

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное

учреждение высшего образования

«Пермский государственный национальный исследовательский университет»

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по научной работе
и инновациям ПГНИУ

И.И. Ветров

М.П.



Пояснительная записка к Проекту нормативов допустимого остаточного содержания нефти и нефтепродуктов (ДОСНП) в почвах Пермского края

Пермь, 2018

Оглавление

Введение	3
1. Обзор нормативов ДОСНП	4
2. Анализ структуры почвенного покрова Пермского края	6
3. Материал и методика	7
4. Результаты экспериментов	14
5. Нормативы допустимого остаточного содержания нефти и нефтепродуктов в почвах Пермского края	22

Введение

Научно-исследовательская работа (НИР) выполнена с целью установления нормативов допустимого остаточного содержания нефти и нефтепродуктов в почвах Пермского края.

Описание НИР:

1. Аналитический обзор изучения влияния нефти и нефтепродуктов на состояние окружающей среды.
2. Обзор нормативов ДОСНП, введенных в действие на территории субъектов Российской Федерации.
3. Анализ распространения и состояния основных типов почв в Пермском крае, определение перечня основных типов и подтипов почв региона, для которых разрабатываются единые значения допустимого остаточного содержания нефти и нефтепродуктов.
4. Характеристика аттестованных в установленном порядке методик определения содержания в почве нефти и нефтепродуктов.
5. Проведение лабораторных экспериментов для обоснования нормативов допустимого остаточного содержания нефти и нефтепродуктов в почвах Пермского края, в том числе:
 - вегетационный хронический эксперимент в соответствии с ГОСТ Р ИСО 22033-2009. В качестве тест-объектов использовалось три вида растений – пшеница яровая (*Triticum vulgare* L.) и горох посевной (*Pisum sativum* L.) для установления нормативов допустимых концентраций нефти и нефтепродуктов для почв сельскохозяйственного значения, а также ель гибридная (*Picea abies* x *Picea obovata*) – для почв лесного фонда;
 - оценка влияния нефтяного загрязнения на содержание пигментов в листьях (хлорофиллов, каротиноидов, антоцианов);
 - биотестирование на тест-объектах *Daphnia magna* и *Chlorella vulgaris*;
 - определение миграционного водного показателя вредности;
 - определение транслокационного показателя вредности;
 - оценка влияния нефтяного загрязнения на жизнедеятельность почвенного микробиоценоза;
 - оценка экологического риска.
6. Разработка нормативов допустимого остаточного содержания нефти и нефтепродуктов в почвах на территории Пермского края.

1. Обзор нормативов ДОСНП

Обзор нормативов ДОСНП, введенных в действие на территории субъектов Российской Федерации показал, что на данный момент норматив ДОСНП установлен в Республике Удмуртия (Приказ от 1 сентября 2015 года N 179; Приказ от 27.04.2017 г № 73), в Ханты-Мансийском автономном округе – Югра (Постановление правительства от 10 декабря 2004 года № 466-п), в Ненецком автономном округе (Постановление от 15 декабря 2011 года № 293-п), в Республике Татарстан (Приказ от 14 мая 2012 г. № 173-п), в Республике Коми (Постановление от 20 ноября 2007 года № 268), в Чувашской Республике (Постановление от 24 января 2013 г. № 6).

Для некоторых регионов на данный момент нет принятых нормативов ДОСНП, но есть научно-обоснованные рекомендации. К таким регионам относятся: Ленинградская область, Сахалинская область.

Региональные нормативы имеют свою специфику, несмотря на то, что разрабатываются они на основе единых рекомендаций по разработке и введению в действие нормативов допустимого остаточного содержания нефти и продуктов ее трансформации в почвах после проведения рекультивационных и иных восстановительных работ.

В Ханты-Мансийском автономном округе – Югре региональные нормативы приняты раньше всех других регионов. Разработанный норматив сделан на основе общепринятой в почвоведении индексации почвенных горизонтов, учитывают надтипные группы, гранулометрический состав и типы почв. Принятые значения норматива ДОСНП находятся в диапазоне от 0,1 г/кг до 60 г/кг в целом по всем зонам. В подзоне среднетаежных и северотаежных почв этот диапазон находится в интервале от 2 г/кг до 60 г/кг.

В Республике Коми, в отличие от ХМАО, не учитываются почвенные горизонты, а также гранулометрический состав, но отдельно выделяются особенности внутри группы (по почвенному профилю).

В Ненецком Автономном округе нормативы ДОСНП разработаны не только для почв, но и для донных отложений. Для принятых нормативов учитывается надтиповая группа, типы почв, гранулометрический состав и почвенные горизонты. Принятые значения норматива ДОСНП находятся в диапазоне от 0,1 г/кг до 30 г/кг в целом по всем зонам. Важно отметить, что верхняя граница норматива, которая установлена для торфяно-болотных верховых, торфяно-болотных низинных почв в верхнем горизонте. И это в 2 раза меньше, чем установленный норматив ДОСНП для ХМАО и Республики Коми.

В Республике Татарстан нормативы ДОСНП разработаны для светло-серых и серых лесных почв лесостепной зоны, по целевому назначению относящимся к землям особо

охраняемых природных территорий. Норматив разработан только для горизонта А1 (гумусовый, дерновой слой), в рамках одной надтиповой группы, с единым гранулометрическим составом. В результате для обоих типов почв установлен норматив равный 2 г/кг.

В Чувашской Республике нормативы ДОСНП разработаны отдельно для пахотного слоя (земли сельскохозяйственного назначения) и для горизонта А1 (гумусовый, дерновой слой). Нормативы разработаны для почв, находящихся в одной надтиповой группе. Значения норматива не зависят от гранулометрического состава. Изменение норматива в рамках одной категории землепользования наблюдается только по типам почв. Значения принятого норматива ДОСНП находятся в диапазоне от 2 до 5 г/кг, с наибольшим значением для земель лесного фонда.

В Республике Удмуртия норматив ДОСНП разработан отдельно для торфяных почв южнотаежной и лесостепной природно-климатической зоны и для дерново-подзолистых суглинистых почв (принято два отдельных приказа в 2015 и 2017 годах соответственно). Для дерново-подзолистых суглинистых почв принят норматив ДОСНП равный 3,2 г/кг. Разработанный норматив не учитываются почвенные горизонты, природные зоны, а так же не учитывает виды использования земель. Для торфяных почв южнотаежной и лесостепной природно-климатической зоны норматив разработан без учета почвенных горизонтов, гранулометрического состава, но в данном случае учитываются категории землепользования и природные зоны. Норматив разработан для земель сельскохозяйственного назначения (2 г/кг) и земель лесного фонда (3 г/кг).

В Санкт-Петербурге на региональном уровне утверждены следующие допустимые уровни содержания нефтепродуктов: в почве селитебных зон – 0,18 г/кг; в почве автозаправочных станций – 0,275 г/кг; в почве нефтехранилищ и площадок разгрузки нефтепродуктов – 2 г/кг (Распоряжение от 30 августа 1994 года № 891-р), но отсутствует норматив ДОСНП.

2. Анализ структуры почвенного покрова Пермского края

На территории Пермского края, в связи с рельефом, неоднородностью материнских почвообразующих пород и биоклиматических условий наблюдается большая пестрота почв (Н.Я. Коротаев, 1962; Национальный атлас почв РФ, 2011).

Почвы Пермского края заметно дифференцированы по гранулометрическому составу и содержанию органического вещества, следовательно, отличаются по реакции на нефтезагрязнение.

Подзолистые, дерново-подзолистые и серые лесные почвы имеют преимущественно тяжелосуглинистый гранулометрический (механический) состав.

Песчаными и супесчаными почвами являются подзолы иллювиально-железистые, иллювиально-гумусовые, глеевые торфянистые, сформировавшиеся в северной части края на водно-ледниковых и озерно-ледниковых легких породах. Из-за недоработанной систематики почв они слабо представлены на почвенной карте 1989 г. В Национальном атласе почв РФ (2011) доля подзолов в почвенном покрове составляет более 7,4 %.

Биодеградация нефтяных углеводородов интенсивнее протекает в присутствии кислорода, а в переувлажненных почвах разложение этих веществ замедляется из-за низкой микробиологической активности. Общая доля переувлажненных почв, имеющих торфяной горизонт (Торфяные болотные верховые, Болотные переходные и Торфяные болотные низинные) составляет 3,3%.

Исходя из анализа структуры почвенного покрова Пермского края, целесообразно включить в перечень основных почв региона, для которых разрабатываются единые значения допустимого остаточного содержания нефти и нефтепродуктов, преобладающие почвы, отличающиеся по гранулометрическому составу (тяжелосуглинистые и песчаные) и органоматричным горизонтам (гумусовые и торфяные).

Анализ распространения и состояния основных типов почв в Пермском крае показывает, что, прежде всего, необходимо разработать значения допустимого остаточного содержания нефти и нефтепродуктов для нижеследующих почв:

- дерново-подзолистые, преимущественно глубокоподзолистые;
- подзолы иллювиально-железистого (подзолы иллювиально-мало гумусовые);
- торфяные болотные верховые.

3. Материал и методика

Для проектирования нормативов ДОСНП в почвах Пермского края проведены следующие исследования:

1. Оценка фитотоксичности

Вегетационные опыты проводились в соответствии с ГОСТ Р ИСО 22033-2009. В ходе тестирования измеряли параметры прорастания, роста трех видов наземных растений – пшеница яровая (*Triticum vulgare L.*), горох посевной (*Pisum sativum L.*) и ель гибридная (*Picea abies x Picea obovata*).

2. Биотестирование

Биотестирование на тест-объекте *Chlorella vulgaris* проводилось по методике, допущенной для целей государственного экологического контроля: «Токсикологические методы контроля. Методика измерений оптической плотности культуры водоросли хлорелла (*Chlorella vulgaris Beijer*) для определения токсичности питьевых, пресных природных и сточных вод, водных вытяжек из грунтов, почв, осадков сточных вод, отходов производства и потребления».

Биотестирование на тест-объекте *Daphnia magna* проводилось по методике, допущенной для целей государственного экологического контроля: «Токсикологические методы контроля. Методика измерений количества *Daphnia magna Straus* для определения токсичности питьевых, пресных природных и сточных вод, водных вытяжек из грунтов, почв, осадков сточных вод, отходов производства и потребления».

3. Определение миграционного водного показателя вредности

Определение миграционного водного показателя вредности нефти и нефтепродуктов в почве проводили в соответствии со следующими нормативными и методическими документами:

ГОСТ 17.4.1.02-83 Охрана природы. Почвы. Классификация химических веществ для контроля загрязнения.

ГОСТ 17.4.4.02-84. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа.

СТ СЭВ 4470-84 Охрана природы. Почвы. Номенклатура показателей санитарного состояния.

МУ 2.1.7.730-99. Гигиеническая оценка качества почвы населенных мест.

МУ № 4266-87. Методические указания по оценке степени опасности загрязнения почвы химическими веществами.

Определение допустимой концентрации нефтепродуктов в почве по миграционному водному показателю вредности проводили путем сравнения концентрации нефтепродуктов в фильтрационной воде с ПДК для воды в водоемах санитарно-бытового пользования (0,3 мг/л) и рыбохозяйственного назначения (0,05 мг/л).

Влажность почвы определяли методом высушивания в бюксах с крышками. Влагоемкость почвы определяли лабораторным методом трубок, для чего образец почвы помещали в колонку, которую ставили в высокий стакан с водой так, чтобы уровень воды был на уровне почвы в трубке в течение всего опыта. Полную влагоемкость почвы вычисляли в весовых, объемных % и в мм (Вадюнина и др., 1986).

Фильтраты (100 мл) собирали из колонок и проводили определение в них концентрации нефтепродуктов гравиметрическим методом после экстракции хлороформом. Также определяли фракционный состав нефтепродуктов в фильтрационных водах методом тонкослойной хроматографии с пламенно-ионизационным детектором (ТСХ-ПИД).

4. Микробиологическое исследование почвы, экспериментально загрязненной нефтью

Определение влияния нефтяного загрязнения на жизнедеятельность почвенного микробиоценоза проводили в соответствии со следующими нормативными и методическими документами:

- ГОСТ 17.4.3.01-83. Общие требования к отбору проб почвы.
- ГОСТ 17.4.4.02-84. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа.
- МУ 2.1.7.730-99. Гигиеническая оценка качества почвы населенных мест.
- Методы почвенной микробиологии и биохимии / Под ред. Д. Г. Звягинцева, МГУ, Москва, 1991. 304 с.
- Гузев В.С., Левин С.В. Техногенные изменения сообщества почвенных микроорганизмов // Перспективы развития почвенной биологии / Под ред. Звягинцева Д. Г. М.: Изд-во МАКС Пресс, 2001. С. 178–219.
- Практикум по биологии почв: Учеб. пос. / Зенова Г.М., Степанов А.Л., Лихачева А.А., Манучарова Н.А. М.: Изд-во МГУ, 2002. 120 с.
- Семенова И.Н., Ильбулова Г.Р., Суюндуков Я.Т. Изучение эколого-трофических групп почвенных микроорганизмов в зоне влияния горнорудного производства // Фундаментальные исследования / Биологические науки. 2011. № 11. С. 410–414.

Предварительная подготовка образцов почвы проводилась путем ультразвуковой обработки почвенных суспензий для максимальной десорбции микроорганизмов с

поверхности почвенных частиц. определение общей численности микроорганизмов в почвенных образцах осуществляли люминесцентным методом с помощью флуоресцентного микроскопа МС 400FP (Micros, Австрия). Дифференциацию живых и мертвых клеток проводили с использованием красителя LIVE/DEAD[®] BacLight[™] Bacterial Viability Kit ("Invitrogen", США).

Количественный учет аэробных гетеротрофных микроорганизмов проводили традиционным методом высева на питательный агар (МПА). Определение численности физиологических групп почвенных бактерий и мицелиальных грибов осуществляли путем высева на соответствующие элективные питательные среды (Методы почвенной..., 1991).

5. Определение транслокационного показателя вредности нефти и нефтепродуктов

- Определение транслокационного показателя вредности нефти и нефтепродуктов по величине их миграции в растения проводили в полевом опыте в соответствии со следующими нормативными и методическими документами:
- ГОСТ 17.4.1.02-83 Охрана природы. Почвы. Классификация химических веществ для контроля загрязнения.
- ГОСТ 17.4.4.02-84. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа.
- СТ СЭВ 4470-84 Охрана природы. Почвы. Номенклатура показателей санитарного состояния.
- МУ 2.1.7.730-99. Гигиеническая оценка качества почвы населенных мест.
- МУ № 4266-87. Методические указания по оценке степени опасности загрязнения почвы химическими веществами.

Определение транслокационного показателя вредности нефти и нефтепродуктов по величине их миграции в растения проводили в микроделяночном опыте. Почву площадок засевали смесью многолетних травяных культур: клевера лугового (*Trifolium pratense*), костра безостого (*Bromus exaristatus*) и тимофеевки луговой (*Phleum pratense*). Собранные растения отмывали от почвы, высушивали до постоянного веса и определяли в них концентрации нефтепродуктов гравиметрическим методом после экстракции хлороформом. Также определяли фракционный состав экстрагированных нефтепродуктов методом тонкослойной хроматографии с пламенно-ионизационным детектором (ТСХ-ПВД). В качестве контроля использовали растения, выращенные в чистой сельскохозяйственной почве.

6. Оценка степени загрязнения атмосферы

Для оценки степени загрязнения атмосферы вследствие аварийного разлива нефти применена Методика определения ущерба окружающей природной среде при авариях на магистральных нефтепроводах, утвержденная Минтопэнерго РФ 01.11.1995 г., раздел 2.5. Оценка степени загрязнения атмосферы.

7. Оценка экологического риска

Прогностический расчет экологического риска, обусловленного загрязнением почв разного типа (дерново-подзолистой, песчаной и торфяной) нефтью из месторождения Пермского края ($\rho=0,86\pm 0,072$ г/см³) при условии соблюдения предлагаемых нормативов ДОСНП, осуществляли в соответствии со следующими нормативными и методическими документами:

ГОСТ Р ИСО/МЭК 31010-2011 Менеджмент риска. Методы оценки риска.

Р 2.1.10.1920-04 Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду.

ГН 2.1.6.1338-03 Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест.

ГН 2.1.6.1339-03 Ориентировочные безопасные уровни воздействия (ОБУВ) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест.

ГН 2.1.5.1315-03 Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования.

ГН 2.1.5.1316-03 Ориентировочные допустимые уровни (ОДУ) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования.

ГН 6229-91 Предельно допустимые концентрации (ПДК) и ориентировочно допустимые количества (ОДК) химических веществ в почве.

ГН 1.1.725-98 Перечень веществ, продуктов, производственных процессов, бытовых и природных факторов, канцерогенных для человека.

ГН 1.2.1841-04 Перечень веществ, продуктов, производственных процессов, бытовых и природных факторов, канцерогенных для человека. Дополнения и изменения к ГН 1.1.725-98.

Для экспериментальной оценки реакции почв на нефтезагрязнение на условно чистых площадках в Пермском крае были отобраны смешанные образцы с глубины 0-20 см органогенно-гумусовых и минеральных горизонтов дерново-подзолистой почвы, подзола

иллювиально-железистого и торфяной болотной верховой почвы. Места отбора проб показаны на рисунке 1.1.



Рисунок 1.1 – Места отбора почв для экспериментов

Места отбора проб для экспериментов:

1. Дерново-подзолистая, преимущественно глубокоподзолистая – г. Пермь территория Парка Победы (координаты площадки: $57^{\circ} 57' 29,653''$ с.ш.; $56^{\circ} 11' 31,829''$ в.д.).
2. Подзол иллювиально-железистый (подзол иллювиально-малогумусовый) – Добрянский район (координаты площадки: $58^{\circ} 17' 12,735''$ с.ш.; $56^{\circ} 19' 43,337''$ в.д.).
3. Торфяная болотная верховая – Краснокамский район, Пальтинское болото (координаты площадки: $58^{\circ} 6' 30,929''$ с.ш.; $55^{\circ} 45' 5,255''$ в.д.).

Агрохимические и физические свойства отобранных для проведения эксперимента почв

Дерново-подзолистая почва суглинистого гранулометрического характеризуются достаточно типичными физико-химическими свойствами (Коротаяев, 1962). Она имеет слабокислую реакцию, пониженную обеспеченность гумусом и питательными веществами (таблица 1.1).

В подзоле иллювиально-железистом отмечено наибольшее содержание гумуса среди отобранных образцов. Реакция среды также слабокислая. В подстильно-торфяном

горизонте количество подвижного калия можно оценить как среднее, в целом же по содержанию подвижных элементов питания почва относится к низкообеспеченным.

Торфяная болотная верховая почва почва формируется в условиях избыточного увлажнения, характеризуется высоким содержанием органического углерода. Реакция слабокислая. Оценка обеспеченности подвижным P_2O_5 показала низкий уровень содержания. По количеству подвижного калия данную почву можно охарактеризовать как среднеобеспеченную.

Таблица 1.1 – Агрохимические и физико-химические показатели контрольных образцов

Сорг., %	Гумус, %	Зольность, %	pH _{вод}	pH _{сол}	NO ₃ подв., мг/100 г	P ₂ O ₅ подв., мг/100 г	K ₂ Oподв., мг/100 г	Сухой остаток, %	Na + K, мг/100г
Дерново-подзолистая почва									
1,34	2,31	-	5,07	3,97	1,5	0,8	9,1	0,38	26,46
Подзол иллювиально-железистый									
3,08	5,32	-	5,98	4,48	3,0	1,7	10,4	0,20	23,60
Торфяная болотная верховая почва									
31,78	-	34,53	5,21	3,65	0,2	0,5	5,5	0,11	6,75

Результаты анализа физических свойств почв показали, что поверхностные горизонты по гранулометрическому составу относятся к суглинистым у дерново-подзолистой почвы и к песчаным у подзола иллювиально-железистого (таблица 1.2). Наибольшей водоудерживающей способностью обладала торфяная болотная верховая почва – 621,8 % от сухой массы. Для дерново-подзолистой почвы и подзола иллювиально-железистого этот показатель составляет 97,3 % и 64,3 % соответственно.

Таблица 1.2 – Гранулометрический состав и физические свойства контрольных образцов

W, %	W _{H2Oc} , %	Содержание механических элементов (в мм) и их содержание (в %)							Название почвы по механическому составу
		1-0,25	0,25-0,05	0,05-0,01	0,01-0,005	0,005-0,001	Менее 0,001 мм	Менее 0,01 мм	
Дерново-подзолистая почва									
2,50	97,3	1,89	42,39	33,08	13,31	7,22	2,16	22,68	суглинок легкий
Подзол иллювиально-железистый									
1,92	64,3	33,16	53,57	7,03	0,20	2,83	3,21	6,24	песок связный
Торфяная болотная верховая почва									
18,75	621,8	-	-	-	-	-	-	-	-

W - Гигроскопическая влажность почвы

W_{H2Oc} - Водоудерживающая способность выраженная в процентах от сухой массы

Характеристика внесенной нефти представлена в таблице 1.3. Место отбора нефти – Ярино-Каменноложское нефтяное месторождение, расположенное в Добрянском районе Пермского края.

Таблица 1.3 – Характеристика внесенной нефти

№	Наименование показателя	Метод испытаний	Результат испытаний
1.	Температура нефти при условиях измерений объема, °С	ФР.1.29.2014.16938	25,3
2.	Давление нефти при условиях измерений объема, МПа	ФР. 1.29.2014.16938	0,78
3.	Плотность нефти при температуре и давлении в условиях измерений объема, кг/м ³	ФР.1.29.2014.16938	826,9
4.	Плотность нефти при 20°С, кг/м ³	ФР. 1.29.2014.16938	830,3
5.	Плотность нефти при 15°С, кг/м ³	ФР. 1.29.2014.16938	834,0
6.	Массовая доля воды, %	ГОСТ 2477-14	0,08
7.	Массовая концентрация хлористых солей, мг/дм ³ (%)	ГОСТ 21534-76 Метод А	24,4 (0,0030)
8.	Массовая доля механических примесей, %	ГОСТ 6370-83	0,0032
9.	Массовая доля серы, %	ГОСТ Р 51947-02	0,84
10.	Давление насыщенных паров, кПа (мм рт.ст.)	ГОСТ 1756-00	63,0(473)
11.	Выход фракций, %: при температуре до 200 °С при температуре до 300 °С при температуре до 350 °С	ГОСТ 2177-99 Метод Б	32 53
12.	Массовая доля парафина, %	ГОСТ 11851-85 Метод А	2,8
13.	Массовая доля сероводорода, млн ¹ (ppm)	ГОСТ Р 50802-95	9,1
14.	Массовая доля метил-и этилмеркаптанов в сумме, млн ¹ (ppm)	ГОСТ Р 50802-95	26,0
15.	Массовая доля органических хлоридов во фракции, выкипающей до температуры 204°С, млн ¹ (ppm)	ГОСТ Р 52247-04 Метод Б	менее 1
16.	Плотность пластовой воды, кг/м ³		1052
17.	Общая минерализация, г/л;		74,67
18.	рН		7,7

4. Результаты экспериментов

Вегетационный хронический эксперимент (оценка фитотоксичности)

Вегетационные опыты проводили в соответствии с ГОСТ Р ИСО 22033-2009. В ходе тестирования измеряли параметры прорастания, роста трех видов наземных растений – пшеницу яровую (*Triticum vulgare* L.), горох посевной (*Pisum sativum* L.) и ель гибридная (*Picea abies* x *Picea obovata*).

В работе оценивали всхожесть семян, через 2 недели и 1 месяц измеряли массу растений (надземной и подземной части, общую), длину корней, стеблей, у пшеницы длину верхушечного листа. Согласно МР 2.1.7.2297-07 в качестве критерия фитотоксического действия поллютанта использовано снижение фитопродуктивности растений на 20% и более относительно контрольных вариантов. Для этого в соответствии с ГОСТ Р ИСО 22033-2009 определяли действующие концентрации (ДК) нефтепродуктов в почве, приводящие к 50% (ДК₅₀) и 20% (ДК₂₀) снижению измеренных параметров тест-объектов. Для поиска значений ДК₅₀ и ДК₂₀ использовался графический метод. При этом согласно разделу «Статистический анализ» ГОСТ Р ИСО 22030-2009 значение величины достоверности аппроксимации (R^2) должно быть выше 0,7.

Для большинства вариантов опыта была характерна обратная зависимость между урожайностью растений и содержанием нефтепродуктов в почве. Нормативы допустимых концентраций нефти и нефтепродуктов для почв были установлены по двум критериям:

1. По ДК₂₀ на наиболее чувствительный процесс;
2. Значение величины достоверности аппроксимации (R^2) должно при этом быть выше 0,7.

Концентрация внесенной нефти для подзола и дерново-подзолистой почв составляла 0; 1; 2; 3 и 5 г/кг, для торфяной почвы – 0; 1; 5; 15 и 50 г/кг. В почвах после загрязнения было определено содержание нефтепродуктов, в подзоле и дерново-подзолистой оно соответствовало внесенной дозе нефти. В торфяной почве было выявлено естественное высокое содержание битумоидов, поэтому для анализа в данном случае были взяты концентрация нефтепродуктов, определенная в экспериментальной торфяной почве.

Ниже приведены лимитирующие показатели, определенные отдельно по каждому типу почв.

Показатели влияния нефти в **подзоле иллювиально-гумусовом** на состояние растительных объектов представлены в таблицах 2.1-2.2 и рисунках 2.1-2.2.

Таблица 2.1 – Влияние нефти в почве на длину стеблей и корней растений пшеницы

Длина, см	Начальная концентрация нефтепродуктов, г/кг					Уравнение регрессии (R ²)	ДК ₂₀ , г/кг	ДК ₅₀ , г/кг
	0	1	2	3	5			
стебель	6,4	5,9	6,7	5,2	6,2	$y = -0,0606x + 6,2206$ (0,04)	18,1	50,1
корень	23,6	17,2	16,6	12,9	12,8	$y = -2,0141x + 21,044$ (0,77)	1,0	4,6
верхушечный лист	19,2	17,7	19,2	14,3	16,3	$y = -0,6935x + 18,875$ (0,41)	5,0	13,3

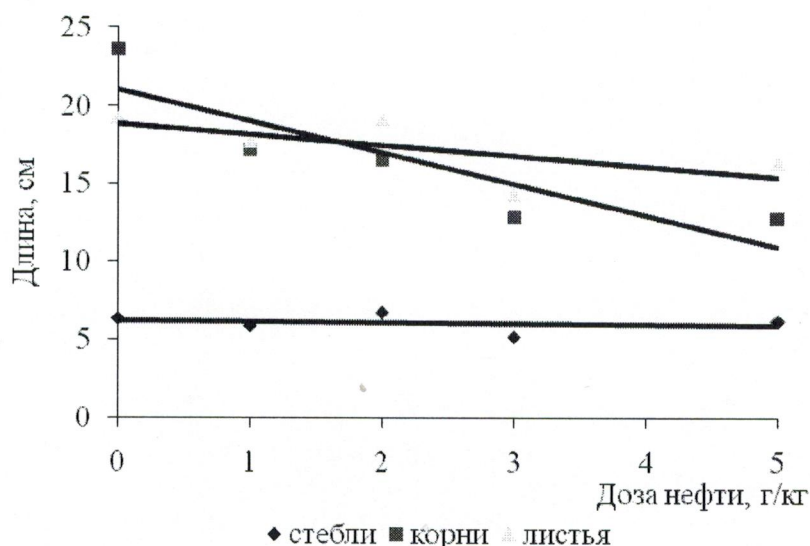


Рисунок 2.1 – Влияние нефти в почве на длину стеблей, корней и первого листа растений пшеницы

Таблица 2.2 – Влияние нефти в почве на длину растений ели

Показатели	Начальная концентрация нефтепродуктов, г/кг					Уравнение регрессии (R ²)	ДК ₂₀ , г/кг	ДК ₅₀ , г/кг
	0	1	2	3	5			
длина стебля, см	3,2	3,0	2,8	2,6	2,1	$y = -0,215x + 3,20$ (0,99)	3,0	7,5
длина корня, см	2,8	2,4	2,0	1,5	1,3	$y = -0,306x + 2,68$ (0,92)	1,4	4,2

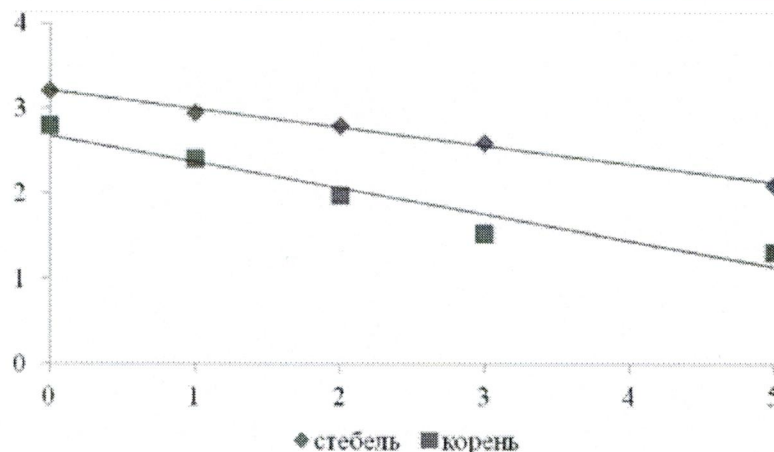


Рисунок 2.2 – Влияние нефти в почве на длину стебля и корня растений ели

Показатели влияния нефти в дерново-подзолистой почве на состояние растительных объектов представлены в таблицах 2.3-2.4 и рисунках 2.3-2.4.

Таблица 2.3 – Влияние нефти в почве на длину стеблей и корней растений пшеницы

Длина, см	Начальная концентрация нефтепродуктов, г/кг					Уравнение регрессии (R ²)	ДК ₂₀ , г/кг	ДК ₅₀ , г/кг
	0	1	2	3	5			
стебель	7,4	6,9	6,4	6,5	5,0	$y=-0,4426x+7,41 (0,93)$	3,5	8,4
корень	21,9	18,0	17,0	17,8	14,3	$y=-1,28x+20,64 (0,81)$	2,4	7,6
верхушечный лист	30,5	28,4	27,5	27,8	27,0	$y=-0,606x+29,6 (0,71)$	8,5	23,6

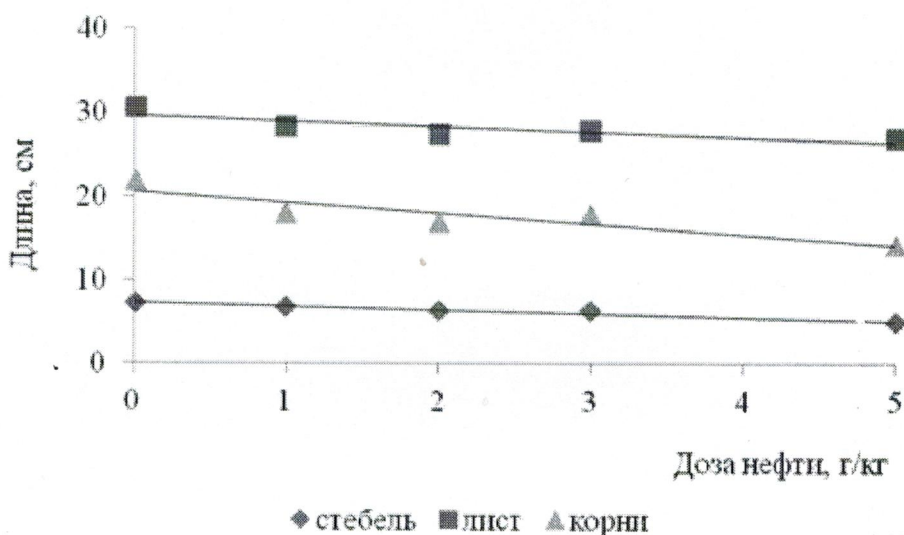


Рисунок 2.3 – Влияние нефти в почве на длину стеблей, корней и верхушечного листа растений пшеницы

Таблица 2.4 – Влияние нефти в почве на длину и массу (сырой вес) растений ели

Показатели	Начальная концентрация нефтепродуктов, г/кг					Уравнение регрессии (R ²)	ДК ₂₀ , г/кг	ДК ₅₀ , г/кг
	0	1	2	3	5			
длина стебля, см	3,0	3,2	2,8	2,9	3,8	$y=0,133x+2,847 (0,45)$	–	–
длина корня, см	2,3	1,7	2,0	1,5	1,0	$y=-0,234x+2,21 (0,83)$	1,5	4,5
масса (общая), г	0,16	0,14	0,15	0,12	0,04	$y=-0,024x+0,17 (0,85)$	1,9	3,9

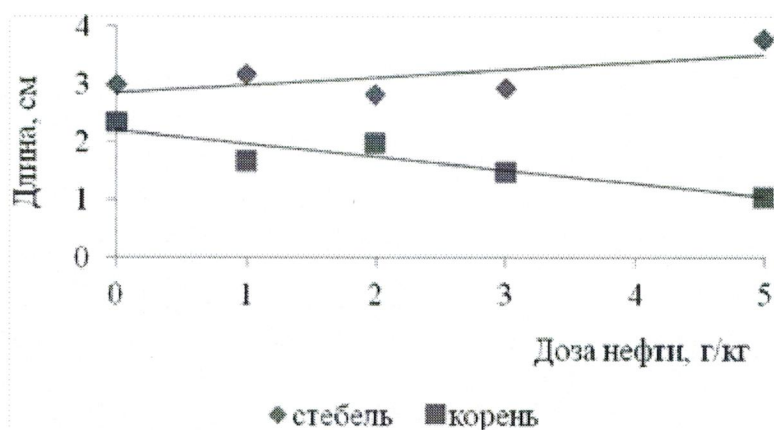


Рисунок 2.4 – Влияние нефти в почве на длину стеблей и корня растений ели

Показатели влияния нефти в торфяной болотной почве на состояние растительных объектов представлены в таблицах 2.5-2.6 и рисунках 2.5-2.6.

Таблица 2.5– Влияние нефти в почве на длину стеблей и корней растений пшеницы

Длина, см	Начальная концентрация нефтепродуктов, г/кг					Уравнение регрессии (R ²)	ДК ₂₀ , г/кг
	2,2	2,4	9,8	35,7	131,0		
стебель	7,0	5,9	4,0	3,5	4,4	$y=6,4138x^{-0,1181}$ (0,53)	3,8
корни	24,8	23,5	17,0	13,7	14,1	$y=27,628x^{-0,2068}$ (0,86)	5,3
верхушечный лист	26,3	20,1	19,5	11,1	10,9	$y=26,01x^{-0,1481}$ (0,88)	8,1

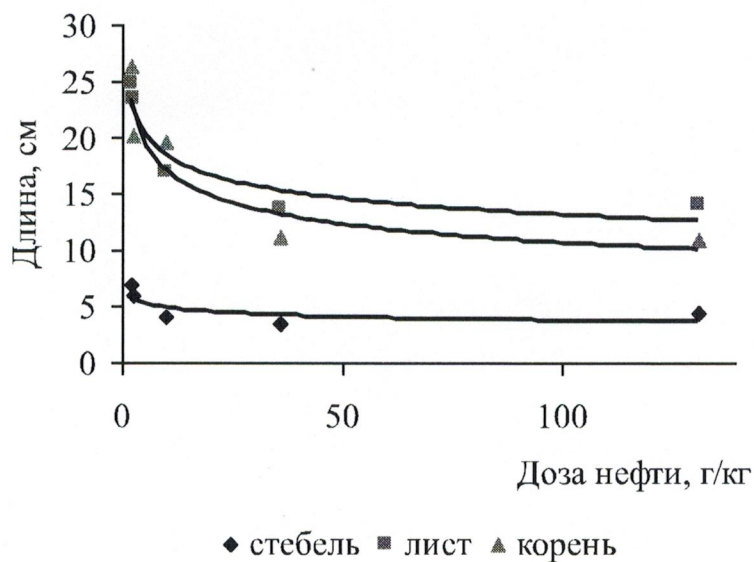


Рисунок 2.5 – Влияние нефти в почве на длину стеблей, корней и верхушечного листа растений пшеницы

Таблица 2.6 – Влияние нефти в почве на длину и массу (сырой вес) растений ели

Показатели	Начальная концентрация нефтепродуктов, г/кг					Уравнение регрессии (R ²)	ДК ₂₀ , г/кг	ДК ₅₀ , г/кг
	2,2	2,4	9,8	35,7	131,0			
длина стебля, см	3,2	3,6	3,2	2,8	2,9	$y=3,4812x^{-0,047}$ (0,64)	381,9	–
длина корня, см	2,7	2,1	–	0,7	0,7	$y=2,6915x^{-0,331}$ (0,81)	2,8	–
масса (общая), г	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	$y=-0,00003x + 0,016$ (0,28)	90,0	526,7

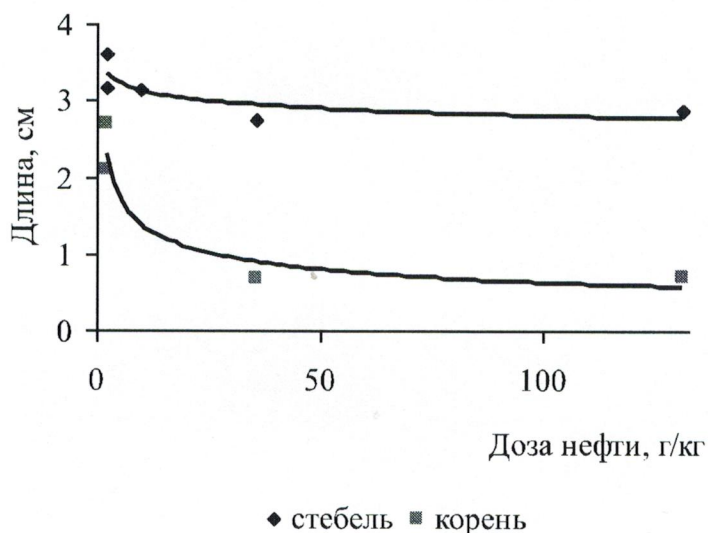


Рисунок 2.6 – Влияние нефти в почве на длину стеблей и корней растений ели

По результатам эксперимента обнаружено, что наиболее чувствительным процессом к содержанию нефтепродуктов в почве является рост корней растений. При этом пшеница оказалась более чувствительной к присутствию загрязняющего вещества культурой, чем горох. Действующая концентрация нефти и нефтепродуктов, приводящая к 20%-ному уменьшению длины корней растений пшеницы, через 2 недели составляла для подзола – 1,0 г/кг, дерново-подзолистой – 2,4 г/кг, торфяной – 14,6 г/кг при величинах коэффициента R² 0,77, 0,96 и 0,95, соответственно. ДК₂₀ на рост корней растений пшеницы через месяц эксперимента составляла для подзола – 1,1 г/кг, дерново-подзолистой почвы – 2,4 г/кг, торфяной почвы – 5,3 г/кг, при величинах R² – 0,79, 0,81 и 0,86, соответственно. ДК₂₀ на рост корней растений ели через месяц эксперимента составляла для подзола – 1,4 г/кг; дерново-подзолистой – 1,5 г/кг, торфяной почвы – 2,8 г/кг при величинах R² – 0,92, 0,83 и 0,81, соответственно.

Миграционный водный показатель вредности

На основании результатов определения водно-миграционного показателя вредности нефти и нефтепродуктов в дерново-подзолистой почве, типичной для Пермского края, сделан вывод, что однократное загрязнение почвы нефтью на уровне до 10,0 г/кг не представляет опасности ее миграции с точки зрения возможного загрязнения грунтовых вод.

В результате аналогичных опытов с песчаной (подзолом) и торфяной почвой установлены значения допустимого остаточного содержания нефти и нефтепродуктов, составляющие 5,0 и 15,0 г/кг почвы соответственно.

Транслокационный показатель вредности

На основании результатов полевого эксперимента по определению транслокационного показателя вредности нефти и нефтепродуктов в дерново-подзолистой почве, типичной для Пермского края, сделан вывод, что загрязнение почвы нефтью на уровне до 5,0 мг/кг не представляет опасности ее накопления в растениях – активных биоаккумуляторах в течение вегетационного периода.

В результате аналогичных экспериментов с песчаной (подзолом) и торфяной почвой установлены значения допустимого остаточного содержания нефти и нефтепродуктов, составляющие 5,0 и 10,0 г/кг почвы соответственно.

Влияние нефтяного загрязнения на жизнедеятельность почвенного микробиоценоза

На основании данных микробиологического анализа сделан вывод, что содержание нефти в почве в диапазоне концентраций 1,0-5,0 г/кг не оказывало влияния на состояние почвенного микробиоценоза дерново-подзолистой почвы, типичной для Пермского края. Более высокие концентрации нефти (5-25 г/кг) оказывали стимулирующее воздействие на развитие почвенных бактерий (за исключением актиномицетов) и грибов, а внесение 25-50 г/кг нефти приводило к преимущественному развитию углеводородокисляющих микроорганизмов, тем самым снижая биоразнообразие почвенной микрофлоры и нарушая естественный баланс ключевых трофических групп. Следовательно, допустимое остаточное содержание нефти и нефтепродуктов в дерново-подзолистой почве по микробиологическим показателям составляет 10,0 г/кг. В результате аналогичных опытов с песчаной (подзолом) и торфяной почвой установлены значения допустимого остаточного содержания нефти и нефтепродуктов, составляющие 10,0 и 25,0 г/кг почвы соответственно.

Биотестирование на тест-объекте *Chlorella vulgaris*

При биотестировании проб дерново-подзолистой почвы наблюдается планомерное повышение стимулирования роста тест-культуры при концентрациях нефтепродуктов 1, 2 г/кг. При концентрации нефтепродуктов 3 г/кг происходит максимальное стимулирование роста тест-культуры, после чего при повышении концентрации до 5 г/кг происходит угнетение роста, значение ТКР становится сопоставимо с фоновым.

Совершенно иная картина наблюдается при биотестировании проб торфяной болотной верховой почвы. Фоновая проба оказывает высокую стимуляцию роста тест-культуры (выше в 4 раза чем фоновые пробы подзола и дерново-подзолистой почв). Далее, при внесении нефтепродуктов в пробу происходит угнетение роста, по сравнению с фоном. Максимально низкое значение отмечено при концентрации нефтепродуктов 5 г/кг. После, при увеличении концентрации нефтепродуктов происходит стимулирование роста тест-культуры, ее максимальное значение отмечено при концентрации нефтепродуктов 50 г/кг.

Биотестирование на тест-объекте *Daphnia magna*

Водная вытяжка из почв не оказала острого токсического действия. Все взятые концентрации оказались безвредными.

Результаты оценки экологического риска

В результате проведенной оценки экологического риска установлено, что при концентрации нефти в дерново-подзолистой почве $\leq 5,0$ г/кг значения суммарного канцерогенного риска – $1,8 \times 10^{-5}$ и интегрального индекса опасности – 0,6 были ниже максимально допустимых уровней риска ($\leq 10^{-4}$ для канцерогенов и ≤ 1 для неканцерогенов соответственно). Аналогичные расчеты были выполнены для песчаной и торфяной (органической) почвы, в результате которых установлены соответствующие показатели канцерогенного риска ($7,9 \times 10^{-5}$ и $5,2 \times 10^{-6}$) и интегрального индекса опасности (0,8 и 0,5). Зарегистрированное снижение риска при одинаковом уровне (5,0 г/кг) нефтяного загрязнения почвы в ряду: песчаная > дерново-подзолистая > торфяная почва, по-видимому, обусловлено различиями в физико-химических свойствах почв (плотность, пористость, содержание органического С, влагоемкость и пр.), оказывающих влияние на показатели диффузии нефтепродуктов, их распределения в системе почва/вода и испарения из почвы в воздушную среду. Следовательно, допустимым уровнем остаточного содержания нефти и нефтепродуктов в почвах, типичных для Пермского края, в отношении проживающего на данной территории населения может считаться уровень нефтяного загрязнения $\leq 5,0$ г/кг. Для торфяных болотных почв $\leq 6,0$ г/кг.

Сравнение результатов экспериментов

По итогам экспериментов рассчитаны показатели вредности, сравнение результатов представлено в таблице 2.7.

Таблица 2.7 – Результаты расчетов концентрации допустимого остаточного содержания нефти и нефтепродуктов в почве, г/кг

	Тип почв	Фитотоксичность	Биотестирование	Миграционный водный показатель вредности	Транслокационный показатель вредности	Влияние на микробиоценоз	Влияние на здоровье человека
1.	Дерново-подзолистые, преимущественно глубокоподзолистые (суглинистые почвы)	2,4 ¹ 1,5 ²	5	10	5	10	5
2.	Подзолы иллювиально-железистые (подзолы иллювиально-малогумусовые) (песчаные почвы)	1,0 ¹ 1,4 ²	5	5	5	10	5
3.	Торфяные болотные верховые	5,3 ¹ 2,8 ²	50	15	10	25	6

Примечания: 1 – для земель сельскохозяйственного назначения; 2 – для земель лесного фонда.

Таким образом, допустимое остаточное содержание нефти и нефтепродуктов в почвах на территории Пермского края целесообразно установить на уровне:

- в дерново-подзолистых, преимущественно глубокоподзолистых почвах для земель сельскохозяйственного назначения – 2,4 г/кг почвы;

- в дерново-подзолистых, преимущественно глубокоподзолистых почвах для земель лесного фонда – 1,5 г/кг почвы;

- в подзоле иллювиально-железистом (подзоле иллювиально-малогумусовом) для земель сельскохозяйственного назначения – 1,0 г/кг почвы;

- в подзоле иллювиально-железистом (подзоле иллювиально-малогумусовом) для земель лесного фонда – 1,4 г/кг почвы;

- в торфяных болотных верховых почвах для земель сельскохозяйственного назначения – 5,3 г/кг почвы;

- в торфяных болотных верховых почвах для земель лесного фонда – 2,8 г/кг почвы.

5. Нормативы допустимого остаточного содержания нефти и нефтепродуктов в почвах Пермского края

1. Нормативы допустимого остаточного содержания нефти и нефтепродуктов в почвах на территории Пермского края устанавливает допустимое остаточное содержание нефти и продуктов ее трансформации в следующих типах почв на территории Пермского края:

- дерново-подзолистой, преимущественно глубокоподзолистой;
- подзоле иллювиально-железистом (подзоле иллювиально-малогумусовом);
- торфяной болотной верховой.

2. Нормативы допустимого остаточного содержания нефти и нефтепродуктов в почвах на территории Пермского края устанавливается в целях ограничения и регламентации уровня загрязнения почв и земель нефтяными углеводородами, устранения негативного воздействия на почвенные биоценозы и экосистемы Пермского края.

3. Норматив допустимого остаточного содержания нефти и нефтепродуктов в почвах на территории Пермского края применяется при осуществлении надзорных мероприятий в рамках государственного экологического надзора, оценки состояния почв и земель после проведения рекультивационных и иных восстановительных работ, расчете вреда окружающей среде, причиненного нарушением законодательства в области охраны окружающей среды, а также выполнения мероприятий по оперативному производственному контролю уровня нефтезагрязнения почв и ликвидации аварийных разливов нефти и нефтесодержащих продуктов.

4. Допустимое остаточное содержание нефти и нефтепродуктов в дерново-подзолистых, преимущественно глубокоподзолистых почвах на территории Пермского края для земель сельскохозяйственного назначения составляет 2,4 г/кг почвы.

Допустимое остаточное содержание нефти и нефтепродуктов в дерново-подзолистых, преимущественно глубокоподзолистых почвах на территории Пермского края для земель лесного фонда составляет 1,5 г/кг почвы.

Допустимое остаточное содержание нефти и нефтепродуктов в подзоле иллювиально-железистом (подзоле иллювиально-малогумусовом) на территории Пермского края для земель сельскохозяйственного назначения составляет 1,0 г/кг почвы.

Допустимое остаточное содержание нефти и нефтепродуктов в подзоле иллювиально-железистом (подзоле иллювиально-малогумусовом) на территории Пермского края для земель лесного фонда составляет 1,4 г/кг почвы.

Допустимое остаточное содержание нефти и нефтепродуктов в торфяной болотной верховой почве на территории Пермского края для земель сельскохозяйственного назначения составляет 5,3 г/кг почвы.

Допустимое остаточное содержание нефти и нефтепродуктов в торфяной болотной верховой почве на территории Пермского края для земель лесного фонда составляет 2,8 г/кг почвы.