

На правах рукописи



Руденко Елена Юрьевна

Биоремедиация нефтезагрязненных почв органическими компонентами отходов пищевой
(пивоваренной) промышленности

03.02.08 – экология (биология)

Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора
биологических наук

Владимир - 2015

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Самарский государственный технический университет»

Научный консультант:

доктор биологических наук, профессор

Трифонова Татьяна Анатольевна

Официальные оппоненты:

доктор биологических наук, профессор, ФГБОУ ВПО «Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева», профессор кафедры биотехнологии

Градова Нина Борисовна

доктор биологических наук, старший научный сотрудник, ФГБНУ «Сибирский научно-исследовательский институт сельского хозяйства и торфа», ведущий научный сотрудник

Терещенко Наталья Николаевна

доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный нефтяной технологический университет», профессор кафедры «Водоснабжение и водоотведение»

Назаров Владимир Дмитриевич

Ведущая организация: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Российский государственный университет нефти и газа имени И. М. Губкина»

Защита состоится «___» _____ 2015 г. в ___ часов ___ минут на заседании диссертационного совета Д 212.025.07 во Владимирском государственном университете имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых по адресу: 600000, г. Владимир, ул. Горького, 87, корп. 1, ауд. 335. E-mail: sahno_vlgu@mail.ru

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке ВлГУ и на сайте diss.vlsu.ru. Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные гербовой печатью учреждения, просьба присылать по адресу: 600000, г. Владимир, ул. Горького, 87, корп. 1, кафедра биологии и экологии.

Автореферат разослан «___» _____ 2015 г.

Ученый секретарь диссертационного совета
кандидат биологических наук, доцент



Сахно О.Н.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Углеводороды нефти и их производные – природные химические вещества, широко используемые человеком. В связи с достаточно интенсивной добычей и переработкой нефти и нефтепродуктов они являются основными загрязнителями окружающей среды (Винаров и др., 2006; Другов, Родин, 2007). В промышленно развитых странах загрязнение почвы сырой нефтью и нефтепродуктами является серьезной проблемой (Назаров и др., 2012; Baran et al., 2004; Liu et al., 2009; Wolicka et al., 2009). Во всем мире ежегодно теряется и попадает в окружающую среду около 45-50 млн. т нефти и нефтепродуктов, в России – 3 млн. т (1,2 % от объема добычи нефти) (Бурлака, 2006; Мещеряков, 2012).

При ремедиации почв, загрязненных нефтью и продуктами ее переработки, используют физические, химические и биологические методы, а также их сочетания (Li et al., 2000; Sarkar et al., 2005; Liang et al., 2009). Физические методы удаления загрязнения (сбор, удаление и захоронение нефти и сильно загрязненной почвы, промывка почвы водой под давлением, землевание, мульчирование слоем почвы, термообработка и др.) не способствуют восстановлению плодородия почв и могут нанести дополнительный ущерб окружающей среде (Подалов, 2010; Nadim et al. 2000; Khan et al., 2004). Химическая обработка путем экстракции растворителями или окислением изменяет агрохимические характеристики почвы и грунтовых вод (Nadim et al., 2000; Khan et al., 2004; Sarkar et al., 2005). Сжигание загрязненных почв дополнительно вызывает загрязнение атмосферы (Ting et al., 1999).

В настоящее время, с повышением внимания к охране окружающей среды, биоремедиация все активнее используется для очистки загрязненных почв. Биологическая очистка обычно обеспечивает преобразование загрязнителя в нетоксичные формы, используя микробиологические процессы (Sarkar et al., 2005) и может приводить к полной минерализации углеводородов до диоксида углерода и воды (Liang et al., 2009). Многие технологии биоремедиации нефтезагрязненных почв предлагают проводить интродукцию микроорганизмов, специализирующихся на разложении имеющихся углеводородов (Voopathy, 2000; Градова и др., 2003; Данг и др., 2011), однако в некоторых случаях интродуцированные микроорганизмы не выдерживают конкуренции с почвенной микробиотой (Jørgensen et al., 2000; Liang et al., 2009). К тому же, концентрации субстрата в окружающей среде могут быть слишком низкими, чтобы поддерживать рост введенных штаммов или интродуцированные микроорганизмы могут игнорировать целевой загрязнитель, если присутствуют другие субстраты (Pritchard, 1992; Kaksonen et al., 2006). В некоторых случаях инокуляция микроорганизмов для очистки почвы от углеводородов нефти только дополнительно увеличивает стоимость биоремедиации и не дает никакой выгоды (Jørgensen et al., 2000). Поэтому активно разрабатываются технологии биоремедиации, основанные на стимулировании аборигенной микробиоты загрязненной почвы, способной разлагать загрязняющие вещества (Градова, 2007; Voopathy, 2000; Scherr et al., 2007). Данные технологии ремедиации предполагают необходимость создания оптимальных условий для микробного разложения углеводородов: создание аэробных условий, обеспечение доступными питательными веществами, определенной влажности почвы, pH, температуры и др. (Voopathy, 2000; Wang, Bartha, 1990).

Для улучшения естественной способности почвенных микроорганизмов расщеплять углеводороды нефти, были предложены и проверены многие методы: рыхление, орошение;

известкование или гипсование; внесение удобрений, поверхностно-активных веществ, ферментов или ко-субстратов; добавление сорбентов; внесение структурообразователей; фитомелиоративные мероприятия и др. (Подалов, 2010). Все эти процедуры активируют естественные биологические, химические и физические процессы трансформации и удаления органических загрязнителей, протекающие в почве (Marin et al., 2005), однако закономерности этих процессов до конца не выяснены (Руденко 2012 б).

Образующиеся ежегодно отходы сельскохозяйственных производств и предприятий пищевой промышленности представляют собой мощные запасы органических веществ и энергии на планете (Nigam et al., 2003; Касаткина и др., 2008). Однако в настоящее время большинство отходов, в частности, пивоваренной промышленности, используется в меньшей степени в качестве корма для животных и в большей степени выбрасывается на свалки (Russ et al., 2006; Utilization ..., 2007; Mussatto et al., 2006 a). Учитывая, что стоимость утилизации отходов пивоварения увеличивается, а их применение на корм скоту постепенно уменьшается, поиск альтернативных путей снижения количества отходов, улучшения коммерческого использования и недорогих способов утилизации – одна из актуальных практических задач (Руденко 2012 а; Russ et al., 2006; Jay et al., 2008; Xiros et al., 2008).

Цель работы: теоретическое и экспериментальное выявление роли органических компонентов отходов пивоваренной промышленности в процессах биоремедиации нефтезагрязненных почв и разработка технологии их восстановления.

Задачи исследования:

1. Изучить влияние органических компонентов отходов пивоварения на физико-химические характеристики и состояние биоценоза незагрязненной и нефтезагрязненной черноземной почвы.
2. Исследовать влияние органических компонентов отходов пивоваренной промышленности на процесс биологической трансформации углеводов в почве.
3. Изучить роль аборигенной микробиоты черноземной почвы в процессах окисления углеводов нефти.
4. Выявить особенности воздействия органических компонентов отходов пивоварения на структуру микробного сообщества нефтезагрязненной почвы.
5. Исследовать воздействия нефтяного загрязнения среднего, высокого и очень высокого уровней на физико-химические свойства и биологическую активность чернозема оподзоленного.
6. Разработать технологию биоремедиации нефтезагрязненной почвы с использованием органических компонентов отходов пивоваренной промышленности.

Научная новизна. Установлены позитивные изменения физико-химических характеристик (увеличение общей влагоемкости и массовой доли органического вещества), увеличение плотности популяций, изменение состава микробиоценоза и соотношения различных физиологических групп аборигенных микроорганизмов, увеличение активности окислительно-восстановительных (пероксидазы, полифенолоксидазы, каталазы) и гидролитических (β -фруктофуранозидазы (инвертазы), фосфатазы, липазы) ферментов незагрязненной черноземной почвы при добавлении органических компонентов в составе отходов пивоварения – пивной дробины и отработанного кизельгура.

Экспериментально в лабораторных и полевых условиях показано, что указанные отходы пивоваренной промышленности улучшают физико-химические характеристики нефтезагрязненной черноземной почвы, стимулируют ферментативную активность нефтеокисляющих микроорганизмов, повышают скорость снижения содержания углеводов, отработанный кизельгур и смесь отходов пивоваренного производства снижают степень ингибирующего воздействия нефтезагрязненной почвы на проростки кресс-салата. Установлен стимулирующий эффект действия пивной дробины и отработанного кизельгура на процесс биологической трансформации полициклических и ненасыщенных углеводов.

Выявлено, что среди аборигенных микроорганизмов чернозема оподзоленного среднесуглинистого имеется большое разнообразие родов, способных окислять углеводороды нефти. При внесении в загрязненную почву органических компонентов в составе отходов пивоварения увеличивается общее количество микроорганизмов различных физиологических групп. При этом в микробиоценозе нефтезагрязненной черноземной почвы на 1-3 порядка повышается численность углеводородоокисляющих микроорганизмов.

Положения, выносимые на защиту:

1. Органические компоненты отходов пивоваренной промышленности улучшают физико-химические характеристики и состояние биоценоза как незагрязненной, так и нефтезагрязненной черноземной почвы.

2. Воздействие органических компонентов отходов пивоварения стимулирует процессы биологической трансформации углеводов в почве.

3. В черноземной почве присутствуют микроорганизмы, способные окислять углеводороды нефти.

4. Под воздействием органических компонентов отходов пивоварения происходит изменение структуры микробного сообщества нефтезагрязненной почвы

5. Различный уровень нефтяного загрязнения определяет различные изменения физико-химических свойств и биологической активности чернозема оподзоленного.

6. Разработана технология биоремедиации нефтезагрязненных почв с использованием органических компонентов отходов пивоваренной промышленности.

Теоретическое и практическое значение работы. Проведенные исследования расширяют представления о механизме воздействия органических компонентов отходов пивоварения на процесс биоремедиации нефтезагрязненных почв. Материалы, изложенные в диссертации, сформулированные научные положения и выводы, вносят существенный вклад в развитие теоретических основ экологической биотехнологии и практическое решение проблем биоремедиации почв, загрязненных углеводородами.

Предложен способ биоремедиации нефтезагрязненных почв (патент РФ № 2491138), отличающаяся тем, что при очистке почв от углеводов в качестве природного высокопористого адсорбента-мелиоранта алюмосиликатной природы и медленно высвобождающегося органического удобрения предложено использовать отходы пивоваренного производства – отработанный кизельгур, образующийся при фильтрации пива, и пивную дробину, образующуюся при фильтрации затора. Разработан способ анализа редуцирующих веществ (патент РФ № 2457483), позволяющий усовершенствовать

колориметрический метод определения β -фруктофуранозидазной (инвертазной) активности почв.

Реализация результатов исследования. Разработанная технология биоремедиации нефтезагрязненной почвы с применением органических компонентов отходов пивоваренной промышленности используется для очистки почв, расположенных на территории г.о. Новокуйбышевск на площадке обезвреживания грунтов, загрязненных нефтью и нефтепродуктами, ООО «НПП «Экотон», загрязненных при аварийных разливах нефти и нефтепродуктов, происходящих в результате производственной деятельности ОАО «Куйбышевский нефтеперерабатывающий завод», ОАО «Новокуйбышевский нефтеперерабатывающий завод», ОАО «Новокуйбышевский завод масел и присадок», ОАО «Самаранефтегаз».

Результаты исследований используются при чтении курсов лекций по дисциплинам «Экологическая биотехнология», «Экологическая безопасность при биохимической переработке растительного сырья», «Биотехнологические основы переработки растительных отходов» и «Микробиология» в ФГБОУ ВПО «Самарский государственный технический университет». Способ анализа редуцирующих веществ применяется при выполнении научно-исследовательских работ на кафедре «Технологии пищевых производств и парфюмерно-косметических продуктов» ФГБОУ ВПО «Самарский государственный технический университет».

Апробация работы. Основные результаты исследований представлены на научно-практических конференциях различного уровня: Международной конференции "Окружающая среда для нас и будущих поколений" (Самара, 2007); Международной конференции молодых ученых «Пищевые технологии и биотехнологии» (Казань, 2009, 2010); Всероссийской молодежной научно-практической конференции с международным участием «Экологически безопасные и ресурсосберегающие технологии и материалы» (Улан-Удэ, 2011); Международной научно-практической конференции «Проблемы современной биологии» (Москва, 2011); Международной научно-практической конференции «Неделя науки СПбГПУ» (Санкт-Петербург, 2011); Всероссийской научно-практической конференции «Экологические аспекты регионального развития» (Ярославль, 2011); Всероссийском научно-практическом форуме «Экология: синтез естественнонаучного, технического и гуманитарного знания» (Саратов, 2012); Международной научно-практической конференции «Инновационные технологии в производстве, науке и образовании» (Грозный, 2012); конференции в рамках ежегодного Международного форума «Экология большого города» (Санкт-Петербург, 2012, 2013) и других.

Публикации. По материалам диссертации опубликованы 92 научные работы, в том числе 2 монографии, учебное пособие, 2 лабораторных практикума, 29 статей в изданиях, рекомендованных ВАК РФ, получены 2 патента РФ (№ 2457483, № 2491138).

Структура и объем работы. Диссертация изложена на 352 страницах, состоит из введения, 3 глав, выводов, списка литературы, включающего 432 источника, из них 297 – на иностранных языках, и 17 приложений. Работа содержит 66 таблиц и 138 рисунков.

Благодарности. Выражаю искреннюю благодарность за консультации при выполнении работы ведущему научному сотруднику факультета почвоведения Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, д.б.н., профессору Т.А. Трифионовой.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Глава 1. Обзор литературы

В главе 1 по литературным данным указаны уровни загрязнения различных почв нефтью и нефтепродуктами. Описаны основные физические, химические изменения нефтезагрязненных почв, действие нефти на экосистему почвы. Проанализированы существующие способы ремедиации загрязненных нефтью почв. Подробно описаны основные технологии, преимущества и недостатки биологической очистки, рассмотрены факторы, ограничивающие биоремедиацию. Проанализированы состав и свойства основных отходов пивоваренной промышленности – пивной дробины и отработанного кизельгура, показаны возможности их использования в биотехнологии.

Глава 2. Материалы и методы исследований

Исследования проводились в период 2006-2014 г.г. Объектом исследования являлся чернозем оподзоленный среднесуглинистый Самарской области, имеющий следующие характеристики: рН солевой вытяжки – $5,91 \pm 0,17$; рН водной вытяжки – $7,03 \pm 0,20$; сумма поглощенных оснований – $35,45 \pm 0,92$ ммоль на 100 г почвы; общий углерод – $7,42 \pm 0,21\%$; общая влагоемкость – $63,16 \pm 1,71\%$. В качестве нефтяного загрязнения использовали высокосернистую нефть средней плотности (3.2.1.2) (ГОСТ Р 51858-2002), полученную на ОАО «Оренбургнефть». Пивную дробину влажностью $70,31 \pm 2,13\%$, а также отработанный кизельгур влажностью $80,24 \pm 2,35\%$ получали на филиале «Балтика-Самара» ОАО «Пивоваренная компания «Балтика».

В лабораторных исследованиях в почву вносили нефть в массовой концентрации 10,00 г/кг – средний, 30,00 г/кг – высокий и 50,00 г/кг – очень высокий уровни загрязнения (Подалов, 2010). Образцы почвы массой $200,00 \pm 1,00$ г инкубировали в емкостях объемом 500 мл с полиэтиленовыми крышками при температуре $30,00 \pm 1,00$ °С в течение 3-х месяцев. Для изучения динамики процессов через 0,5; 1; 2 и 3 мес. из каждого образца почвы отбирали по три пробы. Влажность почвы поддерживали на уровне $30,02 \pm 2,43\%$, что составляет 50,00 % от общей влагоемкости почвы. Полевые исследования проводили в Самарской области на делянках размером 1 м² в течение мая - сентября 2010 г. Для изучения динамики процессов пробы почвы отбирали через 0,5; 1; 2; 3; 4 и 5 месяцев. Точечные пробы почвы массой не более 200 г каждая отбирали послойно с глубины 0-5 и 5-20 см, масса объединенной пробы была не менее 1 кг. Подготовку проб почвы к анализам проводили по ГОСТ 17.4.4.02-84.

Химический состав пивной дробины и отработанного кизельгура изучали рентгеноспектральным методом на рентгенофлуоресцентном спектрометре Shimadzu EDX-800HS. Расчет элементного состава образцов выполняли методом фундаментальных параметров (Методика ..., 2007). Влажность отходов пивоварения изучали воздушно-тепловым методом, содержания общего азота – по методу Кьельдаля, содержание сырых липидов – по методу Соксле, содержание сырой целлюлозы – по методу Геннеберга и Штомана (Колпакчи и др., 1986), содержание сырого протеина – по методу Бернштейна (Петухова и др., 1989), зольность и содержание безазотистых экстрактивных веществ определяли общепринятыми методами (ГОСТ 10847-74; Колпакчи и др., 1986).

Микробиологический анализ состава биоценоза почвы и используемых отходов пивоварения (пивной дробины и отработанного кизельгура) проводили при помощи

стандартных методов прямого посева на твердые питательные среды, принятых в микробиологической практике. На основании морфологических, культуральных, физиологических и биохимических свойств устанавливали родовую принадлежность выделенных штаммов микроорганизмов (Бабьева, Чернов, 2004; Определитель ..., 1997 а, б; Watanabe, 2002). Для обнаружения микробов-антагонистов почвы и отходов пивоварения использовали метод агаровых блоков (Зенова, Г.М. и др., 2002). Выявление углеводородокисляющих микроорганизмов проводили на минеральной среде Маккланга (Теппер Е.З. и др., 2004), содержащей в качестве единственного источника углерода углеводороды исследуемой сырой нефти. Определение активности углеводородокисляющих микроорганизмов проводили на минеральной среде Маккланга, содержащей в качестве единственного источника углерода различные алканы, ароматические углеводороды, полициклические ароматические углеводороды или углеводороды исследуемой сырой нефти в массовой концентрации 10,00 г/л. Посевы инкубировали в термостате при $30\pm 1^\circ\text{C}$ в течение 7 суток.

Степень деградации сырой нефти чистыми культурами микроорганизмов изучали на минеральной среде Маккланга, определение белка проводили по методу Лоури (Теппер Е.З. и др., 2004; Нетрусов А.И. и др., 2005). В колбу объемом 250 мл со 100,00 мл стерильной среды Маккланга вносили нефть для получения массовой концентрации 10,00 г/л и изучаемую чистую культуру микроорганизмов до получения концентрации белка 1,00 мг/л. Посев инкубировали в термостате при $30\pm 1^\circ\text{C}$ в течение 20 суток. Содержание нефти после инкубирования определяли методом колоночной хроматографии с весовым окончанием (Унифицированные ..., 1987 а, б; Нетрусов А.И. и др., 2005; Другов, Родин, 2007).

Количественный учет различных физиологических групп микроорганизмов проводили на элективных питательных средах. Для выявления бактерий (микроорганизмов, использующих органические формы азота, аммонификаторов) использовали питательный агар (Теппер Е.З. и др., 2004), актиномицетов – крахмало-аммиачный агар, грибов – агаризированное солодовое сусло, автохтонных (участвующих в минерализации гумусовых веществ, почвенных) микроорганизмов – почвенный агар (Общая ..., 2004). Учет углеводородокисляющих микроорганизмов, определение их способности использовать углеводороды в качестве единственного источника углерода проводили на минеральной среде Маккланга (Теппер Е.З. и др., 2004).

Активности каталазы и липазы определяли титрометрическими методами: активность каталазы – методом Джонсона и Темпле; активность липазы – методом К.А. Козлова и др. (Хазиев, 2005). Активности β -фруктофуранозидазы (инвертазы), фосфатазы, полифенолоксидазы, пероксидазы определяли колориметрическими методами на фотоэлектроколориметре КФК-3-01: активность фосфатазы – методом А.Ш. Галстяна, Э.А. Арутюняна; активность пероксидазы и полифенолоксидазы – методами А.Ш. Галстяна (Хазиев, 2005). Активность инвертазы определяли методом А.Ш. Галстяна (Хазиев, 2005) в нашей модификации.

Содержание нефти в почве определяли методом колоночной хроматографии с весовым определением и с УФ-спектрофотометрической детекцией (Унифицированные ..., 1987 а, б; Нетрусов А.И. и др., 2005; Другов, Родин, 2007).

Физико-химические показатели почвы определяли общепринятыми методами: влажность (ГОСТ 28268-89); общая влагоемкость (Вадюнина, Корчагина, 1986); pH водной вытяжки (ГОСТ 26423-85); pH солевой вытяжки (по методу ЦИНАО) (ГОСТ 26483-85); содержание органического вещества (гумуса) (по методу Тюрина в модификации ЦИНАО) (ГОСТ 26213-91); сумма поглощенных оснований (по методу Каппена) (ГОСТ 27821-88). В качестве объектов при биотестировании использовали кресс-салат – *Lepidium sativum* L., контролем служила почва без добавления нефти и отходов пивоваренной промышленности (Казеев и др., 2003).

Эксперименты проводили в трехкратной повторности, исследования каждой пробы осуществляли в трех повторностях. При обсуждении результатов учитывали статистически достоверные различия при $p < 0,05$. При обработке экспериментальных данных был использован метод проекции на латентные структуры (ПЛС) в программе «The Unscrambler» (Эсбенсен, 2006). Математическую обработку результатов проводили при использовании регрессионного и многофакторного дисперсионного анализов с применением программы «Statistica 6» (Боровиков, 2003).

Глава 3. Результаты исследований

3.1. Влияние нефтяного загрязнения на физико-химические и биологические свойства почвы

Общая схема исследований представлена на рисунке 1.

3.1.1. Лабораторные исследования влияния нефтяного загрязнения на почву

Схема проведения лабораторных исследований представлена в таблице 1.

На первом этапе проводили лабораторные исследования воздействия нефтяного загрязнения на свойства почвы. В литературе имеются упоминания о действии нефти на физико-химические свойства почвы, поэтому при загрязнении нефтью теоретически ожидается изменение физико-химических характеристик почвы. Исследовали изменения различных физико-химических показателей почвы (общей влагоемкости, pH водной и солевой вытяжек, суммы поглощенных оснований, содержания органического вещества) в зависимости от степени загрязнения углеводородами. Показано, что нефтяное загрязнение в массовых соотношениях 10,00; 30,00 и 50,00 г/кг не оказывает существенного влияния на pH водной и солевой вытяжек и сумму поглощенных оснований. При этом отмечено снижение общей влагоемкости почвы до 7,20 раза (табл. 2) и возрастание в 1,32-1,75 раза общего содержания органического вещества в почве при увеличении нефтяного загрязнения.

В нативной почве исследовали микробиологический профиль. Из различных образцов почвы методом прямого посева выделено большое разнообразие культур микроорганизмов. Проведенные исследования показали, что среди аборигенной микробиоты черноземной почвы имеется большое разнообразие микроорганизмов различных родов, способных окислять углеводороды нефти.

Бактерии родов *Acinetobacter*, *Bacillus*, *Corynebacterium*, *Flavobacterium*, *Micrococcus*, *Mycobacterium*, *Pseudomonas*; дрожжи родов *Candida*, *Rhodotorula* и мицелиальные грибы, относящиеся к родам *Aspergillus*, *Penicillium* и *Trichoderma* окисляют *n*-алканы. Ароматические углеводороды усваивают бактерии родов *Acinetobacter*, *Alcaligenes*, *Bacillus*, *Chromobacterium*, *Mycobacterium*, *Pseudomonas* и мицелиальные грибы рода *Aspergillus*.

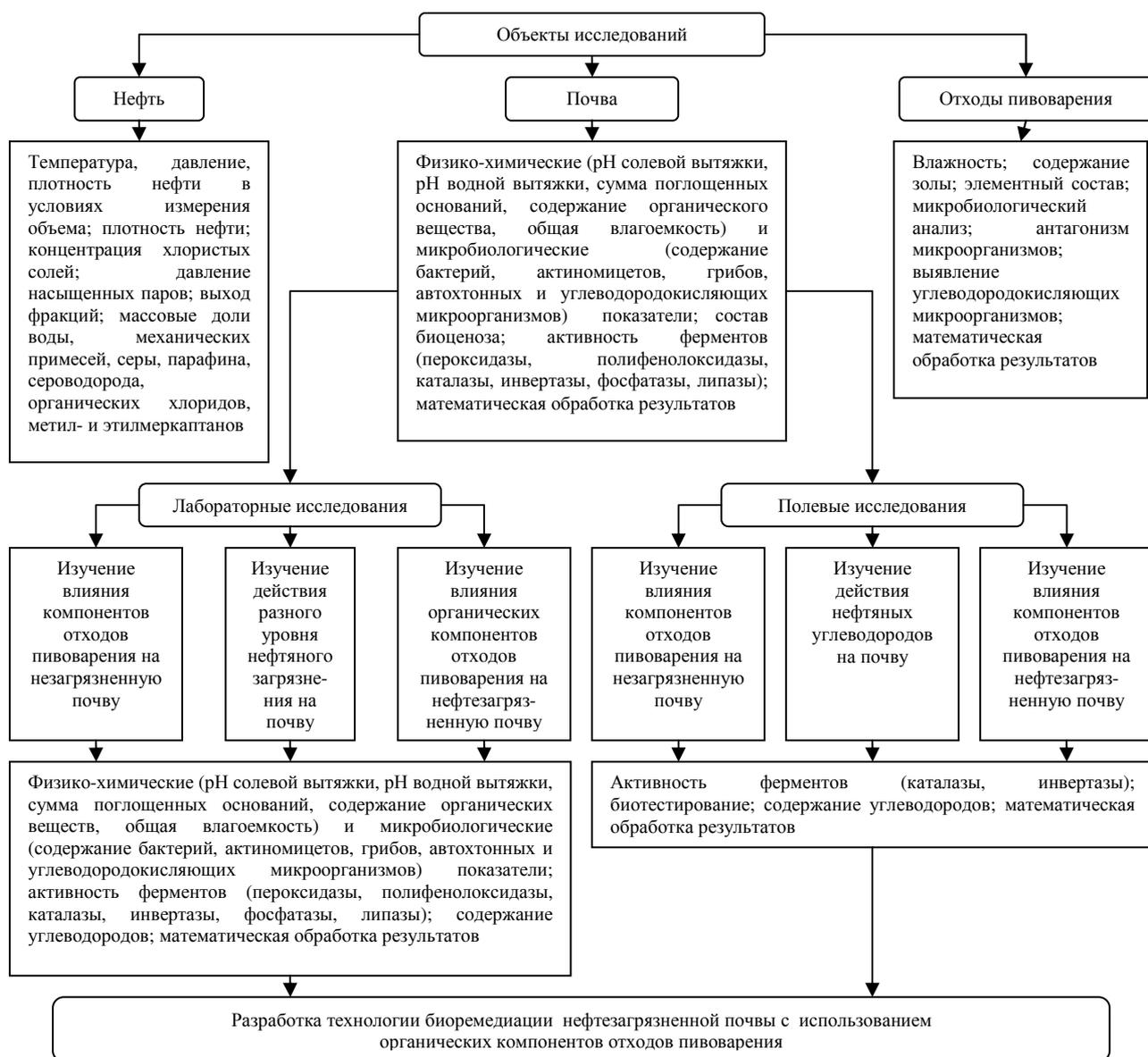


Рисунок 1. Схема проведения исследований

Таблица 1

Схема проведения лабораторных исследований

Раздел исследования	Контроль	Серия эксперимента		
		I	II	III
Изучение влияния органических компонентов отходов пивоварения на незагрязненную почву	Нативная почва	Почва + Пивная дробина (1,00 %, 5,00 %, 10,00 %, 20,00 % и 30,00 %)	Почва + Отработанный кизельгур (1,00 %, 5,00 %, 10,00 %, 20,00 % и 30,00 %)	Почва + Смесь отходов пивоварения (Пивная дробина : Отработанный кизельгур = 1:1) (1,00 %, 5,00 %, 10,00 %, 20,00 % и 30,00 %)
Определение воздействия органических компонентов отходов пивоварения на нефтезагрязненную почву	Почва + Нефть (10,00 г/кг, 30,00 г/кг, 50,00 г/кг)	Почва + Нефть (10,00 г/кг, 30,00 г/кг, 50,00 г/кг) + Пивная дробина (1,00 %, 5,00 %, 10,00 %, 20,00 %, 30,00 %)	Почва + Нефть (10,00 г/кг, 30,00 г/кг, 50,00 г/кг) + Отработанный кизельгур (1,00 %, 5,00 %, 10,00 %, 20,00 %, 30,00 %)	Почва + Нефть (10,00 г/кг, 30,00 г/кг, 50,00 г/кг) + Смесь отходов пивоварения (Пивная дробина : Отработанный кизельгур = 1:1) (1,00 %, 5,00 %, 10,00 %, 20,00 %, 30,00 %)

Изменение общей влагоемкости почвы

Содержание нефти, г/кг	Общая влагоемкость, % сухой почвы	
	0,5 мес.	3 мес.
-	63,12 ± 1,25	63,09 ± 1,13
10,00	58,55 ± 1,74	59,14 ± 1,78
30,00	35,44 ± 1,14	37,52 ± 1,35
50,00	8,77 ± 0,27	11,21 ± 0,30

Бактерии родов *Acinetobacter*, *Bacillus*, *Corynebacterium*, *Flavobacterium*, *Micrococcus*, *Mycobacterium*, *Pseudomonas* и мицелиальных грибов, относящихся к родам *Aspergillus*, *Penicillium* и *Rhizoctonia* способны окислять полициклические ароматические углеводороды.

Способность к биодеструкции нефти показана у бактерий родов *Acinetobacter*, *Alcaligenes*, *Bacillus*, *Chromobacterium*, *Corynebacterium*, *Flavobacterium*, *Micrococcus*, *Mycobacterium*, *Pseudomonas*; актиномицетов рода *Streptomyces*, дрожжей родов *Candida*, *Rhodotorula* и мицелиальных грибов родов *Aspergillus*, *Mucor*, *Penicillium*, *Rhizoctonia*, *Rhizopus* и *Trichoderma*. Степень деградации сырой нефти составляла от 32,41 ± 0,97 до 83,12 ± 2,49 %. Наибольшая активность деградации нефти была отмечена у бактерий родов *Acinetobacter*, *Bacillus*, *Mycobacterium* и *Pseudomonas* (табл. 3).

Таблица 3

Степень деградации нефти культурами микроорганизмов

Род микроорганизмов	Содержание нефти, г/л		Степень деструкции, %	Концентрация белка, мг/л среды
	начальное	конечное		
<i>Acinetobacter</i>	10,00 ± 0,01	1,69 ± 0,05	83,12 ± 2,49	45,15 ± 1,35
<i>Alcaligenes</i>	10,00 ± 0,01	3,68 ± 0,11	63,23 ± 1,90	37,34 ± 1,12
<i>Bacillus</i>	10,00 ± 0,01	1,74 ± 0,05	82,63 ± 2,31	45,26 ± 1,27
<i>Chromobacterium</i>	10,00 ± 0,01	4,09 ± 0,12	59,15 ± 1,77	36,58 ± 1,10
<i>Corynebacterium</i>	10,00 ± 0,01	5,09 ± 0,15	49,08 ± 1,47	28,25 ± 0,85
<i>Flavobacterium</i>	10,00 ± 0,01	4,75 ± 0,14	52,47 ± 1,57	31,16 ± 0,93
<i>Micrococcus</i>	10,00 ± 0,01	4,54 ± 0,11	54,61 ± 1,37	32,82 ± 0,82
<i>Mycobacterium</i>	10,00 ± 0,01	1,78 ± 0,04	82,19 ± 2,05	44,67 ± 1,12
<i>Pseudomonas</i>	10,00 ± 0,01	1,87 ± 0,06	81,26 ± 2,44	43,38 ± 1,30
<i>Streptomyces</i>	10,00 ± 0,01	2,58 ± 0,08	74,16 ± 2,22	41,49 ± 1,24
<i>Aspergillus</i>	10,00 ± 0,01	2,37 ± 0,07	76,32 ± 2,29	43,21 ± 1,29
<i>Candida</i>	10,00 ± 0,01	2,01 ± 0,06	79,94 ± 2,24	40,13 ± 1,12
<i>Mucor</i>	10,00 ± 0,01	5,37 ± 0,16	46,27 ± 1,39	27,04 ± 0,81
<i>Penicillium</i>	10,00 ± 0,01	2,12 ± 0,06	78,84 ± 2,37	42,36 ± 1,27
<i>Rhizoctonia</i>	10,00 ± 0,01	6,76 ± 0,20	32,41 ± 0,97	16,72 ± 0,50
<i>Rhizopus</i>	10,00 ± 0,01	6,14 ± 0,18	38,59 ± 1,16	19,36 ± 0,58
<i>Rhodotorula</i>	10,00 ± 0,01	3,13 ± 0,09	68,74 ± 2,06	39,47 ± 1,18
<i>Trichoderma</i>	10,00 ± 0,01	5,78 ± 0,17	42,18 ± 1,27	23,24 ± 0,70

Высокая активность аборигенной микробиоты в деградации нефти в загрязненной почве была установлена в лабораторных опытах при инкубировании почвы в течение трех месяцев. Степень деструкции нефти составила от 57,76 ± 1,73 до 73,44 ± 2,20 % в зависимости от ее начального содержания в почве (табл. 4).

При исследовании группового состава микроорганизмов при разных уровнях нефтяного загрязнения по истечению 0,5-месячного периода опытов не выявлено элиминирования или стимулирования какой-либо группы микроорганизмов по мере увеличения степени нефтяного загрязнения почвы, при этом на один порядок увеличивается общее количество углеводородокисляющих микроорганизмов.

Степень деструкции нефти в почве в лабораторных исследованиях

Уровень загрязнения почвы нефтью	Содержание нефти, г/кг		Степень деструкции нефти, %
	начальное	конечное	
Средний	10,00 ± 0,01	2,66 ± 0,08	73,44 ± 2,20
Высокий	30,00 ± 0,01	9,99 ± 0,25	66,69 ± 1,67
Очень высокий	50,00 ± 0,01	21,12 ± 0,42	57,76 ± 1,73

Исследования ферментативной активности почвы показали, что при нефтяном загрязнении снижается активность как окислительно-восстановительных (полифенолоксидазы, каталазы), так и гидролитических (инвертазы, фосфатазы, липазы) почвенных ферментов, при этом выявлена некоторая тенденция к увеличению пероксидазной активности почвы.

Показатели пероксидазной и полифенолоксидазной активности отражают активность процессов окисления гумусовых веществ и превращение органических соединений ароматического ряда в компоненты гумуса соответственно. Коэффициент гумификации, который выражается отношением активности полифенолоксидазы к активности пероксидазы (рис. 2), позволяет судить о преобладании катализируемых процессов (Логонова и др., 2011).

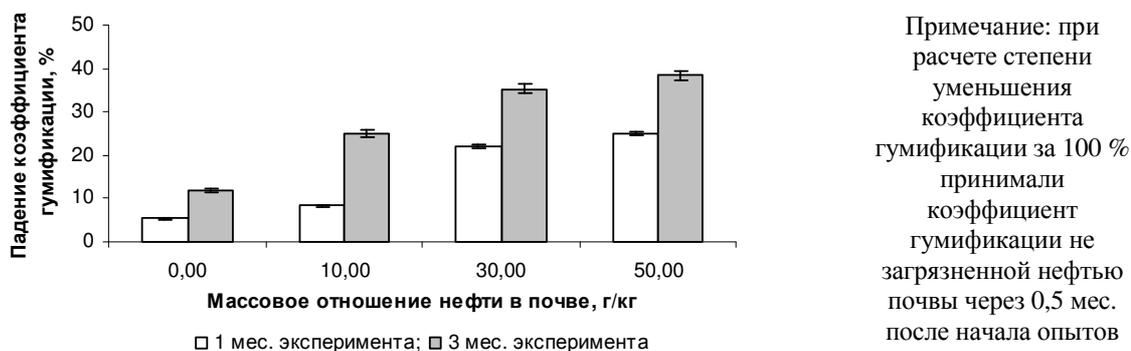


Рисунок 2. Степень уменьшения коэффициента гумификации при нефтяном загрязнении почвы

Резкое уменьшение коэффициента гумификации в загрязненной нефтью почве свидетельствует о преобладании процессов окисления гумусовых веществ над процессами превращения органических соединений в компоненты гумуса, а также о снижении плодородия почвы в результате ее загрязнения.

3.1.2. Влияние нефтяного загрязнения на почву в полевых условиях

Схема проведения полевых исследований представлена в таблице 5.

На втором этапе работы исследовали воздействие нефтяного загрязнения на свойства почвы в полевых условиях. Установлено, что степень деградации нефти, внесенной на поверхность почвы в массовой концентрации 10,00 г/кг, за три месяца составила 73,25 ± 2,20 %, что соответствует 2,68 ± 0,08 г нефти на кг почвы, за пять месяцев – 78,68 ± 2,36 % (2,13 ± 0,06 г нефти на кг почвы) (рис. 3).

Показано, что при загрязнении нефтью по завершению эксперимента каталазная активность почвы снижается в 1,38-1,45 раза, инвертазная активность – в 1,21-1,22 раза, при этом степень ингибирования нефтезагрязненной почвой проростков кресс-салата составляет 41,67-46,28 %.

Схема проведения полевых исследований

Раздел исследования	Контроль	Серия эксперимента		
		I	II	III
Изучение влияния органических компонентов отходов пивоварения на незагрязненную почву	Нативная почва	Почва + Пивная дробина (5,00 %)	Почва + Отработанный кизельгур (5,00 %)	Почва + Смесь отходов пивоварения (Пивная дробина : Отработанный кизельгур = 1:1) (5,00 %)
Определение воздействия органических компонентов отходов пивоварения на нефтезагрязненную почву	Почва + Нефть (10,00 г/кг)	Почва + Нефть (10,00 г/кг) + Пивная дробина (5,00 %)	Почва + Нефть (10,00 г/кг) + Отработанный кизельгур (5,00 %)	Почва + Нефть (10,00 г/кг) + Смесь отходов пивоварения (Пивная дробина : Отработанный кизельгур = 1:1) (5,00 %)

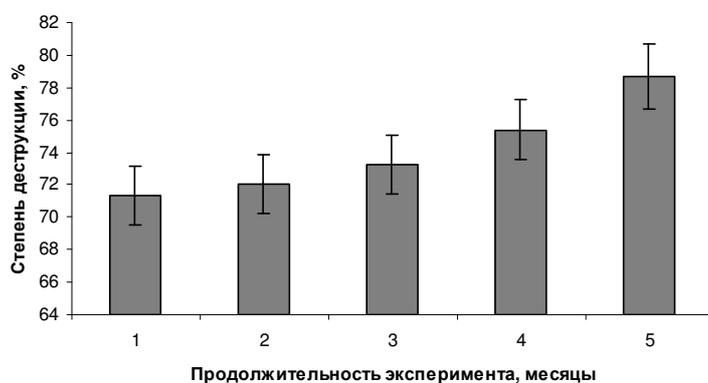


Рисунок 3. Степень деградации нефти в почве в полевом эксперименте

В целом, проведенные лабораторные и полевые исследования влияния нефтяного загрязнения на почву показали, что окисление углеводов, загрязняющих почву, осуществляется при участии аборигенных углеводородокисляющих микроорганизмов.

3.2. Влияние органических компонентов отходов пивоваренной промышленности на физико-химические и биологические свойства почвы

3.2.1. Химический состав и микробиологическая характеристика отходов пивоварения, используемых в качестве органических субстратов при биоремедиации нефтезагрязненных почв

При биоремедиации нефтезагрязненной почвы использовали органические компоненты отходов пивоваренного производства. Химический и микробиологический состав пивной дробины и отработанного кизельгура исследовали на усредненных влажных образцах, отобранных из контейнеров с площадок, на которых они хранились в течение 1-3 суток. При анализе биохимического и химического составов отходов пивоваренного производства исследовали не отдельные химические вещества, а их комплексы, что характерно для растительного сырья и полученных из него отходов. Биохимический состав пивной дробины и отработанного кизельгура представлен в табл. 6.

Микробиологическая характеристика пивной дробины и отработанного кизельгура представлена в табл. 7. На основании исследования морфологических, культуральных и физиолого-биохимических свойств в составе отходов пивоварения выявлено присутствие бактерий родов *Acetobacter*, *Bacillus*, *Lactobacillus* и дрожжей рода *Saccharomyces*.

Таблица 6

Биохимический состав сухих отходов пивоварения

Химическое вещество	Массовая доля, %	
	Пивная дробина	Отработанный кизельгур
Вода	8,53 ± 0,26	8,71 ± 0,24
Сырой протеин	23,58 ± 0,68	11,45 ± 0,32
Сырые липиды	9,82 ± 0,31	0,17 ± 0,01
Сырая целлюлоза	17,62 ± 0,53	1,86 ± 0,05
Безазотистые экстрактивные вещества	36,60 ± 0,92	2,54 ± 0,07
Зола	3,85 ± 0,13	75,27 ± 2,64

Таблица 7

Микробиологическая характеристика сухих отходов пивоварения

Род микроорганизмов	Численность микроорганизмов, КОЕ / г	
	дробина	кизельгур
<i>Acetobacter sp.</i>	(3,73 ± 0,11) · 10 ³	50,35 ± 1,51
<i>Bacillus sp.</i>	(1,48 ± 0,01) · 10 ³	-
<i>Lactobacillus sp.</i>	(0,15 ± 0,01) · 10 ³	-
<i>Saccharomyces sp.</i>	-	(88,24 ± 2,65) · 10 ⁷

Проведенные исследования не выявили антагонистических отношений между аборигенными микроорганизмами почвы и микроорганизмами отходов пивоварения. Обнаружено, что молочнокислые, уксуснокислые бактерии и дрожжи, выделенные из пивной дробины и отработанного кизельгура, не способны окислять углеводороды нефти. Большинство штаммов бактерий рода *Bacillus*, выделенных из пивной дробины, могут использовать алканы (гексадекан), ароматические (бензол, толуол, ксилол, этилбензол) и полициклические ароматические (нафталин, фенантрен, антрацен) углеводороды в качестве единственного источника углерода. Анализ полученных результатов показал, что степень деградации сырой нефти массовой концентрации 10,00 ± 0,01 г/л бактериями рода *Bacillus*, выделенными из пивной дробины, составила 79,26 ± 4,35 % за 20 суток при концентрации белка 41,71 ± 2,03 мг/л среды.

3.2.2. Лабораторные исследования влияния органических компонентов отходов пивоваренной промышленности на почву

Внесение органических компонентов отходов пивоварения воздействует на физико-химические свойства черноземной почвы: увеличиваются общая влагоемкость почвы (табл. 3, 8) и массовая доля органического вещества в почве, снижается рН почвенного раствора, при этом наблюдается тенденция к повышению суммы поглощенных оснований.

Исследования микробиологических характеристик черноземной почвы показали, что при внесении дробины в почву по истечению 0,5-месячного периода опытов на 1-2 порядка возрастает количество бактерий, актиномицетов и микроскопических грибов, при этом в 1,96-7,09 раза повышается численность автохтонных и на два порядка – углеводородокисляющих микроорганизмов. С увеличением продолжительности экспозиции снижается численность всех групп, кроме углеводородокисляющих микроорганизмов. При этом по окончании эксперимента содержание бактерий, актиномицетов и автохтонных микроорганизмов приближается к контролю (табл. 9).

Таблица 8

Изменение общей влагоемкости почвы при добавлении органических компонентов отходов пивоварения в лабораторных исследованиях

Состав образца	Продолжительность опытов, мес.	Общая влагоемкость, % сухой почвы, при внесении органических компонентов:		
		I Пивная дробина	II Отработанный кизельгур	III Смесь отходов
Почва + 5,00 % органического компонента (I или II, или III)	0,5	71,73 ± 1,19	66,31 ± 2,13	68,73 ± 1,49
	3	71,37 ± 1,13	66,11 ± 2,35	68,26 ± 1,13
Почва + 10,00 % органического компонента (I или II, или III)	0,5	81,41 ± 1,91	69,45 ± 1,80	75,65 ± 2,00
	3	81,23 ± 1,68	69,26 ± 1,74	75,41 ± 2,60
Почва + 30,00 % органического компонента (I или II, или III)	0,5	98,58 ± 2,58	82,64 ± 2,13	91,57 ± 2,51
	3	99,08 ± 1,50	82,34 ± 2,56	91,38 ± 2,71

Таблица 9

Микробиологическая характеристика почвы с добавлением пивной дробины в лабораторных исследованиях

Содержание дробины, %	Продолжительность опытов, мес.	Численность микроорганизмов, КОЕ / г сухой почвы				
		Бактерии	Актиномицеты	Грибы	Автохтонные микроорганизмы	Углерод-окисляющие микроорганизмы
-	0,5	$(3,85 \pm 0,12) \cdot 10^6$	$(3,26 \pm 0,05) \cdot 10^6$	$(2,15 \pm 0,07) \cdot 10^4$	$(0,99 \pm 0,03) \cdot 10^8$	$(2,15 \pm 0,06) \cdot 10^5$
	3	$(5,61 \pm 0,18) \cdot 10^5$	$(4,83 \pm 0,09) \cdot 10^5$	$(3,17 \pm 0,08) \cdot 10^3$	$(1,12 \pm 0,03) \cdot 10^6$	$(1,93 \pm 0,04) \cdot 10^5$
5	0,5	$(3,70 \pm 0,11) \cdot 10^8$	$(2,32 \pm 0,04) \cdot 10^8$	$(1,43 \pm 0,04) \cdot 10^6$	$(2,71 \pm 0,08) \cdot 10^8$	$(3,23 \pm 0,04) \cdot 10^7$
	3	$(9,28 \pm 0,28) \cdot 10^5$	$(7,51 \pm 0,16) \cdot 10^5$	$(8,36 \pm 0,09) \cdot 10^4$	$(1,73 \pm 0,04) \cdot 10^6$	$(2,95 \pm 0,04) \cdot 10^7$
10	0,5	$(5,12 \pm 0,12) \cdot 10^8$	$(3,64 \pm 0,04) \cdot 10^8$	$(2,38 \pm 0,05) \cdot 10^6$	$(3,90 \pm 0,10) \cdot 10^8$	$(5,94 \pm 0,09) \cdot 10^7$
	3	$(1,35 \pm 0,04) \cdot 10^6$	$(1,16 \pm 0,03) \cdot 10^6$	$(1,73 \pm 0,05) \cdot 10^5$	$(2,31 \pm 0,06) \cdot 10^6$	$(5,42 \pm 0,08) \cdot 10^7$
30	0,5	$(8,74 \pm 0,09) \cdot 10^8$	$(7,30 \pm 0,16) \cdot 10^8$	$(4,82 \pm 0,09) \cdot 10^6$	$(7,02 \pm 0,12) \cdot 10^8$	$(9,64 \pm 0,09) \cdot 10^7$
	3	$(2,07 \pm 0,06) \cdot 10^6$	$(2,08 \pm 0,05) \cdot 10^6$	$(3,71 \pm 0,12) \cdot 10^5$	$(4,57 \pm 0,09) \cdot 10^6$	$(9,21 \pm 0,12) \cdot 10^7$

Под действием пивной дробины наблюдается изменение структуры микробного сообщества почвы (рис. 4): возрастает доля грибов, наблюдается тенденция к снижению доли бактерий и увеличению доли актиномицетов по сравнению с почвой без внесения дробины.

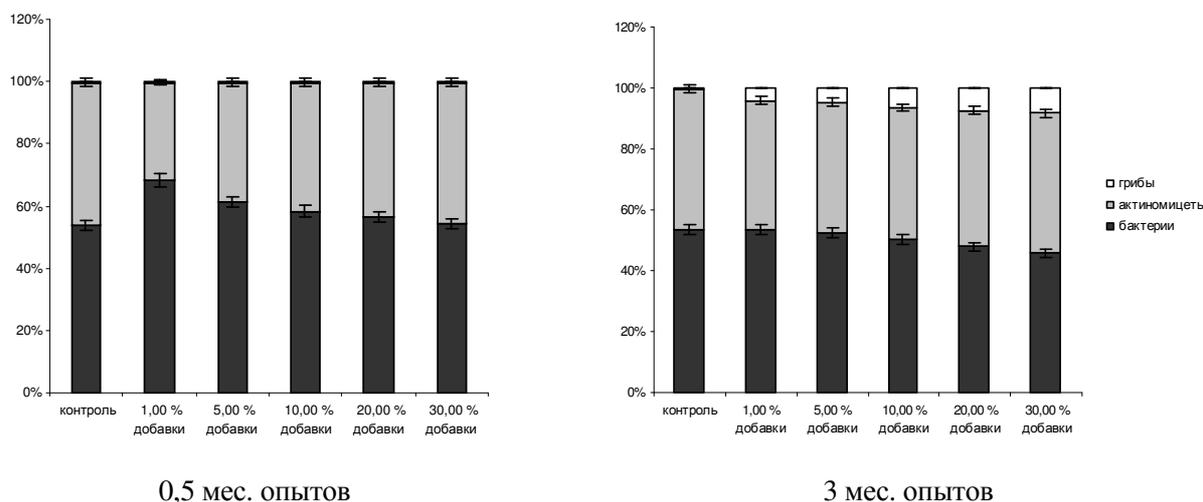


Рисунок 4. Соотношение различных групп микроорганизмов в почве с внесением пивной дробины в лабораторных исследованиях

Аналогичные закономерности изменения состава биоценоза экспериментально показаны для черноземной почвы с добавлением отработанного кизельгура и смеси отходов пивоварения.

Исследования показали, что внесение отходов пивоварения стимулирует ферментативную активность черноземной почвы (табл. 10). Отходы пивоваренного

производства увеличивают активность как окислительно-восстановительных (пероксидазы, полифенолоксидазы, каталазы), так и гидролитических (инвертазы, фосфатазы, липазы) ферментов почвы. Ферментативная активность почвы возрастает с увеличением дозы вносимых отходов.

Таблица 10

Изменение ферментативной активности почвы при внесении органических компонентов отходов пивоварения

Отход пивоварения	Содержание отхода пивоварения, %	Общая активность (ед./г)					
		Пероксидаза	Полифенолоксидаза	Каталаза	Инвертаза	Фосфатаза	Липаза
-	-	0,023 ± 0,001	0,027 ± 0,001	0,595 ± 0,018	11,039 ± 0,298	1,662 ± 0,050	0,038 ± 0,001
Пивная дробина	5	0,032 ± 0,001	0,053 ± 0,002	0,752 ± 0,023	12,265 ± 0,368	2,134 ± 0,064	0,096 ± 0,003
	10	0,036 ± 0,001	0,058 ± 0,002	0,874 ± 0,026	12,175 ± 0,366	2,263 ± 0,078	0,112 ± 0,003
	30	0,040 ± 0,001	0,072 ± 0,002	1,311 ± 0,039	13,941 ± 0,418	2,631 ± 0,079	0,149 ± 0,005
Отработанный кизельгур	5	0,028 ± 0,001	0,041 ± 0,001	0,617 ± 0,019	23,653 ± 0,710	2,693 ± 0,081	0,051 ± 0,002
	10	0,030 ± 0,001	0,046 ± 0,001	0,637 ± 0,016	33,059 ± 0,827	2,832 ± 0,085	0,066 ± 0,002
	30	0,037 ± 0,001	0,059 ± 0,002	0,606 ± 0,015	32,077 ± 0,962	3,164 ± 0,095	0,094 ± 0,003
Смесь отходов	5	0,029 ± 0,001	0,045 ± 0,001	0,965 ± 0,029	28,263 ± 0,848	2,312 ± 0,069	0,064 ± 0,002
	10	0,033 ± 0,001	0,053 ± 0,002	1,037 ± 0,031	33,059 ± 0,992	2,451 ± 0,074	0,075 ± 0,002
	30	0,039 ± 0,001	0,068 ± 0,002	1,216 ± 0,030	38,077 ± 0,990	2,923 ± 0,088	0,103 ± 0,003

3.2.3. Влияние органических веществ отходов пивоварения на почву в полевых условиях

В микрополевых исследованиях установлено, что добавление к черноземной почве органических компонентов отходов пивоварения изменяет ее ферментативную активность (рис. 5, 6) и степень ингибирующего воздействия почвы на проростки кресс-салата (рис. 7).

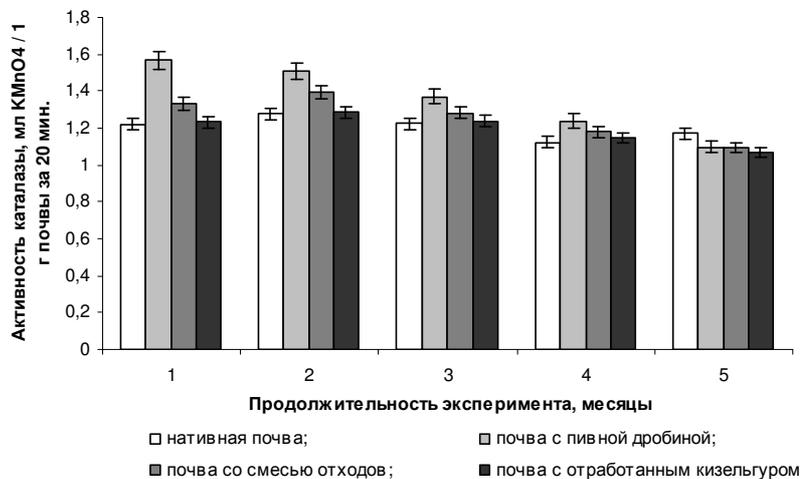


Рисунок 5. Каталазная активность почвы с добавлением органических компонентов отходов пивоварения в полевом эксперименте

На каталазную активность почвы наибольшее воздействие оказывает пивная дробина, а на активность инвертазы (β -фруктофуранозидазы) – смесь отходов пивоваренной промышленности. Увеличение каталазной активности черноземной почвы под влиянием пивной дробины может происходить вследствие интенсификации процесса расщепления пероксида водорода, образующегося в результате различных биохимических реакций окисления органических веществ, в том числе окисления фенольных соединений растительных остатков. Стимулирование инвертазной активности почвы происходит при интенсификации процесса расщепления сахаров, поступающих в почву в составе растительных остатков пивной дробины. Значительное возрастание активности почвенной инвертазы при добавлении

отработанного кизельгура и смеси отходов пивоварения можно объяснить внесением в составе отработанного кизельгура более доступных для расщепления углеводов, а также дрожжей рода *Saccharomyces*, обладающих высокой β -фруктофуранозидазной активностью, жизнедеятельность которых не угнетается почвенными микроорганизмами.

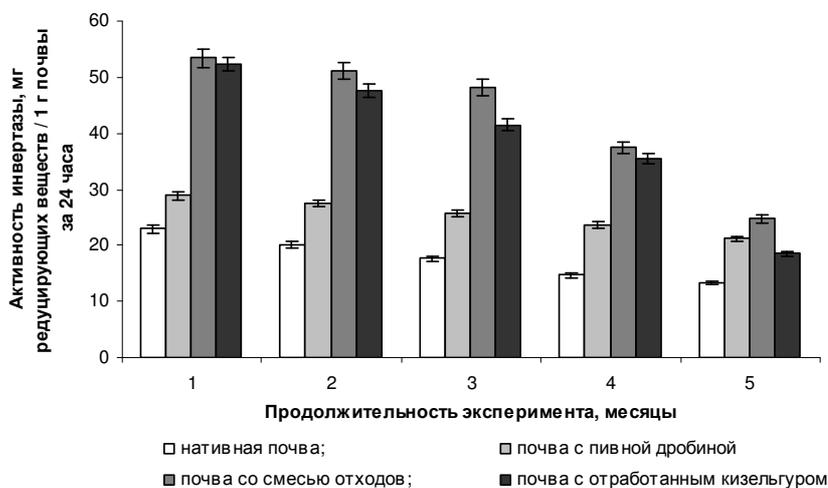


Рисунок 6. Инвертазная активность почвы с добавлением органических компонентов отходов пивоварения в полевом эксперименте

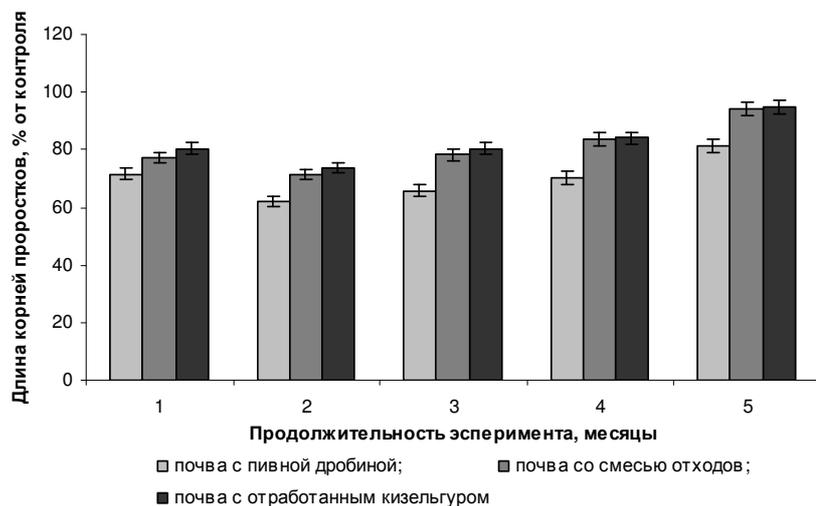


Рисунок 7. Результаты биотестирования почвы с добавлением органических компонентов отходов пивоварения в полевом эксперименте

В конце пятого месяца эксперимента фиксируется слабое ($18,50 \pm 0,56$ %) ингибирование проростков кресс-салата черноземной почвой, содержащей пивную дробину. Ингибирование кресс-салата почвой, содержащей отработанный кизельгур и смесь отходов пивоварения, практически не обнаруживается.

3.3. Влияние органических компонентов отходов пивоваренной промышленности на эффективность биоремедиации нефтезагрязненных почв

3.3.1. Влияние органических веществ отходов пивоварения на эффективность биоремедиации нефтезагрязненной почвы в лабораторных условиях

При внесении в почву, загрязненной нефтью, органических компонентов отходов пивоварения изменяются ее физико-химические показатели: к концу эксперимента влагоемкость увеличивается до 9,51 раза (табл. 11), возрастает содержание в ней органического вещества, отмечается тенденция к подкислению почвы. Внесение органических компонентов не оказывало существенных влияний на показатели суммы поглощенных оснований.

Таблица 11

Изменение общей влагоемкости нефтезагрязненной почвы при добавлении органических компонентов отходов пивоваренной промышленности

Содержание нефти в почве, г/кг	Массовая доля отхода пивоварения (I или II, или III), %	Общая влагоемкость, % сухой почвы, при внесении отхода пивоварения:		
		I Пивная дробина	II Отработанный кизельгур	III Смесь отходов
10,00	-	59,14 ± 1,78		
	5,00	70,26 ± 2,36	65,04 ± 1,70	67,17 ± 2,30
	10,00	79,21 ± 2,02	69,16 ± 2,07	72,26 ± 1,45
	30,00	97,87 ± 2,23	81,79 ± 2,72	86,52 ± 1,38
30,00	-	37,52 ± 1,35		
	5,00	68,59 ± 2,21	64,95 ± 2,08	66,56 ± 1,72
	10,00	78,71 ± 2,03	68,86 ± 2,32	73,45 ± 1,64
	30,00	91,52 ± 2,34	80,39 ± 2,66	84,61 ± 1,75
50,00	-	11,21 ± 0,30		
	5,00	65,12 ± 2,33	57,34 ± 1,53	59,76 ± 1,91
	10,00	73,35 ± 1,98	62,89 ± 2,22	67,52 ± 1,49
	30,00	87,21 ± 2,26	78,61 ± 1,81	81,61 ± 1,58

Анализ литературных данных показал, что в большинстве исследований органические и минеральные добавки, повышающие скорость биологической ремедиации, вносят в загрязненную нефтью почву в массовой доле от 33 до 75 %. Нормативные документы по рекультивации нефтезагрязненных почв в степной и сухостепной зонах России рекомендуют использовать 30-40 т/га (1-5 %) органических и 40-60 кг/га (0,0004-0,0006 %) минеральных удобрений. В связи с этим нами были проведены исследования скорости деструкции нефти при раздельном и совместном внесении в почву 1-30 % отходов пивоварения (табл. 12).

Таблица 12

Степень деградации нефти в почве с добавлением отходов пивоварения в лабораторных опытах

Отход пивоварения	Содержание отхода пивоварения, %	Степень деструкции нефти, %		
		Средний уровень загрязнения (10 г нефти/ кг почвы)	Высокий уровень загрязнения (30 г нефти/ кг почвы)	Очень высокий уровень загрязнения (50 г нефти/ кг почвы)
Дробина	5,00	76,75 ± 2,23	70,24 ± 1,83	61,84 ± 1,86
	10,00	78,56 ± 2,12	71,83 ± 2,01	62,78 ± 1,88
	30,00	82,81 ± 2,45	76,83 ± 2,30	69,46 ± 1,74
Кизельгур	5,00	78,56 ± 2,36	72,65 ± 1,89	63,18 ± 1,71
	10,00	80,72 ± 2,58	74,81 ± 2,17	65,31 ± 1,96
	30,00	85,64 ± 2,14	80,74 ± 2,42	73,36 ± 2,20
Смесь отходов	5,00	78,62 ± 2,04	71,42 ± 2,14	61,92 ± 1,55
	10,00	79,78 ± 1,52	73,64 ± 1,84	63,51 ± 1,65
	30,00	83,83 ± 2,51	78,39 ± 2,35	71,29 ± 2,14

Наиболее эффективным оказалось добавление отработанного кизельгура при среднем уровне загрязнения почвы нефтью (10 г/кг) – степень деструкции нефтепродуктов составила 85,64 ± 2,14 % за 3 месяца. При добавлении пивной дробины на 1-3 порядка увеличилось общее количество всех групп микроорганизмов нефтезагрязненной почвы. Наиболее значимые изменения отмечены для углеводородокисляющих микроорганизмов, что свидетельствует о стимулирующем влиянии пивной дробины на процесс разложения углеводородов нефти. При этом обнаружено, что при увеличении нефтяного загрязнения возрастает содержание углеводородокисляющих микроорганизмов (табл. 13). Аналогичные

закономерности изменения состава биоценоза экспериментально показаны для отработанного кизельгура и смеси отходов пивоварения.

Таблица 13

Микробиологическая характеристика нефтезагрязненной почвы с добавлением пивной дробины

Содержание нефти, г/кг	Содержание дробины, %	Продолжительность опытов, мес.	Численность микроорганизмов, КОЕ / г сухой почвы				
			Бактерии	Актиномицеты	Грибы	Автохтонные микроорганизмы	Углеродородокисляющие микроорганизмы
10,00	-	0,5	$(4,34 \pm 0,13) \cdot 10^6$	$(3,74 \pm 0,08) \cdot 10^6$	$(2,84 \pm 0,06) \cdot 10^4$	$(1,43 \pm 0,04) \cdot 10^8$	$(3,36 \pm 0,09) \cdot 10^6$
		3	$(2,31 \pm 0,06) \cdot 10^5$	$(1,83 \pm 0,06) \cdot 10^5$	$(1,62 \pm 0,07) \cdot 10^3$	$(2,73 \pm 0,06) \cdot 10^6$	$(2,71 \pm 0,07) \cdot 10^6$
	5,00	0,5	$(4,31 \pm 0,11) \cdot 10^8$	$(2,54 \pm 0,06) \cdot 10^8$	$(1,64 \pm 0,03) \cdot 10^6$	$(4,82 \pm 0,10) \cdot 10^8$	$(4,43 \pm 0,10) \cdot 10^8$
		3	$(1,18 \pm 0,04) \cdot 10^6$	$(8,93 \pm 0,22) \cdot 10^5$	$(1,23 \pm 0,03) \cdot 10^5$	$(2,34 \pm 0,06) \cdot 10^6$	$(4,12 \pm 0,08) \cdot 10^8$
	10,00	0,5	$(5,62 \pm 0,08) \cdot 10^8$	$(3,81 \pm 0,08) \cdot 10^8$	$(2,71 \pm 0,05) \cdot 10^6$	$(7,03 \pm 0,16) \cdot 10^8$	$(7,24 \pm 0,16) \cdot 10^8$
		3	$(1,81 \pm 0,04) \cdot 10^6$	$(1,45 \pm 0,03) \cdot 10^6$	$(2,52 \pm 0,07) \cdot 10^5$	$(3,41 \pm 0,05) \cdot 10^6$	$(6,93 \pm 0,17) \cdot 10^8$
30,00	0,5	$(9,41 \pm 0,15) \cdot 10^8$	$(7,93 \pm 0,18) \cdot 10^8$	$(5,73 \pm 0,12) \cdot 10^6$	$(1,20 \pm 0,04) \cdot 10^9$	$(1,12 \pm 0,04) \cdot 10^9$	
	3	$(2,43 \pm 0,06) \cdot 10^6$	$(2,19 \pm 0,06) \cdot 10^6$	$(4,72 \pm 0,13) \cdot 10^5$	$(5,74 \pm 0,13) \cdot 10^6$	$(1,05 \pm 0,04) \cdot 10^9$	
30,00	-	0,5	$(5,62 \pm 0,14) \cdot 10^6$	$(4,93 \pm 0,08) \cdot 10^6$	$(4,31 \pm 0,12) \cdot 10^4$	$(1,64 \pm 0,05) \cdot 10^8$	$(5,24 \pm 0,10) \cdot 10^6$
		3	$(3,24 \pm 0,05) \cdot 10^5$	$(2,62 \pm 0,06) \cdot 10^5$	$(2,14 \pm 0,07) \cdot 10^3$	$(4,31 \pm 0,14) \cdot 10^6$	$(4,62 \pm 0,13) \cdot 10^6$
	5,00	0,5	$(5,62 \pm 0,14) \cdot 10^8$	$(2,83 \pm 0,06) \cdot 10^8$	$(2,16 \pm 0,07) \cdot 10^6$	$(1,32 \pm 0,04) \cdot 10^9$	$(2,32 \pm 0,05) \cdot 10^9$
		3	$(1,53 \pm 0,03) \cdot 10^6$	$(1,04 \pm 0,03) \cdot 10^6$	$(1,71 \pm 0,06) \cdot 10^5$	$(2,61 \pm 0,05) \cdot 10^6$	$(2,03 \pm 0,04) \cdot 10^9$
	10,00	0,5	$(6,34 \pm 0,14) \cdot 10^8$	$(4,14 \pm 0,07) \cdot 10^8$	$(2,98 \pm 0,07) \cdot 10^6$	$(1,73 \pm 0,05) \cdot 10^9$	$(4,71 \pm 0,06) \cdot 10^9$
		3	$(2,21 \pm 0,05) \cdot 10^6$	$(1,57 \pm 0,04) \cdot 10^6$	$(3,42 \pm 0,07) \cdot 10^5$	$(3,84 \pm 0,07) \cdot 10^6$	$(4,24 \pm 0,05) \cdot 10^9$
30,00	0,5	$(1,05 \pm 0,02) \cdot 10^9$	$(8,63 \pm 0,20) \cdot 10^8$	$(6,15 \pm 0,15) \cdot 10^6$	$(3,71 \pm 0,04) \cdot 10^9$	$(7,93 \pm 0,08) \cdot 10^9$	
	3	$(2,70 \pm 0,06) \cdot 10^6$	$(2,21 \pm 0,04) \cdot 10^6$	$(5,62 \pm 0,13) \cdot 10^5$	$(6,53 \pm 0,12) \cdot 10^6$	$(7,61 \pm 0,06) \cdot 10^9$	
50,00	-	0,5	$(6,26 \pm 0,17) \cdot 10^6$	$(5,61 \pm 0,10) \cdot 10^6$	$(5,43 \pm 0,09) \cdot 10^4$	$(1,91 \pm 0,04) \cdot 10^8$	$(6,37 \pm 0,14) \cdot 10^6$
		3	$(3,58 \pm 0,05) \cdot 10^5$	$(2,91 \pm 0,07) \cdot 10^5$	$(3,25 \pm 0,09) \cdot 10^3$	$(6,54 \pm 0,13) \cdot 10^6$	$(5,42 \pm 0,14) \cdot 10^6$
	5,00	0,5	$(7,32 \pm 0,17) \cdot 10^8$	$(3,21 \pm 0,07) \cdot 10^8$	$(2,51 \pm 0,05) \cdot 10^6$	$(3,24 \pm 0,04) \cdot 10^9$	$(4,12 \pm 0,07) \cdot 10^9$
		3	$(2,03 \pm 0,05) \cdot 10^6$	$(1,25 \pm 0,03) \cdot 10^6$	$(2,53 \pm 0,06) \cdot 10^5$	$(3,11 \pm 0,07) \cdot 10^6$	$(3,71 \pm 0,05) \cdot 10^9$
	10,00	0,5	$(7,81 \pm 0,18) \cdot 10^8$	$(4,93 \pm 0,13) \cdot 10^8$	$(3,67 \pm 0,08) \cdot 10^6$	$(3,61 \pm 0,07) \cdot 10^9$	$(5,93 \pm 0,09) \cdot 10^9$
		3	$(2,54 \pm 0,06) \cdot 10^6$	$(1,72 \pm 0,04) \cdot 10^6$	$(4,32 \pm 0,13) \cdot 10^5$	$(4,23 \pm 0,08) \cdot 10^6$	$(5,42 \pm 0,05) \cdot 10^9$
30,00	0,5	$(1,23 \pm 0,03) \cdot 10^9$	$(9,41 \pm 0,13) \cdot 10^8$	$(6,87 \pm 0,15) \cdot 10^6$	$(4,81 \pm 0,11) \cdot 10^9$	$(9,72 \pm 0,10) \cdot 10^9$	
	3	$(3,12 \pm 0,07) \cdot 10^6$	$(2,34 \pm 0,07) \cdot 10^6$	$(6,84 \pm 0,19) \cdot 10^5$	$(6,92 \pm 0,15) \cdot 10^6$	$(9,33 \pm 0,12) \cdot 10^9$	

Исследования показали, что внесение пивной дробины изменяет ферментативную активность нефтезагрязненной почвы (табл. 14). Под действием пивной дробины по истечению 0,5-месячного периода опытов в загрязненной нефтью почве увеличивается активность окислительно-восстановительных (пероксидазы – до 1,88 раза, полифенолоксидазы – до 2,40 раза, каталазы – до 4,03 раза) и гидролитических ферментов (инвертазы – до 2,43 раза, фосфатазы – до 2,74 раза, липазы – до 5,80 раза). Пивная дробина замедляет уменьшение коэффициента гумификации (табл. 15), что благоприятно для восстановления плодородия почвы. Аналогичные закономерности активности почвенных ферментов были отмечены в опытах с внесением отработанного кизельгура и смеси отходов пивоварения.

Таблица 14

Изменение активности ферментов почвы, загрязненной нефтью, при внесении пивной дробины

Содержание нефти, г/кг	Содержание дробины, %	Общая активность (ед./г)					
		Пероксидаза	Полифенолоксидаза	Каталаза	Инвертаза	Фосфатаза	Липаза
10,00	-	$0,024 \pm 0,001$	$0,031 \pm 0,001$	$0,576 \pm 0,017$	$15,287 \pm 0,459$	$1,071 \pm 0,032$	$0,042 \pm 0,001$
	5,00	$0,035 \pm 0,001$	$0,048 \pm 0,001$	$1,749 \pm 0,053$	$23,345 \pm 0,700$	$1,721 \pm 0,052$	$0,160 \pm 0,001$
	10,00	$0,039 \pm 0,001$	$0,054 \pm 0,002$	$1,987 \pm 0,054$	$25,811 \pm 0,774$	$1,864 \pm 0,052$	$0,181 \pm 0,151$
	30,00	$0,045 \pm 0,001$	$0,065 \pm 0,002$	$2,311 \pm 0,066$	$28,026 \pm 0,841$	$2,254 \pm 0,068$	$0,215 \pm 0,006$
30,00	-	$0,023 \pm 0,001$	$0,025 \pm 0,001$	$0,714 \pm 0,021$	$14,860 \pm 0,401$	$0,962 \pm 0,028$	$0,041 \pm 0,001$
	5,00	$0,033 \pm 0,001$	$0,043 \pm 0,001$	$1,959 \pm 0,059$	$25,389 \pm 0,762$	$1,673 \pm 0,043$	$0,175 \pm 0,005$
	10,00	$0,036 \pm 0,001$	$0,048 \pm 0,001$	$2,053 \pm 0,060$	$27,052 \pm 0,812$	$1,810 \pm 0,035$	$0,187 \pm 0,006$
	30,00	$0,043 \pm 0,001$	$0,060 \pm 0,002$	$2,342 \pm 0,080$	$31,104 \pm 0,933$	$2,212 \pm 0,066$	$0,238 \pm 0,007$
50,00	-	$0,022 \pm 0,001$	$0,023 \pm 0,001$	$0,425 \pm 0,013$	$8,513 \pm 0,255$	$0,724 \pm 0,020$	$0,040 \pm 0,001$
	5,00	$0,030 \pm 0,001$	$0,037 \pm 0,001$	$1,355 \pm 0,041$	$17,823 \pm 0,535$	$1,573 \pm 0,042$	$0,157 \pm 0,004$
	10,00	$0,032 \pm 0,001$	$0,040 \pm 0,001$	$1,417 \pm 0,038$	$18,811 \pm 0,527$	$1,654 \pm 0,048$	$0,173 \pm 0,005$
	30,00	$0,036 \pm 0,001$	$0,048 \pm 0,001$	$1,711 \pm 0,067$	$20,726 \pm 0,601$	$1,982 \pm 0,055$	$0,209 \pm 0,006$

Изменение коэффициента гумификации нефтезагрязненной почвы при внесении пивной дробины

Содержание нефти, г/кг	Содержание дробины, %	Степень уменьшения коэффициента гумификации, %			
		0,5 мес.	1 мес.	2 мес.	3 мес.
10	-	$3,13 \pm 0,09$	$8,33 \pm 0,25$	$17,24 \pm 0,52$	$25,00 \pm 0,75$
	5	$-2,86 \pm 0,09$	$0,68 \pm 0,02$	$4,88 \pm 0,15$	$7,95 \pm 0,24$
	10	$-3,85 \pm 0,12$	$-0,61 \pm 0,02$	$3,33 \pm 0,08$	$5,85 \pm 0,18$
	30	$-8,33 \pm 0,25$	$-4,41 \pm 0,13$	0	$2,23 \pm 0,07$
30	-	$18,48 \pm 0,55$	$22,00 \pm 0,66$	$30,56 \pm 0,92$	$35,34 \pm 1,06$
	5	$2,27 \pm 0,07$	$6,25 \pm 0,19$	$9,21 \pm 0,28$	$11,88 \pm 0,36$
	10	0	$3,85 \pm 0,11$	$7,14 \pm 0,20$	$9,30 \pm 0,26$
	30	$-4,65 \pm 0,14$	$-1,09 \pm 0,03$	$1,56 \pm 0,05$	$4,00 \pm 0,12$
50	-	$21,59 \pm 0,54$	$25,00 \pm 0,63$	$33,65 \pm 0,84$	$38,39 \pm 0,96$
	5	$7,50 \pm 0,23$	$10,94 \pm 0,33$	$13,97 \pm 0,42$	$16,67 \pm 0,50$
	10	$6,25 \pm 0,19$	$9,56 \pm 0,29$	$12,50 \pm 0,38$	$14,86 \pm 0,45$
	30	0	$3,85 \pm 0,12$	$6,71 \pm 0,20$	$10,71 \pm 0,32$

Примечание: при расчете степени уменьшения коэффициента гумификации за 100 % принимали коэффициент гумификации не загрязненной нефтью почвы через 0,5 мес. опыта

Таким образом, внесение органических компонентов стимулирует процесс биоремедиации путем увеличения общей влагоемкости, стимуляции общего количества всех физиологических групп микроорганизмов и повышения ферментативной активности нефтезагрязненной почвы.

3.3.2. Полевые исследования воздействия органических соединений отходов пивоваренной промышленности на эффективность биоремедиации нефтезагрязненной почвы

В полевом опыте при добавлении отработанного кизельгура степень деструкции углеводородов за 5 месяцев составила $89,52 \pm 2,69$ %, а при внесении смеси отходов пивоварения и пивной дробины – $88,23 \pm 2,47$ % и $87,49 \pm 2,19$ % соответственно (рис. 8).

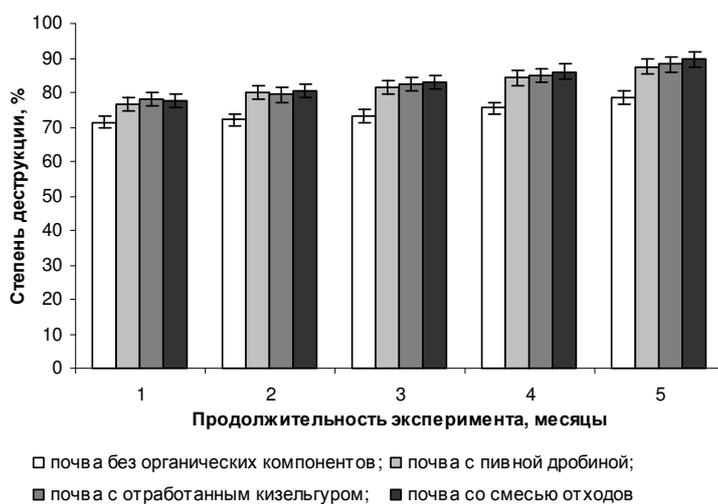


Рисунок 8. Динамика окисления нефтяных углеводородов в полевом опыте с добавлением органических компонентов отходов пивоварения

Добавление органических компонентов отходов пивоварения повышает ферментативную активность нефтезагрязненной черноземной почвы (рис. 9, 10). Каталазная и инвертазная активности почвы больше изменяется под действием смеси отходов пивоваренной промышленности, чем при раздельном внесении пивной дробины или отработанного кизельгура. По-видимому, отработанный кизельгур является для аборигенных

микроорганизмов источником питательных веществ, а пивная дробина кроме внесения питательных веществ выполняет функции структуратора, поэтому совместное внесение пивной дробины и отработанного кизельгура более благоприятно влияет на развитие микроорганизмов.

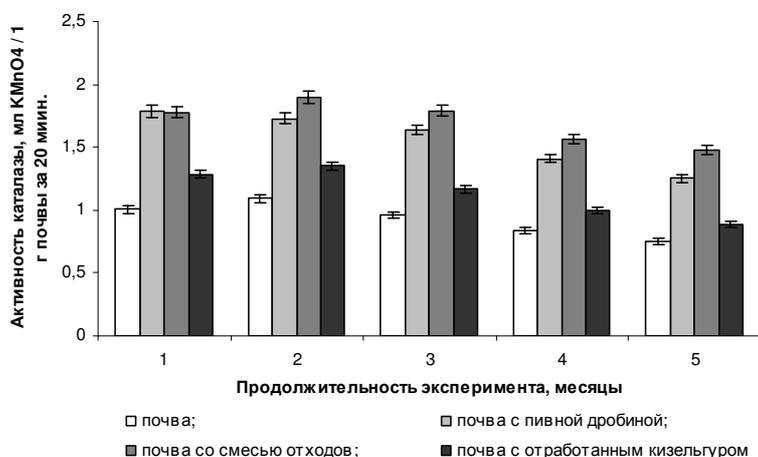


Рисунок 9. Каталазная активность нефтезагрязненной почвы с добавлением органических компонентов отходов пивоварения в полевом эксперименте

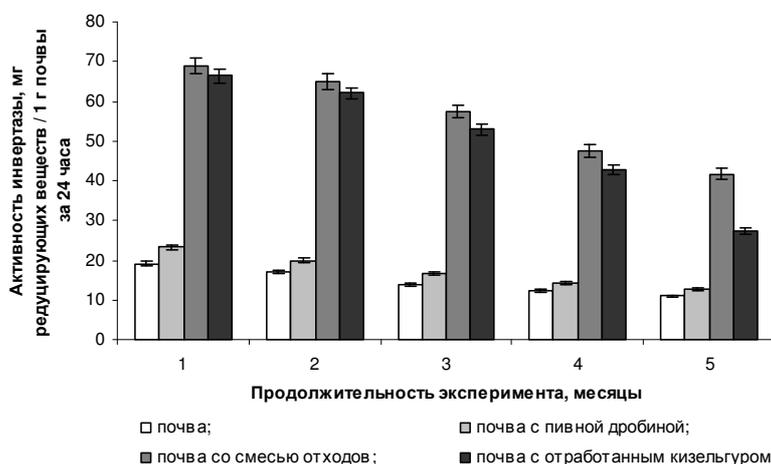


Рисунок 10. Инвертазная активность нефтезагрязненной почвы с добавлением органических компонентов отходов пивоварения в полевом эксперименте

Обнаружено, что ингибирование нефтезагрязненной почвой, содержащей пивную дробину, кресс-салата по окончании исследований на $11,28 \pm 0,34$ % больше, чем у нефтезагрязненной почвы (рис. 11). При этом ингибирующий эффект действия нефти на проростки кресс-салата после добавления в почву отработанного кизельгура и смеси отходов пивоварения выражен в меньшей степени, чем в нефтезагрязненной почве.

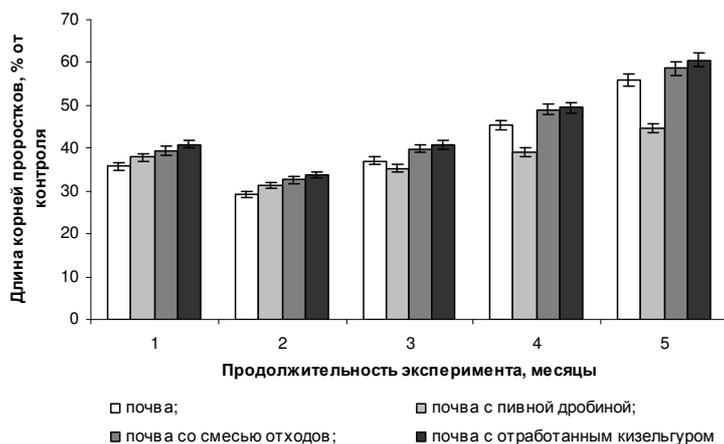


Рисунок 11. Результаты биотестирования нефтезагрязненной почвы с добавлением отходов пивоваренной промышленности в полевом эксперименте

Результаты проведенных исследований свидетельствуют о возможности использования для биоремедиации нефтезагрязненной почвы отходов пивоварения.

3.4. Технология биоремедиации почв с использованием органических компонентов отходов пивоваренной промышленности

Результаты проведенных исследований и имеющиеся литературные данные позволяют дать комплексную оценку воздействия органических компонентов отходов пивоваренной промышленности на почву (рис. 12) и оценить преимущества их использования для биоремедиации нефтезагрязненных почв.



Рисунок. 12. Комплексная оценка воздействия органических компонентов отходов пивоваренной промышленности на нефтезагрязненные почвы с целью их биоремедиации

Органические компоненты отходов пивоварения оказывают комплексное воздействие на почву и ее микробиоту, а также на загрязняющие вещества, способствуя биоремедиации загрязняющих веществ. Использование органических компонентов отходов пивоваренной промышленности для биоремедиации почвы имеет экологические, социальные и экономические преимущества.

Полученные результаты явились основой для разработки технологии биоремедиации почв с использованием органических компонентов отходов пивоварения. Отличительной особенностью предложенной технологии биоремедиации загрязненных почв (рис. 13) является использование пивной органических компонентов отходов пивоваренной промышленности, которые оказывают комплексное воздействие на загрязненную почву: улучшают физико-химические характеристики почвы; ускоряют процесс удаления загрязняющих веществ за счет внесения углеводородокисляющих микроорганизмов и стимулирования активности аборигенных микроорганизмов почвы.

Дополнительные преимущества предложенной технологии биоремедиации загрязненных почв заключаются в том, что органические компоненты отходов пивоварения не

содержат токсичных веществ, патогенных микроорганизмов и яиц гельминтов; образуются в больших количествах, доступны в течение всего года и имеют низкую стоимость.

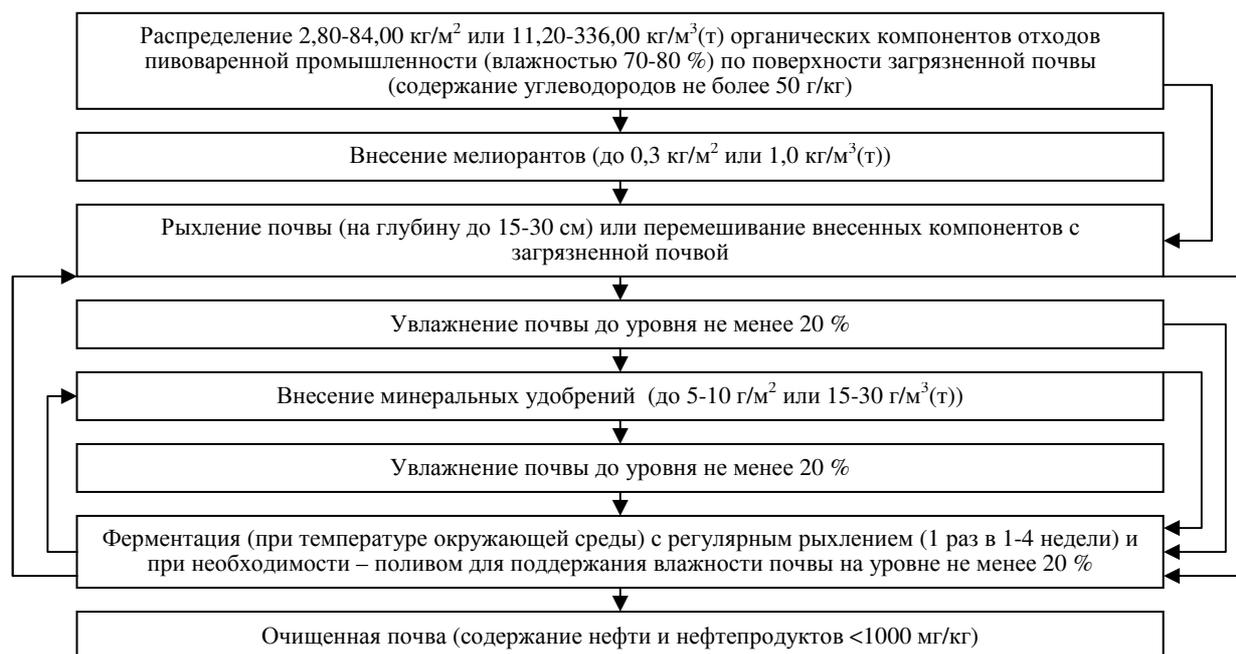


Рисунок. 13. Блок-схема технологии биоремедиации загрязненных нефтью почв с использованием органических компонентов отходов пивоваренной промышленности

ВЫВОДЫ

1. В условиях лабораторных и полевых экспериментов выявлено, что внесение в почву органических компонентов отходов пивоваренной промышленности (пивной дробины, отработанного кизельгура и их смеси) позитивно изменяет физико-химические характеристики и состояние биоценоза как незагрязненной, так и нефтезагрязненной черноземной почвы: наблюдается увеличение общей влагоемкости и массовой доли органического вещества до 9,51 раза и 1,37 раза, соответственно; на 1-2 порядка стимулируется рост и развитие различных физиологических групп микроорганизмов и на 2 порядка повышается общее количество углеводородокисляющих микроорганизмов; повышается ферментативная активность чернозема оподзоленного. Отработанный кизельгур и смесь отходов пивоваренного производства до $8,86 \pm 0,27$ % снижают степень ингибирующего воздействия нефтезагрязненной почвы на проростки кресс-салата.
2. Экспериментальным путем установлено, что присутствие в почве органических компонентов отходов пивоварения (пивной дробины, отработанного кизельгура и смеси отходов пивоварения) стимулирует процесс биологической трансформации углеводов. Это выражается уменьшением концентрации полициклических углеводов, содержащих конденсированную систему из более чем одного ароматического кольца, а также ненасыщенных углеводов с более чем тремя сопряженными двойными связями.
3. Аборигенная микробиота черноземной почвы, обладающая способностью окислять углеводороды нефти, увеличивает степень деградации сырой нефти от $32,41 \pm 0,97$ до

- 83,12 ± 2,49 %. Установлено, что наибольшую активность при деградации нефти проявляют бактерии родов *Acinetobacter*, *Bacillus*, *Mycobacterium* и *Pseudomonas*.
4. Структура микробного сообщества нефтезагрязненной почвы существенно изменяется в присутствии органических компонентов отходов пивоваренной промышленности (пивной дробины, отработанного кизельгура и их смеси). В микробиоценозе нефтезагрязненной черноземной почвы отмечается повышение на 1-3 порядка численности бактерий; на 1-2 порядка – актиномицетов и грибов; до одного порядка увеличивается содержание автохтонных и на 1-3 порядка – углеводородоокисляющих микроорганизмов. Увеличение уровня нефтяного загрязнения почвы при одновременном возрастании в ее составе дозы органических компонентов отходов пивоварения сопровождается при повышении содержания бактерий в микробной популяции почвы снижением доли актиномицетов и грибов.
 5. Нефтяное загрязнение среднего, высокого и очень высокого уровней существенно изменяет физико-химические свойства и биологическую активность чернозема оподзоленного: общая влагоемкость почвы снижается относительно контроля до 7,2 раза; по сравнению с контролем в 1,32-1,75 раза увеличивается массовая доля органического вещества; увеличивается ингибирование почвой проростков кресс-салата и изменяется ферментативная активность чернозема оподзоленного; снижается активность как окислительно-восстановительных (полифенолоксидазы, каталазы), так и гидролитических (инвертазы, фосфатазы, липазы) почвенных ферментов, при этом выявлена тенденция к увеличению пероксидазной активности почвы.
 6. На основе результатов лабораторных и полевых исследований с использованием органических компонентов отходов пивоваренной промышленности разработана и апробирована технология биоремедиации нефтезагрязненных почв, которая прошла успешное испытание при очистке и обезвреживании загрязненных нефтью и нефтепродуктами грунтов, расположенных на территории г.о. Новокуйбышевск, на площадках ООО «НПП «Экотон», ОАО «Куйбышевский нефтеперерабатывающий завод», ОАО «Новокуйбышевский нефтеперерабатывающий завод», ОАО «Новокуйбышевский завод масел и присадок», ОАО «Самаранефтегаз».

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Монографии

1. Руденко, Е.Ю. Утилизация отходов пивоварения / Е.Ю. Руденко. – Самара: СамГТУ, 2012. – 114 с.
2. Руденко, Е.Ю. Экологические основы биологической рекультивации нефтезагрязненных почв / Е.Ю. Руденко. – Самара: СамГТУ, 2012. – 166 с.

Учебное пособие

3. Руденко, Е.Ю. Основные отходы пивоваренной промышленности / Е.Ю. Руденко. – Самара: СамГТУ, 2014. – 79 с.

Лабораторные практикумы

4. Руденко, Е.Ю. Экологическая биотехнология: лабораторный практикум / Е.Ю. Руденко, Г.С. Муковнина. – Самара: СамГТУ, 2012. – 76 с.

5. Руденко, Е.Ю. Экологическая биотехнология: лабораторный практикум / Е.Ю. Руденко, Г.С. Муковнина. – Самара: СамГТУ, 2014. – 76 с.

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК РФ

6. Руденко, Е.Ю. Современные тенденции переработки основных побочных продуктов пивоварения / Е.Ю. Руденко // Пиво и напитки. – 2007. – № 2. – С. 66-68.

7. Руденко, Е.Ю. Использование отходов пивоварения / Е.Ю. Руденко // Известия ФГОУ ВПО "Самарская государственная сельскохозяйственная академия". – 2007. – № 4. – С. 105-107.

8. Руденко, Е.Ю. Использование вторичных материальных ресурсов пивоварения в пищевой промышленности / Е.Ю. Руденко, А.В. Зимичев // Известия ВУЗов. Пищевая технология. – 2007. – № 4. – С. 54-56.

9. Руденко, Е.Ю. Влияние отработанного кизельгура на биологическую активность черноземной почвы / Е.Ю. Руденко // Экология урбанизированных территорий. – 2009. – № 3. – С. 78-82.

10. Руденко, Е.Ю. Влияние отработанного кизельгура на нефтезагрязненную черноземную почву / Е.Ю. Руденко // Экология урбанизированных территорий. – № 4. – 2009. – С. 79-83.

11. Руденко, Е.Ю. Влияние отходов пивоварения на биологическую активность черноземной почвы / Е.Ю. Руденко // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2010. – № 18. – С. 37-42.

12. Руденко, Е.Ю. Влияние нефтяного загрязнения на ферментативную активность черноземной почвы / Е.Ю. Руденко, К.М. Падерова, Е.Д. Антропова [и др.] // Проблемы региональной экологии. – 2010. – № 4. – С. 74-79.

13. Руденко, Е.Ю. Влияние пивной дробины на биологическую активность черноземной почвы / Е.Ю. Руденко, К.М. Падерова, Е.Д. Антропова [и др.] // Достижения науки и техники АПК. – 2010. – № 10. – С. 10-11.

14. Руденко, Е.Ю. Влияние отработанного кизельгура на биологическую активность нефтезагрязненной черноземной почвы / Е.Ю. Руденко // Известия Самарского научного центра РАН. – 2011. – Т. 13. – № 1 (1). – С. 216-222.

15. Руденко, Е.Ю. Возможности использования отработанного кизельгура / Е.Ю. Руденко, К.М. Падерова, Е.Д. Антропова [и др.] // Пищевая промышленность. – 2011. – № 1. – С. 62-64.

16. Руденко, Е.Ю. Влияние нефтяного загрязнения на черноземную почву / Е.Ю. Руденко, А.В. Зимичев // Проблемы региональной экологии. – 2011. – № 3. – С. 74-79.

17. Руденко, Е.Ю. Перспективы использования пивной дробины для рекультивации нефтезагрязненных почв / Е.Ю. Руденко // Экология промышленного производства. – 2011. – № 3. – С. 47-50.

18. Руденко, Е.Ю. Влияние отходов пивоварения на ферментативную активность нефтезагрязненной черноземной почвы / Е.Ю. Руденко // Теоретическая и прикладная экология. – 2011. – № 3. – С. 60-64.

19. Руденко, Е.Ю. Влияние пивной дробины на ферментативную активность черноземной почвы / Е.Ю. Руденко // Известия ФГОУ ВПО "Самарская государственная сельскохозяйственная академия". – 2011. – № 3. – С. 61-64.

20. Руденко, Е.Ю. Влияние осадка от фильтрации пива на ферментативную активность черноземной почвы / Е.Ю. Руденко, А.В. Зимичев // *Аграрная Россия*. – 2011. – № 5. – С. 33-35.
21. Руденко, Е.Ю. Геоэкология: обзор характера изменения почв, загрязненных нефтью, и геоэкологических методов их рекультивации / Е.Ю. Руденко // *Инженерная экология*. – 2011. – № 6. – С. 25-37.
22. Руденко, Е.Ю. Влияние отходов пивоварения на фитотоксичность нефтезагрязненной черноземной почвы / Е.Ю. Руденко // *Известия ВУЗов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки*. – 2012. – № 1. – С. 88-90.
23. Руденко, Е.Ю. К перспективам использования отходов пивоварения для рекультивации нефтезагрязненных почв / Е.Ю. Руденко // *Экология и промышленность России*. – 2012. – № 2. – С. 34-38.
24. Руденко, Е.Ю. Возможности использования пивной дробины в пищевой промышленности / Е.Ю. Руденко, А.В. Зимичев // *Хранение и переработка сельхозсырья*. – 2012. – № 3. – С. 42-45.
25. Руденко, Е.Ю. Влияние отходов пивоварения на биологическую активность черноземной почвы / Е.Ю. Руденко // *Аграрная наука*. – 2012. – № 4. – С. 10-11.
26. Руденко, Е.Ю. Биологическая ремедиация нефтезагрязненных почв / Е.Ю. Руденко // *Альтернативная энергетика и экология*. – 2012. – № 5-6. – Т. 109-110. – С. 208-220.
27. Руденко, Е.Ю. Применение пивной дробины для очистки нефтезагрязненных почв / Е.Ю. Руденко, А.Г. Назмутдинов, Г.С. Муковнина [и др.] // *Экология промышленного производства*. – 2012. – № 3. – С. 43-48.
28. Руденко, Е.Ю. Биологическая рекультивация нефтезагрязненной почвы пивной дробинкой / Е.Ю. Руденко // *Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе*. – 2012. – № 9. – С. 47-51.
29. Руденко, Е.Ю. Влияние отработанного кизельгура на нефтезагрязненную черноземную почву / Е.Ю. Руденко // *Известия Самарского научного центра РАН*. – 2012. – Т. 14. – № 5. – С. 257-260.
30. Руденко, Е.Ю. Применение отходов пивоварения для очистки почв, загрязненных нефтью / Е.Ю. Руденко // *Экология и промышленность России*. – 2012. – № 10. – С. 32-34.
31. Руденко, Е.Ю. Биологическая рекультивация нефтезагрязненной почвы отходами пивоварения / Е.Ю. Руденко, В.В. Бахарев // *Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий*. – 2012. – № 6. – С. 133-136.
32. Руденко, Е.Ю. Агроэкология: применение отработанного кизельгура для очистки почв, загрязненных нефтью / Е.Ю. Руденко, А.Г. Назмутдинов, Г.С. Муковнина [и др.] // *Инженерная экология*. – 2013. – № 1. – С. 21-32.
33. Руденко, Е.Ю. Рекультивация нефтезагрязненной почвы с использованием отходов пивоварения / Е.Ю. Руденко, В.В. Бахарев, П.А. Чалдаев // *Биотехнология*. – 2013. – № 3. – С. 51-57.
34. Руденко, Е.Ю. Биологическая рекультивация нефтезагрязненной почвы отработанным кизельгуром / Е.Ю. Руденко, В.В. Бахарев // *Экологические системы и приборы*. – 2013. – № 5. – С. 22-27.

Патенты РФ

35. Патент 2457483 Российская Федерация, МПК G01 N33/02. Способ анализа редуцирующих веществ / Р.Р. Еникеев, Г.С. Муковнина, Е.Ю. Руденко. – № 2010113441/15; заявл. 06.04.2010; опублик. 27.07.2012, Бюл. № 21. – С. 329.

36. Патент 2491138 Российская Федерация, МПК B09 C1/00 A01 B79/02. Способ рекультивации почвы, загрязненной нефтью и нефтепродуктами / Е.Ю. Руденко, А.В. Зимичев. – № 2011133844/13; заявл. 11.08.2011; опублик. 27.08.2013, Бюл. № 24. – С. 141.

Статьи и материалы конференций

37. Зимичев, А.В. Отходы пивоварения – активаторы процессов регенерации нефтяных загрязнений / А.В. Зимичев, Е.Ю. Руденко // Мат. XI Междунар. конф. "Окружающая среда для нас и будущих поколений". – Самара. – 2007. – С. 59-60.

38. Руденко, Е.Ю. Нетрадиционные способы использования отходов пивоварения / Е.Ю. Руденко // Актуальные проблемы современной науки. – № 5. – 2007. – С. 138-140.

39. Руденко, Е.Ю. Перспективные направления использования пивной дробины в производстве белков и удобрений / Е.Ю. Руденко, А.В. Зимичев // Мат. IV Всерос. науч.-практ. конф. "Нефтегазовые и химические технологии". – Самара, 2007. – С. 73.

40. Руденко, Е.Ю. Оценка воздействия отработанного кизельгура на численность почвенных микроорганизмов / Е.Ю. Руденко // Мат. IV Всерос. науч.-практ. конф. "Нефтегазовые и химические технологии". – Самара, 2007. – С. 97.

41. Руденко, Е.Ю. Влияние пивной дробины на численность микроорганизмов почвы / Е.Ю. Руденко // Сб. науч. трудов Всерос. науч.-практич. конф. «Коршуновские чтения» (г. Тольятти, 23-26 сентября 2008 г.). – Тольятти: ТГУ, 2008. – С. 170-172.

42. Антропова, Е.Д. Влияние отработанного кизельгура на ферментативную активность почвы / Е.Д. Антропова, К.М. Падерова, Е.Ю. Руденко // Сб. тез. докл. X Междунар. конф. молодых ученых «Пищевые технологии и биотехнологии». – Казань: издательство «Отечество». – 2009. – С. 300.

43. Падерова, К.М. Влияние пивной дробины на ферментативную активность почвы / К.М. Падерова, Е.Д. Антропова, Е.Ю. Руденко // Сб. тез. докл. X Междунар. конф. молодых ученых «Пищевые технологии и биотехнологии». – Казань: издательство «Отечество». – 2009. – С. 324.

44. Руденко, Е.Ю. Влияние отработанного кизельгура на инвертазную активность нефтезагрязненной черноземной почвы / Е.Ю. Руденко // Мат. Всерос. науч. конф. с междунар. участ. «Инновационные технологии в пищевой промышленности». – Самара: СамГТУ, 2009. – С. 50-52.

45. Руденко, Е.Ю. Влияние пивной дробины на инвертазную активность черноземной почвы / Е.Ю. Руденко, Е.Д. Антропова, К.М. Падерова // Матер. Всерос. науч. конф. с междунар. участ. «Инновационные технологии в пищевой промышленности». – Самара: СамГТУ, 2009. – С. 56-58.

46. Руденко, Е.Ю. Влияние пивной дробины на каталазную активность черноземной почвы / Е.Ю. Руденко, К.М. Падерова, Е.Д. Антропова // Матер. Всерос. науч. конф. с междунар. участ. «Инновационные технологии в пищевой промышленности». – Самара: СамГТУ, 2009. – С. 64-65.

47. Руденко, Е.Ю. Использование отработанного кизельгура для рекультивации нефтезагрязненной почвы / Е.Ю. Руденко, А.В. Зимичев // Мат. V Всерос. науч.-практ. конф. "Нефтегазовые и химические технологии". – Самара, 2009. – Т. 2. – С. 245-247.
48. Антропова, Е.Д. Влияние отходов пивоварения на каталазную активность черноземной почвы / Е.Д. Антропова, К.М. Падерова, Е.Ю. Руденко // XI Междунар. конф. молодых ученых «Пищевые технологии и биотехнологии» (г. Казань, 13-16 апреля 2010 г.). Сб. тез. докл. Часть 2. – Казань: изд-во «Отечество». – 2010. – С. 49.
49. Руденко, Е.Ю. Влияние отработанного кизельгура на ферментативную активность черноземной почвы / Е.Ю. Руденко, Р.Р. Еникеев // XI Междунар. конф. молодых ученых «Пищевые технологии и биотехнологии» (г. Казань, 13-16 апреля 2010 г.). Сб. тез. докл. Часть 2. – Казань: изд-во «Отечество». – 2010. – С. 55.
50. Падерова, К.М. Влияние отходов пивоварения на инвертазную активность черноземной почвы / К.М. Падерова, Е.Д. Антропова, Е.Ю. Руденко // XI Междунар. конф. молодых ученых «Пищевые технологии и биотехнологии» (г. Казань, 13-16 апреля 2010 г.). Сб. тез. докл. Часть 2. – Казань: изд-во «Отечество». – 2010. – С. 69.
51. Руденко, Е.Ю. Влияние отработанного кизельгура на каталазную активность черноземной почвы / Е.Ю. Руденко // Материалы X Юбил. окр. конф. молодых ученых «Наука и инновации XXI века», Сургут, 26–27 ноября 2009 г. : в 2 т. / Сургут. гос. ун-т ХМАО – Югры. – Сургут: ИЦ СурГУ, 2010. – Т. 1. – С. 100-101.
52. Руденко, Е.Ю. Возможности повышения рентабельности пивоваренного производства / Е.Ю. Руденко // Мат. IV Всерос. науч.-технич. конф. (12 ноября 2010 г.) «Состояние и перспективы развития сервиса: образование, управление, технологии». – Самара. – 2010. – С. 66-69.
53. Руденко, Е.Ю. Влияние отходов пивоварения на биологическую активность нефтезагрязненной черноземной почвы / Е.Ю. Руденко // Матер. Междунар. науч.-практич. конф. 3-4 июня 2010 г. «Проблемы экологии в современном мире в свете учения В.И. Вернадского». – Тамбов. – 2010. – Т. 1. – С. 276-281.
54. Антропова, Е.Д. Влияние отходов пивоварения на ферментативную активность черноземной почвы / Е.Д. Антропова, К.М. Падерова, Е.Ю. Руденко // Матер. Междунар. науч.-практич. конф. 3-4 июня 2010 г. «Проблемы экологии в современном мире в свете учения В.И. Вернадского». – Тамбов. – 2010. – Т. 1. – С. 57-62.
55. Руденко, Е.Ю. Применение отходов пивоварения для стимуляции ферментативной активности нефтезагрязненной почвы / Е.Ю. Руденко, А.В. Зимичев // Сб. трудов. VII Междунар. науч.- практич. конф. «Ашировские чтения» (Туапсе, Россия, 6-9 октября 2010 г.). – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2010. – Т. 1. – С. 243-246.
56. Руденко, Е.Ю. Использование отработанного кизельгура для стимуляции активности нефтезагрязненной почвы / Е.Ю. Руденко // Сб. трудов. VII Междунар. науч.-практич. конф. «Ашировские чтения» (Туапсе, Россия, 6-9 октября 2010 г.). – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2010. – Т. 1. – С. 240-243.
57. Падерова, К.М. Влияние отработанного кизельгура на ферментативную активность нефтезагрязненной черноземной почвы / К.М. Падерова, Е.Д. Порватова, Е.Ю. Руденко // Матер. III Междунар. науч.-практич. конф. молодых ученых «Молодежь и наука XXI века» (23-26 ноября 2010 г.). – Ульяновск. – 2010. – С. 226-228.

58. Руденко, Е.Ю. Влияние нефтяного загрязнения на черноземную почву / Е.Ю. Руденко // Матер. Всерос. науч. конф. «Устойчивость экосистем: теория и практика» (Чебоксары, 23 октября 2010 г.). – Чебоксары. – 2010. – Т. 2. – С. 101-104.
59. Руденко, Е.Ю. Влияние отработанного кизельгура на инвертазную активность почвы загрязненной нефтью / Е.Ю. Руденко // Матер. 5 Всерос. науч.- практич. конф. с междунар. участ. «Экологические проблемы промышленных городов» (Саратов, 12-14 апреля 2011 г.) – Саратов: Саратовский государственный технический университет. – 2011. – Часть 2. – С. 150-152.
60. Руденко, Е.Ю. Стимулирование биологической активности нефтезагрязненной черноземной почвы отходами пивоварения / Е.Ю. Руденко // Матер. Всерос. молодеж. науч.- практич. конф. с междунар. участ. «Экологобезопасные и ресурсосберегающие технологии и материалы»: (г. Улан-Удэ, 12-14 мая 2011 г.) / науч. ред. Е.Г. Хайкина. – Улан-Удэ: Изд-во Бурятского госун-та, 2011. – С. 106-107.
61. Руденко, Е.Ю. Влияние пивной дробины и отработанного кизельгура на каталазную активность черноземной почвы / Е.Ю. Руденко, Г.А. Олтырев, И.Н. Иванов [и др.] // Матер. II Всерос. конф. с междунар. участ. «Инновационные технологии в пищевой промышленности» (Самара, 29 сентября – 1 октября 2011 г.). – Самара: Самарский государственный технический университет, 2011. – С. 32-33.
62. Руденко, Е.Ю. Влияние пивной дробины и отработанного кизельгура на инвертазную активность черноземной почвы / Е.Ю. Руденко, А.В. Зимичев // Матер. II Всерос. науч. конф. с междунар. участ. «Инновационные технологии в пищевой промышленности» (Самара, 29 сентября – 1 октября 2011 г.). – Самара: Самарский государственный технический университет, 2011. – С. 35-37.
63. Зипаев, Д.В. Изменение активности ферментов в условиях нефтяного загрязнения почвы / Д.В. Зипаев, Е.Ю. Руденко // Молодеж. конф. «Международный год химии» (г. Казань, 6-8 октября 2011 г.). Сб. материалов. – Казань: КНИТУ, 2011. – С. 49-50.
64. Руденко, Е.Ю. Использование пивной дробины для активации ферментативной активности нефтезагрязненной черноземной почвы / Е.Ю. Руденко // Матер. III Междунар. науч.-практич. конф. «Достижения молодых ученых в развитии инновационных процессов в экономике, науке, образовании» (г. Брянск, 10-12 октября 2011 г., БГТУ): в 2-х частях / под ред. И.А. Лагерева. – Брянск: БГТУ, 2011. – Ч. 1. – С. 226-228.
65. Руденко, Е.Ю. Изменение биологической активности нефтезагрязненной черноземной почвы под влиянием отходов пивоварения / Е.Ю. Руденко // Матер. II Междунар. науч.-практич. конф. «Проблемы современной биологии» (г. Москва, 9 ноября 2011 г.). – Москва: Издательство «Спутник +», 2011. – С. 157-158.
66. Руденко, Е.Ю. Удобрение черноземной почвы пивной дробинкой / Е.Ю. Руденко // Матер. Междунар. науч.-практич. конф. «Научные исследования – основа модернизации сельскохозяйственного производства» (г. Тюмень, 9-11 ноября 2011 г.). – Тюмень. – 2011. – С. 108-110.
67. Руденко, Е.Ю. Изменение ферментативной активности нефтезагрязненной черноземной почвы под влиянием пивной дробины / Е.Ю. Руденко // Матер. Всерос. молодеж. науч. конф. с междунар. участ. «Современные проблемы фундаментальных и прикладных

наук» (7-10 ноября 2011 г.) / под общ. Ред. В.П. Юстратова. – Кемерово: Кузбассвуиздат, 2011. – С. 137-140.

68. Руденко, Е.Ю. Нетрадиционное использование пивной дробины в производстве продуктов питания / Е.Ю. Руденко // Матер. Всерос. науч.-технич. конф. «Современные сервисные технологии: Научные исследования аспирантов и молодых ученых» (г. Самара, 11 ноября 2011 г.). – Самара: Изд-во «Инсома-Пресс», 2011. – С. 316-321.

69. Руденко, Е.Ю. Стимулирование биологической активности нефтезагрязненной черноземной почвы пивной дробинкой / Е.Ю. Руденко // Матер. Междунар. науч.-технич. конф. «Инновационные технологии переработки продовольственного сырья» (г. Владивосток 16-18 ноября 2011 г.). – Владивосток. – 2011. – С. 451-455.

70. Руденко, Е.Ю. Стимулирование ферментативной активности нефтезагрязненной почвы отработанным кизельгуром / Е.Ю. Руденко, Л.М. Кавеленова // XL Неделя науки СПбГПУ: матер. Междунар. науч.-практич. конф. Ч. XXI. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2011. – С. 65-67.

71. Руденко, Е.Ю. Нетрадиционное использование пивной дробины / Е.Ю. Руденко // Инновации и перспективы сервиса: Сб. науч. статей VIII Междунар. науч.-технич. конф., 7 декабря 2011 г. – Ч. VI. – Уфа: Уфимская государственная академия экономики и сервиса, 2011. – С. 129-131.

72. Руденко, Е.Ю. Изменение ферментативной активности нефтезагрязненной черноземной почвы отходами пивоварения / Е.Ю. Руденко, Г.С. Муковнина // Формирование и реализация экологической политики на региональном уровне: матер. V Всерос. науч.-практич. конф. (8-9 декабря 2011 г.). – Ч. 2 / науч. ред. А.Г. Гущин. – Ярославль: Изд-во ЯГПУ, 2011. – С. 234-239.

73. Руденко, Е.Ю. Изменение ферментативной активности нефтезагрязненной черноземной почвы пивной дробинкой / Е.Ю. Руденко, Д.В. Зипаев, В.В. Коновалов // Формирование и реализация экологической политики на региональном уровне: матер. V Всерос. науч.-практич. конф. (8-9 декабря 2011 г.). – Ч. 2 / науч. ред. А.Г. Гущин. – Ярославль: Изд-во ЯГПУ, 2011. – С. 239-243.

74. Руденко, Е.Ю. Применение пивной дробины для удаления нефтяного загрязнения почвы / Е.Ю. Руденко, Г.С. Муковнина // «Настоящее и будущее урбанизации: экологические вызовы». Матер. конф. (21 марта 2012 г., Санкт-Петербург) / Отв. ред. В.А. Румянцев, Г.В. Менжулин. – СПб., 2012. – С. 96-98.

75. Руденко, Е.Ю. Стимулирование очистки нефтезагрязненной почвы отработанным кизельгуром / Е.Ю. Руденко, А.Г. Назмутдинов, М.И. Куриленко // «Настоящее и будущее урбанизации: экологические вызовы». Матер. конф. в рамках ежегод. Междунар. форума «Экология большого города» (21 марта 2012 г., Санкт-Петербург) / Отв. ред. В.А. Румянцев, Г.В. Менжулин. – СПб., 2012. – С. 99-101.

76. Руденко, Е.Ю. Очистка нефтезагрязненной почвы с использованием пивной дробины / Е.Ю. Руденко, Е.Д. Порватова // XV Межрегион. науч.-практич. конф. (17-19 апреля 2012 г.). Тезисы докладов. Часть I. – Апатиты: Изд-во КФ ПетрГУ, 2012. – С. 76-77.

77. Руденко, Е.Ю. Использование осадка от фильтрации пива для удаления углеводов из почвы / Е.Ю. Руденко, Д.В. Зипаев, В.В. Коновалов // Козволюция геосфер: от ядра до Космоса: Матер. Всерос. конф. памяти чл.-корр. РАН. лауреата Гос. премии СССР

Глеба Ивановича Худякова. Саратов, 17-20 апреля 2012 г./ [редкол. А.В. Иванов, И.А. Яшков. М.Н. Пешеров. О.А. Волкова]. – Саратов: Сарат. гос. тех. ун-т, 2012. – С. 310-313.

78. Руденко, Е.Ю. Активация процесса удаления углеводов из нефтезагрязненной черноземной почвы пивной дробинкой / Е.Ю. Руденко, А.Г. Назмутдинов, М.И. Куриленко // Коэволюция геосфер: от ядра до Космоса: Материалы Всерос. конф. памяти чл.-корр. РАН. лауреата Гос. премии СССР Глеба Ивановича Худякова. Саратов, 17-20 апреля 2012 г./ [редкол. А.В. Иванов, И.А. Яшков. М.Н. Пешеров. О.А. Волкова]. – Саратов: Сарат. гос. тех. ун-т, 2012. – С. 313-317.

79. Руденко, Е.Ю. Удаление нефтяного загрязнения почвы с использованием отходов пивоварения / Е.Ю. Руденко // Человек и природа: грани гармонии и углы соприкосновения: матер. Всерос. науч.-практич. конф. (27 апреля 2012 г.). – Комсомольск-на-Амуре: изд-во АмГПГУ, 2012. – С. 19-22.

80. Руденко, Е.Ю. Активация биологической активности нефтезагрязненной черноземной почвы солодовой дробинкой / Е.Ю. Руденко // Актуальные проблемы биологии и экологии: Матер. Всерос. науч.-практич. конф. с междунар. участ. (14-15 мая 2012 г.). – Грозный, 2012. – С. 319-322.

81. Руденко, Е.Ю. Стимулирование биологической очистки почвы от углеводов пивной дробинкой / Е.Ю. Руденко, А.Г. Назмутдинов, Г.С. Муковнина // Инновационные технологии в профессиональном образовании: Сб. матер. III Всерос. науч.-метод. конф.: в 2 т. Т. 1. - Грозный: Изд-во «ИННОЦ» ГГНТУ, 2012. – С. 160-163.

82. Руденко, Е.Ю. Стимулирование биологической очистки почвы от углеводов пивной дробинкой / Е.Ю. Руденко // Инновационные технологии в профессиональном образовании: Сб. матер. III Всерос. науч.-метод. конф.: в 2 т. Т. 1. – Грозный: Изд-во «ИННОЦ» ГГНТУ, 2012. – С. 163-166.

83. Руденко, Е.Ю. Очистка нефтезагрязненной почвы с использованием осадка кизельгура / Е.Ю. Руденко // Матер. IV Междунар. науч.-практич. конф. «Достижения молодых ученых в развитии инновационных процессов в экономике, науке, образовании» [Текст] + [Электронный ресурс] / под ред. И.А. Лагерева. – Брянск: БГТУ, 2012. – С. 349-351.

84. Руденко, Е.Ю. Стимуляция ферментативной активности нефтезагрязненной почвы отработанным кизельгуром / Е.Ю. Руденко // Биоразнообразие и культуроценозы в экстремальных условиях: Матер. докл. Всерос. науч. конф. с междунар. участ., ПАБСИ КНЦ РАН. Апатиты-Кировск, 20-22 августа 2012 г. / Сост. М.О. Иноземцева. – Апатиты: «К&М», 2012. – С. 125-128.

85. Руденко, Е.Ю. Очистка почвы от углеводов пивной дробинкой / Е.Ю. Руденко, А.Г. Назмутдинов, М.И. Куриленко // Экология: синтез естественнонаучного, технического и гуманитарного знания: материалы III Всерос. науч.-практ. форума (Саратов, 10-12 октября 2012 г.) и I Школы интерэкоправа (Саратов, 11-12 октября 2012 г.) / [редкол. А.В. Иванов, И.А. Яшков. Е.А. Выгоробец и др.]; Сарат. гос. тех. ун-т им. Ю.А. Гагарина. – Саратов: Изд-во ЕврАзНИИПП, 2012. – С. 185-188.

86. Руденко, Е.Ю. Принципы биологической рекультивации почв / Е.Ю. Руденко // Экология: синтез естественнонаучного, технического и гуманитарного знания: материалы III Всерос. науч.-практ. форума (Саратов, 10-12 октября 2012 г.) и I Школы интерэкоправа

(Саратов, 11-12 октября 2012 г.) / [редкол. А.В. Иванов, И.А. Яшков, Е.А. Высгоробец и др.]; Саратов. гос. тех. ун-т им. Ю.А. Гагарина. — Саратов: Изд-во ЕврАзНИИПП, 2012. — С. 188-189.

87. Руденко, Е.Ю. Возможность получения тепловой энергии из пивной дробины / Е.Ю. Руденко // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве: материалы Междунар. науч.-техн. конф. (Минск, 19-20 окт. 2012 г.). В 3 т. Т. 3. / РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по механизации сельского хозяйства»; редколлегия: П. П. Казакевич (гл. ред.), О.О. Дударев. — Минск: РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства», 2012. — С. 125-130.

88. Руденко, Е.Ю. Биостимулирование нефтезагрязненной почвы пивной дробинкой / Е.Ю. Руденко // Инновационные технологии в производстве, науке и образовании. Сб. трудов II Междунар. науч.-практич. конф. (Грозный, 19-21 октября 2012 г.). Часть 1. — Махачкала: Изд-во «ООО «Риасофт»», 2012. — С. 503-512.

89. Руденко, Е.Ю. Возможность использования солодовой дробины для очистки нефтезагрязненной почвы / Е.Ю. Руденко, Я.О. Моисеенко // «Нерешенные проблемы климатологии и экологии мегаполисов». Матер. конф. в рамках ежегод. Междунар. форума «Экология большого города» (20 марта 2013 г., Санкт-Петербург) / Отв. ред. К.В. Чистяков, Г.В. Менжулин. — СПб., 2013. — С. 72-74.

90. Руденко, Е.Ю. Биоремедиация нефтезагрязненных почв с использованием отходов пивоварения / Е.Ю. Руденко, Л.М. Кавеленова // Регион в зеркале научного знания (исследования молодых ученых). — Сб. матер. Всерос. науч.-практич. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. — Находка: Институт технологии и бизнеса, 2014. — С. 184-185.

91. Руденко, Е.Ю. Анализ многомерных данных при биоремедиации нефтезагрязненной почвы / Е.Ю. Руденко // Сб. докл. 62-й Междунар. Молодеж. науч.-технич. конф. «Молодежь. Наука. Инновации», 18-25 ноября 2014 г. — Владивосток: Мор. гос. ун-т, 2014. — С. 110-112.

92. Руденко, Е.Ю. Возможность использования солодовой дробины для очистки нефтезагрязненной почвы / Е.Ю. Руденко // Научно-технические технологии в решении проблем нефтегазового комплекса: тез. докл. Междунар. молодеж. конф. (г. Уфа, 23-29 ноября 2014 г.) / отв. ред. К.Ш. Ямалетдинова. — Уфа: РИЦ БашГУ, 2014 г. — С. 252-255.

Подп. в печать 25.06.15.

Формат 60×84 1/16. Бумага офсетная

Усл. п.л. 2,00. Тираж 100 экз. Заказ № 488

Отпечатано с готового оригинал-макета в типографии ФГБОУ ВПО
«Самарский государственный технический университет»
443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244. Корпус № 8