорке пор.

Вне зависимости от плотности почвы при нефтезагрязнениях снижается или полностью пропадает капиллярное поднятие. Также, но уже в соответствии с плотностью сложения, в худшую сторону изменяется водопроницаемость: загрязнённая почва показывает либо провальную водопроницаемость, либо становится практически водонепроницаемой (Гилязов, 2002).

В работе Е. В. Коноваловой (2009) отмечается довольно неоднозначное влияние нефтяного загрязнения на агрофизические свойства почвы. В качестве объекта исследования использовалась легкосуглинистая каштановая почва, искусственно загрязнённая нефтепродуктами: бензин в концентрации 2 л/м² и 4 л/м² и дизельное топливо в концентрации 2 л/м².

Автор отмечает изменения гранулометрического состава, структурного состояния и массовой влажности почвы. Так, согласно полученным данным, гранулометрический состав меняется несущественно: отмечалось лишь небольшое сокращение во фракциях средней и мелкой пыли. Совершенно противоположные результаты получены при изучении структурного состояния – отмечается значительное возрастание водопрочности агрегатов, особенно в образцах, загрязнённых дизельным топливом. «Эти изменения позволяют предполагать, что при загрязнении дизельным

топливом агрегаты «парафинируются», т. е. на них адсорбируются труднорастворимые фракции нефти» (Коновалова, 2009). Также наблюдалось снижение водопроницаемости и уменьшение содержания всех категорий влаги, причём наибольший спад был отмечен в образцах, в которые в качестве загрязнителя вносилось дизельное топливо.

Также в данной работе отмечалось увеличение плотности почвы, коррелирующее с увеличением дозы и вида нефтепродукта. Следовательно, фиксировалось и снижение порозности и следующее за ним ухудшение аэрации и водно-физических свойств почв.

Увеличение плотности почвы при воздействии нефти также доказали в своих исследованиях Шорина Т.С., Русанов А.М., Сулейманова А.М. (2010).

В работе Мязина (2015) при загрязнении почвы дизельным топливом в высоких концентрациях (10 л/м²), наблюдалось увеличение влажности в поверхностных слоях почвы, а внесение в качестве загрязнителя мазута в высоких концентрациях (7,5 л/м²), напротив, привело к снижению того же показателя.

Одно из недавних исследований физических свойств почвы за рубежом (Нигерия) (Abosedede, 2013) показало изменение порового пространства почвы при загрязнении нефтью. Так, в поставленном опыте верхний слой загрязнённой почвы сравнивался с контрольным. Было выявлено, что общая порозность и содержание макропор в загрязнённых образцах сокращалось. Следовательно, нефть оказывает воздействие на строение порового пространства. При этом не наблюдалось никаких изменений в гранулометрическом составе почвы.

Интересные данные были получены группой учёных (Okonokhua et al, 2007) из Нигерии, изучивших воздействие отработанного моторного масла на произрастание кукурузы. Комплексно с этим рассматривалось и изменение свойств почв. Их данные показали, что внесение в почву отработанного моторного масла не вызывает изменений в структуре, а затрагивает только ряд химических показателей.

1.6. Влияние нефтезагрязнений на биологические показатели почв

Загрязнения нефтью сказываются и на деятельности микробиоценоза, важного компонента, участвующего в почвообразовании и разложении поллютантов.

В работе Андресона Р. К. (1980) показано подавление жизнедеятельности микроскопических грибов, спорозоносных бактерий, использующих органический азот. Также автором было отмечено слабое восстановление биогенности дерново-подзолистой почвы после нефтезагрязнения.

Исмаилов Н. М. (1988) отмечал практически полную деградацию функциональной активности почвенных микроорганизмов и растений, сильное ингибирование, как их жизнедеятельности, так и ферментативной активности. Однако попадающие в почву углеводороды обогащают её углеродом и способны повысить активность биологической азотфиксации и общую численность свободно живущих азотфиксаторов. При этом снижается нитрифицирующая активность, а основная часть азота находится в аммонийной форме.

Согласно исследованиям Славниной Т. П. (1984) небольшие количества нефти (в пределах 5 г/100 г почвы), напротив, стимулируют деятельность микрофлоры.

Минебаев В. Г. (1986) зафиксировал отрицательное влияние нефтезагрязнений на активность дегидрогеназы и протеазы. По данным Габбасовой и др. (1997) все типы и концентрации нефтезагрязнений ингибируют активность инвертазы. На фоне слабых засолений почвы пластовыми водами и буровыми растворами возможна активизация уреазы, но сильное и очень сильное засоление подавляет активность этого фермента.

В работе Киреевой Н. А., Водопьянова В. В., Мифтаховой А. М. (2000) было выявлено влияние нефтезагрязнений на целлюлазную активность серой почвы. Авторами отмечалось, что нефтяное загрязнение ингибирует интенсивность распада целлюлозы в почве, что доказывалось различными параметрами биологической активности почв. Следовательно, целлюлозоразрушающие микроорганизмы – показатели плодородия почв – достаточно чувствительны к данному типу загрязнения. К тому же, их численность не восстанавливается многие годы, что приводит к дисбалансу между группами целлюлозоразрушающих микроорганизмов, что в свою очередь, сказывается на плодородии.

В 2006 году Киреевой Н. А. и др. проводились исследования активности липазы в загрязнённых нефтью серых почвах. По данным исследований, был сделан вывод, что активность липазы увеличивается со временем, стабилизируется и сохраняется длительное время на достаточно высоком уровне.

Загрязнение почв нефтью достоверно влияет на численность, содержание и распределение почвенных микромицетов. При высоком уровне загрязнения формируются новые, нетипичные для изученных почв комплексы грибов с доминированием видов, обладающих фитотоксическими свойствами (Киреева, Галимзянова, 1995).

Данные, полученные Колесниковым С. И. и др. (2006) на примере чернозёма, показывают, что загрязнение почвы нефтью и моторным маслом, по сравнению с бензином и дизельным топливом, оказало более сильное действие на биологические

показатели. Загрязнение нефтью и нефтепродуктами привело к заметной перестройке комплекса почвенных микроорганизмов, изменению структуры доминирования, сукцессионным процессам в почвенном микробоценозе. При этом у микроскопических грибов наблюдалось уменьшение разнообразия, а у бактерий – его рост. В большинстве случаев было зафиксировано ингибирование активности почвенных ферментов. По степени чувствительности к загрязнению авторы расположили исследованные ферменты следующим образом: ферриредуктаза > каталаза > уреазы > инвертаза. Оксидоредуктазы оказались более чувствительны к нефтезагрязнению, чем гидролазы.

Исследования Коноваловой Е. В. (2009) показали, что загрязнение почвы нефтепродуктами приводит к снижению активности каталазы уреазы и протеазы, но увеличивает активность дегидрогеназы.

Согласно данным Вершинина А. А. и др. (2011), внесение в дерново-карбонатную почву дизельного топлива (3-20%) способствовало усилению минерализации органического вещества и увеличению содержания углерода микробной биомассы, а, следовательно, возрастанию потенциала микробного пула. При низких концентрациях отмечалось стимулирующее действие на сообщество почвенных микроорганизмов, средние и высокие дозы поллютанта изначально оказывали ингибирующее влияние на почвенную микрофлору и требовали определенного времени для адаптации почвенных микроорганизмов. По исследованиям авторов, почвенная биота способна трансформировать загрязнитель в концентрации до 10-15%. Содержание в почве дизельного топлива, превышающее данную величину, является критическим для почвенных биоценозов.

По мнению большинства исследователей, состояние микробоценоза, концентрация и активность ферментов могут служить достоверным диагностическим признаком нефтезагрязнения почв.

1.7. Рекультивация нефтезагрязнённых почв

Методы рекультивации нефтезагрязнённых почв подразделяются на две большие технологические категории: *in situ* и *ex situ* (Miertus S., 2001).

Технология *ex situ* предполагает обязательное удаление загрязнённого почвенного слоя с поверхности, перемещение его на специальные участки обработки и изоляции (складирования). Эта технология менее затратна в финансовом плане и более безопасна для грунтовых вод, животных, растений, она делает возможным применение

более сложных методов очистки. Однако экскавация земель может приводить к нарушению морфологической структуры почв.

Технология *in situ* применяется непосредственно на месте загрязнения. Преимуществом этого метода служат снижение риска негативных воздействий на окружающую среду и человека в результате экскавации и транспортировки почвы, и, как следствие, значительная экономия средств. Основной недостаток – гетерогенная природа субстрата участков восстановления, как с геологической точки зрения, так и с точки зрения распространения загрязнения.

В России и за рубежом используется огромное разнообразие методов относящихся к обеим категориям. Условно их можно разделить следующим образом.

Для технологии *ex situ*:

- Механические методы (механическое разделение, экскавация и последующий вывоз загрязнённой почвы);
- Физико-механические методы (сжигание, термическая десорбция, промывка, использование сорбентов и т.д.);
- Химические методы (окисление/восстановление и т.д.);
- Биологические методы (биологическая обработка почвы).

Для технологии *in situ*:

- Механические методы (стены, барьеры, изолирование загрязнения);
- Физико-механические методы (экстракция паром при высоких температурах, электромелиорация и т.д.);
- Биологические методы (биоремедиация и фитомелиорация).

Интересны данные, предоставленные Козловой и др. (2014) по результатам исследования применения бактериальных препаратов на основе гуминовых кислот на загрязнённых нефтью почвах. Авторами была обнаружена возможность сохранения целевых популяций бактерий в почве в течение не менее двух месяцев при их внесении совместно с гуминовыми кислотами, что может быть связано с большей приспособленностью бактерий в составе бактериально-гумусовых препаратов к условиям обитания в почве.

Для ускорения разложения нефтепродуктов рекомендуется стимуляция микроорганизмов удобрениями. Минеральные удобрения (NPK) усиливают биологическую активность почвы, способствуют повышению интенсивности дыхания, активности некоторых ферментов, численности микроорганизмов (Алехин и др., 1998). Совместно с этим возможно внесение в почву и органических удобрений.

Несмотря на уже имеющуюся солидную теоретическую и практическую базу, работы по изучению влияния загрязнения нефтью и нефтепродуктами на свойства почв продолжают до сих пор. Подтверждаются старые выводы и находятся новые закономерности, исследуются воздействия разных видов и концентраций загрязнителей, тестируются современные методы рекультивации, биоремедиации, фитомелиорации. Однако, как показал анализ изученной литературы, по-прежнему физическим свойствам почв уделяется слишком мало внимания. Данные исследований гидрофизических параметров загрязнённых нефтью и нефтепродуктами почв зачастую сложны в интерпретации, противоречивы, а физико-механические свойства и вовсе практически не изучены. Поэтому исследование влияния загрязнения нефтепродуктами на физические свойства почв весьма актуально и в настоящее время.

Глава 2. Характеристика объекта исследований

2.1. Краткая характеристика природных условий

Объектами исследований служили почвы, типичные для Ленинградской области: дерново-мелкоподзолистая легкосуглинистая на морене и торфяно-подзол-элювозём глеевый потёчно-гумусовый супесчаный на двучлене.

Исследованный регион относится к западной территории Ленинградской области, простирающейся вдоль южного побережья Финского залива и включающей в себя Ломоносовский и Петродворцовый районы, где расположены техногенно-преобразованные земли, множество парков, земли сельскохозяйственного назначения.

По Пестрякову В. К. (1973) данную местность можно отнести к северной части юго-западного района Ленинградской области. Она граничит с Ордовикским плато, вплотную подходит к побережью Финского залива и, в целом, характеризуется благоприятным климатом, пестротой почвообразующих пород, невыраженным рельефом и бескарбонатностью.

Наиболее распространёнными почвами здесь являются разновидности дерново-подзолистых почв, сформированных на озёрно-ледниковых суглинках, моренных отложениях и различных вариантах двучленов. Несколько меньшее пространство занимают болотные и заболоченные почвы. Благодаря приемлемым для сельского хозяйства условиям территории юго-западного района Ленинградской области распахиваются, правда, в настоящее время большая часть полей переведены в залежи (Матинян, Русаков, 1995).

2.1.1. Климат

Климат исследованной территории по сравнению с другими районами Ленинградской области является достаточно тёплым, благоприятным, но остаётся влажным, что способствует более интенсивной гумификации растительных остатков с одной стороны и развитию глеевого процесса с другой (Пестряков, 1973).

Среднегодовая температура воздуха – около 4°C;

Средняя температура января – –8–11°C, июля – +16+18 °C;

Абсолютный максимум температуры – 36 °C, абсолютный минимум – –52 °C;

Продолжительность периода со среднесуточными температурами выше 10°C – около 120 дней;

Сумма положительных температур – около 1700°C;

Количество осадков может достигать 600 мм, однако, распределяются они неравномерно: большая часть выпадает летом.

Число дней с осадками в тёплый период доходит до 200 (Пестряков, 1973).

2.1.2. Рельеф

Рельеф Ленинградской области формировался под влиянием деятельности ледника и ледниковых вод. В целом, это – слабоволнистая равнина, представленная несколькими террасами, поднимающимися от Финского залива к Ордовикскому плато.

Исследуемая территория располагается на второй морской террасе Финского залива. Вторая терраса имеет слабый наклон к северу и максимальные отметки высот 18-32 м. На её поверхности преобладают плоско-западинные участки, чередующиеся с отдельными невысокими повышениями (Матинян, Русаков, 1995).

В связи с равнинным рельефом на данной территории плохо формируется поверхностный сток талых и дождевых вод, и, несмотря на достаточно развитую речную сеть, дренирование местности выражено слабо, что приводит к проявлению подзолистого и элювиального процессов. (Пестряков, 1973).

Мезорельеф участков заложения разрезов различается. Дерново-мелкоподзолистая почва развита на относительно выположенной поверхности с уклоном 1-1,5° на северо-запад. Торфяно-подзол-элювозём расположен на склоне невысокой гривки (относительное превышение 0,5-1,0 м) юго-восточной экспозиции крутизной 1-2°. Микрорельеф обоих участков представлен пристволовыми повышениями и небольшими понижениями между ними.

2.1.3. Почвообразующие породы

Данная территория характеризуется большим разнообразием почвообразующих пород различного состава и генезиса. Как правило, это озёрно-ледниковые отложения, прибрежные шельфовые образования послеледниковых бассейнов, материалом для которых служили рыхлые коренные осадочные породы, что обуславливает их состав и свойства и оказывает влияние на почвенные режимы (Пестряков, 1973).

Наиболее распространёнными почвообразующими породами являются озёрно-ледниковые пески, ленточные глины, большое разнообразие двучленных отложений, среди которых преобладают пески и супеси, подстилаемые безвалунными

древнеозерными глинами и моренными суглинками. Такая пестрота наряду с другими факторами обуславливает многообразие генетических типов почв, оказывает непосредственное влияние на почвенные режимы и сложность почвенного покрова (Матинян, Русаков, 1995).

Ледниковые отложения двучленного строения широко распространены на участках моренных равнин, что объясняется размывом и частичным переотложением морены водами позднеледниковых бассейнов. Преобладающими являются морены с содержанием частиц физической глины до 30% и крупнозёма – до 11%. Валовой химический состав пород вполне согласуется с их гранулометрическим составом: сильно опесчаненные морены обычно содержат больше кремнезёма и меньше полторных оксидов, фосфора и кальция. Химический состав свидетельствует о сильной выветренности пород — содержание SiO_2 в некоторых образцах пород достигает 90% (Пестряков, 1973).

2.1.4. Растительность

Ленинградская область располагается в подзоне южной тайги, где широко распространены еловые, сосновые и берёзовые леса.

На участке заложения разреза дерново-мелкоподзолистой почвы растительность представлена ельником с примесью берёзы и осины. Первый ярус составляют ель обыкновенная (*Picea abies*), берёза повислая (*Betula pendula*); второй ярус: осина обыкновенная (*Populus tremula*), рябина обыкновенная (*Sorbus aucuparia*), крушина ломкая (*Frangula alnus*); наблюдается подрост дуба (*Quercus rober*); травяно-кустарничковый ярус – майник двулистный (*Maianthemum bifolium*), кислица обыкновенная (*Oxalis acetosella*), папоротник щитовник (*Dryopteris sp*), седмичник европейский (*Trientalis europea*), подмаренник (*Galium sp*), мятлик (*Poa sp*) и другие злаки, вейник (*Calamagrostis sp*), пахучка (*Chenopodium sp*), лютик едкий (*Ranunculus acris*), земляника лесная (*Fragaria vesca*), фиалка (*Viola sp*), зелёный мох.

На участке, где расположен разрез торфяно-подзол-элювозёма, растительность была представлена ельником чернично-сфагновым. Первый ярус занимает ель обыкновенная; был отмечен подрост рябины обыкновенной; травяно-кустарничковый ярус составляют майник двулистный, кислица обыкновенная, седмичник европейский, подмаренник, черника обыкновенная (*Vaccinium myrtillus*), зелёные мхи в напочвенном покрове и мох сфагнум (*Sphagnum sp*).

2.2. Краткая характеристика почв

Место заложения разрезов – хвойный лес, расположенный в 400 метрах южнее остановки «Мордвиновка» Ораниенбаумского шоссе, западнее парка Сергиевка, своей восточной границей примыкающий к полю, достаточно удалённый от основных магистралей и промышленных предприятий. В связи с близостью жилых зданий, лес испытывает некоторую антропогенную нагрузку, но её недостаточно для проявления существенных экологических изменений.

Для исследования влияния загрязнения дизельным топливом на физические свойства почв были выбраны две типичные для Ленинградской области почвы разного гранулометрического состава:

- Дерново-мелкоподзолистая легкосуглинистая на морене;
- Торфяно-подзол-элювозём глеевый потечно-гумусовый супесчаный на двучлене: песок на суглинистой морене.

Дерново-подзолистые почвы – тип текстурно-дифференцированных почв. Формируются в результате совокупности дернового, подзолистого и текстурного процессов почвообразования в условиях периодически промывного или промывного водного режима, приурочены к плоским водоразделам и пологим склонам. Формируются преимущественно на суглинках. Диагностируются по наличию обособленных серогумусового, элювиального и текстурного горизонтов. Достаточно распространены в пределах юга таежно-лесной зоны, являются самыми плодородными среди почв данной территории. Состав гумуса – фульватный, содержание варьируется от 1,5 до 6%, резко снижается с глубиной. Реакция среды преимущественно кислая. ЕКО выше, чем в подзолистых почвах, в составе поглощённых катионов доминируют кальций, магний, водород и алюминий (Классификация..., 2004).

Торфяно-подзол-элювозёмы относятся к отделу «элювиальные почвы» и диагностируются по наличию подстильно-торфяного и подзолистого горизонта, сменяющегося глеевой подстилающей, реже – почвообразующей породой при отсутствии срединных горизонтов. Элювозёмы развиваются на двучленных отложениях с верхним суглинистым наносом небольшой (до 30-40 см) мощности, подстилаемым либо тяжелыми суглинками или глинами, иногда песчаными отложениями (Классификация..., 2004).

Морфологические описания разрезов представлены в приложениях 1 и 2.

2.3. Краткая характеристика дизельного топлива

В натурном и лабораторном опытах использовалось летнее дизельное топливо Евро-5 сорт Е вид III экологического класса К5 с завода ООО «КИНЕФ».

Евро-5 – последний экологический стандарт на данное время, используемый как в Европе (с 2008 года), так и в России (с января 2016 года). Это высококачественное дизельное топливо подходит как старым, так и самым новым моделям автотранспорта и автотракторной техники. Дизельное топливо Евро-5, помимо физико-химических характеристик, обеспечивающих экономичность и высокую мощность использования двигателя, также гарантирует экологическую безопасность: в его составе понижено содержание углеводородов и серы, благодаря чему выброс элементов сгорания в окружающую среду значительно уменьшается.

Дизельное топливо, использованное в экспериментах, имеет все необходимые паспорта и сертификаты и полностью соответствует требованиям последнего ГОСТа.

Технические требования по ГОСТ 32511-2013

Наименование показателя	Значение		
Цетановое число, не менее	51,0		
Цетановый индекс, не менее	46,0		
Плотность при 15 °С, кг/м ³	820,0-845,0		
Массовая доля полициклических ароматических углеводородов, %, не более	8,0		
Массовая доля серы, мг/кг, не более, для топлива:			
К3	350,0		
К4		50,0	
К5			10,0
Температура вспышки, определяемая в закрытом тигле, °С, выше	55		
Коксуемость 10%-ного остатка разгонки, % масс., не	0,3		

более	
Зольность, % масс., не более	0,01
Массовая доля воды, мг/кг, не более	200
Общее загрязнение, мг/кг, не более	24
Коррозия медной пластинки (3 ч при 50 °С), единицы по шкале	Класс 1
Окислительная стабильность: общее количество осадков, г/м ³ , не более	25
часов, не менее	20
Смазывающая способность: скорректированный диаметр пятна износа (wsd 1,4) при 60 °С, мкм, не более	460
Кинематическая вязкость при 40 °С, мм ² /с	2,000-4,500
Фракционный состав: при температуре 250 °С, % об., менее	65
при температуре 350 °С, % об., не менее	85
95% об. перегоняется при температуре, °С, не выше	360
Содержание метиловых эфиров жирных кислот, % об., не более	7,0

Глава 3. Методы исследований.

В данной работе изучалось влияние дизельного топлива на физические свойства почв на примере дерново-мелкоподзолистой легкосуглинистой почвы и торфяно-подзол-элювозёма глеевого супесчаного.

Для проведения натурального эксперимента в непосредственной близости от места контрольных разрезов были заложены экспериментальные площадки 25x25 см, на которых проводилось искусственное загрязнение почв с поверхности дизельным топливом в концентрации 16 л/м². Срок загрязнения составил два месяца в период с 01.07.15 по 02.09.15, после чего с площадок были отобраны образцы загрязнённых почв.

Уровень и глубина загрязнения почвы дизельным топливом оценивалась по содержанию углерода, определённого методом Тюрина.

В связи с тем, что в торфяно-подзол-элювозёме дизельное топливо полностью сконцентрировалось в верхних органогенных горизонтах Т и Н, для нижележащих органо-минеральных и минеральных горизонтов, сходных с таковыми в дерново-подзолистой почве, был заложен лабораторный опыт, в котором имитировалось загрязнение дизельным топливом в концентрации 5% и 15% от массы, то есть в количестве, приближённом к результатам натурального эксперимента. В образцы почвы, просеянные через сито в 1 мм, увлажнённые до 60% от полной влагоёмкости, по весу вносилось дизельное топливо. Образцы выдерживались при комнатной температуре и постоянной влажности один месяц, после чего использовались для изучения влияния дизельного топлива на физические свойства почв.

Схема проведения лабораторного опыта:

Разрез №1

- АУе – 200г почвы – 10г ДТ (5%)
- АУе – 200г почвы – 30г ДТ (15%)
- АЕЛ – 200г почвы – 10г ДТ (5%)
- АЕЛ – 200г почвы – 30г ДТ (15%)

Разрез №2

- Еhi – 200г почвы – 10г ДТ (5%)
- Еhi – 200г почвы – 30г ДТ (15%)
- Е – 200г почвы – 10г ДТ (5%)
- Е – 200г почвы – 30г ДТ (15%)

Контролем служили соответствующие горизонты незагрязнённых почв.

Определение химических и физико-химических свойств почв и гранулометрического состава проводилось общепринятыми методами (Химический анализ почв, 1995, Растворова, 1983)

Изучение физических свойств почв проводилось по методикам, описанным в учебно-методическом пособии «Физика почв» О. Г. Растворовой (1983).

Определялись следующие гидрофизические характеристики:

- Влажность монослоя (ВМ);
- Максимальная гигроскопичность (МГ);
- Влажность завядания (ВЗ);
- Влажность разрыва капиллярных связей (ВРК);
- Диапазон активной влаги (ДАВ);
- Наименьшая влагоёмкость (НВ);
- Капиллярная влагоёмкость (КВ);
- Полная влагоёмкость (ПВ).

Физико-механические параметры:

- Липкость;
- Пластичность;
- Набухание.

Дополнительно определялись следующие показатели:

- Удельная поверхность по Кутилеку (УП);
- Общая порозность;
- Смачиваемость.

Все анализы проводились в трёхкратной повторности.

Результаты обрабатывались методом математической статистики (Абакумов, Попов, 2010).

Глава 4. Результаты исследований и их обсуждение

Согласно литературным данным, загрязнение нефтью и нефтепродуктами достоверно оказывает влияние на физические свойства почв. Однако их изучению по-прежнему не уделяется должного внимания, с каким, к примеру, относятся к агрохимическим показателям, гумусному состоянию, приёмам рекультивации. Возможно, это связано со сложностью в измерении и интерпретации данных.

Также отмечено, что разная по составу нефть ввиду своих химических и физических свойств оказывает неодинаковое воздействие на почву, то же можно сказать и о нефтепродуктах ввиду их отличий от исходной нефти. Это же справедливо и для различных типов почв вследствие их индивидуальных свойств и особенностей протекания в них процессов почвообразования.

В данной работе изучались изменения гидрофизических и физико-механических свойств супесчаной и легкосуглинистой почв, характерных для подзоны южной тайги, в результате загрязнения дизельным топливом.

4.1. Сравнительная характеристика исследуемых почв

В ходе выполнения работы с использованием общепринятых методов были изучены свойства дерново-мелкоподзолистой почвы и торфяно-подзол-элювозёма.

Исследования гранулометрического состава подтвердили, что по этому показателю анализируемые почвы действительно различаются (табл. 1).

Таблица 1.

Гранулометрический состав дерново-мелкоподзолистой почвы и торфяно-подзол-элювозёма глеевого

Горизонт	1-0.25 мм	0.25-0.05 мм	0.05-0.01 мм	0.01-0.005 мм	0.005-0.001 мм	<0.001 мм	Физ. песок (>0.01 мм)	Физ. глина (<0.01 мм)
Дерново-мелкоподзолистая легкосуглинистая на морене								
AУе	11,87	23,31	38,40	8,67	16,84	0,91	73,58	26,42
AEЛ	14,24	31,62	31,01	6,27	15,39	1,47	76,87	23,13
Торфяно-подзол-элювозём глеевый потёчно-гумусовый супесчаный на двучлене								
Eh _i	21,13	49,61	14,73	5,21	8,38	0,94	85,47	14,53
E	25,71	54,19	9,84	3,37	6,22	0,67	89,74	10,26

Верхние органо-минеральные горизонты дерново-мелкоподзолистой почвы представлены опесчаненным лёгким суглинком (по содержанию физической глины 26,42% и 23,13% соответственно для серогумусового оподзоленного и элювиально-гумусового горизонтов и преобладанию фракций мелкого песка и крупной пыли).

Содержание физической глины в потёчно-гумусовом горизонте E_{h1} торфяно-подзол-элювозёма составляет 14,53%, что классифицируется как супесь. В подзолистом горизонте содержание физической глины достигает 10,26%, что можно рассматривать как пограничное значение между связным песком и супесью, ближе к последнему. Также в обоих горизонтах доминирует фракция мелкого песка, но, в отличие от дерново-подзолистой почвы, в торфяно-подзол-элювозёме наблюдается высокое содержание фракции крупного песка, а не крупной пыли.

Таким образом, по гранулометрическому составу изученные почвы относятся к разным классам: дерново-мелкоподзолистая почва является легким суглинком мелкопесчано-крупнопылеватым, а торфяно-подзол-элювозем – супесью песчаной.

По результатам физико-химических исследований установлено, что изученные почвы обладают свойствами, типичными для почв подзоны южной тайги (табл. 2)

Дерново-мелкоподзолистая почва характеризуется слабокислой средой (pH от 5,43 до 5,59), к породе переходящей в близкую к нейтральной (pH = 6,67). Содержание органического углерода в верхнем органо-минеральном горизонте A_{Уе} несколько повышено и составляет 3,09%, что, скорее всего, является отпечатком антропогенной деятельности на данной территории. Вниз по профилю содержание углерода закономерно уменьшается. Также в почве обнаруживается обменная кислотность, вниз по профилю снижающаяся от 2,78 до 0,88 м-экв/100г. Гидролитическая кислотность несколько возрастает в элювиально-гумусовом горизонте (6,53 м-экв/100 г) и резко падает к породе. В целом невысокая ёмкость катионного обмена (ЕКО) и слабая насыщенность основаниями резко снижаются в горизонте A_{ЕL}, и плавно возрастают к породе в связи с некоторым утяжелением её гранулометрического состава.

Для физико-химических свойств торфяно-подзол-элювозёма наблюдаются схожие тенденции. Реакция среды кислая-слабокислая в верхних горизонтах (pH = 4,86-5,19), к породе изменяется до близкой к нейтральной (pH = 6,41). Содержание органического углерода максимальное в перегнойном горизонте Н (4,15%), заметно снижается в нижележащих горизонтах. Обменная кислотность резко возрастает в потёчно-гумусовом горизонте E_{h1} (3,03 м-экв/100 г), и также резко падает вниз

Таблица 2.

Физико-химические показатели дерново-мелкоподзолистой почвы и торфяно-подзол-элювозёма глеевого

Горизонт	рН		Сорг	Н+	Нг	Ca ²⁺ + Mg ²⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	ЕКО
	H2O	KCl	%	м-экв/100г почвы					
Дерново-мелкоподзолистая легкосуглинистая на морене									
АУе	5,61	4,45	3,09±0,02	2,78±0,04	6,13±0,02	12,80±0,04	8,26±0,06	3,82	24,71±0,02
АЕЛ	5,43	3,97	1,93±0,02	2,71±0,04	6,53±0,03	5,19±0,08	3,21±0,05	1,98	13,29±0,08
ВТ	5,59	4,82	0,39±0,01	0,95±0,04	2,23±0,04	6,50±0,13	4,10±0,07	2,40	16,36±0,08
ВС	6,67	4,74	0,27±0,01	0,88±0,03	1,74±0,01	14,13±0,06	10,13±0,07	4,00	19,23±0,11
Торфяно-подзол-элювозём глеевый потёчно-гумусовый супесчаный на двучлене									
Н	4,86	3,98	4,15±0,10	1,48±0,02	7,84±0,02	20,44±0,10	10,37±0,08	10,07	65,60±0,19
Еhi	5,19	4,26	2,39±0,05	3,03±0,04	7,43±0,06	6,93±0,09	3,48±0,07	3,45	18,77±0,08
Е	4,97	4,01	0,40±0,02	0,88±0,03	7,73±0,05	5,54±0,03	3,05±0,04	2,49	15,44±0,10
DG	6,41	4,92	0,13±0,01	0,64±0,03	2,32±0,05	6,31±0,06	5,25±0,06	1,06	16,44±0,14

по профилю. Гидролитическая кислотность в верхней части профиля подвержена незначительным колебаниям, несколько снижается в горизонте E_{h1}, и сильно уменьшается в породе (до 2,32 м-экв/100 г). Ёмкость катионного обмена и насыщенность почвенного поглощающего комплекса основаниями невысоки, минимальных величин достигают в элювиальном горизонте E, незначительно возрастая к породе. Исключение составляет органогенный горизонт H, отличающийся высоким значением ЕКО (65,60 мг-экв/100г).

Состав гумуса в дерново-мелкоподзолистой почве – гуматно-фульватный (Сгк/Сфк = 0,7), а в торфяно-подзол-элювозёме – гуматно-фульватный на границе с фульватным (Сгк/Сфк = 0,5).

Таким образом, исследованные дерново-мелкоподзолистая почва и торфяно-подзол-элювозём обладают свойствами, характерными для почв данных типов.

Для всех вычисленных показателей были подсчитаны коэффициенты вариации (V%). Для органического углерода V% колеблется в пределах 1,04-4,44% для дерново-подзолистой почвы и 3,80-8,66% для торфяно-подзол-элювозёма, для обменной кислотности – 2,28-6,98% и 2,18-8,52% соответственно, для гидролитической кислотности – 0,53-2,72% и 0,48-3,37%, для суммы обменных $Ca^{2+} + Mg^{2+}$ – 0,59-3,58% и 0,86-2,32%, отдельно для Ca^{2+} – 1,20-3,05% и 1,40-3,31%, для ёмкости катионного обмена – 0,10-1,02% и 0,49-1,49%. Как видно, все представленные величины коэффициента вариации меньше 10%, то есть, изменчивость вариативного ряда незначительна, что свидетельствует о достоверности данных.

4.2. Определение уровня и глубины загрязнения

Концентрация и глубина просачивания дизельного топлива вниз по профилю оценивались по содержанию общего углерода в загрязнённых образцах в сравнении с их чистыми аналогами. Полученные данные наглядно свидетельствуют об изменении концентрации углерода в почве под влиянием загрязнения.

В табл. 3 представлены результаты определения содержания органического углерода в чистых и загрязнённых в натурном эксперименте горизонтах.

Таблица 3.

Содержание общего углерода в контрольных и загрязнённых дизельным топливом почвах

Горизонт	Собщ, %	Собщ. натур. опыт, %
Дерново-мелкоподзолистая легкосуглинистая		
AYe	3,09±0,02	5,73±0,02
AEL	1,93±0,02	4,22±0,01
BT	0,39±0,01	1,72±0,06
BC	0,27±0,01	—
Торфяно-подзол-элювозём глеевый супесчаный		
T	22,12±0,10	28,54±0,13
H	4,15±0,10	8,24±0,13
Ehi	2,39±0,05	2,25±0,03
E	0,40±0,02	0,39±0,02
DG	0,13±0,01	—

Для дерново-подзолистой почвы прибавка углерода в загрязнённом дизельным топливом серогумусовом горизонте AYe составила 2,64%, в элювиально-гумусовом горизонте AEL несколько меньше – 2,29%, в текстурном BT – 1,33%. То есть, интенсивность загрязнения снижается вниз по профилю. В торфяно-подзол-элювозёме дизельное топливо сконцентрировалось в перегнойном горизонте H (прибавка углерода – 4,09%) и вышележащем горизонте T (прибавка 6,42%), для нижележащих горизонтов результаты находятся в пределах ошибки определения, следовательно, эти образцы нельзя использовать для изучения влияния загрязнения почвы дизельным топливом на ее физические свойства.

В лабораторном эксперименте получены более сопоставимые результаты. Во всех загрязнённых дизельным топливом образцах наблюдается заметная прибавка

органического углерода. Полученные результаты соотнесены с чистыми и загрязнёнными в естественных условиях аналогами в таблице 4.

Таблица 4.

Содержание общего углерода в контрольных и загрязнённых дизельным топливом образцах в условиях природного и лабораторного экспериментов

Горизонт и концентрация	Собщ лаб. опыт, %	Собщ, %	Собщ, натур. опыт, %
Дерново-мелкоподзолистая легкосуглинистая			
AYe 15%	4,57±0,06	3,09±0,02	5,73±0,02
AYe 5%	4,07±0,01		
AEL 15%	3,72±0,04	1,93±0,02	4,22±0,01
AEL 5%	3,46±0,02		
Торфяно-подзол-элювозём глеевый супесчаный			
Ehi 15%	4,25±0,05	2,39±0,05	–
Ehi 5%	3,97±0,03		
E 15%	2,55±0,00	0,40±0,02	–
E 5%	1,73±0,03		

Приведённые данные иллюстрируют заметную разницу между результатами натурального и лабораторного опыта, а также между 15% и 5% загрязнением дизельным топливом в пределах одного и того же горизонта.

Для AYe горизонта дерново-мелкоподзолистой почвы прибавка общего углерода в лабораторном опыте составляет 1,48% для 15% загрязнения и 0,98% для 5%, то есть, на 1,16% и 1,31% меньше, чем в натурном эксперименте. В горизонте AEL содержание общего углерода возросло в случае 15% загрязнения на 1,79%, то есть, почти в два раза, и на 1,53% в случае 5%.

В Ehi горизонте торфяно-подзол-элювозёма содержание общего углерода возросло на 1,86% в варианте с 15% загрязнением и на 1,58% – с 5%, а в E горизонте – на 2,15% и 1,33% соответственно.

Если сравнивать прибавку углерода в одном загрязнённом горизонте при разных концентрациях дизельного топлива, то можно сделать вывод, что изменения не вполне закономерны и не всегда имеют существенные различия.

По данным статистической обработки данных V% для полученных результатов колеблется в пределах от 0,23% до 2,90%, что свидетельствует об их достоверности.

4.3. Влияние загрязнения дизельным топливом на гидрофизические свойства почв

Дизельное топливо оказывает неодинаковое воздействие на изменения гидрофизических свойств почв разного гранулометрического состава (табл. 5).

4.3.1. Влияние загрязнения дизельным топливом на влажность монослоя

Влажность монослоя (ВМ) представляет собой мономолекулярный слой воды, сорбированной почвенными частицами при относительной влажности воздуха 20%. Этот показатель также используется при расчёте удельной поверхности.

Общая тенденция изменений ВМ при загрязнении дизельным топливом одинакова как для дерново-мелкоподзолистой почвы, так и для торфяно-подзол-элювозёма: чем больше концентрация поллютанта, тем сильнее снижается ВМ (табл. 5).

В незагрязнённом АУе горизонте дерново-мелкоподзолистой почвы ВМ составляет 1,12%. При 15% загрязнении дизельным топливом ВМ снизилась на 0,22%, а при 5% – на 0,14%. Загрязнение в естественных условиях привело к уменьшению данного показателя всего на 0,11%.

В нижележащем горизонте АЕЛ наблюдаются более контрастные изменения. В образце с 15% загрязнением по сравнению с контролем ВМ снизилась на 0,41%, то есть, почти в два раза сильнее, чем в предыдущем, а для 5% изменения составили 0,3%. В образце из натурального эксперимента ВМ понизилась на 0,21%.

Исследования торфяно-подзол-элювозёма показывают схожие результаты. Так, для Еh1 горизонта уменьшение ВМ равняется 0,33% для 15% загрязнения и 0,16%, то есть, в два раза меньше, для 5%.

Ещё более резкие изменения можно увидеть в Е горизонте. При 15% загрязнении ВМ снизилась с 0,18% до 0,03%, а при 5% – до 0,06%.

В целом, снижение ВМ в исследуемых почвах происходит пропорционально росту степени загрязнения, а также сильнее проявляется в нижележащих горизонтах АЕЛ и Е. Так же можно отметить, что более контрастные изменения наблюдаются в супесчаной почве. Для АУе и АЕЛ горизонтов дерново-мелкоподзолистой почвы, загрязнённых в условиях натурального эксперимента, наблюдается более слабое снижение данного показателя, что, скорее всего, связано с протеканием естественных процессов почвообразования.

Снижение ВМ свидетельствует об уменьшении мономолекулярного слоя воды и сокращении гидрофильной поверхности твердой фазы, что, в свою очередь,

Таблица 5.

Влияние загрязнения дизельным топливом на гидрофизические свойства дерново-мелкоподзолистой почвы и торфяно-подзол-элювозёма

Образец	ВМ, %	УП, м2/г	МГ, %	ВЗ, %	ВРК, %	НВ, %	КВ, %	ПВ, %
Дерново-мелкоподзолистая легкосуглинистая								
АУе	1,12±0,02	40,48	6,09±0,02	8,16	13,46±0,02	21,75±0,02	25,76±0,11	32,91±0,07
АУе дт	1,01±0,02	36,50	7,69±0,01	10,30	10,77±0,02	13,50±0,03	12,38±0,08	15,79±0,05
АУе 15%	0,90±0,01	32,53	9,28±0,02	12,44	9,47±0,09	11,59±0,10	13,39±0,03	22,77±0,07
АУе 5%	0,98±0,02	35,42	6,32±0,02	8,47	10,11±0,07	13,05±0,04	10,93±0,10	13,40±0,09
АЕL	1,07±0,01	38,70	5,87±0,02	7,87	12,00±0,01	18,54±0,11	20,85±0,10	28,37±0,04
АЕL дт	0,86±0,03	31,08	6,88±0,02	9,22	9,95±0,04	12,90±0,06	12,80±0,07	16,79±0,08
АЕL 15%	0,66±0,02	23,85	9,18±0,03	12,30	8,33±0,09	11,41±0,09	15,22±0,08	21,19±0,05
АЕL 5%	0,77±0,02	27,83	7,22±0,05	9,67	8,87±0,06	12,46±0,01	12,29±0,04	14,12±0,05
Торфяно-подзол-элювозём глеевый супесчаный								
Ehi	0,72±0,01	26,02	3,71±0,03	4,97	6,80±0,08	11,04±0,05	22,51±0,10	27,72±0,07
Ehi 15%	0,39±0,01	14,09	8,74±0,06	11,74	5,20±0,03	7,35±0,00	9,82±0,09	14,50±0,04
Ehi 5%	0,56±0,01	20,24	6,92±0,04	9,27	5,75±0,07	8,14±0,05	7,95±0,08	11,93±0,06
E	0,18±0,01	6,50	2,36±0,03	3,16	6,30±0,04	7,47±0,07	17,62±0,06	23,81±0,06
E 15%	0,03±0,00	1,08	7,90±0,05	10,59	5,34±0,04	4,42±0,10	9,36±0,02	11,29±0,03
E 5%	0,06±0,00	2,17	6,26±0,04	8,39	5,68±0,05	5,07±0,05	7,75±0,04	9,34±0,05

подтверждает данные о гидрофобизации почвы, загрязнённой нефтью и нефтепродуктами (Гилязов, 2002).

Снижение данного показателя является негативным для общего состояния почвы и свидетельствует о перестройке поверхности твердой фазы и нарушении структуры и строения почвенных частиц.

Данные статистической обработки показывают, что $V\%$ для исследуемых горизонтов дерново-мелкоподзолистой почвы колеблется в пределах от 2,56% до 3,76% для АУе горизонта (во всех вариантах опыта), а для АЕL горизонта составляет 2,34-5,94%. Для Еh1 горизонта торфяно-подзол-элювозёма $V\%$ равняется 1,37-3,88%, а для Е горизонта – 6,53-9,11% во всех вариантах опыта. Эти результаты подтверждают, что данные достоверны и изменчивость вариативного ряда в целом незначительна.

4.3.2. Влияние загрязнения дизельным топливом на удельную поверхность

Удельная поверхность (УП) почвы представляет собой суммарную поверхность всех частиц почвы, отнесенную к 1 г или 1 см³. Выделяют общую, внешнюю, и внутреннюю поверхности. Внешняя («кинетическая») поверхность определяется дисперсностью твердой фазы почвы, внутренняя – особенностями строения частиц (наличием тупиковых микротрещин и пор внутри частиц). Общая удельная поверхность представляет собой сумму внешней и внутренней удельных поверхностей (Растворова, 1983).

Расчёт данного показателя проводился по методу Кутилека: влажность монослоя, помноженная на коэффициент равный 36,14 (Растворова, 1983).

В связи с тем, что величина УП напрямую зависит от МВ, в характере изменения данного показателя прослеживаются всё те же тенденции. При увеличении концентрации дизельного топлива в почве, УП резко снижается в каждом горизонте вне зависимости от гранулометрического состава почвы.

Полученные данные согласуются с результатами исследований Гилязова М. Ю. (2002), при которых так же было выявлено сокращение удельной поверхности при загрязнении почвы.

Уменьшение величины УП, как и ВМ, свидетельствует о сокращении гидрофильной поверхности твердой фазы и нарушении структуры и строения почвенных частиц, что крайне негативно сказывается на свойствах почв.

4.3.3. Влияние загрязнения дизельным топливом на максимальную гигроскопичность

Максимальная гигроскопичность (МГ) – наибольшее количество парообразной влаги, которое почва может поглотить из воздуха, почти насыщенного водяным паром. Величина МГ зависит от суммарной поверхности почвенных частиц, которая, в свою очередь, определяется количеством тонких, коллоидных частиц – органических и минеральных – и их гидрофильностью. От структуры и сложения почвы МГ практически не зависит (Растворова, 1983).

Под влиянием загрязнения дизельным топливом МГ возрастает, причём увеличение концентрации поллютанта закономерно приводит к большему увеличению данного показателя.

По сравнению с контролем (6,09%) в горизонте АУе дерново-мелкоподзолистой почвы МГ возрастает на 3,19% при 15% загрязнении, и на 0,23%, то есть, достаточно незначительно, при 5%. Что касается образца, загрязнённого в условиях натурального эксперимента, то в нём МГ достигает 7,69%.

В горизонте АЕL при 15% загрязнении МГ возрастает на 3,31%, а при 5% – на 1,35%. Загрязнение горизонта в естественных условиях привело к несколько меньшему повышению данного показателя: всего на 1,01%.

Для Еh1 горизонта торфяно-подзол-элювозёма при 15% загрязнении МГ по сравнению с контрольным образцом (3,71%) увеличилась на 5,03%, то есть, больше, чем в два раза. 5% загрязнение образца привело к повышению данного показателя только лишь на 2,58%.

При 15% загрязнении дизельным топливом горизонта Е наблюдается увеличение МГ на 5,54%, почти в 2,5 раза. При 5% загрязнении МГ возрастает на 3,9%.

В характере изменения МГ при загрязнении дизельным топливом появляются новые тенденции. Наиболее подвержены трансформации образцы с 15% загрязнением, более сильные колебания наблюдаются в горизонтах АЕL и Е. В супесчаных образцах повышение МГ носит более резкий характер.

Полученные результаты разительно отличаются от литературных данных. К примеру, Гилязов М. Ю. (2002) писал о снижении максимальной гигроскопичности почвы при нефтезагрязнении, Коновалова Е. В. (2009) также отмечала уменьшение влаги всех категорий. Вероятно, разница может заключаться в различиях между поллютантами и их концентрациями, а также типах почв.

В данной работе возрастание МГ, возможно, связано с тем, что, в отличие от ВМ, почвенная влага представляет собой не единый слой молекул, а полимолекулярную водную плёнку. На гидрофобных почвенных частицах могут создаваться условия для формирования гроздьев молекул воды, к тому же капли дизельного топлива, выполняющие роль клеящего субстрата, могут приводить к изменению характера поверхности твердой фазы, а также изменению удельной поверхности. Возможно, совокупность этих явлений служит причиной увеличения МГ в загрязнённых дизельным топливом образцах.

В целом, повышение МГ нельзя рассматривать как положительное явление, т.к. данный показатель характеризует «мёртвый запас» – недоступную для растений влагу и является значением, необходимым для расчёта влажности завядания. Изменение данного показателя может говорить о качественной трансформации поверхности твердой фазы почвы.

V% для исследуемых образцов дерново-мелкоподзолистой почвы не превышает 1,08%, а для образцов торфяно-подзол-элювозёма колеблется в пределах от 1,01-2,33%, что подтверждает достоверность данных.

4.3.4. Влияние загрязнения дизельным топливом на влажность завядания

Влажность завядания (ВЗ) определяет нижнюю границу продуктивной для растений влаги. Рассчитывается данный показатель по величине максимальной гигроскопичности с использованием определённого коэффициента. В работе использовался коэффициент, равный 1,34 (Растворова, 1983).

Поскольку ВЗ напрямую зависит от МГ, в характере изменения этого показателя наблюдаются те же тенденции. С увеличением концентрации дизельного топлива в образце ВЗ закономерно повышается. Наиболее заметно эти изменения проявляются в супесчаных горизонтах.

Увеличение ВЗ приводит к уменьшению содержания продуктивной влаги в почвах, что ингибирует рост и развитие растений.

4.3.5. Влияние загрязнения дизельным топливом на влажность разрыва капиллярных связей

Влажность разрыва капиллярных связей или влажность разрыва капилляров (ВРК) – пограничная величина между легкодоступной и труднодоступной растениям

влажностью, такое количество подвешенной влаги, при которой её подвижность резко изменяется (Растворова, 1983).

Результаты, представленные в табл. 5, показывают, что загрязнение почв дизельным топливом влияет на ВРК. Во всех загрязнённых образцах наблюдается снижение данного показателя.

Для 15% загрязнения АУе горизонта дерново-мелкоподзолистой почвы по сравнению с контролем (13,46%) ВРК снизилась на 3,99%, а для 5% – на 3,35%. В натурном эксперименте также произошло уменьшение указанной характеристики, но в несколько меньших пределах – на 2,69%.

В горизонте АЕЛ наблюдается снижение ВРК на 3,67% в случае 15% загрязнения и 3,13% в случае 5%, а для образца, загрязнённого в природе – 2,05% при показаниях контрольного образца 12,00%.

При 15% загрязнении дизельным топливом горизонта Еh1 ВРК снижается на 1,60%, а при 5% – на 1,05%. Для горизонта Е ВРК уменьшилась на 0,96% для 15% загрязнения и на 0,62% при 5%.

ВРК по-прежнему снижается тем больше, чем выше концентрация загрязнителя, но теперь более заметные изменения протекают в верхних горизонтах. Более контрастные результаты наблюдаются в легкосуглинистой дерново-мелкоподзолистой почве. Наиболее слабые изменения выявились в образцах, загрязнённых в натурном эксперименте, что, возможно, объясняется различиями внешних условий.

Уменьшение ВРК, вероятно, вызвано всё той же совокупностью факторов, приводящих к гидрофобизации и изменению характера поверхности твёрдой фазы почвенных частиц, рассмотренных выше, а также общим сокращением количества влаги в почве.

Снижение ВРК в загрязнённых дизельным топливом образцах отрицательно сказывается на состоянии почвы, т.к. в этом случае потеря подвижности почвенной влаги наступает при меньшей влажности, чем в незагрязнённых почвах.

Данные обрабатывались методом математической статистики. Полученные результаты показывают, что V% для исследуемых горизонтов дерново-мелкоподзолистой почвы находится в интервале от 0,24% до 1,64% для АУе горизонта (во всех вариантах опыта), а для АЕЛ горизонта составляет 0,17-1,84%. Для Еh1 горизонта торфяно-подзол-элювозёма V% равняется 1,16-2,13%, а для Е горизонта – 1,06-1,50% во всех вариантах опыта. Эти результаты подтверждают достоверность данных незначительную изменчивость вариативного ряда.

4.3.6. Влияние загрязнения дизельным топливом на наименьшую влагоёмкость

Наименьшая влагоёмкость (НВ) – это максимальное количество влаги, которое может удержать почва после избыточного полива сверху и при свободном оттоке избытка влаги, т. е. максимальное количество подвешенной влаги.

В данной работе НВ определялась методом С. И. Долгова в насыпных колонках после определения капиллярной влагоёмкости. Из-за длительности ведения опыта, по всей вероятности, произошло изменение плотности упаковки агрегатов, то есть, в эксперименте не удалось выдержать требуемую плотность образцов, что привело к занижению результатов.

По данным, представленным в табл. 5, можно увидеть, что при загрязнении дизельным топливом НВ резко снижается, как для дерново-мелкоподзолистой почвы, так и для торфяно-подзол-элювозёма.

В горизонте АУе при 15% загрязнении наблюдается уменьшение НВ на 10,16% по сравнению с контролем (21,75%), то есть, практически в два раза. При 5% загрязнении происходит снижение данного показателя на 8,7%, а в образце из натурального эксперимента – на 8,25%.

Для АЕL горизонта дерново-мелкоподзолистой почвы НВ снизилась в несколько меньших пределах. При 15% загрязнении произошло уменьшение данного показателя на 7,13%, а при 5% чуть меньше – на 6,08%. В натурном эксперименте НВ снизилась ещё слабее – только на 5,64%.

В загрязнённом дизельным топливом в концентрации 15% горизонте Еh1 торфяно-подзол-элювозёма по сравнению с контролем (11,04%) НВ снизилась на 3,69%, то есть, фактически на треть, а при 5% загрязнении – на 2,9%.

При 15% загрязнении в горизонте Е наблюдается уменьшение и без того невысоких (7,47%) значений НВ на 3,05%, что составляет чуть меньше половины, а при 5% – на 2,4%, то есть, почти на треть.

Снижение НВ в исследуемых почвах наиболее выражено при 15% загрязнении и сильнее проявляется в гумусированных горизонтах АУе и Еh1. Так же можно отметить, что более контрастные изменения наблюдаются в легкосуглинистой почве. Данные натурального эксперимента показывают чуть менее резкое снижение НВ, чем в лабораторном опыте, что, вероятно, связано с различием внешних условий.

Величина НВ напрямую зависит от многих факторов, на некоторые из них загрязнение дизельным топливом может оказывать непосредственное влияние. Например, на структуру порового пространства, снижая количество пор и

гидрофильность составляющих их почвенных частиц. К тому же, НВ формируют капиллярные и сорбционные силы, относительно которых также могут происходить качественные и количественные изменения.

В целом, снижение НВ негативно сказывается на свойствах почвы, т.к. она теряет способность удерживать в себе капиллярную влагу, то есть, резко становится гидрофобной.

V% для АУе горизонта дерново-мелкоподзолистой почвы (во всех вариантах опыта) находится в пределах от 0,19% до 1,48%, а для АЕL горизонта составляет 0,14-1,44%. Для Еhi горизонта торфяно-подзол-элювозёма V% равняется 0,08-0,98%, а для Е горизонта – 1,57-3,77% во всех вариантах опыта. Эти результаты демонстрируют достоверность данных и незначительную изменчивость вариативного ряда.

4.3.7. Влияние загрязнения дизельным топливом на диапазон активной влаги

Для дерново-мелкоподзолистой почвы и торфяно-подзол-элювозёма согласно полученным данным был рассчитан диапазон активной влаги (табл. 6).

Таблица 6.

Диапазон активной влаги дерново-мелкоподзолистой почвы и торфяно-подзол-элювозёма при загрязнении дизельным топливом, %

Образец	ДАВ
Дерново-мелкоподзолистая легкосуглинистая	
АУе	13,59
АУе дт	3,2
АУе 15%	-0,85
АУе 5%	4,58
АЕL	10,67
АЕL дт	3,68
АЕL 15%	-0,89
АЕL 5%	2,79
Торфяно-подзол-элювозём супесчаный	
Еhi	6,07
Еhi 15%	-4,39
Еhi 5%	-1,13
Е	4,31
Е 15%	-6,17
Е 5%	-3,32

Диапазон активной влаги (ДАВ) представляет собой наибольшее количество продуктивной влаги, которое находится в интервале между наименьшей влагоёмкостью и влажностью завядания и рассчитывается, как разница между ними (Растворова, 1983).

Для загрязнённых дизельным топливом образцов наблюдается увеличение ВЗ при одновременном уменьшении НВ, что приводит к чрезвычайно резкому сужению диапазона активной влаги.

С увеличением концентрации загрязнителя происходит более интенсивное снижение ДАВ. Такая тенденция наблюдается как для дерново-мелкоподзолистой почвы, так и для торфяно-подзол-элювозёма во всех вариантах опыта с загрязнением дизельным топливом.

В случае 15% загрязнения для исследуемых горизонтов дерново-мелкоподзолистой почвы и во всех вариантах опыта для торфяно-подзол-элювозёма ДАВ становится отрицательным. Возможно, это связано с тем, что, будучи расчётной величиной, этот показатель напрямую зависит именно от абсолютных значений ВЗ и НВ. Вероятно, данная расчётная методика просто не подходит для определения ДАВ загрязнённых нефтепродуктами почв.

В целом же снижение ДАВ оказывается негативным, почти губительным для растений, произрастающих на загрязнённых почвах.

4.3.8. Влияние загрязнения дизельным топливом на капиллярную влагоёмкость

Капиллярная влагоёмкость (КВ) представляет собой наибольшее количество капиллярно-подпертой влаги, содержащейся в почве. Эта величина сильно варьирует для каждого горизонта в зависимости от свойств почвы (дисперсного и структурного состояния, порозности и т.п.), а также высоты горизонта над уровнем грунтовых вод (Растворова, 1983).

Результаты, представленные в табл. 5, демонстрируют резкое снижение КВ в загрязнённых образцах для обеих исследуемых почв, однако, эти изменения имеют сложный и неоднозначный характер.

Так, для АУе горизонта по сравнению с контролем (25,76%) при 15% загрязнении наблюдается значительное уменьшение КВ на 12,37%, практически в два раза. Однако в варианте с 5% загрязнением неожиданно обнаруживается ещё более резкое снижение данной характеристики – на 14,83%. Данные натурального эксперимента показали уменьшение на 13,38%

В АЕЛ горизонте наблюдается та же тенденция, но в менее узком интервале. В варианте с 15% загрязнением КВ снижается только на 5,63% по сравнению с контролем (20,85%), а с 5% – на 8,56%. При загрязнении в естественных условиях КВ уменьшается на 8,05%.

По сравнению с контролем (22,51%) в горизонте E_{h1} происходит снижение КВ на 12,69% при 15% загрязнении дизельным топливом и на 14,56% при 5%.

Для горизонта E торфяно-подзол-элювозёма КВ уменьшилась на 8,26%, то есть, почти в два раза, при 15% загрязнении и на 9,87% при 5%.

В характере изменения КВ наблюдается смена предыдущих тенденций, то есть, для более сильных концентраций загрязнения характерны менее контрастные изменения данного показателя, что обнаруживается во всех исследуемых горизонтах дерново-мелкоподзолистой почвы и торфяно-подзол-элювозёма. Наиболее резкое снижение КВ происходит в верхних горизонтах АУе и E_{h1}, что, вероятно, связано с влиянием загрязнения на изменение агрегатного состояния и характера порозности. Также уменьшение данного показателя сильнее проявляется в почве лёгкого гранулометрического состава.

Резкое снижение капиллярной влагоёмкости при нефтезагрязнении отмечал в своих исследованиях Гилязов М. Ю. (2002), что вполне согласуется с полученными в этой работе результатами. Также о снижении данной категории влаги (и особенно при внесении в почву дизельного топлива) упоминалось в работе Коноваловой Е. В (2009). Однако данных о подобных различиях КВ при внесении разных концентраций поллютанта найдено не было.

КВ зависит от совокупности многих факторов, но основное отличие данной гидрофизической характеристики состоит в том, что подъем воды в капиллярах является следствием многофазного взаимодействия жидкой, твёрдой и газовой составляющих. Следовательно, этот показатель во многом зависит не только от сил капиллярного поднятия, которые, исходя из результатов, снижаются при внесении дизельного топлива, но и от строения порового пространства почвы.

Для почвы уменьшение КВ относится, скорее, к негативным последствиям загрязнения дизельным топливом, т.к. происходит нарушение капиллярного поднятия влаги, в том числе и в результате снижения гидрофильности поверхности.

V% для дерново-мелкоподзолистой почвы находится в интервале от 0,42% до 1,56% для АУе горизонта (во всех вариантах опыта), а для АЕЛ горизонта составляет 0,61-0,93%. Для E_{h1} горизонта торфяно-подзол-элювозёма V% равняется 0,80-1,67%, а

для E горизонта – 0,32-0,92% во всех вариантах опыта. Эти результаты подтверждают, достоверность данных незначительную изменчивость вариативного ряда.

4.3.9. Влияние загрязнения дизельным топливом на полную влагоёмкость

Полная влагоёмкость (ПВ) – это максимальное количество воды, которое может содержаться в почве с естественным сложением при условии полного заполнения всех пустот и пор (фактически, 5-10% приходится на заземлённый воздух). Эта величина также используется при вычислении порозности почв (Растворова, 1983).

Характер изменения ПВ дерново-мелкоподзолистой почвы и торфяно-подзол-элювозёма при загрязнении дизельным топливом аналогичен изменению КВ, что объясняется воздействием на формирование этих показателей одних и тех же сил.

В горизонте АУе в варианте с 15% загрязнением наблюдается уменьшение ПВ на 10,14% по сравнению с контролем (32,91%), а при 5% загрязнении – на 19,51%, больше чем в 1,5 раза. В образце из натурального эксперимента также произошло резкое уменьшение данного показателя на 17,12%.

Для АЕL горизонта дерново-мелкоподзолистой почвы при 15% загрязнении ПВ снизилась всего на 7,18%, меньше, чем на четверть, при уменьшении данного показателя на 14,25% (в 2 раза) в варианте с 5% загрязнением. В натурном эксперименте ПВ снизилась на 11,58%.

В горизонте Еh1 торфяно-подзол-элювозёма при 15% загрязнении по сравнению с контролем (27,72%) ПВ снизилась на 13,22%, то есть, почти в два раза, а при 5% загрязнении ещё больше – на 15,79%.

При 15% загрязнении в горизонте Е наблюдается уменьшение ПВ на 12,52%, что составляет чуть больше половины, а при 5% – на 14,47%.

Как и для КВ, изменение ПВ сильнее проявляется при более низких концентрациях дизельного топлива, что также можно связать с изменением порового пространства почвы под влиянием загрязнителя. Такая тенденция характерна для всех горизонтов исследуемых почв. Более контрастные изменения наблюдаются в горизонтах АУе и Е, о степени выраженности снижения ПВ в почвах разного гранулометрического состава судить сложно.

Данные аналогичны полученным Гилязовым М. Ю. (2002) результатам.

Возможно, при высоких дозах дизельное топливо сильнее воздействует на поровое пространство почвы, выступая клеящим агентом, структурообразователем, тогда как в меньших просто заполняет поры, вытесняя воду.

Снижение ПВ оказывает отрицательное воздействие на почву, т.к. приводит к уменьшению её водоудерживающей способности и в целом к гидрофобизации поверхности.

V% для AYe горизонта дерново-мелкоподзолистой почвы (во всех вариантах опыта) находится в пределах от 0,35% до 1,17%, а для AEL горизонта составляет 0,26-0,82%. Для Ehi горизонта торфяно-подзол-элювозёма V% равняется 0,42-0,86%, а для E горизонта – 0,40-0,99% во всех вариантах опыта. Эти результаты демонстрируют достоверность данных и незначительную изменчивость вариативного ряда.

4.3.10. Влияние загрязнения дизельным топливом на общую порозность

По полученным данным полной и наименьшей влагоёмкости были рассчитаны значения общей порозности для дерново-мелкоподзолистой почвы и торфяно-подзол-элювозёма. Результаты представлены в табл. 7

Таблица 7.

Общая порозность дерново-мелкоподзолистой почвы и торфяно-подзол-элювозёма при загрязнении дизельным топливом, %

Образец	Общая порозность
Дерново-мелкоподзолистая легкосуглинистая	
AYe	11,64
AYe дт	2,29
AYe 15%	11,18
AYe 5%	0,35
AEL	9,83
AEL дт	3,89
AEL 15%	9,78
AEL 5%	1,66
Торфяно-подзол-элювозём глеевый супесчаный	
Ehi	16,68
Ehi 15%	7,15
Ehi 5%	3,79
E	16,34
E 15%	6,87
E 5%	4,27

Заметно, что при загрязнении дизельным топливом происходит снижение порового пространства, однако, эти изменения имеют сложный характер.

Изменение порового пространства под влиянием загрязнения нефтью было подтверждено исследованиями, проведёнными в Нигерии (Abosedo, 2013). Конкретно, было отмечено снижение общей порозности исследуемых почв.

Для АУе и АЕL горизонтов дерново-мелкоподзолистой почвы наблюдается резкое снижение количества пор при 5% загрязнении и в варианте с загрязнением почв в естественных условиях, что можно связать с возможным заполнением дизельным топливом трещин и пор. Однако при 15% загрязнении поровое пространство снижается незначительно, то есть, количественно практически не меняется. В этом случае можно предположить, что дизельное топливо выступает в качестве структурообразователя, способствующего формированию нового порового пространства.

Эти данные согласуются с изменениями КВ и ПВ (табл. 5).

4.3.11. Влияние загрязнения дизельным топливом на смачиваемость почвы

В дополнение к представленным выше гидрофизическим показателям определялась смачиваемость загрязнённых дизельным топливом дерново-мелкоподзолистой почвы и торфяно-подзол-элювозёма.

Смачиваемость оценивалась по скорости впитывания почвой капли воды. Условно образцы были разделены на сильносмачиваемые (капля впитывалась меньше, чем за секунду), слабосмачиваемые (капля впитывалась в течение суток) и несмачиваемые (для впитывания капли требовались сутки и более. Результаты представлены в табл. 8.

Смачиваемость дерново-мелкоподзолистой почвы и торфяно-подзол-элювозёма при загрязнении дизельным топливом

Образец	Время	Степень смачиваемости
АУе	0,9 с	Сильносмачиваемые
АУе дт	>24 ч	Несмачиваемые
АУе 15%	>24 ч	Несмачиваемые
АУе 5%	~24 ч	Слабосмачиваемые
АЕL	0,8 с	Сильносмачиваемые
АЕL дт	>24 ч	Несмачиваемые
АЕL 15%	>24 ч	Несмачиваемые
АЕL 5%	~24 ч	Слабосмачиваемые
Еhi	0,7 с	Сильносмачиваемые
Еhi 15%	>24 ч	Несмачиваемые
Еhi 5%	~ 24 ч	Слабосмачиваемые
Е	0,7 с	Сильносмачиваемые
Е 15%	>24 ч	Несмачиваемые
Е 5%	~ 24 ч	Слабосмачиваемые

Опыт показал, что чистые почвы относятся к сильносмачиваемым, а все образцы с 5% загрязнением оказались слабосмачиваемыми. У образцов из натурального эксперимента и с 15% загрязнением на впитывание капли ушло очень много времени (больше суток), поэтому они были отнесены к условно несмачиваемым.

Таким образом, загрязнение дизельным топливом приводит к резкому, критическому снижению смачиваемости почв. По сути, почва не смачивается, не взаимодействует с водой, т.е. становится гидрофобной.

4.4. Влияние загрязнения дизельным топливом на физико-механические свойства почв

Дизельное топливо оказывает воздействие на изменение физико-механических свойств почв разного гранулометрического состава (табл. 9).

Таблица 9.

Физико-механические свойства дерново-мелкоподзолистой почвы и торфяно-подзол-элювозёма при загрязнении дизельным топливом

Образец	Липкость, г/см ²	ВПП, %	НПП, %	ЧП, %	Набухание, %
Дерново-мелкоподзолистая легкосуглинистая					
АУе	6,84±0,06	31,01±0,06	22,07±0,09	8,94	2,56±0,04
АУе дт	4,48±0,03	25,49±0,12	17,86±0,08	7,63	2,16±0,03
АУе 15%	4,08±0,02	24,34±0,12	17,61±0,10	6,73	1,84±0,05
АУе 5%	4,53±0,09	25,07±0,08	17,73±0,13	7,34	2,18±0,03
АЕL	4,70±0,06	29,25±0,13	20,86±0,10	8,39	2,07±0,03
АЕL дт	3,21±0,07	25,52±0,16	18,98±0,09	6,54	1,78±0,03
АЕL 15%	2,82±0,07	24,03±0,09	18,29±0,10	5,74	1,59±0,02
АЕL 5%	3,33±0,05	25,00±0,13	18,78±0,08	6,22	1,84±0,04
Торфяно-подзол-элювозём глеевый супесчаный					
Еhi	4,06±0,06	26,06±0,10	18,88±0,06	7,18	1,13±0,02
Еhi 15%	2,31±0,05	20,91±0,09	15,00±0,09	5,91	0,59±0,01
Еhi 5%	2,79±0,03	22,24±0,10	15,80±0,07	6,44	0,79±0,01
Е	2,70±0,05	21,29±0,10	16,80±0,06	4,49	0,46±0,01
Е 15%	1,09±0,03	17,51±0,09	14,23±0,06	3,28	0,20±0,00
Е 5%	1,34±0,02	18,32±0,06	14,68±0,08	3,64	0,33±0,01

4.4.1. Влияние загрязнения дизельным топливом на липкость

Липкость – способность почвы прилипать к поверхности различных соприкасающихся с ней предметов при взаимодействии твердой фазы почвы с этими предметами через пленку воды. Величина липкости почвы зависит от её гранулометрического состава, дисперсности почвы, содержания гумуса, химического и минералогического состава, от структуры и влажности (Растворова, 1983).

Результаты, представленные в табл. 9, показывают изменение липкости почвы под влиянием загрязнения почвы дизельным топливом. Общая тенденция сохраняется для всех горизонтов: данная характеристика снижается, причём тем больше, чем выше концентрация загрязнителя в образце.

Так, для АУе горизонта липкость изменяется более чем на треть, с 6,84 до 4,08 г/см² при 15% загрязнении. В варианте с 5% загрязнением происходит чуть менее заметное снижение – на 2,31 г/см², что по прежнему составляет почти треть от контроля, при загрязнении в естественных условиях липкость снизилась примерно в тех же пределах: на 2,36 г/см².

В АЕL горизонте также происходит резкое снижение липкости. По сравнению с контролем (4,70 г/см²) при 15% загрязнении данный показатель падает на 1,88 г/см², а при 5% – на 1,37 г/см², что составляет чуть меньше трети. В натурном эксперименте произошло уменьшение липкости на 1,49 г/см², не намного больше, чем в предыдущем варианте.

Для Еh1 горизонта торфяно-подзол-элювозёма липкость снижается в более заметных пределах: при 15% загрязнении дизельным топливом данный показатель падает почти в два раза, с 4,06 до 2,31 г/см², а при 5% снижается на 1,27 г/см².

По сравнению с контролем (2,70 г/см²) в горизонте Е липкость уменьшается ещё сильнее: на 1,61 г/см², более, чем в два раза, при 15% загрязнении, и на 1,34 г/см² (практически ровно в два раза) при 5%.

Снижение липкости наиболее сильно проявляется в варианте с 15% загрязнением дизельным топливом для всех почв. Также изменения наиболее заметны в почве лёгкого гранулометрического состава.

По Качинскому (Растворова, 1983) почвы разделяются по липкости на несколько категорий: предельно вязкие (>1,5 кПа), сильно вязкие (1,5-0,5), средне вязкие (0,5-0,2), слабо вязкие (0,2-0,05) и рассыпчатые (<0,05 кПа); 1 г/см² ~ 0,1 кПа. Согласно этой классификации, для дерново-мелкоподзолистой почвы при загрязнении АУе горизонт из сильно вязкого становится средне вязким, АЕL остается в пределах средне вязкого. В торфяно-подзол-элювозёме Еh1 горизонт меняется со средне вязкого до слабо вязкого, а горизонт Е остаётся слабо вязким.

Липкость находится в прямой зависимости от гидрофизических показателей почв, которые, под влиянием загрязнения дизельным топливом, ухудшаются. Изменяется характер поверхности, снижается удельная поверхность, почва становится несмачиваемой, гидрофобной. С агрономической точки зрения снижение липкости не является критическим.

Для полученных результатов была проведена статистическая обработка. V% для исследуемых горизонтов дерново-мелкоподзолистой почвы находится в интервале от 0,99% до 3,30% для АУе горизонта (во всех вариантах опыта), а для АЕL горизонта составляет 2,24-4,08%. Для Еh1 горизонта торфяно-подзол-элювозёма V% равняется

1,64-3,44%, а для Е горизонта – 1,97-4,69% во всех вариантах опыта. Эти результаты подтверждают, достоверность данных незначительную изменчивость вариативного ряда.

4.4.2. Влияние загрязнения дизельным топливом на верхний предел пластичности

Под пластичностью почвы понимается её способность деформироваться под действием внешних механических сил без разрыва сплошности и сохранять полученную форму неопределенно долгое время после прекращения действия сил. Верхний предел пластичности (ВПП) – влажность, при которой почва переходит из пластичного в текучее состояние. Этот предел также называется нижней границей текучести почвы (Растворова, 1983).

Под влиянием загрязнения дизельным топливом верхний предел пластичности снижается во всех горизонтах как для дерново-мелкоподзолистой почвы, так и для торфяно-подзол-элювозёма во всех вариантах опыта.

По сравнению с контролем (31,01%) при 15% загрязнении ВПП снижается на 6,67%, а при 5% – на 5,94%. В варианте с натурным опытом произошло уменьшение данного показателя на 5,52%. Не смотря на разную концентрацию поллютанта, разница между результатами невелика – всего около 1%.

В АЕL горизонте произошло снижение ВПП на 5,22% для 15% загрязнения и на 4,25% для 5%. Натурный опыт показал уменьшение этого показателя на 3,73%. То есть, в этом горизонте наблюдаются более контрастные изменения.

Для Еh1 горизонта торфяно-подзол-элювозёма ВПП также меняется. В варианте опыта с 15% загрязнением данный показатель снижается на 5,15% по сравнению с контролем (26,06%). Для 5% загрязнения уже в меньших пределах – на 3,82%.

В Е горизонте при 15% загрязнении наблюдается уменьшение ВПП на 3,78%, а для 5% – на 2,97%.

Уменьшение ВПП наиболее ярко выражено при 15% загрязнении в обоих типах почв. Зависимость от гранулометрического состава проследить сложно.

Изменения верхнего предела пластичности, возможно, связаны всё с теми же трансформациями, происходящими при загрязнении почв дизельным топливом, гидрофизических и других свойств. Особенно это касается гидрофобности и характера поверхности.

Согласно статистической обработке, V% для АУе горизонта дерново-мелкоподзолистой почвы (во всех вариантах опыта) находится в пределах от 0,27% до

0,88%, а для АЕL горизонта составляет 0,67-1,09%. Для E_{h1} горизонта торфяно-подзол-элювозёма V% равняется 0,64-0,80%, а для E горизонта – 0,54-0,88% во всех вариантах опыта. Эти результаты демонстрируют достоверность данных и незначительную изменчивость вариативного ряда.

4.4.3. Влияние загрязнения дизельным топливом на нижний предел пластичности

Нижним пределом пластичности (НПП) считается такая влажность почвы, при которой она раскатывается в проволоку – влажность на переходе из пластичного состояния в твёрдое. При влажности, превышающей нижний предел пластичности, почва оказывает слабое сопротивление механическому воздействию. Поэтому при высокой влажности почвы любые механические нагрузки отрицательно сказываются на свойствах почвы. Определение нижнего предела пластичности, или границы раскатывания почвы в проволоку проводилось по Аттербергу (Растворова, 1983).

При загрязнении дизельным топливом в характере изменения НПП обнаруживаются те же тенденции: показатель снижается пропорционально возрастанию концентрации загрязнителя.

В АУе горизонте дерново-мелкоподзолистой почвы по сравнению с контролем (22,07%) при 15% загрязнении НПП снизился на 4,46%, а при 5% – на 4,34%. Похожий результат получился и при загрязнении в естественных условиях: данный показатель уменьшился на 4,21%, то есть, приблизительно в тех же пределах.

Для АЕL горизонта произошло уменьшение НПП на 2,57% в варианте с 15% загрязнением дизельным топливом и на 2,08% в варианте с 5%. В образце с загрязнением в естественных условиях наблюдается снижение данного показателя на 1,88%. То есть, для этого горизонта обнаруживаются более контрастные изменения.

По сравнению с контролем (18,88%) в горизонте E_{h1} торфяно-подзол-элювозёма происходит уменьшение НПП на 3,88% при 15% загрязнении и на 3,08% при 5%.

В E горизонте наблюдаются те же тенденции. При загрязнении НПП снижается на 2,57% при 15% загрязнении и на 2,12% при 5%. Разница достаточно незначительна.

При загрязнении дизельным топливом изменения НПП более значительны при концентрации поллютанта равной 15%. Также снижение данного показателя сильнее проявляется в легкосуглинистой почве, особенно в АЕL горизонте.

V% для исследуемых горизонтов дерново-мелкоподзолистой почвы колеблется в пределах от 0,70% до 1,26% для АУе горизонта (во всех вариантах опыта), а для АЕL горизонта составляет 0,78-1,13%. Для E_{h1} горизонта торфяно-подзол-элювозёма V%

равняется 0,58-1,01%, а для E горизонта – 0,69-0,92% во всех вариантах опыта. Эти результаты подтверждают, что данные достоверны и изменчивость вариативного ряда в целом незначительна.

4.4.4. Влияние загрязнения дизельным топливом на число пластичности

Число пластичности представляет собой интервал влажности между верхним и нижним пределами пластичности и рассчитывается как разница между ними. Число пластичности также измеряется в процентах влажности.

Для почв выделяется 4 класса пластичности: 1 класс – высокопластичные (число пластичности больше 17), 2 класс – пластичные (число пластичности находится в интервале от 7 до 17), 3 класс – слабопластичные (число пластичности находится в интервале от 0 до 7), 4 класс – непластичные (число пластичности равно 0) (Растворова, 1983).

В связи с изменениями при загрязнении дизельным топливом ВПП и НПП число пластичности также меняется. Поскольку первый показатель снижается более интенсивно, чем второй, происходит сужение интервала влажности между ними.

Горизонты АУе и АЕL дерново-мелкоподзолистой почвы, согласно классификации, относятся к пластичным (2 класс, число пластичности 8,94 и 8,39 соответственно). Однако при загрязнении число пластичности снижается, и почвы переходят в 3 класс – слабопластичные (исключение составляют варианты опытов с 5% загрязнением и загрязнением в естественных условиях для АУе горизонта: число пластичности снижается, но не пересекает установленную границу). В торфяно-подзол-элювозёме для горизонта Еh₁ наблюдается та же тенденция: при загрязнении класс пластичности меняется со 2 (пластичные) на 3 (слабопластичные). Горизонт Е изначально относится к слабопластичным (число пластичности 4,49) и при загрязнении остаётся в той же категории.

Наиболее заметные изменения числа пластичности наблюдаются при 15% загрязнении дизельным топливом в обеих почвах. Наиболее сильно подвержены этим изменениям АЕL и Еh₁ горизонты исследованных почв.

Снижение пластичности относится, скорее, к негативным последствиям загрязнения: почва становится менее устойчивой к различным внешним механическим воздействиям.

4.4.5. Влияние загрязнения дизельным топливом на набухание

Под набуханием понимают увеличение объема почвы в целом или отдельных её структурных элементов при увлажнении. Наличие и степень набухания зависят от гранулометрического и минералогического состава, состава обменных оснований, состава почвенного раствора, а также от исходной плотности и влажности почвы (Растворова, 1983).

При загрязнении дизельным топливом для почв разного гранулометрического состава наблюдается одинаковая тенденция: снижение степени набухания.

В АУе горизонте по сравнению с контролем (2,56%) при 15% загрязнении набухание снижается на 0,72%, практически на треть, а при 5% в два раза меньше – на 0,38%. В варианте с натурным экспериментом данный показатель уменьшился на 0,4%.

Для АЕL горизонта дерново-мелкоподзолистой почвы произошло снижение набухания на 0,48% при 15% загрязнении, на 0,23% при 5%, и на 0,29% в варианте с загрязнением в естественных условиях.

В горизонте Еh1 торфяно-подзол-элювозёма при 15% загрязнении по сравнению с контролем (1,13%) набухание снизилось на 0,54%, то есть, практически в два раза, а при 5% несколько меньше – на 0,34%.

При 15% загрязнении в горизонте Е наблюдается уменьшение набухания на 0,26%, что составляет чуть больше половины, а при 5% – на 0,13%.

Наиболее контрастные изменения степени набухания происходят в горизонтах с 15% загрязнением дизельным топливом. Вариант опыта с 5% загрязнением дерново-мелкоподзолистой почвы показывает несколько меньшее снижение данного показателя, чем вариант с загрязнением в естественных условиях. Наиболее контрастные трансформации обнаруживаются в почвах лёгкого гранулометрического состава.

Набухание напрямую связано с гидрофизическими характеристиками почв, сильно зависит от показателей влажности, которые, как было показано ранее, сильно снижаются, что влечёт за собой уменьшение данного показателя.

V% для АУе горизонта дерново-мелкоподзолистой почвы (во всех вариантах опыта) находится в пределах от 2,31% до 4,43%, а для АЕL горизонта составляет 2,18-3,30%. Для Еh1 горизонта торфяно-подзол-элювозёма V% равняется 1,93-2,94%, а для Е горизонта – 2,84-4,56% во всех вариантах опыта. Эти результаты демонстрируют достоверность данных и незначительную изменчивость вариативного ряда.

Заключение

Таким образом, под влиянием загрязнения дизельным топливом происходит изменение всех исследуемых в данной работе гидрофизических и физико-механических свойств дерново-мелкоподзолистой легкосуглинистой почвы на морене и торфяно-подзол-элювозёма глеевого потёчно-гумусового супесчаного на двучлене. Основная тенденция – это снижение величины показателей, исключение составляют лишь максимальная гигроскопичность и влажность завядания. Наиболее контрастные изменения величин изучаемых свойств прослеживаются в почвах лёгкого гранулометрического состава. Как правило, повышение концентрации загрязнителя от 5% до 15% от массы почвы ведёт к уменьшению характеристики, за исключением капиллярной и полной влагоёмкостей, где при увеличении дозы дизельного топлива наблюдается менее резкое снижение абсолютных величин. Наименее заметные изменения в основном наблюдаются в образцах, загрязнённых в естественных условиях, что связано с различием внешних условий и состояния микробоценоза.

Согласно полученным результатам, можно сказать, что в загрязнённых дизельным топливом почвах сокращается гидрофильная поверхность, происходит трансформация всей поверхности твердой фазы и нарушение структуры и строения почвенных частиц, изменяется агрегатное состояние и характер порозности, снижается содержание продуктивной влаги. Почва при этом резко становится гидрофобной.

Загрязнение почв дизельным топливом приводит к существенному ухудшению их гидрофизических и физико-механических свойств.

Выводы

1. Дерново-мелкоподзолистая легкосуглинистая почва, по сравнению с торфяно-подзол-элювозёмом супесчаным, характеризуется более высокой удельной поверхностью, превышающей более чем в 2 раза влажностью, соответствующей всем видам влагоемкости, начиная от влажности монослоя и заканчивая полной влагоемкостью, большим диапазоном активной влаги, то есть отличается лучшей влагоемкостью, водопроницаемостью, способностью обеспечивать растения продуктивной влагой.
2. Торфяно-подзол-элювозём супесчаный, по сравнению с дерново-мелкоподзолистой легкосуглинистой почвой, обладает меньшими в 1,5-2,5 раза величинами липкости, пластичности и набухания.
3. Загрязнение дизельным топливом вызывает существенные ухудшения всех гидрофизических и физико-механических параметров, особенно в почве легкого гранулометрического состава.
4. В дерново-мелкоподзолистой легкосуглинистой почве, загрязнённой дизельным топливом в натурном эксперименте, по сравнению с лабораторным опытом, наблюдаются менее заметные изменения гидрофизических и физико-механических показателей, что, вероятно, связано с различием внешних условий (температура, влажность, ультрафиолетовое излучение).
5. Повышение уровня загрязнения дизельным топливом от 5 до 15 % от массы почвы приводит к существенному ухудшению практически всех гидрофизических и физико-механических показателей, за исключением капиллярной и полной влагоемкости.
6. Загрязнение дизельным топливом торфяно-подзол-элювозёма супесчаного и дерново-мелкоподзолистой легкосуглинистой почвы приводит к изменению поверхности твердой фазы, перестройке порового пространства, сопровождается резким повышением гидрофобности и снижением смачиваемости.

Список использованной литературы

1. Абакумов Е. В., Попов А. И. Методические указания по оформлению и выполнению письменных работ и статистической обработке результатов научных исследований, 2010, СПб. – 42 с.
2. 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. ин-та, 1998, Вып. 2. – 95-105 с.
3. Андреева, Т. А. Интегральная оценка воздействия нефтяного загрязнения на параметры химического и биологического состояния почв таежной зоны Западной Сибири: автореф. дис.... канд. биол. наук, Томск, 2005. – 179 с.
4. Андресон Р. К., Мукатанов А. Х., Бойко Т. Ф. Экологические последствия загрязнения почв нефтью // Экология, 1980, № 6. – 21-25 с.
5. Бочарникова Е. А., Амосова Я. М. Влияние нефтяного загрязнения на свойства органического вещества серо-бурых почв // Проблемы антропогенного почвообразования: Тез. докл. межд. конф. М, 1997, Т. 3. – 135-137с.
6. Вершинин А. А., Петров А. М., Игнатъев Ю. А., Шагидуллин Р. Р. Дыхательная активность дерново-карбонатной почвы, загрязненной дизельным топливом // Вестник Казанского технологического университета, 2011, №7. – 168-174 с.
7. Водяницкий Ю. Н., Савичев А. Т., Трофимов С. Я., Шишконокова Е. А. Накопление тяжелых металлов в загрязненных нефтью торфяных почвах // Почвоведение, 2012, № 10. – 1109-1114 с.
8. Габбасова И. М., Абдрахманов Р. Ф., Хабиров И. К., Хазиев Ф. Х. Изменение свойств почв и состава грунтовых вод при загрязнении нефтью и нефтепромысловыми сточными водами в Башкирии // Почвоведение, 1997, №11. – 1362-1372 с.
9. Гайнутдинов М. З., Самосова С. М. Рекультивация нефтезагрязненных земель лесостепной зоны Татарии // Восстановление нефтезагрязненных почвенных экосистем. М.: Наука, 1988. – 177-197 с.
10. Гилязов М. Ю. Изменение некоторых агрофизических свойств выщелоченного чернозема при загрязнении товарной нефтью в условиях Татарстана // Почвоведение, 2002, №12. – 1515-1519 с.
11. ГОСТ 305-2013 Топливо дизельное. Технические условия.

12. ГОСТ Р 52368-2005 Топливо дизельное ЕВРО. Технические условия.
13. Демиденко А. Я., Демурджан В. М., Шеянова А. Д. Изучение питательного режима почв, загрязненных нефтью // *Агрехимия*, 1983, № 9. – 100-103 с.
14. Еременко Н. А. Геология нефти и газа. М., 1968. – 385 с.
15. Исмаилов, Н. М. Микробиологическая и ферментативная активность в нефтезагрязненных почвах // *Восстановление нефтезагрязненных почвенных экосистем*. М.: Наука, 1988. – 42-56 с.
16. Касаткина Г. А., Федорова Н. Н. Устойчивость почвенного покрова морских террас Финского залива к нефтезагрязнению (район Балтийской нефтеналивной системы, г. Приморск Ленинградской области) // *Вестник Томского государственного университета. Материалы международных, всероссийских и региональных научных конференций, симпозиумов, школ, проводимых в ТГУ*, 2005, №15. – 199-201 с.
17. Киреева Н. А., Водопьянов В. В., Мифтахова А. М. Влияние нефтяного загрязнения на целлюлазную активность почв // *Почвоведение*, 2000, №6. – 748-753 с.
18. Киреева Н. А., Галимзянова Н. Ф. Влияние загрязнения почв нефтью и нефтепродуктами на численность и видовой состав микромицетов // *Почвоведение*, 1995, №2. – 211-216 с.
19. Киреева Н. А., Тарасенко Е. М., Шамаева А. А., Новоселова Е. И. Влияние нефти и нефтепродуктов на активность липазы серой лесной почвы // *Почвоведение*, 2006, №8. – 1005-1011 с.
20. Козлова Е. Н., Степанов А. Л., Лысак Л. В. Применение бактериально-гумусовых препаратов в целях ремедиации почв, загрязненных дизельным топливом // *Почвоведение*, 2014, №5. – 580-583 с.
21. Колесников С. И., Казеев К. Ш., Татосян М. Л., Вальков В. Ф. Влияние загрязнения нефтью и нефтепродуктами на биологическое состояние чернозема обыкновенного // *Почвоведение*, 2006, №5. – 616-620 с.
22. Коновалова Е. В. Влияние цеолитов и фитомелиоранта на агроэкологические показатели нефтезагрязненных почв в криоаридных условиях забайкалья. автореф. дис.... канд. биол. наук. Улан-Удэ, 2009. – 149 с.
23. Матинян Н. Н., Русаков А. В. Почвенный покров южного побережья Финского залива и его экологическая оценка // *Вестник Санкт-Петербургского университета*, сер. 3, вып. 3 (№17), 1995. – 104-115 с.

24. Минебаев В. Г. К вопросу охраны почвенного покрова в нефтедобывающих районах. Казань, 1986. – 164 с.
25. Мязин В. А. Разработка способов повышения эффективности биоремедиации почв Кольского Севера при загрязнении нефтепродуктами (в условиях модельного эксперимента) // автореф. дис.... канд. биол. наук, Апатиты, 2014. – 159 с.
26. Оборин А. А. Калачникова И. Г. и др. Самоочищение и рекультивация нефтезагрязненных почв Предуралья и Западной Сибири // Восстановление нефтезагрязненных почвенных экосистем. М.: Наука, 1988. – 140-159 с.
27. Орлова Е. Е., Бакина Л. Г. Деграция гумуса почв при нефтезагрязнении // Антропогенная деградация почвенного покрова имеры ее предупреждения // Тез. докл. Всерос. конф. / Почв. ин-т им. Докучаева РАСХН, М., 1998. –175–176 с.
28. Орлова Е. Е., Бакина Л. Г., Соловьева А. В. Органическое вещество нефтезагрязненной дерново-подзолистой почвы в полевом эксперименте Материалы V Всерос.съезда об-ва почвоведов им. В.В.Докучаева, Ростов-на-Дону, 2008. – 389 с.
29. Пестряков В. К. Почвы Ленинградской области. Л., «Лениздат», 1973. – 344 с.
30. Пиковский Ю. И. Калачникова И. Г. и др. Экспериментальные исследования трансформации нефти в почвах // Миграция загрязняющих веществ в почвах и сопредельных средах. Л.: Гидрометеиздат, 1985. – 191-195 с.
31. Проскуряков В.А. Химия нефти и газа. 3-е изд., доп. и испр. СПб, «Химия», 1995. – 448 с.
32. Просяников Е. В., Смольский Е. В., Гуца А. С. Влияние загрязнения нефтью на почвы Юго-Запада Нечерноземной зоны России // Агрохимия, 2012, № 7. – 74-86 с.
33. Растворова О. Г. Физика почв (Практическое руководство), Л.: изд-во Ленингр. ун-та, 1983. – 196 с.
34. Растворова О. Г. Химический анализ почв. Учеб. Пособие / Растворова О. Г., Андреев Д. П., Гагарина Э. И., Касаткина Г. А., Федорова Н. Н. СПб.: Изд-во С.-Петербургского университета, 1995. – 264 с.
35. Середина В. П. Почвы нефтезагрязненных экосистем южной тайги Западной Сибири: свойства и функционирование. // Вестник Томского государственного университета. Материалы международных, всероссийских и региональных научных конференций, симпозиумов, школ, проводимых в ТГУ, №15, 2005. – 326-328 с.

36. Славнина Т. П. Влияние загрязнения нефтью и нефтепродуктами на свойства почв // Мелиорация земель Сибири. Красноярск, 1984. – 312-340 с.
37. Солнцева Н. П. Изменение морфологии дерново-подзолистых почв в районах нефтедобычи // Почвоведение, 1982, № 6. – 32-45 с.
38. Солнцева Н. П., Никифорова Е. М. Региональный геохимический анализ загрязнения почв нефтью (на примере Пермского Прикамья) // Восстановление нефтезагрязненных почвенных экосистем, М.: Наука, 1988. – 122-139 с.
39. Солнцева Н. П. Добыча нефти и геохимия природных ландшафтов / Н. П. Солнцева, М.: Изд-во МГУ, 1998. – 376 с.
40. Солнцева, Н. П. Садов А. П. Закономерности миграции нефти и нефтепродуктов в почвах лесотундровых ландшафтов Западной Сибири // Почвоведение, 1998, № 8. – 996-1008 с.
41. Шишов Л. Л., Тонконогов В. Д., Лебедева И. И., Герасимова М. И. Классификация и диагностика почв России, Смоленск: Ойкумена, 2004. – 342 с.
42. Шорина Т. С., Русанов А. М., Сулейманова А. М. Влияние нефти на физические свойства чернозёма обыкновенного степной зоны Урала. // Вестник Оренбургского государственного университета, 2010, №6 (112). – 137-140 с.
43. Эрих В. Н. Химия и технология нефти и газа. Изд. 2-е, пер. Л., «Химия», 1977. – 424 с.
44. Miertus S., Гречищева Н.Ю. и др. Технологии восстановления почв, загрязненных нефтью и нефтепродуктами, М.: РЭФИА, НИА-Природа. 2001. – 185 с.
45. Ewetola E. Abosedede. Effect of Crude Oil Pollution on some Soil Physical Properties // IOSR Journal of Agriculture and Veterinary Science (IOSR-JAVS) e-ISSN: 2319-2380, p-ISSN: 2319-2372. Volume 6, Issue 3 (Nov. - Dec. 2013), PP 14-17.
46. Okonokhua, B O; Ikhajiagbe, B; Anoliefo, G O; Emede, T O. The Effects of Spent Engine Oil on Soil Properties and Growth of Maize (*Zea mays* L.) // JASEM ISSN 1119-8362 All rights reserved J. Appl. Sci. Environ. Manage. September, 2007 Vol. 11 (3) 147 - 152 Available Online at www.bioline.org.br/ja

Описание почвенного разреза №1.

Пункт заложения (привязка): Ленинградская область, Петергоф, лес рядом с усадьбой Лейхтенбергских (парк Сергиевка).

Название почвы: Дерново-мелкоподзолистая легкосуглинистая на морене.

Растительность: Лес, ельник с примесью берёзы и осины; первый ярус: берёза повислая (*Betula pendula*), ель обыкновенная (*Picea abies*); второй ярус: осина обыкновенная (*Populus tremula*), рябина обыкновенная (*Sorbus aucuparia*), крушина ломкая (*Frangula alnus*); подрост дуба (*Quercus rober*); травяно-кустарничковый ярус: майник двулистный (*Maianthemum bifolium*), кислица обыкновенная (*Oxalis acetosella*), папоротник щитовник (*Dryopteris sp*), седмичник европейский (*Trientalis europaea*), подмаренник (*Galium sp*), мятлик (*Poa sp*) и другие злаки, вейник (*Calamagrostis sp*), пахучка (*Chenopodium sp*), лютик едкий (*Ranunculus acris*), земляника лесная (*Fragaria vesca*), фиалка (*Viola sp*), зелёный мох. ПП~95%.

Рельеф: Макрорельеф: вторая морская терраса Финского залива; мезорельеф: относительно выположенный участок с уклоном на северо-запад, крутизна склона 1-1,5°; микрорельеф: пристволовые повышения и небольшие понижения между ними.

Морфологическое строение и описание почвенного профиля

ОТ 0–1(3) см	Сухой; слаборазложившиеся остатки коры, травы, веточек, листовых пластинок; рыхлый; переход чёткий, граница волнистая.
АУе 1(3)–11 см	Свежий; светло-серый, белесоватый с отмытыми минеральными зёрнами; легкосуглинистый; комковатый; уплотнённый; включения корней травянистой и мелкой древесной растительности, единичные включения щебня; переход постепенный.
АЕL 11–16(19) см	Свежий; серовато-белёсый, светлее предыдущего; легкосуглинистый; комковатый; уплотнённый; включения корней травянистой растительности, единичные включения корней мелкой древесной растительности; переход ясный, граница затёчная.
ВТ 16(19)–41 см	Свежий; буровато-палевый, желтовато-буроватый; среднесуглинистый; ореховато-плитчатый; плотный; новообразования большого количества железистых конкреций (1-5 мм) и железисто-глинистых кутан, включения мелкого щебня; переход чёткий, граница карманная.
ВС 41–63 см	Влажный; красновато-бурый с сизыми пятнами; тяжелосуглинистый; крупновато-ореховатый; плотный, почти слитой; включения щебня и валунчиков, пятна двух- и трёхвалентного железа.

Описание почвенного разреза №2.

Пункт заложения (привязка): Ленинградская область, Петергоф, лес рядом с усадьбой Лейхтенбергских (парк Сергиевка).

Название почвы: Торфяно-подзол-элювозем глеевый потечно-гумусовый супесчаный на двучлене: песок на суглинистой морене.

Растительность: Лес, ельник чернично-сфагновый; первый ярус: ель обыкновенная (*Picea abies*); подрост рябины обыкновенной (*Sorbus aucuparia*); травяно-кустарничковый ярус: майник двулистный (*Maianthemum bifolium*), кислица обыкновенная (*Oxalis acetosella*), седмичник европейский (*Trientalis europaea*), подмаренник (*Galium sp*), черника обыкновенная (*Vaccinium myrtillus*), зелёный мох в напочвенном покрове (*Sphagnum sp* и др). ПП~40%.

Рельеф: Макрорельеф: вторая морская терраса Финского залива; мезорельеф: склон гривки юго-восточной экспозиции, крутизна склона 1-2°; микрорельеф: пристволовые повышения и небольшие понижения между ними.

Морфологическое строение и описание почвенного профиля

О 0-1 см	Сухой; плохо разложившаяся подстилка из коры, веточек, игл; рыхлый; переход постепенный.
Т 1-12 см	Влажный; тёмно-бурый, почти чёрный; слабо-среднеразложившийся; рыхлый; включения корней крупной и мелкой древесной растительности, единичные валунчики; переход постепенный по степени разложения.
Н 12-21 см	Влажный, мажущийся; буровато-чёрный; среднеразложившийся; уплотнённый; включения корней, единичные включения валунчиков; переход постепенный.
Eh1 21-26 см	Свежий; светло-серый, белесоватый с отмытыми минеральными зёрнами кварца; супесчаный; неясно-комковатый; уплотнённый; единичные включения корней и валунчиков; переход чёткий, граница затёчная.
Е 26-40 см	Влажный; серовато-сизовато-белёсый; песчаный; неясно-комковатый, непрочно-ореховатый; уплотнённый; включения дресвы, единичные валунчики; переход чёткий по смене гранулометрического состава, граница карманная.
DG 40-66 см	Влажный; желтовато-бурый с охристыми и сизыми пятнами; тяжелосуглинистый; ореховатый; плотный; включения валунчиков и щебня, новообразования двух- и трёхвалентного железа в виде пятне и стяжений.

Статистическая обработка данных

$x_{\bar{}}$ – арифметическое среднее;

s^2 – дисперсия;

s – стандартное отклонение;

$V\%$ – коэффициент вариации;

$Sx_{\bar{}}$ – ошибка выборочной средней;

$Sx_{\bar{}}\%$ – относительная ошибка выборочной средней.

Горизонт	$x_{\bar{}}$	s^2	s	$V\%$	$Sx_{\bar{}}$	$Sx_{\bar{}}\%$
<i>С общ</i>						
AYe	3,09	0,0010	0,0321	1,0392	0,0186	0,6000
AEL	1,93	0,0014	0,0379	1,9582	0,0219	1,1306
BT	0,39	0,0003	0,0173	4,4412	0,0100	2,5641
BC	0,27	0,0001	0,0115	4,3301	0,0067	2,5000
T	22,12	0,0296	0,1721	0,7778	0,0994	0,4490
H	4,15	0,0316	0,1779	4,2823	0,1027	2,4724
Ehi	2,39	0,0082	0,0907	3,8019	0,0524	2,1950
E	0,40	0,0009	0,0306	7,5745	0,0176	4,3731
Dg	0,13	0,0001	0,0115	8,6603	0,0067	5,0000
<i>С общ дт</i>						
AYe дт	5,73	0,0016	0,0404	0,7057	0,0233	0,4075
AEL дт	4,22	0,0003	0,0173	0,4104	0,0100	0,2370
BT дт	1,72	0,0117	0,1082	6,2888	0,0624	3,6308
T дт	28,54	0,0497	0,2230	0,7813	0,1288	0,4511
H дт	8,24	0,0510	0,2259	2,7427	0,1304	1,5835
Ehi дт	2,25	0,0022	0,0473	2,0973	0,0273	1,2109
E дт	0,39	0,0009	0,0306	7,9010	0,0176	4,5616
<i>Собщ лабораторный опыт</i>						
AYe 15%	4,57	0,0111	0,1054	2,3054	0,0608	1,3310
AYe 5%	4,07	0,0004	0,0208	0,5119	0,0120	0,2955
AEL 15%	3,72	0,0037	0,0611	1,6440	0,0353	0,9491
AEL 5%	3,46	0,0016	0,0404	1,1692	0,0233	0,6750
Ehi 15%	4,25	0,0084	0,0917	2,1565	0,0529	1,2451
Ehi 5%	3,97	0,0032	0,0569	1,4311	0,0328	0,8262
E 15%	2,55	0,0000	0,0058	0,2261	0,0033	0,1305
E 5%	1,73	0,0025	0,0503	2,9038	0,0291	1,6765
<i>Ca + Mg</i>						
AYe	12,8	0,0057	0,0755	0,5898	0,0436	0,3405
AEL	5,19	0,0206	0,1436	2,7712	0,0829	1,6000
BT	6,50	0,0541	0,2326	3,5784	0,1343	2,0660
BC	14,13	0,0100	0,1002	0,7087	0,0578	0,4092

H	20,44	0,0309	0,1758	0,8600	0,1015	0,4965
Ehi	6,93	0,0259	0,1609	2,3223	0,0929	1,3408
E	5,54	0,0042	0,0651	1,1737	0,0376	0,6777
Dg	6,31	0,0093	0,0964	1,5283	0,0557	0,8824
Ca						
AYe	8,26	0,0120	0,1097	1,3286	0,0633	0,7671
AEL	3,21	0,0073	0,0854	2,6617	0,0493	1,5367
BT	4,10	0,0156	0,1249	3,0463	0,0721	1,7588
BC	10,13	0,0148	0,1217	1,2009	0,0702	0,6934
Ca						
H	10,37	0,0212	0,1457	1,4047	0,0841	0,8110
Ehi	3,48	0,0132	0,1150	3,3088	0,0664	1,9103
E	3,05	0,0046	0,0681	2,2293	0,0393	1,2871
Dg	5,25	0,0102	0,1012	1,9256	0,0584	1,1118
Емкость катионного обмена						
AYe	24,71	0,0006	0,0252	0,1018	0,0145	0,0588
AEL	13,29	0,0183	0,1353	1,0179	0,0781	0,5877
BT	16,36	0,0199	0,1411	0,8623	0,0814	0,4978
BC	19,23	0,0382	0,1955	1,0170	0,1129	0,5872
Обменная кислотность						
H	65,60	0,1046	0,3235	0,4931	0,1868	0,2847
Ehi	18,77	0,0223	0,1493	0,7956	0,0862	0,4593
E	15,44	0,0303	0,1739	1,1264	0,1004	0,6503
Dg	16,44	0,0603	0,2456	1,4937	0,1418	0,8624
Обменная кислотность						
AYe	2,78	0,0040	0,0635	2,2817	0,0367	1,3174
AEL	2,71	0,0052	0,0721	2,6609	0,0416	1,5363
BT	0,95	0,0044	0,0666	6,9843	0,0384	4,0324
BC	0,88	0,0019	0,0436	4,0533	0,0252	2,8598
Обменная кислотность						
H	1,48	0,0010	0,0321	2,1769	0,0186	1,2568
Ehi	3,03	0,0058	0,0764	2,5179	0,0441	1,4537
E	0,88	0,0024	0,0493	5,5844	0,0285	3,2242
Dg	0,61	0,0027	0,0520	8,5183	0,0300	4,9180
Гидролитическая кислотность						
AYe	6,13	0,0010	0,0321	0,5247	0,0186	0,3029
AEL	6,53	0,0024	0,0493	0,7550	0,0285	0,4359
BT	2,23	0,0037	0,0608	2,7277	0,0351	1,5748
BC	1,74	0,0002	0,0153	0,8796	0,0088	0,5078
Гидролитическая кислотность						
H	7,84	0,0014	0,0379	0,4831	0,0219	0,2789
Ehi	7,43	0,0112	0,1060	1,4271	0,0612	0,8239
E	7,73	0,0072	0,0850	1,1007	0,0491	0,6355
Dg	2,32	0,0061	0,0781	3,3665	0,0451	1,9436
Максимальная гигроскопичность						
AYe	6,09	0,0009	0,0306	0,5014	0,0176	0,2895
AYe дт	7,69	0,0002	0,0153	0,1986	0,0088	0,1146
AYe 15%	9,28	0,0016	0,0404	0,4353	0,0233	0,2513
AYe 5%	6,32	0,0017	0,0416	0,6591	0,0240	0,3805
AEL	5,87	0,0014	0,0379	0,6453	0,0219	0,3726
AEL дт	6,88	0,0014	0,0379	0,5505	0,0219	0,3179

AEL 15%	9,18	0,0025	0,0503	0,5485	0,0291	0,3167
AEL 5%	7,22	0,0061	0,0781	1,0818	0,0451	0,6245
Ehi	3,71	0,0034	0,0586	1,5865	0,0338	0,9160
Ehi 15%	8,74	0,0117	0,1082	1,2376	0,0624	0,7145
Ehi 5%	6,92	0,0049	0,0700	1,0116	0,0404	0,5840
E	2,36	0,0030	0,0551	2,3370	0,0318	1,3493
E 15%	7,90	0,0067	0,0619	1,0361	0,0473	0,5982
E 5%	6,26	0,0057	0,0757	1,2102	0,0437	0,6987
Влажность монослоя						
AYe	1,12	0,0009	0,0306	2,7196	0,0176	1,5702
AYe дт	1,01	0,0014	0,0379	3,7609	0,0219	2,1713
AYe 15%	0,90	0,0005	0,0231	2,5565	0,0133	1,4760
AYe 5%	0,98	0,0010	0,0321	3,3026	0,0186	1,9068
AEL	1,07	0,0006	0,0252	2,3447	0,0145	1,3537
AEL дт	0,86	0,0026	0,0513	5,9439	0,0296	3,4317
AEL 15%	0,66	0,0009	0,0306	4,6524	0,0176	2,6860
AEL 5%	0,77	0,0008	0,0289	3,7329	0,0167	2,1552
Ehi	0,72	0,0001	0,0100	1,3699	0,0058	0,7909
Ehi 15%	0,39	0,0002	0,0153	3,8835	0,0088	2,2422
Ehi 5%	0,56	0,0001	0,0115	2,0498	0,0067	1,1834
E	0,18	0,0001	0,0115	6,5360	0,0067	3,7736
E 15%	0,03	–	–	–	–	–
E 5%	0,06	0,0000	0,0058	9,1161	0,0033	5,2632
Влажность разрыва капилляров						
AYe	13,46	0,0010	0,0321	0,2388	0,0186	0,1379
AYe дт	10,77	0,0016	0,0404	0,3751	0,0233	0,2166
AYe 15%	9,47	0,0241	0,1553	1,6399	0,0897	0,9468
AYe 5%	10,11	0,0160	0,1266	1,2529	0,0731	0,7233
AEL	12,00	0,0004	0,0208	0,1735	0,0120	0,1002
AEL дт	9,95	0,0037	0,0611	0,6139	0,0353	0,3544
AEL 15%	8,33	0,0234	0,1531	1,8384	0,0884	1,0614
AEL 5%	8,87	0,0120	0,1097	1,2372	0,0633	0,7143
Ehi	6,80	0,0210	0,1450	2,1317	0,0837	1,2308
Ehi 15%	5,20	0,0036	0,0603	1,1584	0,0348	0,6688
Ehi 5%	5,75	0,0144	0,1200	2,0870	0,0693	1,2049
E	6,30	0,0044	0,0666	1,0563	0,0384	0,6099
E 15%	5,34	0,0042	0,0651	1,2192	0,0376	0,7039
E 5%	5,68	0,0072	0,0850	1,4982	0,0491	0,8650
Наименьшая влагоёмкость						
AYe	21,75	0,0016	0,0404	0,1858	0,0233	0,1073
AYe дт	13,50	0,0020	0,0451	0,3339	0,0260	0,1928
AYe 15%	11,59	0,0296	0,1721	1,4848	0,0994	0,8573
AYe 5%	13,05	0,0044	0,0666	0,5101	0,0384	0,2945
AEL	18,54	0,0394	0,1986	1,0713	0,1146	0,6185
AEL дт	12,90	0,0124	0,1114	0,8632	0,0643	0,4984
AEL 15%	11,41	0,0270	0,1644	1,4406	0,0949	0,8317
AEL 5%	12,46	0,0003	0,0173	0,1390	0,0100	0,0803

Ehi	11,04	0,0073	0,0854	0,7739	0,0493	0,4468
Ehi 15%	7,35	0,0000	0,0058	0,0785	0,0033	0,0453
Ehi 5%	8,14	0,0064	0,0802	0,9858	0,0463	0,5691
E	7,47	0,0137	0,1172	1,5681	0,0677	0,9053
E 15%	4,42	0,0277	0,1664	3,7655	0,0961	2,1740
E 5%	5,07	0,0076	0,0874	1,7244	0,0504	0,9956
Капиллярная влагоёмкость						
AYe	25,76	0,0345	0,1858	0,7213	0,1073	0,4164
AYe дт	12,38	0,0189	0,1375	1,1105	0,0794	0,6411
AYe 15%	13,39	0,0032	0,0569	0,4246	0,0328	0,2451
AYe 5%	10,93	0,0289	0,1701	1,5558	0,0982	0,8982
AEL	20,85	0,0304	0,1744	0,8362	0,1007	0,4828
AEL дт	12,80	0,0142	0,1193	0,9316	0,0689	0,5378
AEL 15%	15,22	0,0201	0,1418	0,9315	0,0819	0,5378
AEL 5%	12,29	0,0057	0,0755	0,6143	0,0436	0,3547
Ehi	22,51	0,0322	0,1795	0,7975	0,1037	0,4604
Ehi 15%	9,82	0,0247	0,1572	1,6004	0,0907	0,9240
Ehi 5%	7,95	0,0177	0,1332	1,6743	0,0769	0,9667
E	17,62	0,0124	0,1114	0,6320	0,0643	0,3649
E 15%	9,36	0,0009	0,0306	0,3265	0,0176	0,1885
E 5%	7,75	0,0050	0,0709	0,9150	0,0410	0,5283
Полная влагоёмкость						
AYe	32,91	0,0134	0,1159	0,3522	0,0669	0,2034
AYe дт	15,79	0,0090	0,0950	0,6021	0,0549	0,3476
AYe 15%	22,77	0,0147	0,1212	0,5325	0,0700	0,3074
AYe 5%	13,40	0,0247	0,1572	1,1729	0,0907	0,6771
AEL	28,37	0,0056	0,0751	0,2646	0,0433	0,1528
AEL дт	16,79	0,0192	0,1387	0,8262	0,0801	0,4770
AEL 15%	21,19	0,0072	0,0850	0,4013	0,0491	0,2317
AEL 5%	14,12	0,0074	0,0862	0,6107	0,0498	0,3526
Ehi	27,72	0,0134	0,1159	0,4182	0,0669	0,2414
Ehi 15%	14,50	0,0043	0,0656	0,4522	0,0379	0,2611
Ehi 5%	11,93	0,0105	0,1026	0,8605	0,0593	0,4968
E	23,81	0,0126	0,1124	0,4720	0,0649	0,2725
E 15%	11,29	0,0020	0,0451	0,3995	0,0260	0,2307
E 5%	9,34	0,0086	0,0929	0,9945	0,0536	0,5742
Липкость						
AYe	6,84	0,0097	0,0985	1,4399	0,0569	0,8313
AYe дт	4,48	0,0022	0,0473	1,0541	0,0273	0,6086
AYe 15%	4,08	0,0016	0,20404	0,9897	0,0233	0,5714
AYe 5%	4,53	0,0224	0,1498	3,3039	0,0865	1,9075
AEL	4,70	0,0111	0,1054	2,2416	0,0608	1,2942
AEL дт	3,21	0,0146	0,1210	3,7646	0,0698	2,1735
AEL 15%	2,82	0,0132	0,1150	4,0841	0,0664	2,3580
AEL 5%	3,33	0,0064	0,0800	2,4096	0,0462	1,3912

Ehi	4,06	0,0112	0,1058	2,6067	0,0611	1,5050
Ehi 15%	2,31	0,0063	0,0794	3,4360	0,0458	1,9838
Ehi 5%	2,79	0,0021	0,0458	1,6425	0,0265	0,9483
E	2,70	0,0061	0,0781	2,8927	0,0451	1,6701
E 15%	1,09	0,0026	0,0513	4,6935	0,0296	2,7098
E 5%	1,34	0,0007	0,0265	1,9744	0,0153	1,1399
Верхний предел пластичности						
AYe	31,01	0,0072	0,0850	0,2742	0,0491	0,1583
AYe дт	25,49	0,0453	0,2128	0,8350	0,1220	0,4821
AYe 15%	24,34	0,0463	0,2152	0,8840	0,1242	0,5104
AYe 5%	25,07	0,0170	0,1305	0,5205	0,0754	0,3005
AEL	29,25	0,0505	0,2248	0,7684	0,1298	0,4437
AEL дт	25,52	0,0780	0,2793	1,0948	0,1613	0,6321
AEL 15%	24,03	0,0259	0,1609	0,6697	0,0929	0,3867
AEL 5%	25,00	0,0545	0,2335	0,9340	0,1348	0,5392
Верхний предел пластичности						
Ehi	26,06	0,0281	0,1677	0,6437	0,0968	0,3716
Ehi 15%	20,91	0,0256	0,1601	0,7658	0,0924	0,4421
Ehi 5%	22,24	0,0320	0,1790	0,8046	0,1033	0,4646
E	21,29	0,0301	0,1735	0,8149	0,1002	0,4705
E 15%	17,51	0,0240	0,1550	0,8852	0,0895	0,5111
E 5%	18,32	0,0097	0,0985	0,5376	0,0569	0,3104
Нижний предел пластичности						
AYe	22,07	0,0241	0,1533	0,7038	0,0897	0,4063
AYe дт	17,86	0,0160	0,1266	0,7091	0,0791	0,4094
AYe 15%	17,61	0,0331	0,1819	1,0331	0,1050	0,5965
AYe 5%	17,73	0,0497	0,2230	1,2576	0,1288	0,7261
AEL	20,86	0,0559	0,2364	1,1334	0,1365	0,6544
AEL дт	18,98	0,0252	0,1587	0,8364	0,0917	0,4829
AEL 15%	18,29	0,0284	0,1686	0,9221	0,0974	0,5324
AEL 5%	18,78	0,0212	0,1457	0,7761	0,0841	0,4481
Нижний предел пластичности						
Ehi	18,88	0,0121	0,1100	0,5826	0,0635	0,3364
Ehi 15%	15,00	0,0229	0,1514	1,0098	0,0874	0,5830
Ehi 5%	15,80	0,0149	0,1222	0,7733	0,0706	0,4464
E	16,80	0,0190	0,1380	0,8214	0,0797	0,4742
E 15%	14,23	0,0097	0,0985	0,6921	0,0569	0,3996
E 5%	14,68	0,0183	0,1353	0,9215	0,0781	0,5320
Набухание						
AYe	2,56	0,0060	0,0777	3,0381	0,0448	1,7541
AYe дт	2,16	0,0034	0,0586	2,7169	0,0338	1,5686
AYe 15%	1,84	0,0066	0,0814	4,4344	0,0470	2,5602
AYe 5%	2,18	0,0025	0,0503	2,3053	0,0291	1,3310
AEL	2,07	0,0020	0,0451	2,1819	0,0260	1,2597
AEL дт	1,78	0,0024	0,0493	2,7765	0,0285	1,6030
AEL 15%	1,59	0,0014	0,0379	2,3761	0,0219	1,3718
AEL 5%	1,84	0,0037	0,0608	3,3058	0,0351	1,9086

Ehi	<i>1,13</i>	0,0008	0,0289	2,5471	0,0167	1,4706
Ehi 15%	<i>0,59</i>	0,0003	0,0173	2,9357	0,0100	1,6949
Ehi 5%	<i>0,79</i>	0,0002	0,0153	1,9255	0,0088	1,1117
E	<i>0,46</i>	0,0004	0,0208	4,5584	0,0120	2,6318
E 15%	<i>0,20</i>	0,0000	0,0058	2,8394	0,0033	1,6393
E 5%	<i>0,33</i>	0,0001	0,0100	3,0303	0,0058	1,7495