

На правах рукописи

ЛОВИНЕЦКАЯ СВЕТЛАНА БОРИСОВНА

**ЭКОЛОГО-БИОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СОДЕРЖАНИЯ
НЕФТЕПРОДУКТОВ В ПОЧВАХ ПРИДОРОЖНЫХ ТЕРРИТОРИЙ
И ВОЗМОЖНОСТЬ ИХ РЕМЕДИАЦИИ**

03.02.08 - экология (биология)

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Тюмень -2019

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина»

Научный руководитель:

доктор биологических наук
Синдирева Анна Владимировна

Официальные оппоненты:

Еремченко Ольга Зиновьевна
доктор биологических наук, профессор,
заведующая кафедрой физиологии
растений и микроорганизмов ФГБОУ ВО
«Пермский государственный
национальный исследовательский
университет»

Околелова Алла Ароновна

доктор биологических наук, профессор
кафедры промышленной экологии и
безопасности жизнедеятельности ФГБОУ
ВО «Волгоградский государственный
технический университет»

Ведущая организация:

**ФГАОУ ВО «Южный федеральный
университет»**

Защита диссертации состоится «9» апреля 2019 года в 10.00 часов на заседании диссертационного совета Д 999.114.02 ФГБОУ ВО «ГАУ Северного Зауралья» по адресу: 625003, г. Тюмень, ул. Республики, 7

Телефон/факс: 8(3452) 29-01-52, e-mail: dissgausz@mail.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Государственного аграрного университета Северного Зауралья и на сайте университета
<http://www.tsaa.ru>.

Автореферат разослан «7» февраля 2019 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
доктор с-х. наук

Турсумбекова Галина Шалкарновна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Почвы мегаполисов подвержены высокой антропогенной нагрузке. Одними из наиболее экологически опасных загрязнителей признаны нефтепродукты (НП), источниками которых в крупных городах являются предприятия нефтеперерабатывающей, нефтехимической и химической промышленности, а также автотранспорт (Горохов, 2005; Гелашвили, Копосов, Лаптев, 2007; Другов, 2013; Михайлова, Попова, Наквасина, 2016).

Нефтепродукты изменяют механические, химические, биохимические и физико-химические характеристики почвы, вызывая гибель растений и микроорганизмов, способствующих её самоочищению. Степень влияния нефтепродуктов на растения и микроорганизмы зависит от многих факторов, таких как температура и влажность воздуха и почвы, наличие и количество биогенных элементов, тип почвы, концентрация загрязнителя и др. (Орлов, 2002; Назаров, 2007; Гогмачадзе, 2010).

На сегодняшний день нет достаточно полной картины характера воздействия нефтепродуктов на компоненты окружающей среды, что не дает возможности установить нормативы содержания нефтепродуктов в почве.

Загрязнение почв придорожных территорий нефтепродуктами под воздействием транспорта и объектов его инфраструктуры существенно отличается от аварийных разливов нефти при добыче и транспортировке, так как в нижние горизонты нефтепродукты проникают постепенно, по мере возрастания концентраций веществ на поверхности (Каверина, 2002). Техногенно-измененные почвы вблизи автомобильных дорог существенно отличаются от естественных почв: они формируются на насыпных грунтах, переуплотнены, содержат включения строительных материалов и сильно загрязнены различными экотоксикантами (Пшенин, 1999). Процессы самоочищения таких почв затруднены в связи с отсутствием благоприятных условий для жизнедеятельности растений и микроорганизмов (Свистова, 2005, 2014). В связи с этим требуется разработка мероприятий по их рекультивации. Для городских условий наиболее целесообразны фито- и биоремедиация, поскольку позволяют в короткие сроки снизить содержание нефтепродуктов, кроме того фиторемедиация способствует улучшению внешнего вида городов.

Цель исследований – дать эколого-биологическую оценку загрязнения нефтепродуктами почв придорожных территорий, а также эффективности их ремедиации в условиях юга Западной Сибири (на примере г. Омска и Омской области).

Задачи исследований:

1. Оценить содержание нефтепродуктов в почвах придорожных территорий на примере г. Омска и Омской области.
2. Проанализировать влияние автотранспорта на накопление нефтепродуктов в почве в зависимости от расположения объектов транспортной инфраструктуры.
3. Оценить фитотоксичность лугово-черноземной почвы, загрязненной нефтепродуктами.
4. Исследовать ферментативную и биологическую активность лугово-черноземной почвы

и растений в условиях загрязнения почвы нефтепродуктами.

5. Исследовать совместное влияние нефтепродуктов и тяжелых металлов на фитотоксичность лугово-черноземной почвы.

6. Дать научное обоснование ремедиационных мероприятий для городских почв придорожных территорий.

Научная новизна. Впервые установлены математические зависимости накопления нефтепродуктов в почвах придорожных территорий от расположения объектов транспортной инфраструктуры. По результатам модельных экспериментов установлены закономерности изменения фитотоксичности почвы в условиях загрязнения её нефтепродуктами на разных этапах их трансформации. Оценено совместное влияние нефтепродуктов и тяжелых металлов на систему почва – растение. Установлены количественные критерии содержания нефтепродуктов в лугово-черноземной почве для разработки региональных нормативов. Научно обоснованы эффективные приемы ремедиации почв придорожных территорий.

Теоретическая и практическая значимость работы.

Теоретическая значимость заключается в том, что установлены количественные закономерности накопления и действия нефтепродуктов в системе почва-растение с учетом экологических условий региона. Оценено влияние нефтепродуктов на высшие растения в концентрациях, характерных для почв города Омска (40...3000 мг/кг). Установлена связь фитотоксичности почвы с концентрацией нефтепродуктов, сроками загрязнения и временем воздействия на высшие растения, а также совместного воздействия загрязнителей, характерных для антропогенно-измененных почв.

Практическая значимость заключается в том, что установлено преимущество фиторемедиации по сравнению с биоремедиацией, так как выращивание смесей газонных трав способствует озеленению города и созданию его благоприятного эстетического облика. Проведенные исследования являются научной базой для разработки рекомендаций по ремедиации почвы придорожных территорий от нефтепродуктов в городских условиях. Полученные экспериментальные данные рекомендуются к использованию природоохранными органами для установления нормативов содержания нефтепродуктов в почве.

Материал диссертационной работы может использоваться при написании учебных пособий, справочников, издании атласов, в учебном процессе при преподавании экологических дисциплин («Экологический мониторинг», «Методы экологических исследований», «Экология», «Геоэкология»).

Положения, выносимые на защиту:

1. Автотранспорт оказывает значительное влияние на накопление в почвах нефтепродуктов. Уровень загрязнения почв придорожных территорий г. Омска и Омской области зависит от близости объектов транспортной инфраструктуры и превышает фоновый и допустимый.

2. Нефтепродукты в концентрациях 1000 мг/кг и выше увеличивают фитотоксичность лугово-черноземной почвы. Усилинию фитотоксичности способствует совместное действие тяжелых металлов и нефтепродуктов в концентрациях, характерных для городских почв.
3. Фито- и биоремедиационные мероприятия эффективно снижают содержание нефтепродуктов в почве.

Степень достоверности и апробация результатов. Результаты исследований и обоснованность выводов базируются на большом количестве экспериментальных данных, полученных с применением современных биологических и физико-химических методов анализа объектов окружающей среды, с использованием общезвестных и стандартных методик. Достоверность результатов исследований подтверждается их сходимостью при повторных опытах и статистической обработкой экспериментальных данных.

Основные положения диссертации были доложены и обсуждены на Международной научно-практической конференции «Всемирный день охраны окружающей среды (Экологические чтения – 2015)» (Омск, 2015), Международной научно-практической конференции (к 85-летию ФГБОУ ВПО СибАДИ) «Архитектура, строительство, транспорт» (Омск, 2015), Международной научно-практической конференции «Архитектурностроительный и дорожно-транспортный комплексы: проблемы, перспективы, новации» (Омск, 2015), Национальной научно-практической конференции с международным участием, проводимой в рамках Сибирского экологического форума «Эко-ВООМ» «Экологические проблемы региона и пути их решения» (Омск, 2016), Международной научно-практической конференции «Всемирный день охраны окружающей среды (Экологические чтения – 2017)» (Омск, 2017), Международной научно-практической конференции «Всемирный день охраны окружающей среды (Экологические чтения – 2018)» (Омск, 2018), VI Международной научно-практической конференции «Безопасность городской среды» (Омск, 2018). Работа отмечена дипломом памяти профессора Л.М. Маслова «За лучшую научно-исследовательскую работу 2017 года».

По материалам диссертации было опубликовано 19 печатных работ, в том числе 4 – в изданиях, рекомендованных ВАК РФ.

Структура и объем диссертации

Диссертационная работа изложена на 199 страницах печатного текста; состоит из введения, шести глав, заключения, практических рекомендаций, списка литературы; содержит 18 таблиц и 80 рисунков. Список литературы включает 222 источника, из них 40 – на иностранных языках.

Автор глубоко признателен за помощь в работе научному руководителю доктору биологических наук Синдиревой А.В., а также сотрудникам кафедр «Техносферная и экологическая безопасность» ФГБОУ ВО СибАДИ и «Экология, природопользование и биология» ФГБОУ ВО Омский ГАУ.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

ГЛАВА 1. ВЛИЯНИЕ НЕФТЕПРОДУКТОВ НА ЭКОЛОГО-БИОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЧВ

В главе рассмотрены источники и уровни антропогенного загрязнения почвы г. Омска и Омской области нефтепродуктами. Представлен обзор литературы о влиянии НП на механические, химические, биохимические и физико-химические характеристики почвы, её фитотоксичность, а так же вопросы нормирования содержания НП в почве. Охарактеризованы различные способы ремедиации почвы, загрязненной НП.

ГЛАВА 2. ОБЪЕКТЫ, УСЛОВИЯ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объекты исследований: почва вдоль автомагистралей города Омска и Омской области, лугово-черноземная почва опытного поля ФГБОУ ВО Омский ГАУ, тест-культуры, а так же смеси газонных трав. Лабораторные опыты по оценке фитотоксичности и целесообразности фиторемедиации лугово-черноземной почвы, загрязненной НП проводились в 2010-2016 гг. (табл. 1). В качестве НП использовали дизельное топливо.

Таблица 1 - Методы и характеристики лабораторных исследований

	Название опыта и метода	Характеристика опыта	Сроки проведения	Использованные тест-культуры
1	Оценка фитотоксичности почвы методом проростков	Сроки инкубации НП в почве – 2, 30 и 180 суток. Содержание НП 40 (контроль), 1000, 2000, 5000, 10000, 20000 мг/кг	2012-2013 гг.	орох посевной (<i>Pisum sativum</i>) и овес обыкновенный (<i>Avena sativa</i>)
2	Оценка влияния НП на выживаемость и активность каталазы и пероксидазы растений	Воздействие НП на растения – 30 суток. Содержание НП 40 (контроль), 1000, 2000, 5000, 10000 мг/кг	2011-2012 гг.	кресс-слат (<i>Lepidium sativum</i>)
3	Оценка влияния НП на активность каталазы и интенсивность дыхания почвы	Сроки инкубации НП в почве – 30 суток Содержание НП 40 (контроль), 1000, 2000, 5000, 10000 мг/кг	2014-2015 гг.	не использовались
4	Влияние испарений НП на развитие и биохимические показатели растений	Время воздействия на семена и взрослые растения – 1 сутки	2010-2011 гг.	кресс-слат (<i>Lepidium sativum</i>)
5	Оценка совместного влияния НП и тяжелых металлов (ТМ) на фитотоксичность почвы	Дозы: НП – 3000 мг/кг; ТМ – 1,5 ПДК (Pb (II) – 9,0 мг/кг, Zn (II) - 34,5мг/кг)	2015-2016 гг.	овес обыкновенный (<i>Avena sativa</i>)
6	Оценка интенсивности фиторемедиации и самоочищения почвы, загрязненной НП	Содержание НП – 40 (контроль), 1000, 2000, 5000, 10000 и 20000 мг/кг	2014-2016 гг.	газонные смеси трав: засухоустойчивая, натуральная и спортивная

Каталазную активность почвы и растений определяли перманганатометрическим методом. Пероксидазную активность тест-растений определяли колориметрическим методом (по А.М Бояркину). Интенсивность дыхания почвы определяли методом Галстяна. Все опыты проведены в четырехкратной повторности.

Оценку содержания НП в почве придорожных территорий г. Омска и Омской области, а так же эффективности фито- и биоремедиационных мероприятий проводили в полевых условиях с 2013 по 2016 гг. (табл. 2).

Таблица 2 – Методы и характеристики полевых исследований

	Название опыта и метод	Характеристика опыта	Сроки проведения
1	Оценка содержания НП в почве придорожных территорий г. Омска и Омской области методом ИК-спектрометрии	Отбор образцов: в г. Омске – 1...25 м от кромки дороги, в разных районах города; в Омской области – 5, 10, 15 м от кромки дороги на автомагистралях по направлениям Омск – Новосибирск, Омск – Петропавловск, Омск – Тюмень в 15 и 25 км от г. Омска	2013-2016 гг.
2	Оценка эффективности биоремедиации почв придорожных территорий г. Омска	Биопрепарат Деворойл. Срок действия – 3 месяца. Размер делянок – 1 м ²	2013 г.
3	Оценка эффективности фиторемедиации почв придорожных территорий г. Омска	Засухоустойчивая газонная смесь. Срок действия – 1 месяц. Размер делянок – 1 м ²	2013-2016 гг.

Содержание НП и ТМ в почве определяли в ФГБУ «Центр агрохимической службы «Омский» и на кафедре «Техносферная и экологическая безопасность» ФГБОУ ВО СибАДИ. Эффективность проведенных ремедиационных мероприятий оценивалась по убыли содержания НП в почве. Повторность опытов трехкратная.

По окончании исследования полученные данные подвергали статистической обработке. Математическая обработка результатов осуществлялась стандартными статистическими методами с использованием программы Microsoft EXCEL.

ГЛАВА 3. СОДЕРЖАНИЕ НЕФТЕПРОДУКТОВ В ПОЧВАХ ПРИДОРОЖНЫХ ТЕРРИТОРИЙ Г. ОМСКА И ОМСКОЙ ОБЛАСТИ

Установлено, что почвы города Омска вдоль автодорог содержат НП в концентрациях, превышающих фоновое значение (40 мг/кг) в 10...66 раз и безопасный уровень (1000 мг/кг) до 2,5 раз (рис. 1). Почвы вдоль основных автотрасс Омской области на расстоянии 15 и 25 км от мегаполиса менее загрязнены НП по сравнению с городскими. Содержание НП превышает фоновое значение в 10...25 раз. В большинстве образцов содержание НП не превышает безопасный уровень 1000 мг/кг. Следовательно, на почвы города Омска оказывается большее антропогенное воздействие, чем на почвы Омской области.

Содержание НП в почве при приближении к объектам транспортной инфраструктуры (автомобильные дороги, автозаправочные станции, пешеходные переходы и перекрестки) увеличивается согласно приведенным математическим зависимостям (рис. 2).

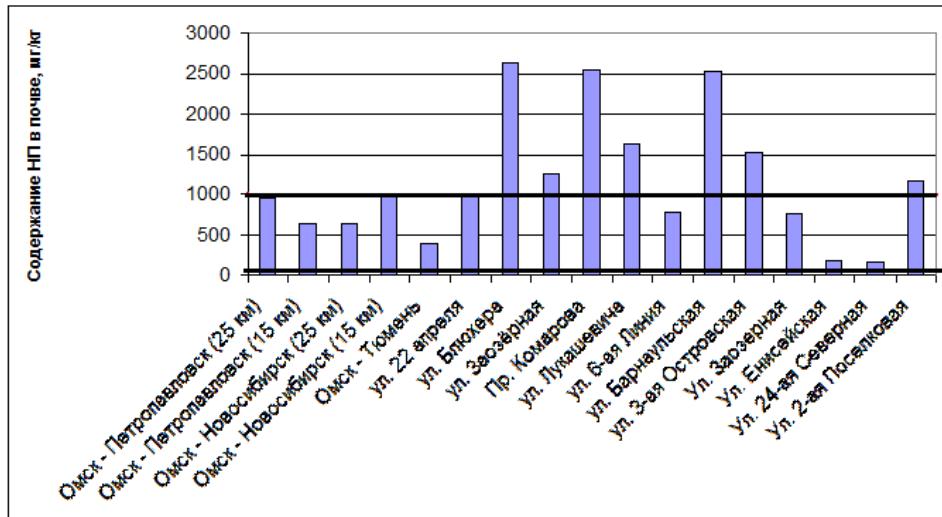


Рисунок 1 – Концентрация НП в почве г. Омска и Омской области



Рисунок 2 - Влияние объектов транспортной инфраструктуры на накопление НП в почве

Установленные математические уравнения характеризуют влияние автотранспорта в зависимости от близости объектов транспортной инфраструктуры на накопление нефтепродуктов в почве придорожных территорий, достоверность чего доказывают высокие коэффициенты аппроксимации R^2 , составляющие 0,73...0,99.

ГЛАВА 4. ОЦЕНКА ТОКСИЧНОСТИ ПОЧВ С РАЗЛИЧНЫМ СОДЕРЖАНИЕМ НЕФТЕПРОДУКТОВ

Для установления воздействия НП на состояние системы почва-растение и минимальной наблюдаемой действующей концентрации загрязнителя проведен ряд лабораторных опытов. Фитотоксичность определялась методом проростков, оценен фитотоксический эффект (ФЭ, %) по формуле

$$\Phi\mathcal{E} = \frac{\Pi_{\kappa} - \Pi_x}{\Pi_{\kappa}} \cdot 100 \ ,$$

где Π_{κ} – показатели контрольного растения; Π_x – показатель растения, выращенного на предположительно фитотоксичной среде.

Почва считается фитотоксичной, если ФЭ превышает 20 %. На горох и овес, используемые в данном опыте, загрязнение почвы НП оказывает различное воздействие на разных сроках с момента загрязнения (табл. 3).

Таблица 3 – Фитотоксический эффект почвы, загрязненной НП

Время экспозиции, сут.	Начальная концентрация НП, мг/кг	ФЭ, %				
		по прорастанию	по корневой системе	по наземной части	Длина	масса
<i>Горох посевной (<i>Pisum sativum</i>)</i>						
2	1000	2,6	5,0	0,8	6,7	0
	2000	2,6	9,3	-0,8	-5,7	-3,4
	5000	-2,6	14,3	-0,5	3,7	-5,2
	10000	10,4	11,4	-9,3	9,8	-9,3
	20000	16,9	15,0	-11,9	13,6	-11,9
30	1000	2,7	-3,9	2,6	1,7	0,7
	2000	13,3	1,9	7,6	11,3	4,3
	5000	9,3	3,9	5,7	24,8	10,1
	10000	9,3	5,8	9,8	22,6	13
	20000	13,3	8,3	-3,8	-0,2	-6,5
180	1000	18	14	25	1,8	2,0
	2000	28,8	53,7	39,1	21,2	12,6
	5000	42,4	57,4	55,1	35,9	28,3
	10000	67,0	72,8	75,7	65,2	60,3
	20000	78,3	49,3	78,2	51,8	79,8
<i>Овёс обыкновенный (<i>Avéna sativa</i>)</i>						
2	1000	15,5	2,3	3,4	8,7	1,4
	2000	16,9	12,4	5,1	10,7	9,4
	5000	20,8	22,2	5,1	18,8	13,8
	10000	23,9	36	5,9	25,5	19,6
	20000	40,9	40,1	35,6	46	34,8
30	1000	7,5	3,3	2,2	-0,4	2,7
	2000	13,0	7,9	0	2,2	8,0
	5000	18,1	9,5	9,5	3,2	3,6
	10000	17,8	11,5	16,8	4,1	5,3
	20000	35,6	19,2	20,7	9,9	11,6
180	1000	1,5	-2,1	1,6	3,4	1,9
	2000	-6,2	9,6	4,7	1,7	4,6
	5000	-8,5	2,1	7,9	9,1	1,0
	10000	1,5	6,4	6,3	6,8	3,7
	20000	43,9	10,7	13,4	4	15,7

На начальном этапе почва, загрязненная НП, не оказывает значительного токсического воздействия на горох. Токсичность почвы со временем увеличивается. На 30-е сутки она становится токсичной при начальных концентрациях НП 5000 и 10000 мг/кг, а на 180-е сутки - во всем диапазоне исследуемых концентраций. Для овса почва токсична с момента загрязнения при концентрациях НП 5000 мг/кг и выше.

Токсичность почвы со временем уменьшается. На 30-е и 180-е сутки с момента загрязнения почва фитотоксична только при концентрации 20000 мг/кг.

В данном случае, наблюдаемое противоположное воздействие НП на горох и овес, скорее всего, связано с изменением микробного сообщества, а также разным токсическим воздействием на сами растения. Со временем под действием продуктов трансформации НП уменьшается количество усваивающих азот бактерий и горох отвечает на это снижением количества всходов и биомассы. Овес же отвечает на токсическое воздействие самих НП, а продукты их трансформации не оказывают существенного воздействия на его рост и развитие.

В лабораторных экспериментах учитывались не только сроки инкубации НП, но и способность растений выживать в условиях загрязнения. Установлено, что количество растений крест-салата, используемого в данном опыте в качестве тест-культуры, при продолжительном их росте в условиях загрязнения НП снижается на 45...87 % в зависимости от концентрации загрязнителя (рис. 3).

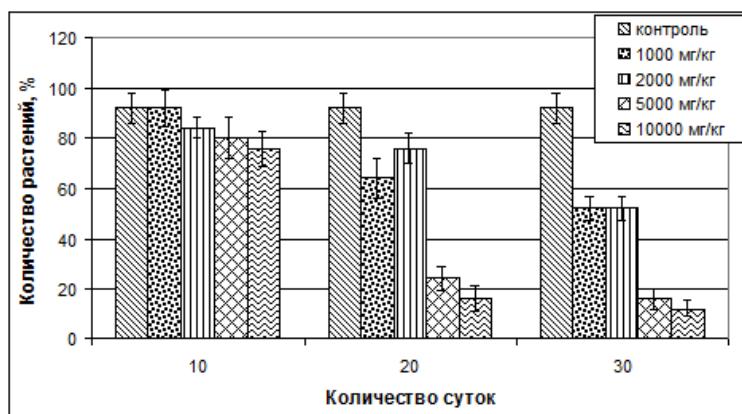


Рисунок 3 - Выживаемость растений крест-салата в условиях загрязнения почвы НП

В результате проведенных исследований установлено, что НП влияют на развитие наземной части крест-салата при концентрации 1000 мг/кг и выше (табл. 4).

Таблица 4 – Биологические показатели крест-салата при воздействии на них НП

Показатель	Содержание НП в почве, мг/кг				
	40 (контроль)	1000	2000	5000	10000
Высота наземной части растений, см	6,2±0,9	5,3±0,5	4,3±0,4*	3,5±0,6*	3,5±0,7*
Длина корней, см	4,4±0,7	3,5±0,3	1,4±0,5*	1,3±0,4*	0,4±0,3*
Масса наземной части растений, г	0,0602 ±0,0080	0,0312 ±0,0092*	0,0199 ±0,0076*	0,0212 ±0,0087*	0,0193 ±0,0052*
Масса корней, г	0,0052 ±0,00052	0,0039 ±0,00042*	0,0022 ±0,00050*	0,0013 ±0,00019*	0,0011 ±0,00011*
Активность пероксидазы, ×10 ³ ед.опт.плотн./ (г сыр.масс.:с)	4,7±0,5	15,3±0,6*	17,2±0,4*	24,5±0,7*	33,5±0,6*
Активность каталазы, ммоль H ₂ O ₂ / (г ·мин.)	49,4±0,6	40,2±0,7*	35,3±0,6*	22,4±0,3*	19,5±0,5*

Примечание. * Показаны статистически значимые отличия от контроля при Р = 0,05

На корневую систему растений НП влияют при содержании загрязнителя в почве 2000 мг/кг и выше. НП воздействуют на ферментативную активность растений кress-салата во всем диапазоне исследуемых концентраций. Повышение пероксидазной активности и снижение каталазной указывают на неблагоприятное воздействие данного загрязнителя на растения.

Кress-салат является более чувствительной тест-культурой по отношению к НП, чем горох и овес, так как негативное влияние загрязнителя проявляется при концентрации от 1000 мг/кг.

При попадании в почву легкие фракции НП испаряются и могут влиять на состояние растений не через почвенную, а через воздушную среду. В связи с этим для экологической оценки влияния НП, поступивших в почву, на рост и развитие наиболее чувствительной к НП культуры – кress-салата проведен эксперимент, в котором исследовалось воздействие паров дизельного топлива на прорастание семян и ферментативную активность растений. Установлено, что испарения НП не оказывают влияния на растения на разных этапах их развития.

При оценке каталазной активности почвы (*Akat*) на 10-е сутки после загрязнения установлено, что ферментативная активность возрастает при повышении концентрации НП в почве (рис. 4).

Тенденция к увеличению активности каталазы на 30-е сутки может свидетельствовать с одной стороны, о стимулировании работы почвенных микроорганизмов, участвующих в разложении НП, с другой стороны – об усилении окислительно-восстановительных процессов в почве, что может быть связано с возрастанием ее токсичности в условиях повышенного содержания НП. Проведённые исследования согласуются с данными других авторов (Андреева, 2005; Сулейманов, 2007, Кутузова, 2014, Михайлова, 2014), которые также отмечают увеличение активности этого фермента под влиянием НП в различных типах почв.

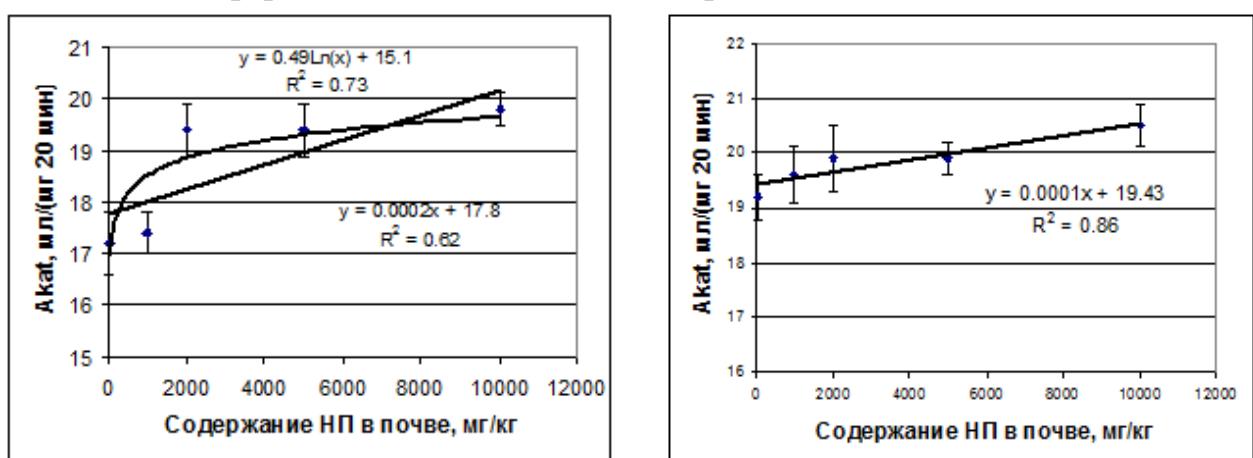


Рисунок 4 – Влияние НП на каталазную активность почвы на 10-е сутки (а) и 30-е сутки (б) после загрязнения

При анализе результатов опыта по исследованию интенсивности дыхания почвы (I_d), загрязненной НП, была определена зона оптимума биологической активности почвы (рис. 5).

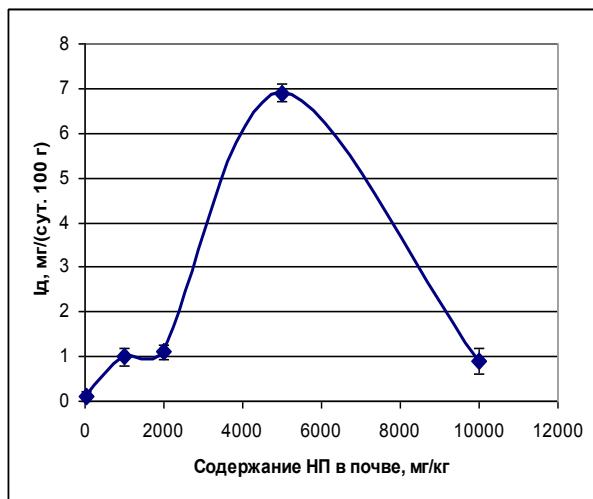


Рисунок 5 – Интенсивность дыхания почвы в условиях загрязнения НП

Согласно полученным данным, концентрации НП в почве от 40 до 5000 мг/кг способствуют увеличению данного показателя и оказывают стимулирующее влияние на выделение углекислого газа. Однако при дальнейшем увеличении концентрации интенсивность выделения углекислого газа снижается, что свидетельствует об угнетении биологической активности почвы под влиянием высоких концентраций НП.

В результате проведения эксперимента по оценке совместного влияния нефте-продуктов и тяжелых металлов в почве в концентрациях, характерных для городских условий, установлено, что количество проросших семян выше по сравнению с контролем в образцах почвы, загрязненной свинцом и совместно свинцом и цинком (рис. 6). При этом свинец в исследуемой концентрации стимулирует развитие растений (Синдирева, 2007; Казнина, 1985; Кабата-Пендиас, 1989), на что указывает отрицательный фитоэффект, превышающий 20 % ($\Phi\mathcal{E} = -22\%$). НП, напротив, угнетают растения на этой стадии развития, $\Phi\mathcal{E}$ составляет 28 % для почвы, загрязненной НП, и 40 % для почвы, загрязненной ТМ и НП. Причем, больше всего влияет на растения совместное присутствие ТМ и НП.

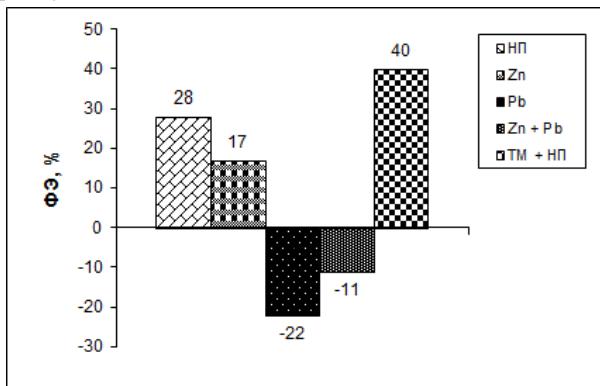


Рисунок 6 – Влияние НП и ТМ на фитотоксичность почвы по прорастанию семян растений

На высоту наземной части растений (рис. 7) наибольшее влияние оказывают НП, что выражается наибольшим значением ФЭ (25,6 %), это говорит о том, что почва фитотоксична. ФЭ почвы при совместном присутствии НП и ТМ достаточно высокий – 19,1 %, но не превышает 20 %. Цинк и свинец не оказывают воздействия на высоту растений. На длину корней растений загрязнители оказывают воздействие в разной степени. Наибольшее значение ФЭ 28,2 % наблюдается в образцах почвы, содержащих НП. Меньше всего на корневую систему воздействует цинк, ФЭ = 11,8 %. Значительной фитотоксичностью обладает почва, загрязненная ТМ и НП (ФЭ = 24,3 %).

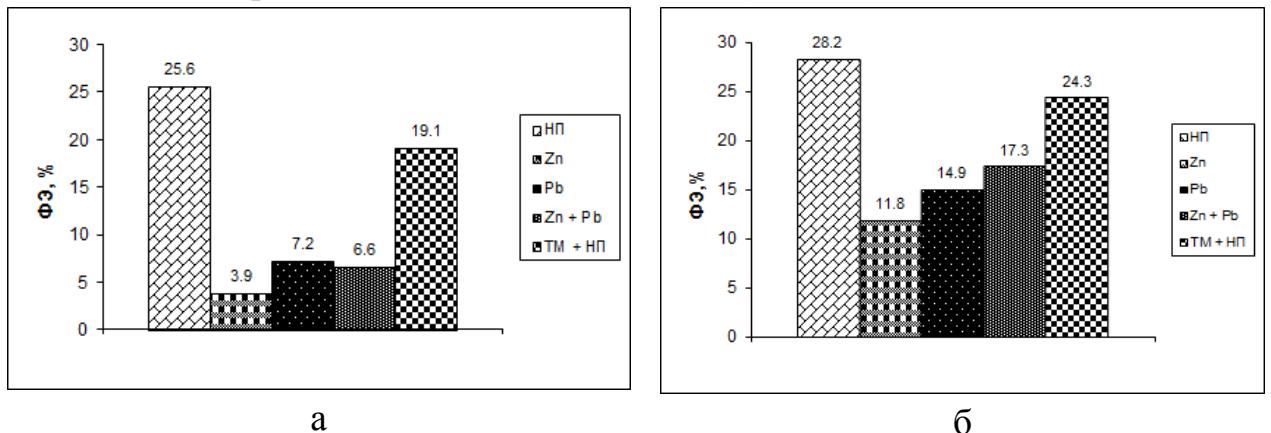


Рисунок 7 - Влияние НП и ТМ на высоту наземной части и длину корней растений: а) ФЭ по высоте наземной части, %; б) ФЭ по длине корней, %

Таким образом, при содержании НП и ТМ в почве в концентрациях, характерных для городских почв, наибольшее отрицательное воздействие на растения оказывают НП. Совместное присутствие в почве ТМ и НП приводит к угнетению растений, особенно на ранних этапах развития.

ГЛАВА 5. СПОСОБНОСТЬ ПОЧВЫ К САМООЧИЩЕНИЮ И ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ФИТО- И БИОРЕМЕДИАЦИОННЫХ РАБОТ В УСЛОВИЯХ ЗАГРЯЗНЕНИЯ НЕФТЕПРОДУКТАМИ

В связи с выявленной фитотоксичностью почв, содержащих НП в концентрациях, характерных для городских условий, и для оценки применимости фиторемедиации для почв придорожных территорий города, проведен лабораторный опыт по сравнительной оценке самоочищения и фиторемедиации почвы. Самоочищение почвы до содержания НП ниже допустимого уровня загрязнения (1000 мг/кг) при низких (1000...2000 мг/кг) и средних (2000...3000 мг/кг) начальных концентрациях произошло в течение 30 суток (табл. 5). Содержание НП в почве с высокой начальной концентрацией (3000...5000 мг/кг) по окончании опыта превышало значение допустимого уровня почти в 2 раза, а с очень высокой (выше 5000 мг/кг) – в 6 раз.

В результате проведения фиторемедиации с использованием смесей газонных трав удалось ускорить процесс очищения почв от НП. При этом по сравне-

нию с процессом самоочищения содержание загрязнителя снизилось в почвенных образцах с начальной концентрацией 1000 мг/кг на 16 – 20%, 2000 мг/кг на 15 – 18%, 5000 мг/кг 12 – 17 % и 10000 мг/кг 5 – 7%.

Таблица 5 – Эффективность самоочищения и фиторемедиации почвы в условиях загрязнения её НП

Начальная концентрация НП в почве, мг/кг	40 (контроль)	1000	2000	5000	10000
Самоочищение	<u>40 ± 10</u> -	<u>239 ± 60</u> 76	<u>541 ± 135</u> 73	<u>1749 ± 437</u> 65	<u>5889 ± 1472</u> 41
Газонная смесь	Засухоустойчивая	<u>37±9</u> -	<u>40±10</u> 96	<u>201±50</u> 90	<u>999±250</u> 80
	Натуральная	<u>39±10</u> -	<u>76±19</u> 92	<u>246±62</u> 88	<u>1144±286</u> 77
	Спортивная	<u>38±9</u> -	<u>65±16</u> 94	<u>229±58</u> 89	<u>1097±274</u> 78

Примечание. * В числителе указано содержание НП (мг/кг) на 30 сутки, в знаменателе – снижение содержания НП (%) относительно начальной концентрации

Таким образом, в условиях модельного эксперимента фиторемедиация с использованием газонных трав более эффективна для концентраций НП 1000...5000 мг/кг. По результатам данного опыта для фиторемедиации в полевых условиях выбрана засухоустойчивая газонная смесь.

При сравнении эффективности фиторемедиационных мероприятий с использованием засухоустойчивой газонной смеси и биоремедиационных с применением биопрепарата «Деворойл», проведенных в полевых условиях вблизи автомобильных дорог, установлено, что при фиторемедиации концентрация загрязнителя снижается на 34...54%, при проведении биоремедиации происходит снижение содержания НП в почве – на 85...87 % (рис. 8).



Рисунок 8 – Эффективность проведения мероприятий по фито- и биоремедиации почвы, загрязненной НП

ГЛАВА 6. ВЛИЯНИЕ НЕФТЕПРОДУКТОВ НА ФИТОТОКСИЧНОСТЬ ПОЧВЫ И ВОЗМОЖНОСТЬ ЕЁ ФИТОРЕМЕДИАЦИИ В УСЛОВИЯХ Г. ОМСКА

Нефтепродукты, в концентрациях характерных для городских почв, то есть 1000...2500 мг/кг, оказывают негативное воздействие на растительность. На основании вычисленных значений фитотоксического эффекта токсиканты промышленного происхождения по влиянию на биометрические показатели растений можно расположить в ряд по усилению фитотоксичности следующим образом: ТМ → НП+ТМ → НП. По влиянию на прорастание семян получен следующий ряд усиления фитотоксичности: ТМ → НП → НП+ТМ.

Для снижения содержания НП в почвах придорожных территорий г. Омска фиторемедиация является достаточно действенным мероприятием, а также представляет больший интерес с точки зрения обустройства ландшафта и улучшения внешнего облика города.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Содержание нефтепродуктов в почвах, прилегающих к автодорогам города Омска, составляет 4...65 фоновой концентрации и в 60 % отобранных образцов выше допустимого значения (1000 мг/кг). Автотранспорт влияет на содержание нефтепродуктов в почвенном покрове, при этом интенсивность их накопления в большей степени определяется близостью автозаправочных станций, перекрестков и пешеходных переходов.
2. Почва вдоль автодорог Омской области на расстоянии 15 и 25 км от города в основном имеет допустимый уровень содержания нефтепродуктов. Концентрация загрязнителя в почве при удалении от кромки проезжей части на 15 м уменьшается в 2,5...10 раз.
3. Лугово-черноземная почва при концентрации нефтепродуктов 1000 мг/кг и выше является фитотоксичной. Для гороха посевного и кress-салата почва токсична при концентрации 1000 мг/кг и выше, для овса обыкновенного – выше 2000 мг/кг. С увеличением сроков загрязнения фитотоксичность лугово-черноземной почвы для гороха посевного возрастает, а для овса обыкновенного – снижается.
4. При увеличении содержания нефтепродуктов в почве от 40 до 10000 мг/кг каталазная активность растений кress-салата снижается на 19...61 %, а пероксидазная активность возрастает на 69...86 %. Активность каталазы почвы при повышении концентрации нефтепродуктов имеет тенденцию к увеличению. Интенсивность дыхания почвы с увеличением концентрации нефтепродуктов от 40 до 5000 мг/кг повышается на 86 %, при более высоких концентрациях снижается.
5. При содержании нефтепродуктов и тяжелых металлов в почве в концентрациях, характерных для почв придорожных территорий города, максимальное отрицательное воздействие на растения оказывают отдельно нефтепродукты и со-

вместно тяжелые металлы и нефтепродукты, показывая наивысший фитотоксический эффект равный 28 и 40 % соответственно.

6. При проведении биоремедиации с использованием препарата «Деворойл» содержание нефтепродуктов снижается на 85...87 %, при проведении фиторемедиационных мероприятий с использованием засухоустойчивой газонной смеси снижение содержания нефтепродуктов достигает в среднем 54 %.

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Полученные на основе многолетних экспериментальных данных математические зависимости, характеризующие влияние автотранспорта на накопление нефтепродуктов в почвах придорожных территорий, необходимо учитывать при проектировании новых объектов жилой застройки.

2. Для фиторемедиации почвы, загрязненной нефтепродуктами при содержании ниже 5000 мг/кг, использовать засухоустойчивую газонную смесь. При концентрации нефтепродуктов выше 5000 мг/кг целесообразно применять микробиологические препараты, в частности, «Деворойл».

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ **В изданиях, рекомендованных ВАК:**

1. **Ловинецкая, С.Б.** Оценка содержания нефтепродуктов в почвах придорожных территорий г. Омска и Омской области и возможности их ремедиации / **С.Б. Ловинецкая**, В.Г. Еремеева, А.В. Синдирева // Омский научный вестник. - 2015. - № 138. - С. 241-245.

2. **Ловинецкая, С.Б.** Анализ факторов, влияющих на загрязнение нефтепродуктами почв придорожных территорий / **С.Б. Ловинецкая**, А.В. Синдирева, В.Г. Еремеева // Омский научный вестник. - 2015. - № 144. - С. 274-277.

3. Синдирева А.В. Использование газонных трав для фиторемедиации почв, загрязненных нефтепродуктами / А.В. Синдирева, **С.Б. Ловинецкая**, В.В. Гейс // Вестник Омского государственного аграрного университета. - 2016. - № 1 (21). - С. 92-97.

4. Синдирева, А.В. Оценка фитотоксичности почвы, загрязненной нефтепродуктами / А.В. Синдирева, **С.Б. Ловинецкая** // Вестник Новосибирского государственного аграрного университета. - 2017. - № 1 (42) - С. 116-121.

В прочих изданиях:

5. Синдирева, А.В. Фиторемедиация городских почв, загрязненных нефтепродуктами/ А.В. Синдирева, **С.Б. Ловинецкая**, А.А. Эссен //«Экологические чтения – 2018» Международная научно-практическая конференция, посвященная 100-летию образования Омского ГАУ (4-6 июня 2018 г.) – Омск: ЛИТЕРА, 2018. – С. 267-269.

6. **Ловинецкая, С.Б.** Биологическая активность лугово-черноземной почвы в условиях загрязнения её нефтепродуктами / **С.Б. Ловинецкая**, А.В. Синдирева // Всемирный день охраны окружающей среды (Экологические чтения - 2017): ма-

териалы Международной научно-практической конференции. – Омск: Омский ГАУ, 2017. - С. 186-190.

7. Синдиева, А.В. Использование методов фито- и биоремедиации для снижения содержания нефтепродуктов в почвах / А.В. Синдиева, **С.Б. Ловинецкая** // Биотехнология: состояние и перспективы развития: материалы IX международного конгресса. Т.1 – М.: Русские Экспо Дни Групп, 2017. - С. 493-495.
8. **Ловинецкая, С.Б.** Использование фиторемедиации для снижения содержания нефтепродуктов и тяжелых металлов в городских почвах [Электронный ресурс]/ **С.Б. Ловинецкая** // Архитектурно-строительный и дорожно-транспортный комплексы: проблемы, перспективы, новации: материалы Международной научно-практической конференции. – Омск: СибАДИ, 2016. - С. 1039-1043. – Режим доступа: [https://javascript:load_article\(28180439\)](https://javascript:load_article(28180439))
9. **Ловинецкая, С.Б.** Оценка воздействия нефтепродуктов на состояние системы «почва-растение» [Электронный ресурс] / **С.Б. Ловинецкая**, А.В. Синдиева // Архитектурно-строительный и дорожно-транспортный комплексы: проблемы, перспективы, новации: материалы Международной научно-практической конференции. – Омск: СибАДИ, 2016. - С. 1043-1047.- Режим доступа: [https://javascript:load_article\(28180440\)](https://javascript:load_article(28180440))
10. **Ловинецкая, С.Б.** Оценка влияния объектов транспортной инфраструктуры на загрязнение нефтепродуктами почв г. Омска / **С.Б. Ловинецкая**, А.А. Речкина // Экологические проблемы региона и пути их решения: материалы национальной научно-практической конференции с международным участием, проводимой в рамках Сибирского экологического форума «Эко-ВООМ». – Омск: Омский ГАУ, 2016. - С. 170-174.
11. **Ловинецкая, С.Б.** Оценка фитотоксичности и биологической активности почв, загрязненных нефтепродуктами / **С.Б. Ловинецкая**, М.Ю. Кошелева//Архитектура, строительство, транспорт: материалы Международной научно-практической конференции (к 85-летию ФГБОУ ВПО "СибАДИ").– Омск: СибАДИ, 2015. - С. 1285-1291.
12. **Ловинецкая, С.Б.** Фиторемедиация почв г. Омска с использованием газонных трав / **С.Б. Ловинецкая**, Д.М. Мирскова, В.В. Гейс // Архитектура, строительство, транспорт: материалы Международной научно-практической конференции (к 85-летию ФГБОУ ВПО "СибАДИ").– Омск: СибАДИ, 2015. – С. 1291-1295.
13. Синдиева, А.В. Влияние нефтепродуктов на фитотоксичность почвы / А.В. Синдиева, **С.Б. Ловинецкая**, М.Ю. Кошелева, В.В. Гейс // Всемирный день охраны окружающей среды (экологические чтения - 2015): материалы Международной научно-практической конференции. Под редакцией О.Ю. Мельниковой. – Омск: ОмЭИ, 2015. - С. 238-245.
14. Синдиева, А.В. Использование газонных смесей для фиторемедиации загрязненных дизельным топливом почв / А.В. Синдиева, **С.Б. Ловинецкая**, В.В. Гейс // Всемирный день охраны окружающей среды (экологические чтения - 2015): материа-

лы Международной научно-практической конференции. Под редакцией О.Ю. Мельниковой. – Омск: ОмЭИ, 2015. - С. 246-253.

15. **Ловинецкая, С.Б.** Решение экологических проблем придорожных территорий города Омска [Электронный ресурс] / **С.Б. Ловинецкая** // Развитие дорожно-транспортного и строительного комплексов и освоение стратегически важных территорий Сибири и Арктики: вклад науки: материалы международной научно-практической конференции. – Омск: СибАДИ, 2014. С. 354-357. - Режим доступа: [https://javascript:load_article\(22725682\)](https://javascript:load_article(22725682))

16. Синдирева, А.В. Оценка влияния нефтепродуктов в почве на всхожесть высших растений / А.В. Синдирева, **С.Б. Ловинецкая** // «Экологическая безопасность и культура – требование современности»: сборник научных трудов Всероссийской с международным участием научно-практической конференции, посвящённой 20-летию кафедры охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов Уфимского государственного университета экономики и сервиса. 10 октября 2014 г. – Уфа: УГУЭС- 2014. - С.109-112.

17. Еремеева, В.Г. Анализ использования биопрепаратов для очистки почв от нефтепродуктов / В.Г. Еремеева, **С.Б.Ловинецкая**, Г.Е.Ракимжанова // Архитектура. Строительство. Транспорт. Технологии. Инновации: материалы Международного конгресса ФГБОУ ВПО «СибАДИ». - Омск: СибАДИ, 2013. - С. 394-398.

18. Еремеева, В.Г. Новые подходы к использованию биопрепаратов для очистки воды с мостовых переходов и почв придорожных территорий / В.Г. Еремеева, **С.Б. Ловинецкая** // Ориентированные фундаментальные и прикладные исследования - основа модернизации и инновационного развития архитектурно-строительного и дорожно-транспортного комплексов России: материалы международной 66-й научно-практической конференции. - Омск: СибАДИ, 2012. - С. 123-127.

19. **Ловинецкая, С.Б.** Природоохранные мероприятия при загрязнении почв придорожных территорий городов / **С.Б. Ловинецкая**, Г.Е. Ракимжанова // Развитие дорожно-транспортного комплекса и строительной инфраструктуры на основе рационального природопользования. VII Всероссийская научно-практическая конференция ФГБОУ ВПО «СибАДИ» (с международным участием): материалы конференции. - Омск: СибАДИ, 2012. - С. 189-192.