

На правах рукописи



Питина Ирина Александровна

**ВЛИЯНИЕ ОТХОДОВ СПИРТОВОГО ПРОИЗВОДСТВА
НА ЭКОЛОГО-АГРОХИМИЧЕСКУЮ ХАРАКТЕРИСТИКУ
ПОЧВЕННО-БИОТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА**

03.02.08 – Экология (биология)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Владимир – 2021

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия»

Научный руководитель: доктор сельскохозяйственных наук, профессор
Титова Вера Ивановна

Официальные оппоненты: **Зубкова Татьяна Александровна**
доктор биологических наук, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», старший научный сотрудник лаборатории физики и технологии почв

Касатиков Виктор Александрович
доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Всероссийский научно-исследовательский институт органических удобрений и торфа – филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Верхневолжский федеральный аграрный научный центр», ведущий научный сотрудник

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д.Н. Прянишникова»

Защита состоится «___» _____ 2021 г. в _____ ч. на заседании диссертационного совета Д 212.025.07 при ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых» по адресу: 600000, г. Владимир, ул. Горького, 87, корп.1, ауд.335.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке ВлГУ и на сайте <http://diss.vlsu.ru/>.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью, можно присылать по адресу: 600000, г. Владимир, ул. Горького, 87, кафедра биологии и экологии.

Автореферат разослан «___» _____ 2021 г.

Учёный секретарь
диссертационного совета,
кандидат биологических наук



Кулагина Екатерина Юрьевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследований. Функционирование предприятий по производству спирта сопровождается получением больших объемов барды послеспиртовой. Даже на небольшом предприятии, производящем порядка 500 дал спирта в сутки, образуется около 6 000 дал барды (Дабахова с соавт., 2014). На большинстве современных производств она подвергается дальнейшей переработке, с разделением с помощью фильтров или центрифуг на жидкую и дисперсную фазы. Дисперсная фаза высушивается с получением сухого кормопродукта, а жидкая фаза (фугат) является вторичным отходом производства. Объем фугата при этом снижается, но остается достаточно большим – порядка 300-350 т в сутки. Некоторое время он хранится в прудах-накопителях или направляется на каскад биологических прудов и поля орошения, с естественной аэрацией и очисткой по принципу самоочищения, но в дальнейшем может направляться в сельскохозяйственное производство для использования в качестве органического удобрения.

Однако размещение отходов в окружающей среде в настоящее время представляет большую проблему, что отмечают многие исследователи (Масютенко с соавт., 2014; Дрегуло, 2016), обоснованно связывая её с возможным загрязнением почвы токсичными элементами и веществами, снижением качества и ухудшением средообразующих функций почвы (Соколов с соавт., 2015; Семенов, Соколов, 2016). Касается это и отходов спиртовой промышленности, в связи с чем идет активный поиск возможных путей утилизации данных отходов в качестве вторичного материального ресурса в земледелии, не нарушающих качества компонентов агроэкосистемы. В настоящее время это является актуальным еще и в связи с изменением ассортимента органических удобрений и снижением доли их классических форм при использовании в земледелии (Титова, 2016).

Возможность использования фугата в качестве удобрения подтверждается наличием в нём большого количества элементов питания растений. Часть азота в фугате содержится в минеральной форме, часть – в составе органических веществ, преимущественно в виде протеина, которые по мере минерализации также становятся источником питания растений. При этом фиксируется положительное влияние органических веществ фугата и как потенциального источника углерода для обеспечения реакций гумификации и накопления гумусовых веществ. Важным является присутствие в фугате фосфора и калия, а также отдельных микроэлементов, например, цинка и меди, которые способствуют повышению урожайности культурных растений и почвенного плодородия.

Однако, признавая наличие у фугата ряда положительных характеристик, нельзя не отметить несколько негативных факторов, сопровождающих процесс его утилизации. Среди них в первую очередь отмечают возможность содержания в отходах тяжелых металлов (ТМ), поступление которых в экосистему небезопасно для её биотического сообщества, может привести к накоплению их в почве, снижению её способности к самоочищению, ингибированию ферментативной активности и повышению фитотоксичности (Колесников с соавт., 2013). Негативное влияние на почву и биоту может оказывать также повышенная кислотность жидких отходов и запах, сопровождающий процесс хранения и внесения фугата в почву (Титова с соавт., 2009).

Степень разработанности темы. Анализ источников литературы показывает, что органосодержащие отходы производства спирта характеризуются потенциальной удобрительной ценностью, определяющей целесообразность их утилизации в качестве органических удобрений. Вместе с тем, они обладают повышенной инвазионной и инфекционной опасностью, что предопределяет контроль этих отходов по санитарно-бактериологическим и санитарно-паразитологическим показателям. В отходах возможно повышенное содержание тяжелых металлов (ТМ), что осложняет санитарно-гигиеническую характеристику объектов, контактирующих с осадками. Для предотвращения негативного воздействия утилизации отходов на биотическое сообщество агроэкосистемы необходимо изучение их влияния на почвы и растения.

Цель и задачи исследований. Цель исследований состояла в оценке влияния утилизации фугата и осадка, образующегося в процессе хранения жидких отходов спиртового производства (ОСВ), на агроэкологическую, санитарно-гигиеническую и санитарно-паразитологическую характеристику оподзоленного чернозема и дерново-подзолистой почвы, а также на урожайность зеленой массы озимой ржи.

В процессе проведения исследований было предусмотрено решение следующих задач:

- определить удобрительную ценность и экологическую безопасность фугата и осадка, образующегося при хранении жидких отходов спиртового производства в биологических прудах-накопителях;
- изучить влияние свежего фугата и фугата после 6^{ти} месячного хранения на всхожесть семян яровой пшеницы и урожайность надземной фитомассы озимой ржи;
- оценить агроэкологическое состояние почвы (оподзоленного чернозема) земельного участка, освободившегося после удаления жидких отходов спиртового производства из прудов-накопителей;
- оценить влияние утилизации осадка, образующегося при хранении жидких отходов спиртового производства, на почвенно-биотический комплекс дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы.

Научная новизна

Установлено, что свежий фугат, являющийся вторичным отходом технологического процесса производства спирта (отход переработки барды послеспиртовой), не токсичен для растений, а фугат после 6-месячного хранения оказывает острый фитотоксический эффект на тест-культуру, заметно снижающийся по мере увеличения степени разбавления исходного продукта с 1:1 до 1:5. Для устранения специфического запаха фугата возможно применение извести совместно с хлорным железом, используемым в качестве коагулянта в дозе 10-20% CaO и 3-5% FeCl₃ от массы отхода спиртовой промышленности.

Выявлено, что фугат обладает потенциальной питательной ценностью, т.к. содержит органическое вещество и основные элементы питания в количестве, сравнимом с жидкими органическими удобрениями. По санитарно-гигиеническим показателям отход безопасен для окружающей среды: валовое содержание ТМ в фугате существенно ниже ОДК для почв, но они характеризуются высокой степенью подвижности, что может быть следствием кислой реакции фугата. Фугат обладает благоприятными санитарно-бактериологическими характеристиками – в

нем отсутствуют патогенные бактерии, жизнеспособные личинки и яйца гельминтов. Свежий фугат не фитотоксичен, а токсичность фугата полугодичного хранения снижается по мере увеличения степени разбавления исходного продукта водой (с 1:1 до 1:5).

Доказано, что прикорневая подкормка растений озимой ржи свежим фугатом (в дозе, соответствующей 100 м³/га) по фону основного внесения фугата после длительного хранения во всю массу почвы (в дозе, соответствующей 200 м³/га), способствует приросту растений в высоту и достоверному повышению урожайности надземной фитомассы – на 35% в сравнении с урожайностью контрольного варианта. Внекорневая подкормка вегетирующих растений раствором свежего фугата на 35-й день после появления всходов, в дозе, соответствующей 100 м³/га, не оказывает влияния на синтез биомассы ржи.

Использование фугата, нейтрализованного раствором КОН или NH₄ОН, в качестве прикорневой подкормки неэффективно, а внесение нейтрализованного фугата по вегетирующим растениям приводит к достоверному снижению урожайности (на 15-16%) в сравнении с соответствующими вариантами, где внекорневая подкормка не проводилась.

Практическая значимость работы. Осадки, скапливающиеся на дне биологических прудов-отстойников при длительном хранении в них жидких отходов спиртовой промышленности (ОСВ), характеризуются высоким содержанием органического вещества, общего азота, подвижных соединений основных элементов питания и удовлетворяют требованиям к осадкам сточных вод, рекомендуемым к использованию в качестве органических удобрений (ГОСТ Р 17.4.3.07-2001). По санитарно-бактериологическим и санитарно-паразитологическим показателям они соответствуют нормативам СанПиН 2.1.7.1287-03. Содержание ТМ в осадке, предназначенном для утилизации, не превышает требований ГН 2.1.7.2511-09.

Хранение жидких отходов спиртового производства в биологических прудах не приводит к химическому и микробиологическому загрязнению почв после их удаления. Четырехлетнее содержание участка после закрытия прудов-накопителей под покровом растительности (рапс, донник и пр.) способствовало улучшению агрохимической характеристики оподзоленного чернозема (снижению кислотности, повышению содержания гумуса, подвижных соединений фосфора и калия). Санитарно-бактериологические (индексы БГКП и энтерококков, патогенные бактерии, яйца и личинки гельминтов) и санитарно-гигиенические (содержание валовых и подвижных форм свинца, кадмия, меди, цинка, никеля, мышьяка и ртути) показатели почвы при этом не превышают нормативных значений и соответствуют требованиям СанПиН 2.1.7.1287-03, ГН 2.1.7.2511-09 и ГН 2.1.7.2041-06.

Внесение осадка сточных вод, образовавшегося при длительном хранении жидких отходов спиртового производства, в дозе 70 т/га спустя 4 года привело к повышению содержания органического вещества и подвижных соединений фосфора на 36% и 28% соответственно в сравнении с начальной характеристикой дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы. Кислотность почвы (рН_{kcl}), обеспеченность её минеральными формами азота (NO₃⁻) и подвижными соединениями калия остались без изменений, но на устойчиво высоком уровне.

Методология и методы исследований. Методология исследований основана на системном подходе к выбору задач для достижения поставленной цели с учетом публикаций отечественных и зарубежных ученых. В работе использованы эмпирические методы исследований (мониторинговые наблюдения в экосистеме, вегетационный опыт и лабораторный анализ), теоретические (дисперсионный анализ и метод вариационной статистики), а также цифровое и текстовое отображение полученных результатов.

Достоверность экспериментальных данных и результатов их обобщения и анализа подтверждается количеством наблюдений и учетов, выполненных согласно программе исследований, а также данными статистической обработки.

Основные положения, выносимые на защиту

1. Фугат как вторичный отход, образующийся при переработке барды послеспиртовой, обладает удобрительными свойствами, безопасен с санитарно-гигиенических позиций и не токсичен для растений.
2. Фугат после 6-месячного хранения следует использовать только в качестве основного удобрения, а свежий фугат можно применять как в основное внесение, так и в подкормку прикорневым способом.
3. Освобождение прудов-накопителей от отходов спиртового производства и 4-летнее содержание участка под покровом растительности приводит к улучшению агрохимической характеристики оподзоленного чернозема. Санитарно-бактериологические и санитарно-гигиенические показатели почвы при этом не превышают нормативных значений.
4. Осадок, скапливающийся на дне биологических прудов-отстойников при хранении в них жидких отходов спиртовой промышленности, может быть использован в качестве органического удобрения. Максимальная разовая доза внесения осадка определяется содержанием азота и составляет 70 т/га.
5. Утилизация осадка, образующегося при хранении жидких отходов спиртовой промышленности, способствует повышению плодородия и микробиологической активности дерново-подзолистой почвы, не приводит к накоплению ТМ и не ухудшает санитарно-бактериологическую и санитарно-паразитологи-ческую характеристику почвы.

Апробация результатов исследований

Основные положения диссертации доложены, обсуждены и одобрены на ежегодных научных конференциях в ФГБОУ ВО «Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия» в 2017-2020 гг. Материалы, вошедшие в диссертацию, были представлены на международной научно-практической конференции «Агрохимикаты в XXI веке: теория и практика применения» (Нижний Новгород, НГСХА, 2017) и международной научной экологической конференции «Экологические проблемы развития агроландшафтов и способы повышения их продуктивности» (Краснодар, КубГАУ, 2018).

Публикация результатов исследований. Результаты исследований опубликованы в 4^х статьях в журналах из Перечня ВАК Минобрнауки РФ, в 1^м журнале, цитируемом в системе РИНЦ и в 2^х статьях в сборниках трудов. Общее количество работ представлено 8 наименованиями (личное участие оценивается в 2,9 усл. печ. л., или 66% общего объема).

Личный вклад автора. Автором сформулирована научная гипотеза, определены основные направления, цели и задачи, на основе чего разработана программа исследований. В процессе реализации программы проведены мониторинговые наблюдения на участках утилизации отходов спиртового производства, экспериментальные исследования в вегетационных и модельных лабораторных опытах, результаты которых были сгруппированы, математически обработаны и описаны. На основе полученных результатов были сделаны обобщения и определены научные положения, в дальнейшем сформулированы заключение и выводы по работе.

Работа выполнена в период обучения автора в заочной аспирантуре по специальности 03.02.08 – экология (биологические науки). Исследования проведены в соответствии с тематическим планом научных исследований факультета почвоведения, агрохимии и агроэкологии ФГБОУ ВО «Нижегородская ГСХА» по теме «0120.0805769 – Оценка антропогенного воздействия на природно-хозяйственную ценность почв и компонентов агроэкосистемы (агрофитоценоз), разработка рекомендаций по восстановлению нарушенных и загрязненных земель».

Структура и объем работы. Диссертационная работа включает введение, обзор литературы, главу «Объекты, условия и методы проведения исследований», 4 результативных главы, заключение, выводы, список использованной литературы и приложения. Она написана на 135 страницах машинописного текста, включает 29 таблиц, 7 рисунков и 24 приложения. При подготовке работы автором проанализированы 157 научных публикаций, в т.ч. 19 работ зарубежных исследователей.

Благодарности. Автор благодарен научному руководителю доктору сельскохозяйственных наук, профессору Вере Ивановне Титовой за методическую помощь и научные консультации по теме исследований, а также сотрудникам отдела земельных отношений и обеззараживания Тульской испытательной лаборатории ФГБУ «Центральная научно-методическая ветеринарная лаборатория» за помощь в организации мониторинговых наблюдений, проведении лабораторных испытаний отходов спиртзаводов и почвенных образцов с участков их утилизации.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Глава 1. Обзор источников литературы

В главе дана трактовка понятий и терминов в экологии и сфере обращения с отходами, используемыми в сельскохозяйственном производстве и закрепленными в нормативно-законодательных актах РФ. По опубликованным данным дана оценка объемов образования отходов спиртовой промышленности и различий в их химическом составе. Констатировано, что удобрительная ценность и безопасность отходов определяются большим количеством условий и факторов, что предопределяет необходимость проведения исследований по оценке возможности утилизации отходов спиртовой промышленности в агропромышленном комплексе страны.

Глава 2. Объекты, условия и методы проведения исследований

Основные исследования по теме диссертации проведены в период с 2014 по 2019 гг. на территории Тульской области, а также на кафедре агрохимии и

агроэкологии Нижегородской ГСХА. Мониторинговые наблюдения в полевых условиях выполнены на двух земельных участках в Тульской области.

Участок №1 площадью 3,34 га расположен в Плавском районе на черноземе оподзоленном среднемогущем тяжелосуглинистом. Он представляет собою три котлована (пруды-накопители, отстойники), в которых до начала исследования хранились жидкие отходы производства спирта. В ноябре 2014 года проведена очистка прудов, участок выровнен и оставлен на восстановление нарушенных за это время биогеоценологических функций почв, т.е. на рекультивацию. С мая 2015 года на нём последовательно выращивали культуры сплошного сева (горчица, рапс). Растительная масса культур ежегодно запахивалась в почву в качестве зеленого удобрения. Других удобрений на данном участке не вносили. Период биологической рекультивации длился до ноября 2018 года и составил 4 года.

Участок №2 площадью 33,9 га расположен в Дубенском районе на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве. Весной 2015 г. на нём был утилизирован осадок, образованный и накопленный в процессе хранения жидких отходов спиртового производства на дне прудов-отстойников. После внесения ОСВ поле было вспахано и в течение следующего года не обрабатывалось. Весной 2017 и 2018 гг. были высеяны однолетние культуры (рапс, горчица), фитомассу которых в конце лета заделали в почву в качестве зеленого удобрения. Весной 2018 года, до посева культуры, в поле были заложены образцы ткани для определения способности почвы к разложению целлюлозы. Весной 2019 года в поле высеяли викоовсяную смесь с подсевом клевера для создания на участке сплошного травяного покрова.

Вегетационный опыт №1 заложен на светло-серой лесной легкосуглинистой почве с целью установления влияния фугата на урожайность зелёной массы озимой ржи при использовании его в основное удобрение или в подкормку (2015-2017 гг.). Для основного внесения использовали фугат после его 6^{ти} месячного хранения, а для подкормок – свежий фугат. Изучали собственно фугат (фугат чистый), а также фугат, нейтрализованный щелочью (KOH и NH₄OH). Объемы нейтрализующих материалов определяли опытным путем – доведением фугата до 6,8 единиц рН. Рожь Московская 15, росла в опыте 50 дней. Первая подкормка (под корень) проведена на 20-й день после всходов, вторая (дождеванием) – на 35-й день после всходов. Доза фугата – 200 мл на сосуд (~ 100 м³/га). В конце опыта в зелёной массе ржи определили содержание нитратов.

Лабораторно-вегетационный опыт №2 предусматривал оценку влияния разбавленных растворов фугата при внесении его в почву на всхожесть и энергию прорастания семян культурных растений. Тест-культура – яровая пшеница. Исследования проведены в три срока закладки по единой схеме: в 2017 г. опыт заложен два раза – в апреле и мае, а в 2018 году – только в апреле.

Основными объектами исследований были отходы спиртовой промышленности: фугат как отход переработки барды послеспиртовой и осадок, накопленный в процессе хранения жидких отходов спиртового производства на дне прудов-отстойников сточных вод спиртового производства, характеристика химического состава которых приведена в таблице 1.

Кислотность фугата выше значения, допустимого для фильтрата барды послеспиртовой при использовании её в качестве удобрения (ГОСТ Р 53116-2008).

Содержание органического вещества почти в два раза меньше нормы, а содержание фосфора и калия – на уровне, характерном для данного вида отходов. Осадок, образующийся при хранении отходов спиртзавода, характеризуется высоким содержанием органического вещества, азота, фосфора и калия. Значение рН выходит за границу допустимого (ГОСТ Р 17.4.3.07-2001 Охрана природы. Почвы. Требования к свойствам осадков сточных вод ... и ГОСТ Р 54651-2011 Удобрения органические на основе осадков сточных вод) в сторону подкисления. Фугат для опытов по содержанию элементов мало отличался от фугата, используемого на участке №1.

1. Химический состав отходов спиртовой промышленности, используемых в работе

Показатели	рН	Орг. вещество, %	Азот	Фосфор	Калий
			%		
Фугат из отстойников (участок 1)*	4,8	46,9	0,11	0,08	0,05
Фугат свежий, опыты №№1, 2*	4,1	36,4	0,12	0,07	0,06
Норма (ГОСТ Р 53116-2008)*	5,0-7,0	> 80	>0,10	>0,04	>0,04
ОСВ, участок №2**	5,3	48,3	1,72	0,40	0,06
Норма (ГОСТ Р 17.4.3.07-2001)**	5,5-8,5	≥20	≥0,6	≥1,7	н/регл.
Норма (ГОСТ Р 54651-2011)**	6,0-8,0	≥30	≥0,6	≥0,7	≥0,1

* - % на естественную влажность, ** - % на сухое вещество

Аналитические методы исследований. В почвенных образцах определяли: рН солевой вытяжки по ГОСТ 26483-85; органическое вещество – по ГОСТ 26213-91; подвижные соединения фосфора и калия в дерново-подзолистой и серой лесной почве – по ГОСТ Р 54650-2011, в оподзоленном черноземе – по ГОСТ 26204-91; общий азот – по ГОСТ 26715-85. Валовое содержание ТМ в почве определяли по прописи М-МВИ-80-2008 и ПНД Ф 16.1:2.2:2.3:3.36-2002, подвижные формы ТМ – в соответствии с «Методическими указаниями по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства» (М., ЦИНАО, 1992) на ААА «Спектр 5-4» и атомно-абсорбционном спектрометре КВАНТ-Z.ЭТА.

Нитрифицирующую активность почв оценивали методом С.П. Кравкова; целлюлозоразлагающую способность – аппликационным методом Кристенсена; интенсивность выделения CO₂ – газометрическим методом Галстяна с оценкой по шкале, предложенной Гапонюк, Малаховым; фитотоксичность фугата – с использованием положений ГОСТ 12038, содержание нитратов в зеленой массе ржи по МУ 5048-89.

Основные показатели качества в органосодержащих отходах спиртовой промышленности определяли по ГОСТ 26713-85, ГОСТ 27979-88, ГОСТ 27980-88, ГОСТ 26717-85, ГОСТ 26718-85, содержание ТМ – по ГОСТ Р 53218-2008. Отходы и почву на микробиологические показатели анализировали в соответствии с Методическими рекомендациями от 24.12.2004 г., №ФЦ/4022 (4.1. Методы контроля....).

Глава 3. Оценка возможности использования фугата в агроэкосистеме

В задачи опыта №1 входила оценка влияния фугата, нейтрализованного щелочами калия или аммония, на урожайность зеленой массы озимой ржи при внесении фугата разными приемами. Результаты опыта приведены в таблице 2.

2. Влияние фугата на урожайность зеленой массы озимой ржи и содержание нитратов в ней, среднее за 2015-2017 гг.

Варианты опыта	Урожайность, г/сосуд			NO ₃ ⁻ , мг/кг			Высота растений		
	г / сосуд	+, - к вар.1		2015	2016	2017	см	+, - к вар.1	
		г/сосуд	%					см	%
1. Фугат	14,57	-	-	160	180	165	20,8	-	-
2. Фугат + ПП	19,65	5,08	35	175	205	190	24,0	3,2	15
3. Фугат + ПП + КОН	20,75	6,18	42	190	230	190	21,5	0,7	3
4. Фугат + ПП + NH ₄ OH	20,35	5,78	40	235	280	250	21,3	0,5	2
5. Фугат + ПП + ВП	17,32	2,75	19	185	245	205	20,8	0	0
6. Фугат+ПП+ВП+КОН	17,37	2,80	19	180	260	225	19,7	-1,1	-5
7. Фугат+ПП+ВП+NH ₄ OH	17,30	2,73	19	250	315	280	19,8	-1,0	-5
<i>НСР₀₅</i>	<i>2,72</i>			<i>42</i>	<i>34</i>	<i>36</i>	<i>2,4</i>		

После проведения прикорневой подкормки (ПП) в варианте с использованием под корень чистого фугата по фону внесения фугата длительного хранения во всю массу почвы (Фугат) наблюдали резкий и статистически доказательный прирост растений в высоту и раннее начало фазы кущения (вар. 2). В вариантах с использованием в прикорневую подкормку нейтрализованного фугата отмечена тенденция прироста растений в высоту, а в вариантах с использованием нейтрализованного фугата в подкормку – тенденция отрицательного влияния на высоту растений.

Содержание нитратов в зеленой массе ржи достаточно высоко. На вариантах с дополнительным поступлением к растениям азота (при обработке фугата аммиаком) отмечено достоверное повышение концентрации нитратов в фитомассе. Превышения ПДК нитратов (500 мг/кг) в растениях ржи не отмечено.

Урожайность надземной фитомассы ржи при использовании прикорневой подкормки фугатом по фону его основного внесения (вар. 2) увеличилась существенно – на 35%, но нейтрализация кислотности фугата при этом (вар. 3, 4) эффекта не дала. Внекорневая подкормка ржи чистым фугатом на урожайности не сказалась. Внекорневая подкормка растений нейтрализованным свежим фугатом (вар. 6, 7) привела к снижению урожайности культуры в сравнении с соответствующими вариантами без листовой подкормки (вар. 3, 4) на 15-16%.

Результаты изучения фитотоксичности фугата (модельный лабораторно-вегетационный опыт №2) показаны в таблице 3.

3. Влияние фугата на проростки яровой пшеницы, среднее по 3^м опытам

Варианты опыта	Фугат свежий					Фугат после 6-месячного хранения				
	фитотоксичность, балл	масса проростков, мг		средняя длина, мм		фитотоксичность, балл	масса проростков, мг		средняя длина, мм	
		общая	удельная	проростков	корней		общая	удельная	проростков	корней
Контроль	-	2754	56,2	40	65	-	2754	56,2	40	65
Фугат	0	2995	62,4	65	73	4	0	0	0	0
Фугат 1:1	0	3146	64,2	62	77	4	0	0	0	0
Фугат 1:3	0	2184	45,5	47	56	4	110	27,5	29	22
Фугат 1:5	0	2288	46,7	43	54	2	2128	53,2	45	43
<i>НСР₀₅</i>		<i>413</i>	<i>7,4</i>	<i>7</i>	<i>9</i>		<i>568</i>	<i>9,3</i>	<i>11</i>	<i>10</i>

Установлено, что свежий фугат (отход переработки барды послеспиртовой) не оказывает на проростки пшеницы фитотоксического эффекта, что обуславливает принципиальную возможность его утилизации в качестве удобрения. Фугат после длительного хранения оказывает острый фитотоксический эффект на тест-культуру, который заметно снижается по мере увеличения степени его разбавления. Из этого следует, что технология утилизации данного отхода в качестве удобрения должна предусматривать внесение в почву преимущественно свежего фугата, минимизируя длительность его хранения.

Глава 4. Влияние хранения отходов спиртовой промышленности в биологических прудах на агроэкологическое состояние почвы

Основная цель данного исследования – характеристика удобрительной ценности и экологической безопасности фугата и оценка его влияния на почву как следствие хранения фугата в биологических прудах-отстойниках. Для оценки потенциальной возможности загрязнения почв тяжелыми металлами (ТМ) при размещении на них отходов спиртового производства концентрацию элементов в отходе сравнили с нормативными значениями, установленными для почв (табл. 4).

4. Содержание ТМ в отходах, хранящихся в прудах-накопителях

Показатели	Валовое содержание					Подвижные формы				
	Pb	Cd	Cu	Zn	Ni	Pb	Cd	Cu	Zn	Ni
Среднее, факт	17,8	0,9	28,8	100,9	6,9	0,13	<0,1	3,5	32,9	5,2
ГОСТ Р 53116-2008	130,0	2,0	не регламентир.			не регламентируется				
ОДК (ПДК) для почв, не >*	65,0	1,0	66	110	40	6,0	-	3,0	23,0	4,0

* ОДК для валового содержания (ГН 2.1.7.2511-09), ПДК для подвижных форм (ГН 2.1.7.2041-06)

Данные свидетельствуют, что валовое содержание свинца, меди и никеля в отходах из прудов существенно ниже ОДК для почв. Содержание подвижных форм цинка, меди и никеля превышает ПДК, установленные для почв.

Патогенные бактерии, жизнеспособные личинки и яйца гельминтов в отходах отсутствуют, но по санитарно-показательным микроорганизмам их категория загрязнения, в соответствии с СанПиН 2.1.7.1287-03, трактуется как умеренно опасная (10-100 КОЕ/г), что может быть экологически небезопасным.

Длительное содержание земельного участка под массой отходов спиртовой промышленности оказало влияние на агрохимические показатели почвы (табл. 5).

5. Агрохимическая характеристика почвы участка №1

Показатели	Орг. в-во, %	pH _{kcl}	P ₂ O ₅ , мг/кг	K ₂ O, мг/кг
2014 г., Начало опыта	2,2	6,0	105	135
2018 г. Фон*	3,7	5,8	128	140
2018 г.				
Интервал значений	2,2 – 2,6	5,70 – 6,32	120 – 178	129 – 172
Среднее ± ошибка среднего	2,46 ± 0,12	6,00 ± 0,14	143 ± 23	146 ± 19
Коэффициент вариации, %	27	18	44	43

* - здесь и далее – территория за пределами участка с генетически сопоставимыми почвами

Освобождение участка от отходов и содержание его под покровом однолетней растительности способствовало повышению содержания органического вещества и подвижных соединений фосфора и калия при стабильной реакции среды.

Патогенные и болезнетворные микроорганизмы, в том числе энтеробактерии (патогенные сероварианты кишечной палочки, сальмонеллы, протеи), энтерококки (стафилококки, кластридии, бациллы) и энтеровирусы в пробах почвы не обнаружены. Нет также жизнеспособных яиц и личинок гельминтов, включая нематод, кишечных патогенных простейших, а также личинок и куколок синантропных мух. Индексы БГКП и энтерококков соответствуют норме (СанПиН 2.1.7.1287-03).

О санитарно-гигиеническом состоянии почв, длительное время подвергавшихся воздействию отходов производства спирта, а после их удаления прошедших период биологической рекультивации, можно судить по данным таблицы 6.

Установлено, что и валовое содержание, и содержание подвижных форм ТМ не превышает нормативных значений. Однако валовое содержание отдельных тяжелых металлов превышает фоновые характеристики. Например, валовое содержание меди в почве участка №1 выше фонового на 2,9 мг/кг (34% к фону).

6. Содержание тяжелых металлов и мышьяка в почве участка №1

Показатели	Свинец	Кадмий	Медь	Цинк	Никель	Мышьяк	Ртуть
Валовое содержание, 2014 г.							
Участок №1	24,1	0,8	13,1	44,4	39,7	0,8	0,146
Валовое содержание, 2018 г.							
Участок №1	17,0	0,7	11,5	50,5	37,2	0,63	0,130
Фон	19,0	0,7	8,6	50,0	36,3	0,80	0,114
ОДК*	130	1,0	132	220	80	10	2,1
Подвижные формы, 2018 г.							
Участок №1	< 0,5	< 0,125	< 0,1	1,3	0,7	н/о	н/о
Фон	1,6	< 0,125	< 0,1	1,3	0,8	н/д	н/д
ПДК**	6,0	-	3,0	23,0	4,0		

* - ГН 2.1.7.2511-09 Ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве (для суглинистых почв с рН выше 5,5); ** - Гигиенические нормативы ГН 2.1.7.2041-06. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве

За 4^х –летний период биологической рекультивации почвы валовое содержание свинца снизилось на 29% к результату 2014 года, содержание кадмия – на 13%, меди – на 12%, никеля – на 6% и ртути – на 14%. Валовое содержание цинка при этом увеличилось на 6,1 мг/кг (14% к 2014 г.), но не превысило ОДК.

Глава 5. Влияние утилизации осадков сточных вод, образующихся при хранении отходов спиртзавода, на почвенно-биотический комплекс

Целью исследования была оценка влияния осадков (ОСВ), образующихся в результате длительного хранения жидких отходов спиртового производства в прудах-накопителях, на агрохимическое и санитарно-гигиеническое состояние почвы и активность её биотического компонента на участке №2.

Сведения по содержанию токсикантов в ОСВ приведены в таблице 7.

7. Валовое содержание тяжелых металлов и мышьяка в ОСВ

Показатели	Pb	Cd	Zn	Cu	Ni	Cr	Hg	As
ОСВ, 2015 г.	18,4	0,8	36,5	27,5	17,6	0,007	0,263	1,2
ГОСТ Р 17.4.3.07-2001*	250	15	1750	750	200	500	7,5	10
ГОСТ Р 54651-2011**	130	2	220	132	40	90	2,1	2,0
ГН 2.1.7.2511-09***	65	1,0	110	66	40	-	-	5

* ГОСТ Р 17.4.3.07-2001 Охрана природы. Почвы. Требования к свойствам осадков сточных вод при использовании их в качестве удобрений. Валовое содержание тяжелых металлов для осадков I группы, мг/кг сухого вещества, не более;

** - ГОСТ Р 54651-2011 Удобрения органические на основе осадков сточных вод. Технические условия; *** ГН 2.1.7.2511-09 Ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве (для суглинистых почв с pH ниже 5,5).

Установлено, что содержание ТМ в осадке является невысоким, что, в соответствии с ГОСТ Р 17.4.3.07-2001, позволяет отнести данные отходы не только ко II группе, но и к I группе, и использовать их под все сельскохозяйственные культуры. Оно также не превышает ОДК для почв. В ОСВ отсутствуют патогенные бактерии, жизнеспособные личинки и яйца гельминтов. По санитарно-показательным микроорганизмам (индекс бактерий группы кишечной палочки – индекс БГКП и индекс энтерококков – фекальные стрептококки, равны 1 КОЕ/г) осадки также соответствуют требованиям СанПиН 2.1.7.1287-03.

О влиянии осадков на основные агрохимические показатели почвы можно судить, основываясь на данных таблицы 8.

8. Влияние ОСВ на агрохимическую характеристику почвы участка №2

Показатели	Орг. в-во, %	pH _{kcl}	P ₂ O ₅ , мг/кг	K ₂ O, мг/кг
<i>Участок №2, 2015 г.</i>				
Интервал значений	0,6 – 1,2	5,8 – 6,4	114 – 261	117 – 301
Среднее ± ошибка среднего	0,92 ± 0,07	6,2 ± 0,12	147 ± 19	209 ± 30
Коэффициент вариации, %	12	17	39	44
Фон	0,93	6,0	155	192
<i>Участок №2, 2019 г.</i>				
Интервал значений	0,80 – 1,67	5,8 – 6,3	132 – 280	156 – 310
Среднее ± ошибка среднего	1,31 ± 0,11	6,2 ± 0,10	188 ± 22	214 ± 25
Коэффициент вариации, %	14	15	28	31
Фон	1,01	6,0	146	182

На начало наблюдений дерново-подзолистая среднесуглинистая почва участка №2 имела нейтральную реакцию среды и высокое содержание основных элементов питания при очень низкой обеспеченности гумусом. Спустя 4 года после внесения в почву органического удобрения в виде ОСВ содержание подвижных соединений фосфора возросло на 28% к результату 2015 года, содержание органического вещества – на 36%, кислотность почвы (pH_{kcl}) и обеспеченность подвижными соединениями калия остались без изменений, но на устойчиво высоком уровне.

Суждение о санитарно-гигиенической характеристике почв участка утилизации ОСВ можно сделать на основе данных таблицы 9.

Валовое содержание токсикантов в почве участка утилизации спустя 4 года после их внесения не превышает норматива, варьируя в пределах 20-30% от ОДК почти по всем элементам, за исключением цинка, содержание которого

приближается к 50% от ОДК. ПДК не превышена ни по одному из элементов, но концентрация подвижных форм ТМ на участке утилизации выше фоновой. Индексы бактерий группы кишечных палочек и энтерококков характеризуют почву как чистую; патогенных микроорганизмов, яиц и личинок гельминтов не обнаружено.

9. Содержание тяжелых металлов и мышьяка в почве участка №2

Показатели	Свинец	Кадмий	Медь	Цинк	Никель	Мышьяк	Ртуть
Валовое содержание, 2015 г.							
Участок №2	16,7	0,7	7,1	39,4	37,1	1,4	н/о
Валовое содержание, 2019 г.							
Участок №2	23,7	0,7	18,2	60,6	36,5	1,10	0,137
Фон	21,4	0,7	14,2	49,1	37,4	0,94	0,128
ОДК*	65	1,0	66	110	40	5	2,1
Подвижные формы, 2019 г.							
Участок №2	1,9	<0,1	1,1	4,8	1,05	н/о	н/о
Фон	1,7	<0,1	0,8	2,2	0,88	н/о	н/о
ПДК**	6,0	-	3,0	23,0	4,0	-	-

* - ГН 2.1.7.2511-09 Ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве (для суглинистых почв с рН ниже 5,5); ** - Гигиенические нормативы ГН 2.1.7.2041-06. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве

Способность микробиотического сообщества почвы к разложению безазотистых веществ варьирует в пределах 37,0-68,2%, нитрифицирующая активность – в пределах 24,9-45,5 мг/кг/7суток, в среднем оцениваясь как «средняя – сильная» и «средняя – повышенная» соответственно. Дыхание почвы характеризуется как среднее, с колебаниями от 8,4 до 18,7 мг CO₂/10г/суток.

Глава 6. Мероприятия по контролю состояния почв при работе с отходами спиртовой промышленности

Рассмотрены основные требования к размещению жидких отходов и ОСВ в окружающей среде, приведен перечень рекомендуемых показателей контроля и периодичность аналитических измерений, оформленные в программу экологического мониторинга почв на участках утилизации отходов.

Основываясь на санитарно-гигиенических нормативах, рассчитаны дозы внесения ОСВ, образующегося при длительном хранении жидких отходов спиртовой промышленности в биологических прудах-накопителях. При расчетах учтены ОДК валового содержания ТМ в почве (ГОСТ Р 17.4.3.07-2001 Охрана природы. Почвы. Требования к свойствам осадков сточных вод ...) и рекомендации по поступлению общего азота в почву в составе осадка (СанПиН 2.1.7.573-96). Установлено, что содержание тяжелых металлов в осадке практически не лимитирует дозы его внесения. При этом минимальная общая доза ОСВ определяется содержанием кадмия в почве и осадках и составляет 375 т/га по сухому веществу. Учитывая норматив по поступлению азота в почву в составе осадка (в соответствии с п. 3.10 Приложения 3 СанПиН 2.1.7.573-96, доза азота не должна превышать 300 кг/га), максимальная разовая доза ОСВ, которая может быть внесена при использовании осадка в качестве органического удобрения на участке №2, равна 70 т/га при 75% влажности осадка.

ВЫВОДЫ

1. Фугат, являющийся вторичным отходом технологического процесса производства спирта (отход переработки барды послеспиртовой), при сравнительно невысоком содержании органического вещества (около 50% при норме не менее 80% в расчете на сухое вещество) содержит основные элементы питания в количестве, сравнимом с жидкими органическими удобрениями. Валовое содержание ТМ в фугате соответствует требованиям ГОСТ Р 53116-2008, регламентирующим требования к нему как к органическому удобрению, и существенно ниже ОДК для почв (ГН 2.1.7.2511-09). При этом тяжелые металлы характеризуются высокой степенью подвижности, что может быть следствием кислой реакции этого отхода. Фугат обладает благоприятными санитарно-бактериологическими характеристиками: в нем отсутствуют патогенные бактерии, жизнеспособные личинки и яйца гельминтов, что удовлетворяет требованиям СанПиН 2.1.7.1287-03. Однако по санитарно-показательным микроорганизмам категория загрязнения фугата, в соответствии с СанПиН 2.1.7.1287-03, трактуется как умеренно опасная (10-100 КОЕ/г).
2. Свежий фугат не токсичен для растений: использование для увлажнения семян тест-культуры (яровая пшеница) разбавленного фугата (1:1) позволило увеличить удельную массу проростков на 14% по отношению к контролю и на 37-41% по отношению к вариантам с большей кратностью разбавления исходного отхода. Фугат после длительного хранения в неразбавленном виде и при соотношении фугат : вода как 1:1 был высокотоксичен и привел к полному угнетению проростков пшеницы.
3. Прикорневая подкормка растений озимой ржи свежим фугатом (в дозе, соответствующей 100 м³/га) по фону основного внесения фугата после 6^{ти} месячного хранения во всю массу сосуда (в дозе, соответствующей 200 м³/га), способствует приросту растений в высоту и достоверному повышению урожайности надземной фитомассы – на 35% в сравнении с урожайностью контроля. Внекорневая подкормка вегетирующих растений раствором свежего фугата на 35-й день после появления всходов, в дозе, соответствующей 100 м³/га, не оказала влияния на урожайность зеленой массы растений. Содержание нитратов в зеленой массе растений ржи при этом было высоким, но во все годы исследований не превысило предельно допустимой концентрации, которая предъявляется к зеленым кормам при направлении их к скармливанию животным.
4. Нейтрализация свежего фугата раствором КОН или NH₄ОН не привела к повышению сбора надземной фитомассы растений, а внесение нейтрализованного фугата по вегетирующим растениям приводит к достоверному снижению урожайности (на 15-16%) в сравнении с соответствующими вариантами, где внекорневая подкормка не проводилась.
5. Размещение жидких отходов спиртового производства в биологических прудах-отстойниках земельного участка на оподзоленном черноземе привело к снижению содержания органического вещества в почве вследствие

механического нарушения и перемешивания с неплодородными почвенными массами. Однако ни химического, ни микробиологического загрязнения почв, находящихся в течение более 6 лет под влиянием отходов спиртового производства, при этом не выявлено.

6. Освобождение земельного участка от отходов спиртового производства и дальнейшее четырехлетнее содержание его под покровом растительности (рапс, донник, амарант и пр.), способствовало повышению содержания гумуса (на 0,26% или 12%), подвижных соединений фосфора (на 38 мг/кг или 36% к уровню 2014 года) и подвижных форм калия (на 11 мг/кг или 8%). Санитарно-бактериологические (индексы БГКП и энтерококков, патогенные бактерии, яйца и личинки гельминтов) и санитарно-гигиенические (содержание валовых и подвижных форм свинца, кадмия, меди, цинка, никеля, мышьяка и ртути) показатели почвы при этом не превышают нормативных значений и соответствуют требованиям СанПиН 2.1.7.1287-03, ГН 2.1.7.2511-09 и ГН 2.1.7.2041-06.
7. Осадки, образующиеся при длительном хранении жидких отходов производства спирта в прудах-накопителях, характеризуются высоким содержанием органического вещества (48,3% при норме не менее 20% в расчете на сухое вещество), общего азота (1,76% при норме не менее 0,6%) и удовлетворяют требованиям к ОСВ, рекомендуемым к использованию в качестве органических удобрений (ГОСТ Р 17.4.3.07-2001). По санитарно-бактериологическим и санитарно-паразитологическим показателям они соответствуют требованиям СанПиН 2.1.7.1287-03. Концентрация тяжелых металлов (Pb, Cd, Zn, Cu, Ni, Cr) в осадках соответствует требованиям ГОСТ Р 54651-2011 и не превышает гигиенических нормативов (ГН 2.1.7.2511-09).
8. До начала утилизации ОСВ (2015 г.) дерново-подзолистая среднесуглинистая почва участка имела нейтральную реакцию среды и высокое содержание основных элементов питания (подвижных соединений фосфора и калия, нитратного азота) при очень низкой обеспеченности гумусом. Спустя 4 года после разового внесения осадка в дозе 70 т/га агрохимическая характеристика почвы улучшилась: содержание подвижных соединений фосфора возросло на 28% к результату 2015 года, содержание органического вещества – на 36% к начальному значению. Кислотность почвы (pH_{KCl}), обеспеченность её минеральными формами азота (NO_3) и подвижными соединениями калия остались без изменений. При этом произошло повышение содержания в почве отдельных элементов: цинка – на 54% и меди – вдвое в сравнении с начальной характеристикой почвы. Однако ни по одному из элементов, которые можно рассматривать в качестве токсикантов, ориентировочно допустимые (для валового содержания) и предельно допустимые (для подвижных форм ТМ) концентрации не превышены, составляя не более 20-30% от уровня ОДК или ПДК.
9. Эпидемиологическое состояние почвы участка утилизации ОСВ оценивается как благоприятное – индексы бактерий группы кишечных палочек и энтерококков характеризуют почву как чистую; патогенных микроорганизмов, яиц и личинок гельминтов не обнаружено. Микробиологическая активность

почвенной биоты по способности к разложению безазотистых (целлюлозолитическая активность) и азотсодержащих соединений (нитрифицирующая активность), а также по показателю «дыхание почвы» характеризуется как средняя с тенденцией в сторону высокой активности.

Список работ, опубликованных по теме диссертации

Статьи в научных журналах, рекомендованных перечнем ВАК

1. Дабахова Е.В., **Питина И.А.** Агроэкологические проблемы использования органических удобрений в сельском хозяйстве / Агрехимический вестник. – 2017. – № 2. – С. 10-14 (*журнал входит в международную реферативную базу данных и систем цитирования СА (pt)*)
2. Титова В.И., **Питина И.А.**, Судаков Е.Ю. Влияние длительной утилизации барды послеспиртовой на агроэкологическое состояние серой лесной почвы / International agricultural journal (Международный сельскохозяйственный журнал). – 2019. – Том 62. – № 4. – С. 111-120. DOI:10.24411/2588-0209-2019-10087.
3. Титова В.И., **Питина И.А.** Дабахов М.В. Оценка фитотоксичности фугата на яровой пшенице и возможности накопления в почве тяжелых металлов / Международный сельскохозяйственный журнал. – 2019. – №6 (372). – С. 24-27. DOI: 10.24411/2587-6740-2019-16098
4. **Питина И.А.** Оценка возможности использования отхода спиртовой промышленности (фугата) в земледелии / Агрехимический вестник. – 2020. – №1. – С. 74-78. DOI: 10.24411/1029-2551-2020-10012 (*журнал входит в международную реферативную базу данных и систем цитирования СА (pt)*)

Статьи в прочих научных журналах

5. **Питина И.А.**, Бусыгина Е.М., Дабахова Е.В. Влияние возрастающих доз барды послеспиртовой на развитие озимой пшеницы в модельных опытах / Агрехимикаты в XXI веке: теория и практика применения. Материалы Международной научно-практической конференции. – Н.Новгород: Нижегородская ГСХА, 2017. – С. 185-188.
6. **Питина И.А.** К разработке рекомендаций по восстановлению земель, загрязненных вследствие сброса неочищенных сточных вод на рельеф местности / Экологические проблемы развития агроландшафтов и способы повышения их продуктивности / сб. ст. по мат. междунар. научн. экол. конф. / 27-29.03.2018 г. // Краснодар, КубГАУ, 2018. – С. 35-38.
7. **Питина И.А.**, Титова В.И., Судаков Е.Ю. Влияние различных доз барды послеспиртовой на урожайность яровой пшеницы в начальные фазы роста / Вестник Нижегородской ГСХА. – 2019. – № 4. – С. 41-45.