

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
СЕВЕРНОГО ЗАУРАЛЬЯ»

**ПРИГОТОВЛЕНИЕ И ПРИМЕНЕНИЕ
ОРГАНИЧЕСКИХ УДОБРЕНИЙ
И ПИТАТЕЛЬНЫХ ГРУНТОВ
В УСЛОВИЯХ СЕВЕРНОГО ЗАУРАЛЬЯ**

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Государственный аграрный университет Северного Зауралья»

**ПРИГОТОВЛЕНИЕ И ПРИМЕНЕНИЕ
ОРГАНИЧЕСКИХ УДОБРЕНИЙ
И ПИТАТЕЛЬНЫХ ГРУНТОВ
В УСЛОВИЯХ СЕВЕРНОГО ЗАУРАЛЬЯ**

Монография

Текстовое (символьное) электронное издание

Редакционно-издательский отдел ФГБОУ ВО ГАУ Северного Зауралья
Тюмень 2023

© И. В. Грехова, М. Ю. Михеев, В. К. Семёнов,
М. В. Гильманова, 2023
© ФГБОУ ВО ГАУ Северного Зауралья, 2023

ISBN 978-5-98346-147-5

УДК 631.8
ББК 40.44

Рецензенты:

профессор, заведующий кафедрой агрохимии и почвоведения, ФГБОУ ВО «Государственный аграрный университет Северного Зауралья», доктор сельскохозяйственных наук Н. В. Абрамов;

профессор кафедры экологии и рационального природопользования, ФГБОУ ВО «Государственный аграрный университет Северного Зауралья», доктор сельскохозяйственных наук А. С. Моторин;

доцент, ведущий научный сотрудник, Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Северного Зауралья – филиал ТюмНЦ СО РАН, доктор биологических наук Д. И. Еремин;

профессор кафедры техносферной безопасности, ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», доктор сельскохозяйственных наук Л. Н. Скипин

Грехова, И. В.

Приготовление и применение органических удобрений и питательных грунтов в условиях Северного Зауралья : монография / И. В. Грехова, М. Ю. Михеев, В. К. Семёнов, М. В. Гильманова. – Тюмень : ФГБОУ ВО ГАУ Северного Зауралья, 2023. – 216 с. – URL: <https://www.gausz.ru/nauka/setevye-izdaniya/2023/grehova-udobreniya.pdf>. – Текст : электронный.

В книге на основании многолетних данных проанализировано влияние органических удобрений на продуктивность культур и плодородие серой лесной почвы и чернозёма выщелоченного. Разработаны меры по повышению качества производимых компостов. Установлены соотношения компонентов при приготовлении питательных грунтов.

Книга рассчитана на специалистов и руководителей сельскохозяйственных предприятий, научных работников, преподавателей, аспирантов, студентов учебных заведений сельскохозяйственного профиля.

Рекомендовано к публикации Научно-техническим советом Государственного аграрного университета Северного Зауралья, протокол № 5 от 24.11.2023 г.

Текстовое (символьное) электронное издание

© И. В. Грехова, М. Ю. Михеев, В. К. Семёнов, М. В. Гильманова, 2023

© ФГБОУ ВО ГАУ Северного Зауралья, 2023

ПРЕДИСЛОВИЕ

Целью Федерального закона № 248-ФЗ «О побочных продуктах животноводства и о внесении изменений в отдельные законодательные акты РФ», вступившего в силу с 1 марта 2023 г., является повышение эффективности вовлечения побочных продуктов животноводства в сельскохозяйственное производство, в т.ч. для обеспечения воспроизводства плодородия сельскохозяйственных земель. Пункт 1 закона поясняет, что побочные продукты животноводства – вещества, образуемые при содержании сельскохозяйственных животных, включая навоз, помёт, подстилку, стоки, используемые в сельскохозяйственном производстве. По этому закону хозяйствам разрешено использовать навоз и помёт как удобрение, но только при условии, что эти продукты животноводства прошли специальную переработку. Федеральный закон №109-ФЗ «О безопасном обращении с пестицидами и агрохимикатами» исключил продукты животноводства из перечня агрохимикатов, т.е. не проводится их государственная регистрация как агрохимиката.

Сельскохозяйственные организации самостоятельно решают об отношении веществ, образуемых при содержании животных и птиц, к побочным продуктам животноводства или к отходам. О применении навоза и помёта в качестве удобрений хозяйства должны ежегодно уведомлять территориальное управление Россельхознадзора до 31 декабря того года, который предшествует году применения навоза и помёта. Обращением побочных продуктов животноводства являются их накопление, хранение, переработка на специализированных площадках. В переработанных побочных продуктах животноводства не допускается наличие патогенных и болезнетворных микроорганизмов, паразитов и токсичных элементов. Перед использованием необходимо провести лабораторные исследования на их отсутствие. В случае несвоевременной подачи уведомления и нарушений требований обращения навоз и помёт будут признаны отходами и их хранение или вывоз в поле будет приравниваться к загрязнению почвы и будут наложены штрафы. В случае

признания побочных продуктов животноводства отходами собственник этих продуктов обязан исчислить и внести плату за негативное воздействие на окружающую среду.

Аналогичная ситуация и по осадкам сточных вод. Организация-собственник сама определяет судьбу этих веществ, относить их к отходам или продукции. Осадки сточных вод после обезвоживания могут выступать сырьём для производства органических удобрений, которые должны проходить государственную регистрацию. При использовании осадков сточных вод в качестве удобрений необходимо соблюдать требования, установленные ГОСТ Р 17.4.3.07-2001 «Охрана природы. Почвы. Требования к свойствам осадков сточных вод при использовании их в качестве удобрений». При отнесении осадков сточных вод к отходам необходимо получать разрешительные документы (лицензию, паспорта), сдавать отчетность, вносить плату за негативное воздействие на окружающую среду.

Побочные продукты животноводства, птицеводства и осадки сточных вод богаты органическими соединениями, азотом, макро- и микроэлементами питания. В настоящее время наблюдается острая нехватка органических удобрений. В России ежедневно вырабатывается 450 тыс. т навоза, помёта и стоков [Миронов, Протасова, Проценко и др., 2017], более половины которых никак не используется и представляет собой экологическую угрозу. Выбор наиболее экономичной и эффективной технологии переработки органических отходов приобретает особое значение для обеспечения охраны природы, здоровья населения и рентабельности производства [Сатникова, Дружакина, 2009]. Существуют разные приёмы переработки продуктов жизнедеятельности животноводства и птицеводства, а также осадков сточных вод. В данной книге представлены результаты по компостированию навоза и помёта с торфом и соломой, применению компостов, торфа, сидерата и осадка сточных вод в качестве органических удобрений, приготовлению грунтов из осадка сточных вод очистных сооружений, а также по влиянию органических удобрений и питательных грунтов на почву и получаемую продукцию.

ВВЕДЕНИЕ

Плодородие почвы – качественная её характеристика, является функциональной способностью создавать биологическую продукцию [Макаров, 2007]. Основными критериями оценки почвенного плодородия служат содержание и запасы органического вещества в почвах [Кирюшин В.И., Кирюшин С.В., 2015]. В разных регионах России многочисленными исследованиями выявлена тенденция снижения содержания гумуса для разных типов почв при разных системах земледелия [Косолапова, Завьялова, 2006; Жуланова, Чупрова, 2011; Хабилов, Кузнецов, Гилязетдинов и др., 2011; Сулейманов, Хазиев, Гималетдинова, Хаматшин, 2013; Юдина, 2013; Божков, Бирюкова, Нор-Аревян, Медведева, 2013; Трофимова, Трофимов, Яковлева, 2013; Сиухина, Быкова, 2013; Бортник, Клековкин, Карпова, Башков, 2022]. По данным сотрудников Почвенного института им. В.В. Докучаева [Булгаков, Молчанов, Карманов, Рожков, 2011] уровень плодородия за последние 20 лет за счёт деградации снизился на 10-12 %. Это может привести к национальной катастрофе [Мальцев, Мошкарёв, Останин, Лозовая, 2011].

Основными причинами потери гумуса пахотными почвами являются дефицит поступления в почву органического вещества с растительными остатками и органическими удобрениями, снижение биологической активности почвы, поверхностные обработки, заделка пожнивных остатков без использования азотных удобрений, дисбаланс в применении видов удобрений (отставание по фосфорным и калийным удобрениям в сравнении с азотными) [Трофимова, Кулаков, 2012; Сиухина, Быкова, 2013; Безуглова, Казеев, Колесников, Назеренко, 2013]. В Тюменской области внесение органических удобрений сократилось в 6 раз – с 5,5 т/га в 1986-1990 гг. до 0,9 т/га в 2011-2018 гг. (Система адаптивно-ландшафтного земледелия..., 2019). Баланс элементов питания в последнее десятилетие складывался с превышением их выноса на 50-60 % над их поступлением с минеральными и органическими удобрениями, соломой и растительными остатками [Сычев, Рухович, 2018]. В Тюменской

области с 1996 по 2017 гг. наблюдался отрицательный баланс азота – до 44 кг/га в действующем веществе [Котченко, Еремин, Груздева, 2018].

Основная задача современного земледелия – приостановить сокращение запасов гумуса в почве и обеспечить его воспроизводство. В системе мероприятий по повышению плодородия почв главное значение придается увеличению объемов применения и повышению качества органических удобрений. Систематическое применение минеральных и органических удобрений оказывает положительное влияние на процессы гумусообразования, что поддерживает содержание гумусовых веществ, повышает их запас и улучшает качественный состав [Гамзиков, 2011]. Органические удобрения оказывают положительное действие на урожайность культур на протяжении многих лет [Новоселов, 2017; Приходько, 2019; Миллер, Демин, Миллер, Фоминцев, 2022].

В последнее время в сельском хозяйстве резко сократились объемы применения традиционных органических удобрений (навоз, компост) из-за снижения поголовья скота [Кузьменко, 2022]. В среднем по стране поголовье скота сократилось в 3,0-3,5 раза [Шевченко, Соловьев, Бондарева, Попова, 2022]. В современных условиях животноводство не в состоянии удовлетворить потребность земледелия в органических удобрениях, поэтому необходимо использовать другие дешевые источники восполнения органического вещества почвы. Необходимо более подробно изучать местные резервы органического вещества для сохранения и повышения плодородия почв [Мудрых, 2018].

В Тюменской области резервом увеличения объёма производства органических удобрений является использование обширных ресурсов торфяного сырья. Но нужно не просто увеличение количества, а важно более качественное использование торфа для сельского хозяйства. В решение этого вопроса важное значение имеет информация о составе и свойствах различных торфов, а также трансформации органических веществ в ходе приготовления и использования торфяных удобрений. На этой основе могут быть разработаны рациональные приемы использования торфа.

Низинные торфа по содержанию общего азота приближаются к навозу и нередко даже превосходят его. Одной из задач при использовании торфа является превращение сложных органических азотсодержащих соединений в более простые легкоусвояемые растениями вещества. Большие возможности в области есть по компостированию торфа с навозом и помётом. Но этот эффективный приём мало используется. И как правило технология приготовления и внесения его нарушается, что снижает эффект действия. Это одна из главных причин недостаточной отдачи от применения торфяных удобрений. Для усиления биотермического процесса при приготовлении компостов важно соблюдать достаточную аэрацию в процессе компостирования и положительный тепловой баланс. Для этого нужно определить состав и соотношение компонентов, оптимальную температуру и время компостирования. Приготовление торфяных компостов позволяет повысить количество органических удобрений, по эффективности не уступающих навозу.

Процессы поступления, разложения и гумификации органических соединений в почве зависят от конкретных климатических и хозяйственных условий. Приемы по воспроизводству плодородия почвы должны иметь четко выраженный зональный, максимально дифференцированный характер [Лыков, 1989]. Разнокачественность органического вещества почвы и удобрений требует дальнейшего их изучения для повышения эффективного и потенциального плодородия. Уровнем плодородия почв определяется устойчивость сельского хозяйства. И воспроизводство плодородия почвы остается актуальной проблемой науки и практики.

При уничтожении почвенного покрова образуются техногенные ландшафты, на которых замедлены процессы самовосстановления растительного покрова и почв [Андроханов, Курачев, 2010]. Снизить или ликвидировать негативные экологические последствия техногенных ландшафтов можно посредством той или иной технологии рекультивации. Основной целью рекультивации является создание устойчивого растительного покрова. Для этого надо сформировать корнеобитаемый горизонт,

уменьшающий негативное влияние на растения нарушенных земель. Внесение питательного грунта значительно улучшает свойства этих почв. Происходит «разбавление» загрязненной почвы грунтом, снижается концентрация токсичных соединений и уменьшается их вредное действие на растительность [Герасимова, Строганова, Можарова, Прокофьева, 2003].

К числу доступных и эффективных способов рекультивации нарушенных земель относится технология с применением осадка сточных вод [Андроханов, Курачев, 2010], которая решает две задачи – почвоулучшение для задержания рекультивируемой поверхности и экологически рациональную утилизацию осадка сточных вод. На очистных сооружениях г. Тюмени объем осадка сточных вод постоянно возрастает, что привело к увеличению нагрузки на иловые карты. В настоящее время стоит проблема его утилизации. Осадки можно использовать в качестве компонента грунтов для биологической рекультивации земель, загрязненных нефтепродуктами и другими веществами, территорий промышленных площадок, а также для восстановления плодородного слоя земли в питомниках лесных и декоративных культур, при благоустройстве придорожного полотна, т.к. в них содержатся органические вещества, макро- и микроэлементы, необходимые для развития растений. При использовании осадка сточных вод основной проблемой является наличие в них тяжелых металлов, что может отрицательно воздействовать на растения [Мамаев, 2015]. Осадок сточных вод можно использовать в составе грунтов при разбавлении, например, торфом и песком. Необходимо установить оптимальные соотношения компонентов при приготовлении питательных грунтов.

Глава 1. КОМПОСТИРОВАНИЕ НАВОЗА И ПОМЁТА С ТОРФОМ И СОЛОМОЙ

Повышение плодородия почв важнейшая задача системы земледелия. Решение этой задачи предусматривает меры по накоплению, обеспечению сохранности и эффективному использованию всех видов органических удобрений. В последнее время в сельском хозяйстве резко сократились дозы применения органических удобрений. Количество вносимой органики в России с 1985 по 1995 гг. уменьшилось в 30 раз и продолжает снижаться [Божков, Бирюкова, Нор-Аревян, Медведева, 2013]. Важнейшим средством повышения плодородия почв является увеличение применения органических удобрений. Применение минеральных удобрений без внесения органических стимулирует процессы разложения гумуса. Органическое вещество оказывает влияние на комплекс свойств и процессов, происходящих в почве, и главные среди них – азотный режим питания и образование структуры. Благоприятное азотное питание для растений возможно при содержании в почве гумуса 4,0-6,5 % [Яковченко, 1989]. Для создания бездефицитного баланса гумуса необходимо вносить в среднем 12,3 т/га органических удобрений [Органические удобрения ..., 1989]. Но в настоящее время для внесения такой дозы накапливается навоза недостаточно. Окупаемость навоза часто оказывается значительно ниже нормативной. Одна из причин этого – сильная его засоренность семенами сорных растений. В гектарной дозе их количество может быть от десятков до сотен миллионов штук [Терещук, Бардинов, Тикавый, Грибова, 1990; Пузанков, Бородин, Гревцов и др., 1993]. Большое количество жизнеспособных семян сорных растений значительно снижает эффективность вносимых удобрений, а порою и обесценивает их.

Навоз и помёт могут быть источниками передачи возбудителей инфекционных и инвазионных заболеваний человеку [Тарабукина, Степанов, Прокопьева, 1993; Еськов, 2004]. Использование их в сельском хозяйстве без переработки запрещено. Кроме того, при хранении в течение 2-3 месяцев потери

азота могут составлять 50-60% [Матросова, Сергейчев, Тремасов, Равилов, 2004], атмосфера загрязняется аммиаком.

Навозные стоки создают угрозу загрязнения окружающей среды, распространения инфекционных болезней [Хисматуллин, 2022]. При внесении жидких животноводческих стоков особую опасность представляет загрязнение грунтовых вод, которые обладают способностью накапливать токсичные загрязнители и переносить их на большие расстояния [Дубенок, Шевченко, Соловьев, 2021]. Утилизация навозных стоков имеет экологическое и практическое значение.

Компостирование – один из приёмов эффективного и доступного способа обеззараживания навоза и помёта, улучшения их физико-химических свойств; комплекс биохимических процессов разложения, минерализации и частичной гумификации органических соединений, обусловленных деятельностью микроорганизмов [Ванюшина, Кутепов, 2004]. При компостировании возникает потребность во влагопоглощающих материалах.

Свежий навоз и помёт богаты микрофлорой, при правильной закладке компоста внутри бурта за счет экзотермических реакций поднимается температура в пределах 50-75°C, при которой погибают семена сорняков, и ускоряется минерализация органического вещества. Гибель всех патогенных и условно-патогенных микроорганизмов отмечена к концу третьего месяца компостирования при соотношении помёта и торфа 1:1 [Тарабукина, Степанов, Прокопьева, 1993].

Для нормального протекания биотермических процессов смесь компонентов в компосте должна отвечать следующим требованиям: количество сухого вещества 30-35 %, влаги не более 70 % и не менее 40 %, отношение углерода к азоту от 20:1 до 30:1, pH 6-8 [Туваев, 1986; Должиков, 1990; Черкасов, 1991]. В твердых органических удобрениях (навоз, помёт) это соотношение составляет 10-15:1 [Спевак, 2004]. Для увеличения доли углерода следует добавлять целлюлозосодержащие компоненты (солому, торф, опилки). Равномерность смешивания компонентов должна быть не ниже 80 %. Объем пор

должен составлять 30-50 % для обеспечения газового обмена в бурте. В таких компостах уничтожаются гельминты, патогенная микрофлора и сорняки.

При других показателях ухудшается минерализация органического вещества и снижается качество компостов. В процессе компостирования при высокой влажности из-за низкой температуры остается много семян сорных растений и яиц гельминтов [Афанасьев, Смирнов и др., 2001].

Процесс компостирования А.Я. Ванюшина и В.В. Кутепов [2004] делят на две стадии: фазу активного компостирования – разложение органического вещества и повышение температуры, фазу дозревания – минерализация продуктов гидролиза, их участие в формировании гуминовых соединений при умеренной температуре. Разложение органического вещества происходит сначала психрофильными, затем мезофильными микроорганизмами [Игошина, Наумова, 2004]. При достижении внутри бурта температуры 50°C начинают развиваться аэробные термофильные микроорганизмы. При снижении температуры во второй фазе снова преимущественно развиваются мезофилы. Весь процесс компостирования зависит от активности микроорганизмов, которые нуждаются в специфическом источнике углерода для получения энергии и источнике азота для синтеза белков [Сидоренко, 1997]. Активность психрофилы проявляют при температуре ниже 20°C, мезофиллы – 20-40°C, термофилы – 40-50°C и выше.

Разогрев компостируемой массы происходит за счет выделения тепла, образующегося в результате биохимических реакций. Исследование динамики тепловыделения торфонавозной смеси [Лопес де Гереню, 1992] показало, что выделяемое количество теплоты имеет два пика – при температуре 28 и 60°C. Неравномерность тепловыделения объясняется деятельностью различных групп бактерий. При 28°C активно размножаются бактерии мезофильной группы. При температуре 35-40°C происходит угнетение как мезофильных бактерий, так и термофильных. И тепловыделение снижается. Благоприятные условия для развития бактерий термофильной группы наступают при температуре 55-60°C, и появляется второй пик тепловыделения.

Компосты с высокой температурой разогрева имеют преимущество перед навозом благодаря отсутствию семян сорняков и возбудителей кишечных заболеваний. Компостирование способствует снижению потерь азота из навоза и помёта, ликвидации всхожести семян сорных растений, улучшает физико-механические и санитарно-гигиенические свойства смеси.

Торф поглощает и прочно удерживает аммонийный азот, а потому при компостировании навоза с торфом резко уменьшаются потери азота из навоза [Бодрова, Озолина, 1965; Мамченков, 1965; Озолина, Блинова, 1966; Бурак, 1975; Производство и применение ..., 1984]. На Судогорской опытной станции ВИУА Г.М. Блиновой [1975] получены данные, что потери сухого вещества и азота в навозе составили соответственно 24,1 и 26,5 %, а из торфонавозного компоста с соотношением 1:1 за этот же период потери резко сократились по сравнению с навозом и были равны 6,8-9,7 %.

При совместном применении навоза и торфа эффективно используется навоз как универсальное удобрение и торф как медленно минерализующийся мелиорируемый материал. Торф обладает высокой поглотительной способностью, обеспечивающей впитывание воды и фиксацию аммонийного азота. При смешивании торф поглощает до 60 % подвижных форм NPK из навоза [Касимова, Класс, Порываева, 1988].

Наиболее эффективен торф для компостов с содержанием органического вещества не менее 80-90 %, влажностью не более 60, pH не ниже 4,0 [Черкасов, 1991], зольность – 25 %, степень разложения – 15 %, $pH_{\text{сол.}}$ не менее 2,5. Отклонение торфа по содержанию влаги отрицательно влияет на компостирование из-за плохого впитывания жидкого компонента.

Правильно подобранные компоненты компоста при достаточной однородности после перемешивания создают оптимальные условия для жизнедеятельности микроорганизмов, обеспечивающих перевод трудно усвояемых элементов питания в подвижные формы. Многие исследователи [Озолина, Блинова, 1966; Бурак, 1975; Блинова, 1975; Лесто, Подзорова, 1981; Бондарь, Синовский, 1982; Мельник, 1985; Торф на удобрение ..., 1983;

Производство и применение ..., 1984;] указывают, что в процессе компостирования торфа с навозом происходит значительная минерализация, при этом сложные азотистые соединения переходят в более доступные растениям формы, в компостах повышается содержание минерального азота.

З.М. Подзоровой [1983] установлено, что при компостировании низинного торфа с навозом содержание нитратов увеличилось более чем в 2 раза, фосфатов и калия в 1,5 раза. При компостировании накапливаются биологически активные вещества типа витаминов и ростовых веществ [Дырин, Блинков, 1976; Усюкевич, 1981].

По данным ВИУА [Мамченков, 1965] в опыте с применением N¹⁵ установлено, что коэффициент использования азота торфа при компостировании повышается до 20 % от общего содержания, в то время как коэффициент использования из торфа был равен нулю.

Довольно часто вместо компостов используют смесь навоза с торфяной крошкой. Внесение в почву смеси бесподстилочного навоза и торфа не приносит пользы [Мерзлая, Володарская, 1991]. Качество смеси без компостирования низкое [Хохлов, 1991].

Многочисленные опыты, проведенные в различных регионах нашей страны, достаточно убедительно показали, что торфонавозные компосты при правильном применении не уступают по эффективности навозу [Бодрова, Озолина, 1965; Блинова, 1975; Wissing, 1978; Лесто, Подзорова, 1981; Титова, 1983; Подзорова, 1983; Андреев, Зимин, Быкова, 1989].

На основе приведенных данных можно сделать вывод, что компостирование имеет преимущество как прием лучшего хранения навоза, позволяет уничтожать паразитические организмы, содержащиеся в навозе, и семена сорняков посредством высоких температур [Cochrane, 1985]. В процессе компостирования торфа с навозом (через 1,5 месяца) накапливаются антибиотики, подавляющие развитие фитопатогенных грибов, как на это указывают А.В. Манорик, В.Ф. Васильченко, М.М. Ничик [1964]. Приготовление

торфонавозных компостов позволяет повысить количество органических удобрений, по эффективности не уступающих навозу.

На эффективность компоста оказывают заметное влияние соотношение между торфом и навозом, время компостирования, сроки внесения и дозы.

Опытами исследователей установлено, что оптимальное соотношение между навозом и торфом зимой 1:1, летом 2:1 [Лесто, Подзорова, 1981; Проблемы повышения эффективности ..., 1984; Касимова, Класс, Порываева, 1988]. При таком соотношении в компосте устанавливается оптимальная влажность, от которой зависит плотность компоста, сыпучесть, слеживаемость и рассеиваемость [Макаренко, 1989]. В летнее время возможно и более широкое соотношение между торфом и навозом (3-5:1), но применять такие торфонавозные компосты следует в сочетании с полным минеральным удобрением [Филиппенко, Курганский, 1976]. Температура разогревания при соотношении 3:1 не превышает 40°C и активизация элементов питания незначительная [Касимова, Класс, Порываева, 1988]. Температура выше 60°C наблюдалась в компостах летнего периода при соотношении помёта и торфа 1:0,5 [Тарабукина, Степанов, Прокопьева, 1993]. В компостах с соотношением помёта и торфа 1:1, 1:1,5 температура достигала 50-60°C. Активный процесс длился в течение 1 месяца, после которого температура снижалась. После перебуртовки при создании рыхлого состояния и насыщения кислородом температура повышалась до 53,9°C. В чистом торфе саморазогревания не было, в помете в середине лета температура составляла 35,1°C.

В опытах В.А. Андреева, В.Н. Зимина, А.В. Быковой (1989) увеличение доли торфа в компостной массе до 50 % почти не снижало интенсивность биотермического процесса, а дальнейшее добавление торфа значительно замедлило процесс. При очаговом распределении компонентов температура в компостной массе повышалась до 36-39°C, а при высокой степени гомогенности – до 46-49°C.

Ценность торфонавозных компостов в значительной степени зависит от качества их приготовления. При неравномерном перемешивании компонентов

(60-70 %) интенсивность разогревания снижается и эффективность ниже на 30-40 % по сравнению с качественно приготовленным компостом [Лукин, Марчук, 1996]. Практика показала, что в большинстве случаев торфонавозные компосты при приготовлении в зимний период имеют более низкое качество, чем в теплое время года [Филиппенко, Курганский, 1975; Тишкович, Каннский, 1981; Торф на удобрение ..., 1983; Касимова, Класс, Порываева, 1988; Желязко, Михальченко, Копытовский, 2004].

Компосты без термообработки или биоферментации бедны термофилами, обогащены бактериями группы кишечной палочки и другими болезнетворными микроорганизмами [Сидоренко, 1996]. В эпидемиологическом отношении такие компосты опасны для человека, контактирующего с ними. Высокое содержание термофилов служит индикатором созревания компостов и показателем отсутствия условно-патогенных микроорганизмов.

Технологии приготовления компостов разработаны ВНИПТИОУ, ВИМ, ВНИПТИХИМ, ВНИИТП и другими научными учреждениями и хозяйствами и представлены в работах [Петухин, Пятакин, 1989; Должиков, 1990; Черкасов, 1991; Хохлов, 1991; Лопес де Гереню, 1992; Афанасьев, Смирнов и др., 2001; Петрунина В.А., 2004].

Но поиск оптимальных технологических процессов продолжается. Приготовлению компостов в хозяйствах уделяется мало внимания, что значительно снижает их эффективность. Важными остаются вопросы научного познания и управления процессами компостирования с целью получения качественных удобрений, снижения потерь элементов и экологической безопасности продукции. Требуют научного решения вопросы, связанные с изучением процессов взаимодействия навоза и помёта с торфом и соломой, динамики биохимических процессов при компостировании.

1.1 Компостирование торфа с навозом и помётом

Основная часть жизнеспособных семян сорняков в органических удобрениях может быть уничтожена в результате биотермического процесса при

горячем способе их хранения. Но в бесподстилочном навозе биотермический процесс идет настолько слабо, что не может играть существенную роль в снижении жизнеспособности семян сорняков.

В нашей области в качестве компонента для компостов может быть использован торф. Низинные торфа по содержанию общего азота приближаются к навозу и нередко даже превосходят его. Но азот торфа находится в соединениях труднодоступных для питания растений. Одной из задач при использовании торфа для компостирования с навозом является активизация его азота, превращение сложных органических азотсодержащих соединений в более простые легкоусвояемые растениями вещества. Торф обладает еще и высокой поглощательной способностью. Он прочно удерживает аммонийный азот, а поэтому при компостировании навоза с торфом резко уменьшаются потери азота из навоза и помёта. Приготовление торфонавозных и торфопомётных компостов также позволит повысить количество органических удобрений, по эффективности не уступающих навозу.

В хозяйствах зачастую под компостом понимают механическую смесь навоза с торфяной крошкой, которая часто производится зимой и замерзает. Разумеется, что никакого компостирования в таких условиях не происходит. Теряется громадное количество азота и качество такого удобрения низкое.

В некоторых хозяйствах из торфа делают валы. Полученные таким образом чеки заполняют жидким навозом. В течение лета навоз высыхает. Кроме того, валы из торфа зарастают сорняками. Осенью перемешивают и вывозят на поля, считая эту смесь с большим запасом семян сорняков компостом. В такой смеси содержится минерального азота всего около 300 мг/кг абсолютно сухого вещества. На полях после внесения такого удобрения изобилие сорняков. Это служит причиной того, что эффективность компоста в описанных условиях ниже, чем чистого торфа.

В последнее время в связи с концентрацией птицеводства на промышленной основе остро встала проблема утилизации больших количеств помёта. Куриный помёт в чистом виде является высококонцентрированным

органическим удобрением, содержащим большое количество основных питательных веществ (N и P до 4-5%, K до 2-3 %) и микроэлементов [Гордеев, 1976; Лашнев, Щуфинская, 1983]. Но неудовлетворительные физико-механические свойства помёта в естественном виде (высокая влажность, вязкопластичная консистенция, резкий неприятный запах и др.) затрудняют механизацию процесса равномерного внесения его в почву в необходимых дозах. Высокая влажность не позволяет складировать помёт в бурты, а хранение в течение 2-3 месяцев ведет к потерям питательных веществ до 40 % [Макаренко, 1989]. При хранении в бетонированных хранилищах он слеживается, превращаясь в липкую массу, потери питательных веществ – 15-35 %.

Применяемые способы сушки помёта сопряжены с большими энергозатратами, неизбежными и значительными потерями питательных веществ, а также с необходимостью устройства для сложной очистки выходящих при сушке газов вредных аммониевых, амидных и других соединений. Применение помёта в чистом виде может привести к снижению качества продукции и загрязнению окружающей среды. Одним из эффективных способов использования помёта считают компостирование его с наполнителями.

В торфодобывающих районах наиболее целесообразным приемом утилизации помёта птицы является приготовление торфопомётных компостов, что наряду с сохранением и более рациональным использованием питательных веществ помёта позволяет увеличить объёмы накопления и применения органических удобрений в сельском хозяйстве [Лашнев, Малков и др., 1985; Жагрин, 1982; Новиков, Рябков, 1987; Хохлов, Егоров, 1987].

Наличие в торфах области значительного количества гидролизуемого азота в форме аммонийного, аминокислотного и гексозаминного указывает на возможность мобилизации азота торфа биологическим методом. Среди исследователей нет единого мнения об увеличении подвижных форм азота при компостировании. Одни отмечают значительное усиление процесса минерализации азотсодержащих соединений, другие это накопление азота считают незначительным или вообще его не обнаруживают.

Для усиления биотермического процесса при приготовлении компостов важно соблюдать оптимальное соотношение основных компонентов, высокую гомогенность смеси, оптимальную влажность компостируемой массы, достаточную аэрацию в процессе компостирования и положительный тепловой баланс. Но, как правило, в хозяйствах эти условия не соблюдаются, также нарушается технология внесения в почву. И поэтому окупаемость органических удобрений значительно снижается. При производстве торфокомпостов особое внимание необходимо обратить на качество их приготовления.

Одной из задач наших исследований было изучение процесса трансформации органических соединений торфа в процессе компостирования с навозом и птичьим помётом.

Для изучения эффективности компостирования 22 июня были заложены торфонавозный и торфопомётный компосты при соотношении торфа к компонентам 2:1 по 21 тонне. Торф использовали низинный гипновый торфопредприятия "Тарманское-Центральное" с зольностью 19 %, степенью разложения – 35-40 %, влажностью 65 %. Для контроля рядом с компостами забуртовали торф в том же количестве. Птичий помёт с Боровской птицефабрики с содержанием азота в аммонийной форме – 9073,0 мг/кг абс. сух. в-ва, в нитратной – 78,6 мг/кг абс. сух. в-ва. Навоз подстилочный с 1 отделения УЧХОЗа, содержание аммонийного азота достигало 2615,5 мг/кг абс. сух. в-ва, нитратного всего 4,5 мг/кг абс. сух. в-ва. Для приготовления компостов брали свежий навоз и помёт с влажностью 60 % и 76 %. Такой подход обусловлен учётом результатов опытов, ранее проведённых в Украинском НИИ земледелия, которые показали, что торфонавозные компосты, приготовленные из торфа и свежего навоза, по эффективности намного превосходят торфонавозные компосты, приготовленные с таким же количеством хорошо перепревшего навоза-сыпца [Вышимский, 1965, с. 172].

При закладке торф перемешивали с компонентами и укладывали в бурты высотой два метра. Перемешивание позволяет механизировать все операции, в то время как послойное приготовление не исключает затрат ручного труда. О.Е.

Фатчихина [1958] показала, что торфонавозные компосты, приготовленные послойно и перемешиванием, имеют одинаковую эффективность по действию на урожай озимой пшеницы.

В течение созревания компостов велись наблюдения за минеральным азотом. Для доступа кислорода в массу бурты перемешивали два раза: 17 июля и 10 августа.

В торфонавозном компосте на восьмой день после закладки температура поднялась до 40°C, в торфопомётном до 50°C. В опытном хозяйстве Мичуринского ГАУ [Криволапов, 2010] максимальная температура соломонавозной смеси была достигнута на 6-7 сутки.

В торфе температура была всего 19°C, что на 5°C ниже температуры воздуха. Затем температура в торфе к 12 июля поднялась до 24°C, в то время как температура воздуха достигала 27°C. В компостах температура снизилась: в торфонавозном до 30°C, в торфопомётном до 40°C. Сравнительно невысокая температура объясняется небольшими размерами буртов, что, по-видимому, способствовало высокой теплоотдаче. В торфе и компостах влажность находилась на уровне 65 %.

Образцы для определения аммонийного и нитратного азота отбирались через каждые 20 см. Какой-либо определенной закономерности в содержании азота в буртах по горизонтам не наблюдалось.

В компостах по сравнению с торфом наблюдались более сильные изменения в содержании аммонийного и нитратного азота. Количество аммонийного азота резко снижалось: в торфонавозном с 282,1 до 24,9 мг/кг абс. сух. в-ва, в торфопомётном – с 2517,6 до 186,6 мг/кг абс. сух. в-ва; нитратного наоборот возрастало: в торфонавозном – с 474,9 до 918,3 мг/кг абс. сух. в-ва, в торфопомётном – с 505,4 до 1941,1 мг/кг абс. сух. в-ва (табл. 1).

По данным авторов [Тарабукина, Степанов, Прокопьева, 1993], наблюдения противоположные, к концу компостирования содержание аммонийного азота в торфопомётном компосте выше, чем нитратного.

В торфе эти колебания меньше: содержание аммонийного азота снижалось с 12,8 до 9,7 мг/кг абс. сух. в-ва, нитратного возрастало с 611,3 до 758,1 мг/кг абс. сух. в-ва. В целом содержание минерального азота (сумма аммонийного и нитратного) в торфе к концу второго месяца увеличивалось на 23 % по сравнению с исходным.

Таблица 1 – Динамика содержания минерального азота в торфе и компостах (мг/кг абсолютно сухого вещества) (1983 г.)

Вид удобрения	Срок определения				
	22.06	30.06	18.07	8.08	22.08
Содержание аммонийного азота					
Торф	12,8	8,4	10,8	55,3	9,7
Торфонавозный компост	282,0	279,4	121,4	24,7	24,9
Торфопомётный компост	2517,6	2482,3	4726,5	330,44	186,6
Содержание нитратного азота					
Торф	611,3	664,2	678,1	725,8	758,1
Торфонавозный компост	475,0	487,7	687,7	676,5	918,3
Торфопомётный компост	505,4	563,2	131,1	890,5	1941,1
Содержание минерального азота					
Торф	624,1	672,6	688,9	731,1	767,8
Торфонавозный компост	757,0	767,1	809,1	701,2	943,2
Торфопомётный компост	3023,0	3045,5	4857,6	1220,9	2127,7

После перемешивания торфа с навозом и помётом увеличилось содержание аммонийного азота за счет азота навоза и помёта. В торфопомётной смеси содержание азота в 4 раза больше по сравнению с торфонавозной смесью, т.к. помёт более обогащен аммонийным азотом, чем подстилочный навоз. Последующее увеличение количества минерального азота в процессе компостирования торфа с навозом и помётом происходит за счет активизации микробиологических и химических процессов, благодаря чему сложные органические соединения перерабатываются в более простые.

В торфонавозном компосте максимальное содержание минерального азота наблюдалось к концу второго месяца – 943,2 мг/кг абсолютно сухого вещества, что превышало первоначальное содержание в смеси на 25 %.

В торфопомётном компосте к концу первого месяца компостирования происходило увеличение содержания минерального азота на 61 % по сравнению со смесью торфа с пометом. Через полтора месяца протекал интенсивно процесс нитрификации и были большие потери азота: содержание его снизилось в 4 раза по сравнению с предыдущим определением. В торфонавозном компосте также в этот срок были потери азота.

Для снижения потерь азота из поверхностных слоев штабеля необходимо компостирование проводить в более крупных штабелях (не менее 100 т), имеющих меньшую удельную поверхность. Калийные удобрения при внесении их в торф в дозе 1 % от массы сырого компоста также позволяют снизить потери азота в компостах [Бодрова, Озолина, 1965].

После перемешивания содержание минерального азота вновь увеличивалось. К концу второго месяца компостирования содержание азота в торфонавозном и торфопомётном компостах выше, чем в торфе на 23 и 177 %.

Таким образом, во всех буртах идет процесс минерализации органического вещества, но в компостах он проявляется в большей степени. Лучший срок компостирования в летний период торфопомётного компоста – 1 месяц, а торфонавозного – 2 месяца. В литературе также встречаются сведения, что время созревания торфонавозного компоста в буртах не менее двух месяцев [Кудрявцев, 1989]. Другие авторы [Немчинов и др., 1983] срок компостирования удобрений достаточный для должной активизации в них биологических процессов признают равным одному месяцу. К такому заключению они подошли и при учете потерь органического вещества компостов, учитываемых в выдерживаемых пробах в мешочках из стеклоткани. Через месяц компостирования потери органического вещества удобрений достигали 0,4-5,2 %, через три месяца – 5,1-11,1 % и через 5 месяцев – 8,5-14,5 %. Если учесть, что минерализуется в первую очередь наиболее ценное подвижное органическое вещество удобрений, эти данные, по мнению авторов, также показывают целесообразность выдерживания компостов на протяжении только одного-полутора месяцев.

Важнейшим показателем качества и агрономической ценности органических удобрений, влияющим на процессы гумификации органического вещества в почвах, является содержание и формы азота [Мукина, 2001].

При компостировании содержание общего азота повышалось. В исследованиях [Квасов, 1990] в навозе крупного рогатого скота азота содержалось 0,33 %, а в торфонавозном компосте – 1,0 %. В наших исследованиях в навозе общего азота содержалось 2,6 %, в помёте – 3,8 %, в торфе – 3,5 %, в торфонавозном компосте – 3,6 %, в торфопомётном – 3,9 % (табл. 2-3). В торфе содержание общего азота больше, чем в навозе на 0,9 %, но меньше чем в помёте – 0,3 %. Наши данные подтверждают утверждение, что низинные торфа по содержанию общего азота приближаются к навозу и нередко даже превосходят его. К концу компостирования содержание общего азота в торфе снизилось, а в компостах увеличилось: торфонавозном – на 0,4 %, в торфопомётном – на 0,2 %.

В навозе, помёте, торфе и компостах определяли органические формы азота. В навозе по сравнению с помётом выше содержание гидролизуемого азота на 4,9 %, аминокислотного – на 7,8 %, ниже содержание аммонийного азота на 0,8 %, гексозаминного – на 2,0 %, негидролизуемого – на 4,9 % (табл. 2).

Таблица 2 – Содержания форм азота в навозе и помёте

Форма азота	Навоз	Помёт
Общее содержание азота, % на ОВ	2,6	3,8
в % к общему содержанию азота		
Аммонийный	3,8	4,6
Гексозаминный	15,9	17,9
Аминокислотный	28,0	20,2
Неидентифицированный	40,0	40,1
Общий гидролизуемый	87,7	82,8
Негидролизуемый	12,3	17,2

В торфе за время хранения увеличивалось содержание аммонийного, гексозаминного, общего гидролизуемого, снижалось содержание неидентифицированных и негидролизуемых соединений азота (табл. 3).

Содержание аминокислотного азота через 1,5 месяца снижалось, а к концу 2 месяца увеличивалось.

Таблица 3 – Динамика содержания форм азота в торфе и компостах, %

Форма азота	Срок отбора			
	22.06	18.07	8.08	22.08
Торф				
Общее содержание азота	3,5	4,0	3,7	3,2
Аммонийный	4,3	15,0	56,0	17,2
Гексозаминный	18,1	15,0	21,6	22,5
Аминокислотный	31,5	32,9	24,8	38,1
Неидентифицированный	15,0	20,6	34,1	12,5
Общий гидролизуемый	68,9	82,5	83,5	90,3
Негидролизуемый	31,1	17,5	16,5	9,7
Торфонавозный компост				
Общее содержание азота	3,6	4,0	4,0	4,0
Аммонийный	4,6	3,7	6,4	4,6
Гексозаминный	23,9	32,8	26,1	28,1
Аминокислотный	29,2	26,8	27,4	29,2
Неидентифицированный	12,4	24,6	18,6	17,4
Общий гидролизуемый	70,1	87,9	78,5	79,3
Негидролизуемый	29,9	12,1	21,5	20,7
Торфопомётный компост				
Общее содержание азота	3,9	4,1	4,2	4,1
Аммонийный	4,6	16,6	13,7	4,9
Гексозаминный	28,0	25,7	25,5	31,4
Аминокислотный	27,3	28,4	25,7	29,5
Неидентифицированный	12,8	25,1	11,5	17,7
Общий гидролизуемый	72,7	95,8	76,4	83,5
Негидролизуемый	27,3	4,2	23,6	16,5

В течение компостирования торфонавозного компоста наблюдались колебания в содержании аммонийного азота: сначала снижался, затем увеличивался и к концу 2 месяца вновь снижался.

Содержание гексозаминного, общего гидролизуемого, неидентифицированных форм увеличивалось, а содержание негидролизуемого уменьшалось на 9,2 %. Количество аминокислотного азота почти не изменялось.

В торфопомётном компосте через месяц значительно увеличилось содержание аммонийного азота на 12,0 %, общего гидролизуемого – на 23 %, неидентифицированных форм – 12,3 %. Количество негидролизуемого азота уменьшилось 23,0 %. При дальнейшем компостировании в этом компосте происходило снижение содержания аммонийного, общего гидролизуемого, неидентифицированных форм, увеличивалось содержание негидролизуемого остатка.

Приведенные данные наглядно показывают, что в процессе компостирования происходит процесс разложения органических форм азота торфа и компонентов, в результате чего накапливается подвижный азот.

По агрохимическим показателям помёт превышает навоз (табл. 4). В процессе компостирования агрохимическая характеристика торфа и компостов также подвергается изменению.

Таблица 4 – Агрохимические показатели навоза и помёта

Показатель	Навоз	Помёт
рН солевой вытяжки	6,9	7,6
Гидролитическая кислотность, мг-экв./100 г	отсут.	20,3
Сумма поглощенных оснований, мг-экв./100 г	59,4	68,2
Подвижный фосфор (P_2O_5), мг/100 г	705,0	1070,0

Значение рН солевой вытяжки в торфе увеличивалось до 6,3 ед. (табл. 5). Через 1,5 месяца в торфонавозном компосте рН увеличилась до 6,4 ед., затем снизилась до 6,2 ед.

В торфе и торфонавозном компосте значение гидролитической кислотности через полтора месяца увеличилось, затем происходило снижение. Через месяц в торфопомётном компосте наблюдалось снижение гидролитической кислотности, в последующем увеличение.

Сумма поглощённых оснований в торфе и компостах выше, чем в навозе и помёте. К концу компостирования в компостах происходило увеличение суммы поглощённых оснований по сравнению с торфом.

Таблица 5 – Изменение агрохимических показателей торфа и компостов в процессе компостирования

Показатель	Срок отбора			
	22.06	18.07	8.08	22.08
Торф				
рН солевой вытяжки	6,0	5,9	6,1	6,3
Гидролитическая кислотность, мг-экв./100 г	14,1	14,2	15,6	11,8
Сумма поглощенных оснований, мг-экв./100 г	88,0	87,0	88,8	80,3
Подвижный фосфор (P ₂ O ₅), мг/100 г	9,4	13,8	13,5	12,5
Торфонавозный компост				
рН солевой вытяжки	6,2	6,2	6,4	6,2
Гидролитическая кислотность, мг-экв./100 г	12,6	12,9	16,5	13,9
Сумма поглощенных оснований, мг-экв./100 г	82,4	84,4	84,0	85,3
Подвижный фосфор (P ₂ O ₅), мг/100 г	41,1	56,0	100,5	104,5
Торфопомётный компост				
рН солевой вытяжки	6,5	6,6	6,1	6,2
Гидролитическая кислотность, мг-экв./100 г	14,2	11,5	20,8	16,1
Сумма поглощенных оснований, мг-экв./100 г	84,2	88,2	84,2	83,3
Подвижный фосфор (P ₂ O ₅), мг/100 г	525,0	735,0	247,5	492,0

При хранении в торфе снижалась сумма поглощённых оснований. В торфонавозном компосте в процессе компостирования происходило её увеличение. Самое высокое значение суммы поглощённых оснований наблюдалось через месяц – 89,2 мг-экв./100 г.

В смесях торфа с навозом и помётом содержание подвижного фосфора больше, чем в торфе за счет высокого содержания его в помёте и навозе.

В течение хранения торфа и в процессе компостирования происходило увеличение подвижного фосфора. В торфе это увеличение незначительное – на 3,1 мг/100 г, в торфонавозном компосте увеличивалось значительно – на 63,4 мг/100 г, т.е. на 154 % выше, чем в смеси. Максимальное содержание фосфора у торфопомётного компоста наблюдалось через месяц после закладки – 735,0 мг/100 г, что выше содержания в смеси на 40 %. Увеличение содержания подвижного фосфора очевидно связано с минерализацией фосфора из органических его соединений под влиянием микробиологических процессов.

Процесс гумификации при компостировании помета В.В. Миллер, Г.М. Юрина [1986] условно разделили на три этапа. Первый этап – снижение

содержания гумусовых веществ за счет активной минерализации при достаточной аэрации смеси. Уменьшение продолжалось около 2 месяцев на 6-50 %. Самое маленькое снижение (11,9 %) наблюдалось при компостировании помёта с торфом. Авторы объясняют это тем, что торф связывает новообразованные гумусовые вещества в относительно стабильные соединения. Второй этап – накопление гумуса при затухании окислительных процессов. Длительность этого периода составляла около 4,5 месяцев. Наибольшее накопление гуминовых кислот достигалось после 2,5 месяцев компостирования помёта с торфом. В указанный срок валовое содержание гуминовых кислот на 30,5 % выше начального периода. Здесь же зафиксирована минимальная потеря общего углерода. Третий этап – повторное снижение содержания гумусовых веществ. При компостировании свиного и коровьего навоза авторы прослеживали только два этапа: этап прироста и этап минерализации гумусовых веществ. Максимальный прирост гумусовых веществ отмечен при компостировании навоза и помёта с торфом.

В образцах навоза, помёта, торфа и компостов был определен групповой состав органического вещества (табл. 6-7). В помёте в сравнении с навозом выше зольность, содержание битумов, водорастворимых и легкогидролизующихся соединений, гидролизующихся 2 % HCl, ниже содержание гуминовых и фульвовых кислот, трудногидролизующихся соединений и негидролизующегося остатка.

Таблица 6 – Групповой состав органического вещества навоза и помёта, % на абс. сух. в-во

Показатель	Навоз	Помёт
Зольность, %	17,6	21,9
Битумы	5,4	9,5
Водорастворимые и легкогидролизующиеся при 100°C	7,1	13,4
Гидролизующиеся 2 % HCl, всего	20,3	45,1
в т.ч. гемицеллюлоза	11,7	12,7
Гуминовые кислоты	11,6	4,3
Фульвокислоты (по разности)	15,6	10,9
Трудногидролизующиеся 80 % H ₂ SO ₄ , всего	20,4	9,1
в т.ч. целлюлоза	13,8	6,0
Негидролизующийся остаток	19,3	8,9

При перемешивании торфа с навозом и помётом увеличивалось количество водорастворимых, трудногидролизуемых соединений, в т.ч. целлюлозы, т.к. содержание их в навозе и помёте больше, чем в торфе (табл. 7). Негидролизуемого остатка в смеси меньше. Количество гидролизуемых соединений в торфонавозной смеси уменьшалось, а в торфопомётной увеличивалось из-за неравного их содержания в компонентах.

Торф при хранении через месяц претерпел изменения в групповом составе. Увеличивалось содержание водорастворимых соединений на 0,5 %, гидролизуемых 2% HCl – на 2,2 %, содержание гуминовых кислот – на 6,2 %, фульвокислот – на 9,4 %, трудногидролизуемых – на 1,3 %; уменьшилось содержание негидролизуемого остатка на 1,1 %. При дальнейшем хранении снизилось содержание гидролизуемых и гумусовых кислот, но увеличилось содержание негидролизуемого остатка на 8,0 %.

В торфонавозном компосте к концу компостирования увеличилось количество водорастворимых соединений на 0,7 %, гидролизуемых – на 1,5 %, гуминовых кислот – на 5,2 %, фульвокислот – на 6,8 %; уменьшилось содержание трудногидролизуемых соединений на 3,5 %, негидролизуемого остатка – на 1,0 %. В опытах [Тишкович, Шныриков, Зубовский, 1987] установлено, что при компостировании торфа с навозом в течение месяца количество водорастворимых веществ увеличивалось примерно в 2 раза.

В процессе компостирования торфа с помётом через месяц повышалось содержание водорастворимых соединений на 0,8 %, гидролизуемых – на 2,3 %, гуминовых кислот – на 1,0 %, фульвокислот – на 6,1 %, негидролизуемого остатка – на 2,6 %, количество трудногидролизуемых соединений уменьшалось 1,2 %. В последующем происходило снижение водорастворимых соединений и соединений, гидролизуемых 2 % HCl. Содержание гуминовых и фульвокислот увеличилось на 0,7 и 0,6 %, значительно ниже, чем после первого месяца компостирования.

**Таблица 7 – Групповой состав органического вещества торфа и компостов,
% на абс. сух. в-во**

Показатель	Срок отбора			
	22.06	18.07	8.08	22.08
Торф				
Зольность, %	18,9	26,4	24,0	24,4
Битумы	9,7	отсут.	12,9	6,4
Водорастворимые и легкогидролизующиеся при 100°С	2,8	4,3	3,2	3,0
Гидролизующиеся 2 % HCl, всего	28,0	30,2	26,6	23,9
в т.ч. гемицеллюлоза	9,4	10,1	8,4	9,6
Гуминовые кислоты	23,7	29,9	20,7	21,3
Фульвокислоты (по разности)	13,5	22,9	12,6	13,7
Трудногидролизующиеся 80 % H ₂ SO ₄ , всего	2,7	4,0	3,6	3,9
в т.ч. целлюлоза	1,2	2,5	1,3	1,9
Негидролизующий остаток	20,5	19,4	17,4	27,4
Торфонавозный компост				
Зольность, %	22,2	24,3	23,50	23,1
Битумы	7,1	отсут.	6,3	1,0
Водорастворимые и легкогидролизующиеся при 100°С	3,3	4,5	3,5	4,0
Гидролизующиеся 2 % HCl, всего	26,6	29,7	25,9	28,1
в т.ч. гемицеллюлоза	8,8	12,5	8,9	14,0
Гуминовые кислоты	23,2	26,1	23,5	28,5
Фульвокислоты (по разности)	14,1	21,2	25,3	20,9
Трудногидролизующиеся 80 % H ₂ SO ₄ , всего	7,5	5,2	6,5	4,0
в т.ч. целлюлоза	3,2	2,2	2,8	2,2
Негидролизующий остаток	3,2	2,2	2,8	2,2
Торфопомётный компост				
Зольность, %	28,1	29,8	22,5	29,5
Битумы	1,0	0,8	0,5	0,1
Водорастворимые и легкогидролизующиеся при 100°С	6,0	6,8	4,9	5,7
Гидролизующиеся 2 % HCl, всего	32,1	34,4	28,3	30,4
в т.ч. гемицеллюлоза	13,6	12,3	13,1	13,8
Гуминовые кислоты	23,0	24,1	27,0	24,8
Фульвокислоты (по разности)	14,1	20,2	21,6	20,8
Трудногидролизующиеся 80 % H ₂ SO ₄ , всего	4,4	3,2	4,8	2,8
в т.ч. целлюлоза	2,1	1,8	2,0	2,1
Негидролизующий остаток	19,4	22,0	19,1	25,7

В конце компостирования в компостах отмечены отличия в составе органического вещества в сравнении с торфом. Выше количество водорастворимых соединений и гидролизуемых 2 % HCl, меньше количество негидролизуемого остатка.

Результаты исследований показывали, что в компостах отмечаются существенные изменения в составе органического вещества в сравнении с торфом и смесью торфа с компонентами. Таким образом, из результатов проведенной работы следует, что компостирование способствует минерализации органического вещества торфа, навоза и помёта.

Первая закладка производственного торфонавозного компоста в соотношении 2:1 была проведена 27 июля 1988 г. на площадке для органических удобрений центрального отделения Учхоза. Торф низинный с торфопредприятия “Тарманы-Центральные” в бурте начал подвергаться самосогреванию – температура 33⁰С, содержание аммонийного азота – 18,6 мг/кг, нитратного – 928,7 мг/кг абсолютно сухого вещества. В навозе подстилочном с влажностью 72 % преобладало содержание аммонийного азота – 2404,2 мг/кг, нитратного всего 15,0 мг/кг абс. сух. в-ва.

Технология закладки компоста была полностью соблюдена. Торф был разровнен по площадке сплошным ковром толщиной 40 см. Навоз также разравнивали по торфяной подушке, затем все перемешали и забуртовали. Высота бурта достигала 2,5 м. Исследования проводили до апреля.

При компостировании торфа с подстилочным навозом для полевого опыта мы наблюдали повышение температуры на 8 день до 40⁰С. За период компостирования бурт перемешивали два раза. Содержание минерального азота было максимальным к концу второго месяца – 943,2 мг/кг АСВ, что превышало первоначальное содержание в смеси на 25 %.

В производственных условиях разогрев смеси торфа с подстилочным навозом был сильнее, температура через 15 дней на глубине 1 м достигала 55⁰С, на глубине 2 м – 80⁰С. И такая температура держалась до конца сентября. В начале октября температура начала снижаться и в середине ноября составила

25⁰С. Бурт производственного компоста в 4 раза больше по массе компоста для полевого опыта, поэтому меньше удельная поверхность, теплоотдача и потери азота.

Максимальное содержание минерального азота было отмечено через два месяца после закладки компоста – 2034,4 мг/кг абс. сух. в-ва, что на 42 % выше первоначального содержания (табл. 8). Срок такой же, как в полевом опыте, но увеличение минерального азота больше почти в два раза.

Таблица 8 – Содержание минерального азота в торфонавозном компосте, мг/кг абс. сух. в-ва

Дата отбора	Форма азота		
	N(NH ₄ ⁺)	N(NO ₃ ⁻)	N(NH ₄ ⁺ +NO ₃ ⁻)
27.07.1988	1303,2	131,6	1434,8
11.08.1988	344,9	54,0	398,8
22.08.1988	1827,3	26,6	1853,9
15.09.1988	1995,5	38,9	2034,4
03.10.1988	1347,3	67,5	1414,8
16.11.1988	656,9	147,1	805,0
24.04.1989	439,6	613,7	1053,3

Во все сроки отбора с июля по ноябрь содержание аммонийного азота преобладало над нитратным азотом. В апреле наблюдалась обратная картина, содержание нитратного азота выше, чем аммонийного.

Таким образом, при использовании для компоста торфа и подстилочного навоза разогревание компостного бурта наступает через 10-15 дней. Количество минерального азота достигает максимума через два месяца после закладки компоста. Дальнейшее хранение приводит к потере минерального азота, торфонавозный компост лучше всего вносить в почву после двух месяцев компостирования.

В 1991 г. с июня по октябрь снова велись наблюдения за приготовлением, хранением и внесением торфонавозного компоста с использованием уже бесподстилочного навоза.

Торфонавозный компост был заложен в начале июня в соотношении 2:1. Навоз бесподстилочный с влажностью 90 %. Торф перемешали с навозом и

забуртовали. Бурт плотный, в течение лета полностью его не перемешивали. Дополнительно в июле сделали компост в рыхлом состоянии, расположили с восточной стороны ранее приготовленного бурта. Таким образом, наблюдения велись за компостом в рыхлом и плотном состоянии. Отбор образцов и замер температуры проводился на глубине 1 м.

Агрохимическая характеристика компонентов и торфонавозной смеси приведена в таблице 9.

Таблица 9 – Агрохимические показатели торфа, навоза и торфонавозной смеси в период закладки компоста (1991 г.)

Объект	Форма азота, мг/кг АСВ		pH _{сол.}	S, мг-экв./100 г	Общий азот, %	P ₂ O ₅	K ₂ O
	N(NH ₄ ⁺)	N(NO ₃ ⁻)				мг/100 г	
Торф	142,3	483,4	7,35	98,61	5,64	14,2	941,8
Навоз	11576,6	86,6	8,00	70,94	13,33	1275,0	2879,1
Смесь	996,8	308,2	7,70	95,82	5,55	18,8	1363,9

В период закладки компоста в торфе содержание нитратного азота в три раза превышало аммонийный. В навозе минеральный азот находился в основном в аммонийной форме. После перемешивания торфа с навозом соотношение аммонийного и нитратного азота стало 3:1.

Групповой состав органического вещества компонентов и их смеси приведен в таблице 10.

Содержание золы в торфе и торфонавозной смеси больше, чем в навозе на 58 и 80 %. При смешивании торфа с навозом содержание битумов уменьшалось.

Водорастворимых соединений в навозе в 13 раз больше, чем в торфе. После смешивания их количество в 2 раза превышало содержание в торфе. Гидролизуемых соединений в навозе на 46 % больше по сравнению с торфом. В смеси их содержание выше торфа на 7 %. Углерода общего в торфе на 19 % выше, чем в навозе. При смешивании содержание углерода выше навоза на 10 %. Содержание целлюлозы в навозе в 30 раз больше. В торфонавозной смеси ее количество повышалось по сравнению с торфом на 51 %.

Таблица 10 – Групповой состав органического вещества торфа, навоза и торфонавозной смеси (1991 г.)

Вариант	Зольность, %	Собщ., Г	В % на абсолютно сухой торф					
			Битумы	гидролизующие 2% HCl		Целлюлоза	Водорастворимые и легкогидролизующие при 100°C	Негидролизующий остаток (лигнин)
				Всего	в т.ч. геми- целлюлоза			
Торф	34,6	0,7	22,2	89,1	40,3	5,3	3,7	35,7
Навоз	21,9	0,6	26,6	129,6	65,3	161,0	48,8	42,3
Смесь	39,4	0,6	11,6	95,6	31,7	8,01	7,2	54,1

В период компостирования смеси торфа с бесподстильным навозом в плотном состоянии температура изменялась незначительно. Минимальная температура зафиксирована с северной стороны бурта. В рыхлом состоянии температура бурта достигала с северной и южной стороны +31⁰С и +33⁰С соответственно. С восточной стороны максимальная температура +50⁰С отмечалась в августе. Даже в конце сентября температура с этой стороны оставалась высокой и составляла +43⁰С, что в 2 раза выше, чем в остальных точках замера.

По литературным данным [Андреев, Зимин, Быкова, 1989], семена сорных растений в бесподстильном навозе сохраняют свою жизнеспособность при температуре 30-35⁰С в течение трех и более месяцев, при 40⁰С – 45-50 дней, при 45⁰С – две недели, при 50⁰С – 5-7 дней, при 55⁰С – трое суток. С уменьшением влажности срок увеличивается.

В торфонавозном компосте при плотном хранении разогрева не происходило. В рыхлом компосте с южной и северной стороны разогрев незначительный, т.к. аэрация была недостаточной. Можно с уверенностью утверждать, что здесь семена сорных растений сохранили свою жизнеспособность. С восточной стороны в компосте была хорошая аэрация и

температура поднималась до 50⁰С, вероятнее всего, что здесь семена сорняков утратили способность к прорастанию.

В плотном компосте максимальное содержание минерального азота было отмечено 17 июня и составило 1487,9 мг/кг абс. сух. в-ва, что на 14 % больше, чем в торфонавозной смеси в период закладки компоста (табл. 11).

Таблица 11 – Содержание минерального азота в торфонавозном компосте при рыхлом и плотном способе хранения, мг/кг абс. сух. в-ва (1991 г.)

Дата отбора	плотный			рыхлый		
	N(NH ₄ ⁺)	N(NO ₃ ⁻)	N(NH ₄ ⁺ +NO ₃ ⁻)	N(NH ₄ ⁺)	N(NO ₃ ⁻)	N(NH ₄ ⁺ +NO ₃ ⁻)
07.06	996,8	308,2	1305,0	-	-	-
17.06	566,0	921,3	1487,9	-	-	-
27.06	753,8	100,6	854,4	-	-	-
15.07	1093,0	143,4	1236,4	699,8	63,5	763,3
25.07	1173,2	72,5	1245,7	867,7	49,5	917,2
26.08	421,1	24,8	445,9	286,1	37,7	323,8
05.09	457,1	9,2	466,3	59,7	107,9	167,6
18.09	411,6	-	411,6	3,2	10,6	13,8

В этот же период отмечалось преобладание нитратной формы азота. В остальные сроки отбора наблюдалось снижение содержания азота. В рыхлом компосте повышение содержания минерального азота через 10 дней после закладки составило 20 %. В июле и августе отмечалось преобладание аммонийного азота, в сентябре – нитратного. В рыхлом компосте содержание минерального азота ниже, чем в плотном. Особенно большая разница была отмечена в сентябре.

Определенной закономерности в изменениях содержания битумов и водорастворимых соединений нет, идет то увеличение, то уменьшение (табл. 12). Колебания в содержании битумов и водорастворимых соединений составляли при плотном способе хранения 2,9-11,4 и 5,0-7,6, при рыхлом – 3,0-6,7 и 3,7-5,1 соответственно. Максимальное значение битумов при обоих способах компостирования первоначальное, водорастворимых – исходное при плотном способе компостирования, рыхлом способе – через 2 месяца.

Таблица 12 – Трансформация органического вещества торфонавозного компоста при разных способах компостирования (1991 г.)

Показатели	Способ	Дата				
		17.06	15.07	25.07	26.08	18.09
Зольность, %	плотный	37,9	46,4	40,3	50,4	45,9
	рыхлый	-	58,3	55,3	47,9	50,5
С _{общ.} , Г	плотный	0,5	0,5	0,9	0,8	0,9
	рыхлый	-	0,6	0,6	0,8	0,8
Битумы, %	плотный	11,4	3,4	6,2	2,9	5,9
	рыхлый	-	6,7	3,0	3,5	5,1
Водорастворимые соединения, %	плотный	7,6	5,7	6,9	5,0	6,9
	рыхлый	-	4,4	3,7	5,1	4,8
Гидролизуемые соединения, %	плотный	102,4	85,9	96,3	74,4	86,6
	рыхлый	-	72,6	68,2	64,1	62,5
в т.ч. гемицеллюлоза, %	плотный	25,3	18,4	17,6	19,7	19,4
	рыхлый	-	20,9	14,8	12,0	22,9
Целлюлоза, %	плотный	12,7	9,1	17,5	6,3	7,8
	рыхлый	-	12,3	10,7	4,2	4,3
Лигнин, %	плотный	54,9	73,5	121,8	67,9	70,1
	рыхлый	-	57,3	55,4	73,0	55,0

У гидролизуемых соединений самое высокое содержание в начале компостирования, затем снижалось. При рыхлом способе снижение постепенное на 14 %, при плотном – скачкообразное, в сентябре по сравнению с июнем снижение 15 %. При разных способах компостирования снижение одинаковое. Содержание гемицеллюлоз уменьшалось к концу первого месяца компостирования, к концу второго увеличивалось. Количество общего углерода увеличивалось на 80 % при плотном способе компостирования, на 33 % – при рыхлом. Увеличение наступало в обоих случаях к концу второго месяца компостирования. Содержание целлюлозы уменьшалось на 39 % при плотном способе компостирования и на 65 % при рыхлом.

Через 1,5-2 месяца после закладки компоста увеличивалось содержание лигнина при плотном способе на 122 %, при рыхлом – на 27 %. Затем наблюдалось снижение. Информация о групповом составе органического вещества в процессе компостирования представляет значительную ценность для

эффективного использования компостов и для оценки состояния почв при внесении в них компостов.

Производственный опыт подтвердил результаты полевого опыта. Лучший срок компостирования в летний период 2 месяца. К этому сроку наблюдается увеличение общего углерода, водорастворимых соединений, лигнина, уменьшение гемицеллюлоз. Содержание целлюлозы и лигнина выше при плотном компостировании на 76 и 40 % по сравнению с рыхлым способом.

Изменения pH солевой и суммы поглощенных оснований в рыхлом и плотном компосте незначительны (табл. 13). В плотном компосте содержание подвижного фосфора в июле выше, а в августе и начале сентября ниже, чем в рыхлом. Количество фосфора в плотном компосте снижалось до начала сентября, однако к концу месяца наблюдалось его увеличение. В рыхлом компосте повышение содержания фосфора начиналось с августа. К концу сентября содержание подвижного фосфора в плотном и рыхлом компосте выравнивалось. С июля до начала сентября в плотном компосте содержание калия ниже, а в конце сентября выше, чем в рыхлом.

Таблица 13 – Агрохимические показатели торфонавозного компоста (1991 г.)

Дата отбора	плотный				рыхлый			
	pH _{сол.}	S, мг-экв./100 Г	P ₂ O ₅	K ₂ O	pH _{сол.}	S, мг-экв./100 Г	P ₂ O ₅	K ₂ O
			мг/100 Г				мг/100 Г	
07.06	7,70	95,82	18,8	1363,9	-	-	-	-
17.06	7,39	96,10	18,8	1341,9	-	-	-	-
27.06	7,57	95,25	14,5	1051,0	-	-	-	-
15.07	7,52	99,63	14,0	963,9	7,33	90,72	12,0	977,5
25.07	7,52	99,96	13,1	1003,1	7,56	92,75	10,3	1036,4
26.08	7,50	95,48	12,8	959,2	7,52	96,35	13,3	981,7
05.09	7,59	94,34	8,2	864,6	7,58	95,59	14,1	983,8
18.09	7,55	93,74	15,5	1178,1	7,48	95,80	15,4	966,0

В конце первой декады октября компост вывезли в поле вблизи деревни Утяшево. На это же поле рядом с компостом вывезли подстилочный навоз.

Содержание минерального азота в кучах компоста составило 638,0 мг/кг абс. сух. в-ва, в навозе – 5869,1 мг/кг абс. сух. в-ва.

При повторном приезде в поле 29 октября обнаружили, что весь навоз и часть компоста разравнены. Был произведен отбор образцов. В кучах компоста содержание минерального азота увеличилось на 11% (табл. 14). А по данным С.А. Тулина и Н.Г. Ставровой [1996] при хранении навоза в мелких кучах теряется из него до 40 % азота.

В разровненном компосте количество минерального азота уменьшилось на 52 %, в разровненном навозе – на 78 %. После выпадения снега, внесенные удобрения остались на поверхности поля не запаханными. Технология внесения компоста в хозяйстве была нарушена.

Таблица 14 – Содержание минерального азота в компосте и навозе, мг/кг абс. сух. в-ва

Вид удобрения	11.10.1991			29.10.1991		
	NH_4^+	NO_3^-	$\text{NH}_4^+ + \text{NO}_3^-$	NH_4^+	NO_3^-	$\text{NH}_4^+ + \text{NO}_3^-$
Компост в кучах	627,6	10,4	638,0	639,4	74,2	710,6
Компост разровненный	-	-	-	107,6	221,8	329,4
Навоз в кучах	5237,7	631,4	5869,1	-	-	-
Навоз разровненный	-	-	-	1189,1	66,1	1255,1

Установлено [Мерзлая, Береснев, Нестерович, Матюшина, Белоус, 1990], что запашка навоза через 1-3 суток после разбрасывания снижает его эффективность в два раза и более по сравнению с немедленной запашкой из-за больших потерь азота. При внесении компостов необходимо заделывать их в почву с интервалом не более 2 часов [Карпухин, 1991]. Регламентированная по времени заделка компостов обусловлена высоким содержанием в них аммонийного азота, который быстро теряется при поверхностном распределении.

При нахождении компоста в кучах на поле за 17 дней уменьшилось содержание водорастворимых соединений на 5 %, общего углерода на 4 %, увеличились зольность на 17 %, гидролизуемые соединения на 32 %, гемицеллюлоза на 111 %, целлюлоза на 72 %, лигнин на 8 % (табл. 15). Процесс

минерализации продолжался и происходили потери общего углерода и водорастворимых соединений.

Таблица 15 – Групповой состав торфонавозного компоста

Вариант	Зольность, %	С общее, г	В % на абсолютно сухое вещество					
			Битумы	Водорастворимые и легкогидролизуемые при 100°С	Гидролизуемые 2% HCl		Целлюлоза	Негидролизуемый остаток (лигнин)
					всего	в т.ч. геми-целлюлоза		
Компост в кучах 11.10.1991	45,0	0,9	0,8	5,0	62,3	16,7	5,2	65,1
Компост в кучах 28.10.1991	52,5	0,8	-	4,8	62,3	35,2	9,0	70,5

В литературе встречается разное мнение по поводу увеличения минерального азота в компостах. Одни исследователи [Абызов, 1962; Бодрова, Озолина, 1963, 1965; Блинков, 1968; Блинова, 1975; Бурак, 1975; Аристархова, 1976; Бондарь, Синовский, 1982] указывали, что в процессе компостирования торфа с навозом происходит значительная минерализация и повышение содержания минерального азота. З.М. Подзоровой [1983] установлено увеличение нитратного азота более чем в два раза. Другие исследователи [Шемпель, Филлипенко, 1972; Курганский, 1972; Николаева, 1974] придерживаются мнения, что значение увеличения доступности азота торфа при компостировании с навозом другими авторами преувеличено, т.к. в их опытах накопление азота в минеральных формах было незначительным, а в опыте В.И. Усенко [1984] накопление вообще не подтвердилось.

Наши наблюдения за полевыми и производственными штабелями, приведенные в этом разделе, показали увеличение минерального азота в процессе компостирования торфа с навозом при соблюдении технологии закладки и времени компостирования.

Максимальное повышение температуры в компостном бурте при хорошей аэрации компостируемой массы наступает через 10-15 дней. При использовании бесподстильного навоза для компоста разогрев происходит слабее, чем при использовании подстильного. Увеличение количества минерального азота при компостировании торфа с бесподстильным навозом в рыхлом состоянии составляло 20 %, с подстильным – 42 %. Разогретый торфонавозный компост лучше всего вносить в почву после двух месяцев компостирования. Дальнейшее хранение приводит к потере подвижных питательных веществ. Потери минерального азота при задержке запахивания за 8 дней составили в компосте 52 %, в навозе 78 %.

1.2 Компостирование навоза с соломой

Рациональное использование почвы остаётся главной задачей агрономической работы. При интенсивном сельскохозяйственном использовании пашни плодородие необходимо создавать искусственно. Комплексная программа по повышению почвенного плодородия состоит из улучшения использования земель применительно к местным природно-климатическим и экономическим условиям. Большие возможности в области есть по компостированию навоза с торфом и соломой. Компостирование имеет преимущество как приём лучшего хранения навоза, позволяет уничтожать паразитические организмы, содержащиеся в навозе, и семена сорняков посредством высоких температур [Cochrane, 1985].

Компостирование навоза с соломой находит своё актуальное применение в хозяйствах Уральского региона, в частности в АО «Успенское» Тюменского района. Хозяйство имеет 4200 голов крупного рогатого скота. Содержание животных стойловое с привязью, на подстилке опила из древесных пород. Ежедневно совершается моцион в течение 5-6 часов в выгонах, где для подстилки используется солома зерновых культур, которая постепенно смешивается с навозом и мочой КРС, превращаясь в соломисто-навозную массу. При достижении высоты подстильного навоза до полутора метров, его

вывозили на площадки, укладывая в бурты. Транспортные работы по вывозке подстилочного навоза приходились на зимне-весенний период. Бурты формировали на поле ковшовым погрузчиком на базе трактора К-700.

Схема опыта: 1. борт – 20х20х4 м (соотношение длины к ширине 1:1, форма основания – квадрат), 2. борт – 30х10х4 м (соотношение длины к ширине 3:1, форма основания – прямоугольник), 3. борт – 50х6х4 м (соотношение длины к ширине 8:1, форма основания – гряда). Бурты сформированы массой 1200 т, длинные стороны 2-го и 3-го буртов обращены на восток и запад. Температура нагрева массы бурта определялась термощупом на глубине 1 метра от поверхности.

Для ускоренного разложения органической массы необходимы оптимальные условия, включающие тепловой, водный и воздушный режимы. Соломисто-навозная масса, сформированная в бурты, под действием солнечной энергии и собственного тепла начинает согреваться. Первое снятие показаний температуры в компостируемой массе было проведено 11 июня, всего за четыре месяца показания снимались 5 раз (табл. 16). По данным исследований отметили, что разогрев буртов с разной формой формирования и с разных сторон бурта происходил с неодинаковой интенсивностью.

Таблица 16 – Температура соломисто-навозного компоста в бурте с квадратной формой основания, °С (2009 г.)

Дата отбора	Стороны бурта			
	восточная	южная	западная	северная
11 июня	44	10	9	0
29 июня	42	10	11	9
9 июля	50	54	23	5
23 июля	53	49	36	8
9 сентября	31	50	39	28

Восточная сторона бурта квадратной формой основания в июне разогрелась до 44⁰С. В южной и западной сторонах бурта температура сохранялась в пределах 10⁰С в течение июня. Максимальная температура в восточной и южной стороне бурта наблюдалась в июле – 53-54⁰С. В западной

стороне бурта температура поднялась в конце июля до 36⁰С, а в северной стороне оставалась такой же, как в июне, в пределах 10⁰С. К сентябрю температура в восточной стороне бурта начала снижаться, в южной и западной – нет. В северной стороне температура поднялась до 28⁰С. Разница в разогреве между восточной и южной стороной – месяц. В исследованиях И.В. Греховой [2005] в торфоновозном компосте температура на глубине 1 м поднималась до 50-55⁰С, также минимальная температура зафиксирована с северной стороны бурта, а максимальная – с восточной.

Средняя температура буртов разной формы основания за летний период компостирования представлена в таблице 17.

До температуры выше 50⁰С разогрелся только компост, сформированный в основании в виде гряды (50х6 м). До 48⁰С поднялась температура в бурте с основанием в виде прямоугольника (30х10 м). Компост, сформированный в основании в форме квадрата (20х20 м), разогревался слабее – до 37⁰С. В оценке среднего температурного режима по буртам, преимущество у бурта с соотношением длины к ширине 8:1. Высокая температура даёт возможность для ускоренного процесса разложения органической массы.

Таблица 17 – Влияние конфигурации бурта на разогрев соломенно-навозного компоста, ⁰С (2009 г.)

Дата отбора	Форма бурта в основании		
	квадрат	прямоугольник	гряда
11 июня	18	12	41
29 июня	18	26	41
9 июля	33	48	54
23 июля	37	48	50
9 сентября	37	37	35

Влажность в буртах изменялась незначительно по обследуемым датам. Средние её значения в пределах 60-70 %. Это оптимальная влажность для прохождения микробиологических процессов.

В литературных источниках встречается разное мнение по поводу повышения содержания минерального азота в компостах. Одни авторы [Блинова,

1975; Бондарь, Синовский, 1982; Подзорова, 1983; Лашнев, Шуфинская, Головина, 1985] указали, что в процессе компостирования торфа с навозом и помётом происходила минерализация и повышение содержания минерального азота. В опытах других авторов [Шемпель, Филлипенко, 1972; Курганский, 1972; Николаева, 1974; Усенко, 1984] накопление минерального азота было незначительным или накопление не подтвердилось. В исследованиях И.В. Греховой [1985, 2002, 2005] за время компостирования увеличение минерального азота происходило в торфопомётном компосте на 68 %, в торфонавозном – на 42-54 % по сравнению с исходным в смеси при соблюдении технологии закладки и времени компостирования.

В соломисто-навозном компосте содержание аммонийного азота к концу июня повышалось в 1,4-2,3 раза в зависимости от формы основания бурта (табл. 18). Затем его содержание снижалось и снова возрастало к сентябрю.

Таблица 18 – Влияние конфигурации бурта на содержание минеральных форм азота в соломисто-навозном компосте, мг/кг абс. сух. в-ва (2009 г.)

Дата отбора	Форма бурта в основании		
	квадрат	прямоугольник	гряда
Аммонийный азот			
11 июня	253	327	583
29 июня	353	752	710
9 июля	84	613	564
23 июля	121	629	466
9 сентября	211	443	773
Нитратный азот			
11 июня	56	66	62
29 июня	127	73	84
9 июля	101	101	62
23 июля	80	82	78
9 сентября	98	123	167
Минеральный азот			
11 июня	309	393	645
29 июня	480	825	794
9 июля	185	714	626
23 июля	201	711	544
9 сентября	309	566	940

К концу компостирования по сравнению с первоначальным значением содержание аммонийного азота увеличивалось во втором и третьем буртах на 36 и 33 % соответственно, а в первом – снижалось на 17 %.

В содержании нитратного азота в течение компостирования наблюдалась динамика, аналогичная аммонийному азоту: возрастание, убывание и снова возрастание. Во всех буртах к концу компостирования произошло накопление нитратного азота: в первом – на 75 %, во втором – на 88 %, в третьем – на 170 %.

Содержание минерального азота перед внесением в почву было больше всего в третьем компосте из бурта, имеющего соотношение длины к ширине равной 8:1 и самую высокую температуру разогрева.

На втором месте бурт с соотношением длины к ширине равной 3:1. И меньше всего (в 3,0 и 1,8 раза) минерального азота содержалось в компосте при форме бурта с соотношением длины к ширине равной 1:1. Содержание минерального азота согласуется с температурой разогрева.

Изменения в сумме поглощённых оснований, ёмкости и степени насыщенности за время компостирования незначительные (табл. 19), что согласуется с ранее проведенными исследованиями И.В. Греховой [2005]. Различия между формами бурта также по этим показателям незначительны.

Таблица 19 – Агрохимическая характеристика компостов

Варианты	мг-экв./100 г			V, %
	H _г	S	T	
11.06.2009 г.				
Бурт 1 (20х20х4 м) (квадрат)	2,2	58,0	60,2	96,3
Бурт 2 (30х10х4 м) (прямоугольник)	1,5	55,9	57,4	96,5
Бурт 3 (50х6х4 м) (гряда)	1,4	60,9	62,3	97,8
09.09.2009 г.				
Бурт 1 (20х20х4 м) (квадрат)	2,1	58,6	60,7	96,5
Бурт 2 (30х10х4 м) (прямоугольник)	1,8	61,2	63,0	97,1
Бурт 3 (50х6х4 м) (гряда)	1,7	55,6	57,3	97,0

Примечание: H_г – гидролитическая кислотность, S – сумма поглощённых оснований, T – общая ёмкость поглощения, V – степень насыщенности почвы основаниями.

Конфигурация бурта, а точнее температура разогрева, влияла на гидролитическую кислотность. Она ниже во втором (48⁰С) и третьем буртах (54⁰С) на 14 и 19 % по сравнению с первым, разогревшимся только до 37⁰С. С повышением температуры усиливаются процессы минерализации органической массы, и снижается гидролитическая кислотность.

Таким образом, в бурте (20x20x4 м) с квадратной формой основания разогрев компоста до температуры выше 50⁰С произошёл только в восточной и южной стороне бурта. С северной стороны бурта температура в течение лета сохранялась ниже 10⁰С. Установлено, что конфигурация бурта влияет на активность разогрева соломисто-навозного компоста. Оптимальный тепловой режим за короткий период создавался у бурта шириной 6 м и длиной 50 м. Средняя температура наблюдалась в бурте шириной 10 м и длиной 30 м в основании прямоугольной формы. Слабее разогревался борт в основании в виде квадрата. Следовательно, соломисто-навозный компост рекомендуется формировать в борт с шириной 6-10 м и длиной от 30 м и более в направлении с юга на север.

Конфигурация и расположение бурта соломисто-навозного компоста влияли на качество компостирования. Оптимальный тепловой режим за короткий период создавался у бурта длиной 50 м и шириной 6 м, средний – в бурте длиной 30 м и шириной 10 м с основанием в виде прямоугольника, низкий – у бурта с основанием в виде квадрата (20x20 м). Аналогичная закономерность наблюдалась по содержанию минерального азота. С повышением температуры снижалась гидролитическая кислотность, по конфигурациям бурта закономерность обратная: самое низкое значение – у бурта длиной 50 м и шириной 6 м. Наблюдения за влиянием расположения бурта на разогрев компоста проводили в бурте с квадратной формой основания. Быстрее и до более высокой температуры разогревалась восточная сторона бурта, затем – южная, а потом – западная. С северной стороны температура в течение лета сохранялась на уровне 10⁰С. Температура поднялась до 28⁰С только в сентябре.

Процесс компостирования условно делят на 4 стадии: мезофильная, термофильная, остывание и созревание. Первые три стадии компостирования в зависимости от системы компостирования протекают очень быстро (дни или недели), последняя стадия (созревание) длится несколько месяцев [Выворова Е.Ф., 1972; Винаров, Кухаренко, Ипатова, Бурмистров, 1998; Криволапов, 2010]. После протекания трёх стадий компостирования образующийся компост можно применять в качестве незрелого компоста. Органические вещества перешли в доступную форму, такой компост богат азотом и содержит большое количество питательных веществ. Основная ценность незрелого компоста заключается в активизации деятельности почвенных микроорганизмов, которые продолжают процесс разложения компоста непосредственно в почве [Миронов, Протасова, Проценко, Балабина, Лукьянчикова, 2017]. По результатам наших исследований торфопомётный компост можно вносить в почву через месяц после закладки, торфонавозный и соломисто-навозный – через 2 месяца.

Глава 2. ПОВЫШЕНИЕ ПЛОДОРОДИЯ СЕРОЙ ЛЕСНОЙ ПОЧВЫ И ПРОДУКТИВНОСТИ КУЛЬТУР

Торфоновозные компосты оказывают положительное действие на почву. Плотные и тяжелые глинистые почвы после внесения в них компостов становятся более рыхлыми и влагоемкими. Торф является поверхностно-активным веществом, причем катионнообменным, накапливает на своей поверхности значительное количество основных питательных веществ в доступной для растений форме [Парнов, Оршанский, 1966]. Также компосты увеличивают в почве концентрацию физиологически активных веществ типа аминокислот, витаминов группы В и гиббереллиноподобных веществ, которые в значительной степени влияют на рост и развитие сельскохозяйственных растений [Мозжерин, 1985]. В опытах новосибирских ученых [Гудилин, Алиев и др., 1985] использование торфа совместно с навозом способствовало увеличению микроорганизмов в 3-5 раз и повышало накопление фиксированного азота в 1,5-2 раза. Внесение торфоновозной смеси способствует существенному повышению биогенности почв [Славина, Изерская, Середина, 1992]. Уровень активности каталазы возрастает от среднего до высокого, уреазы, инвертазы, протеазы – от очень низкого до среднего.

Применение компоста повышает плодородие почв за счет обогащения ее гумусовыми соединениями, азотом, фосфором, кальцием и микроэлементами, снижает количество вносимых минеральных удобрений и поступление нитратов в растения [Сидоренко, 1995, 1996]. Активизируется агрономически полезная почвенная микрофлора, повышается подвижность элементов питания. Улучшается фитосанитарное состояние почвы благодаря наличию термофильных микроорганизмов и бактерий-антагонистов. Повышается содержание веществ, обладающих фунгистатическим действием, что ослабляет или подавляет развитие некоторых болезнетворных грибов и бактерий.

Внесение торфоновозного компоста в дозе 80 т/га [Агарков, 1991] увеличивало запасы общей, продуктивной влаги, капиллярную и полную

влажностность дерново-подзолистой песчаной почвы. Применение торфонавозных компостов оказывало более сильное действие на накопление гумуса и образование водопрочных агрегатов, чем чистый навоз, повышало ёмкость поглощения почвенного комплекса [Афанасьев, Русонович, Янович, 1975; Назаренко, Свиридов, 1982; Матвеева, 1984]. При систематическом внесении в дерново-подзолистые почвы высоких доз торфонавозного компоста (100-120 т/га) запасы гумуса возросли в слое 0-20 см с 94 до 173 т/га, в слое 0-50 см с 122 до 279 т/га [Владимирова, 1973]. По данным Почвенного института им. В.В. Докучаева, внесение 10 т/га компостов обеспечивает повышение гумуса на 0,03-0,04% [Карпухин, 1991].

Закрепление углерода в почве от каждой тонны навоза на соломенной подстилке составило 30 кг/га, на торфяной подстилке при соотношении торфа к навозу 1:1 – 52 кг/га, при соотношении торфа к навозу 2:1 – 65 кг/га [Лавровский, 1981].

В исследованиях Н.Н. Назаренко и А.Н. Свиридова [1985] наиболее существенное влияние на содержание питательных веществ в пахотном слое почвы торфонавозный и торфонавознофосфоритный компосты оказывали в последствии на первый и второй год. Торфонавозные компосты по эффективности приближались к подстилочному навозу, а торфопомётные превосходили его в 1,3-1,8 раза [Лукин, Марчук, 1996].

Многочисленные опыты с торфопомётными компостами показали их высокую эффективность [Сдобников, Малофеев, Фетисов и др., 1986; Мерзлая, Степанов, 1992]. Внесение торфопомётного компоста в почву в дозе 15-20 т/га под зерновые и 40-50 т/га под картофель и овощи обеспечивало с учётом последствия повышение урожаев в 1,2-1,3 раза по сравнению с эквивалентным внесением минеральных удобрений [Некрасов, Лашнев, 1982]. Торфопомётные компосты обеспечивали прибавку урожайности 0,8 ц зерн. ед. на 1 т удобрения [Хохлов, 1991]. М.Я. Ялтонский [1985] показал, что торфопомётные компосты эффективнее торфонавозных. Прибавка урожая корнеплодов турнепса при

внесении торфонавозного компоста (3:1) в среднем за 3 года составила 115 ц/га, а торфопомётного компоста (3:1) – 217 ц/га.

Рассмотрим действие и последствие компостов на свойства серой лесной почвы и продуктивность культур.

2.1 Применение торфа и компостов на его основе

Полевой опыт по изучению действия торфокомпостов на серую лесную почву был заложен осенью 1983 г. в УЧХОЗе в 1,5 км от д. Плеханово. Несмотря на давность проведённого опыта, в настоящее время его результаты актуальны. Схемой опыта предусматривалось сравнение эффективности торфонавозного и торфопомётного компостов с торфом, навозом и мочевиной. Компосты, торф и навоз были внесены осенью и сразу проведена отвальная вспашка. По мнению авторов [Летяго, 1975; Полетаева, Воронаев, 1979; Светов, 1985; Хитрич, Горкуша, ДЕРЕБОН, 1984] наиболее целесообразно внесение компостов осенью под зяблевую вспашку или весной под перепашку зяби.

В литературе нет единого мнения по дозам внесения компоста. И.П. Мамченков [1965] считал, что наиболее высокой суммарной продуктивности всех культур севооборота можно добиться лишь при внесении всей массы компоста под наиболее отзывчивую культуру севооборота. По данным Н.С. Лушниковой и М.П. Чмелева [1983], наоборот, ежегодное внесение компоста в небольших количествах (10-15 т/га) более эффективно, чем внесение через 2-3 года больших доз (30-40 т/га). А.А. Молявко и М.Н. Старко [1984] установили, что наиболее высокая окупаемость 1 т компоста прибавкой урожая клубней картофеля отмечена в случае применения его в норме 30 т/га. Ю.К. Бурак [1975] также считает дозу 30-40 т/га оптимальной. На чернозёме обыкновенном Оренбуржья рекомендуемая доза твердых органических удобрений составляла 4 т/га [Гамм, Гривко, Идигенов, 2023]. Питательные элементы сорбируются на поверхности твердой фазы удобрения и действуют длительное время.

Исследованиями И.Н. Барановского [1985] установлено, что продолжительность положительного действия низких норм торфа и навоза (30 т/га) не превышает 2-3 года, а высоких доз (90-150 т/га) сохраняется до 5-6 лет. Положительное действие торфа сохранялось на 1 год дольше. Заметное улучшение состава органического вещества почвы происходило только на фоне высоких норм торфа и навоза.

В опыте ГАУ Северного Зауралья [Миллер С.С., Дёмин, Миллер Е.И., Фоминцев, 2022] навоз в дозе 30 т/га вносили под первую культуру в севообороте – кукурузу. Проведя статистический анализ, авторы выявили, что доля влияния навоза на урожайность зеленой массы кукурузы составила 50 %, на вторую культуру севооборота (пшеница яровая) – 33 %, третью культуру (овёс) – 6 %. Влияние навоза в низкой дозе на урожайность культур наблюдалось в течение трёх лет, что подтверждает вышеприведенные исследования И.Н. Барановского [1985]. Но при учёте влияния на урожайность не принимается в расчет улучшение свойств почвы. При внесении навоза поступает в почву органическое вещество, элементы питания, улучшается биологическая активность почвы [Миллер Е.И., Миллер С.С., Рзаева, 2023].

При расчете доз органических удобрений по сухому веществу и общему азоту [Тишкович, Канский, 1981; Кирюшин, Усенко, Мосторовой, Чуканов, 1988] заранее в невыгодное положение ставился вариант с торфом. В нашем опыте эквивалентные дозы рассчитаны по легкогидролизуемому азоту, который определялся по методике Шконде и Королевой [Агрохим. методы..., 1975]. Все варианты выравнены по азоту – N_{90} кг/га. Доза торфа составила 204 т/га, торфонавозного компоста – 201 т/га, торфопометного – 128 т/га, навоза – 90 т/га. Фон опыта: двойной суперфосфат в дозе 90 кг/га по действующему веществу, хлористый калий – 60 кг/га. Органические и фосфорнокалийные удобрения вносились осенью под отвальную вспашку, мочевины весной под предпосевную культивацию.

Площадь делянки полевого опыта – 200 м² (10×20), повторение трёхкратное, размещение делянок рендомизированное, одноярусное. Защитные

полосы между делянками по два метра, вокруг опыта – по 5 и 10 метров. Площадь опыта составила 1 гектар. Первые два года возделывалась пшеница яровая сорт Тюменская 80, на третий год – овес сорт Таёжник. Агротехника в полевом опыте применялась общепринятая для северной лесостепи Тюменской области [Вопросы системы ..., 1970; Система ведения ..., 1972].

Метеорологические условия в годы производства опыта имели некоторые различия. Вегетационный период 1984 г. характеризовался умеренно-теплой погодой и неравномерным распределением осадков по месяцам. Холодная, затяжная весна с частыми возвратами холодов значительно задержала подготовку почвы к посеву. Установившаяся теплая, сухая погода в мае позволила провести сев яровой пшеницы в благоприятный срок – 23 мая. Весной ощущался большой недостаток осадков. В целом за вегетационный период сумма осадков составила 333 мм (118 % от средней многолетней).

В 1985 г. вегетационный период характеризовался холодной затяжной весной, прохладной первой половиной лета, умеренно теплой погодой во второй половине лета, благоприятными погодными условиями в период уборки. Наступившее похолодание в конце первой декады мая задержало появление сорняков на полях, поэтому к массовому севу приступили лишь в конце второй-начале третьей декады. Пшеница на опытном участке была посеяна 29 мая. В целом за вегетационный период сумма осадков составила 170 мм (60 % нормы). Средняя температура воздуха за этот период оказалась около нормы, но ниже предыдущего года.

Вегетационный период 1986 г. характеризовался ранней, но затяжной и холодной, с обильными осадками, весной, прохладным дождливым летом, большим недостатком эффективных температур и неблагоприятными условиями погоды в период уборки. На опытном участке посеяли овес 21 мая. Осадки в течение лета наблюдались часто, в основном ливневого характера. За вегетационный период выпало 315 мм (112 % нормы).

В целом погодные условия за годы исследований, несмотря на недостаток тепла в отдельные периоды развития, при хорошей обеспеченности влагой

способствовали получению хороших урожаев сельскохозяйственных культур.

Почва опытного участка – серая лесная, характеристика пахотного горизонта опытного участка: pH 5,02-5,08, гидролитическая кислотность 3,79-4,23 мг-экв. на 100 г почвы, содержание подвижного фосфора по Кирсанову (P_2O_5) – 130-200 мг/кг почвы, подвижного калия по Кирсанову (K_2O) – 100 мг/кг почвы. Рельеф опытного поля выравненный.

Интенсивность минерализации органического вещества торфа и компостов в почве рассмотрим по образованию и накоплению азота. Сведения о его наличии в почве в разные периоды вегетации дает представление о характере этих процессов [Ялтонский, 1988]. Огромная роль азота в формировании урожая культур обусловлена тем, что он является неременной составной частью всех аминокислот и белков, нуклеиновых кислот и хлорофилла, липоидов и ферментов [Петербургский, 1981; Нарциссов, 1982].

Основным источником азотного питания в почве является органическое вещество, в котором его содержится 98 % от всего запаса азота в почве. А.М. Лыков [2002] считает, что наиболее вероятным источником минерального азота в почве является фракция легкогидролизуемых азотсодержащих органических соединений (амиды и аминокислоты). На долю трудногидролизуемого азота приходится более половины всего почвенного запаса азота. При окультуривании почв азотный фонд их становится менее подвижным, что объясняется перераспределением его в составе азотных соединений за счет увеличения доли негидролизуемых соединений, составляющих 69-82 % [Шконде и др., 1968; Лыков, 2002].

Круговорот азота в почве обусловлен процессами минерализации азотсодержащих органических соединений и иммобилизации азота минеральных форм. Минерализация органических азотсодержащих соединений в почве происходит в результат двух процессов – аммонификации и нитрификации [Посыпанов, 1991]. Аммонификацию вызывают аэробные и анаэробные бактерии, плесневые грибы и актиномицеты [Мишустин, 1975]. Часть аммиака, освобождающегося при разложении органических азотсодержащих соединений,

адсорбируется почвой, усваивается растениями и микроорганизмами почвы, часть подвергается процессу нитрификации, частично улетучивается в атмосферу. Аммонийная форма азота является составной частью общего минерального азота в почве, которая усваивается растениями [Прянишников, 1965; Мишустин, 1975; Петербургский, 1979; Милащенко, 1996]. Нитрификационный процесс протекает в две фазы. Первая фаза – окисление аммиака в нитритную форму, вторая – в нитратную [Виноградский, 1952]. Первая фаза происходит под влиянием деятельности бактерий-нитрификаторов *Nitrosomonas*, *Nitrosocystis*, *Nitrosolobus*, *Nitrospira*, вторая – *Nitrobacter*, *Nitrococcus*, *Nitrospina* [Watson, 1971].

Аммонифицирующие микроорганизмы – термофильные и осуществляют свою жизнедеятельность даже при температуре 60-70°C, но их лимитирует низкая температура [Петербургский, 1981]. А процесс нитрификации происходит при оптимальной температуре в пределах 25-28°C. Снижение температуры и повышение свыше 45°C приводит к резкому ослаблению деятельности нитрифицирующих бактерий. Исследователи [Watson, 1971; Мишустин, 1975; Петербургский, 1981] указывали о влиянии на процессы аммонификации и нитрификации реакции почвенной среды, влажности почвы, температуры, соотношения C:N и режима аэрации в почве.

Ухудшение почвенных условий и повышение кислотности почвы ведет к потере азота почвы за счет восстановления азота до свободного состояния (денитрификация), который улетучивается в атмосферу [Мишустин, 1975]. Потери азота могут наблюдаться в виде аммиака и окислов азота [Петербургский, 1981].

Режим азотного питания растений на серых лесных почвах Западной Сибири аммонийно-нитратный. Нитратная форма азота преобладает над аммонийной [Синягин, Кузнецов, 1979; Кочергин, Рушик, Вольщук, 1983; Синявский В.А., 1984].

Наблюдения за содержанием аммонийного и нитратного азота в почве велись в течение всего полевого опыта (рис. 1, прил. А).

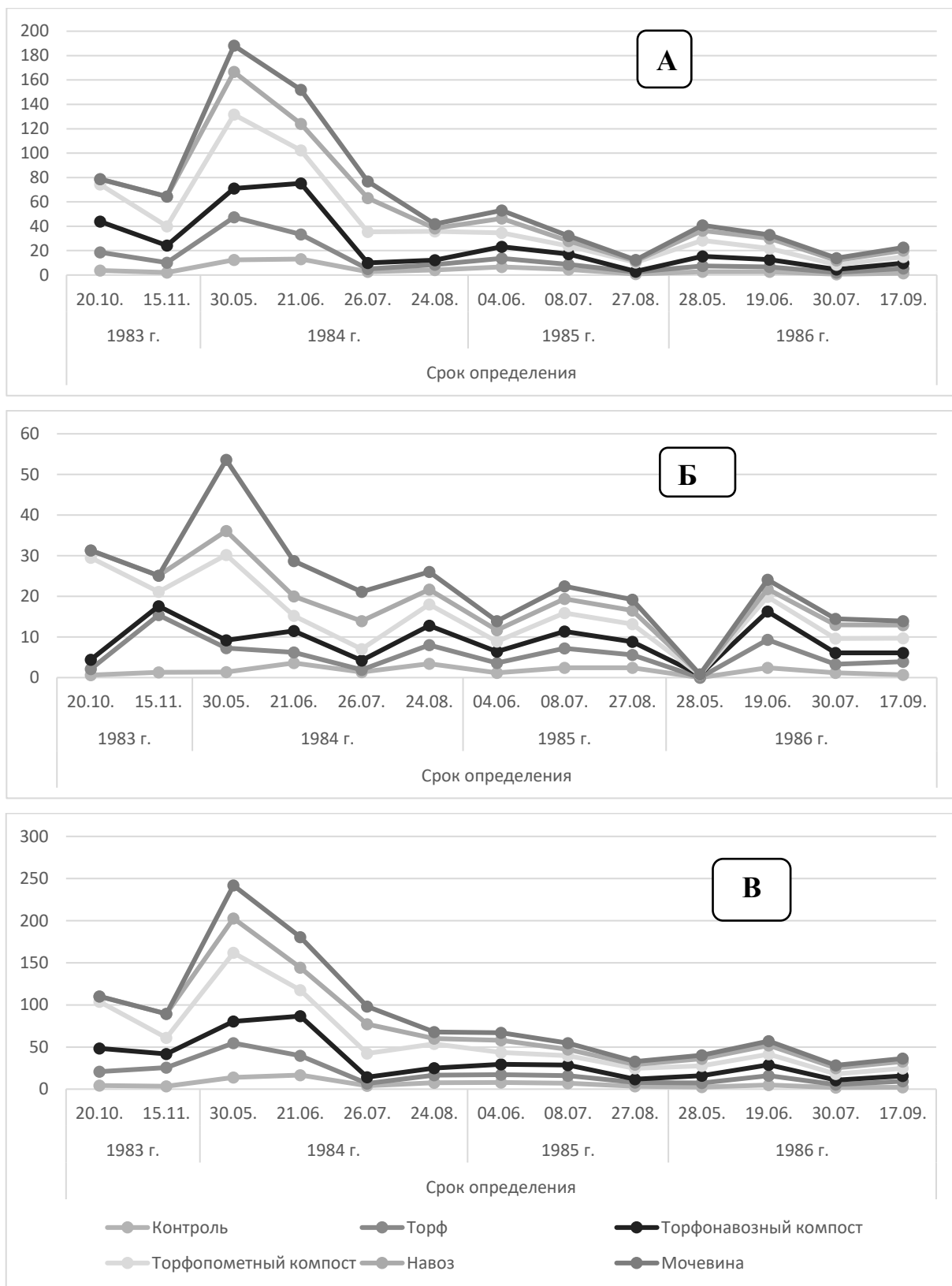


Рисунок 1 – Содержание минеральных форм азота в слое почвы 0-60 см, мг/кг:
А – нитратный азот, Б – аммонийный азот, В – минеральный азот

Максимальная интенсивность накопления нитратов в опыте в слое 0-60 см отмечена в конце мая и в июне. В июле происходило в основном снижение содержания нитратов, а в августе вновь несколько возрастало. Аналогичная динамика азота под культурами наблюдалась и в исследованиях Г.П. Гамзикова [1981]. Динамика содержания аммонийного азота варьировала по годам.

Перед посевом в первый год действия удобрений самое высокое содержание нитратного азота в почве отмечено при внесении торфопомётного компоста. При внесении торфонавозного компоста содержание минерального азота ниже, чем на вариантах с торфом, навозом и мочевиной. Минимальное количество азота на контроле и вариантах с торфом и компостами отмечено в конце июля, в августе снова содержание его увеличивалось. На вариантах с навозом и мочевиной содержание аммонийного и нитратного азота в августе снижалось по сравнению с июлем. В июле самое высокое содержание минерального азота в слое 0-60 см отмечено на варианте с навозом. В конце вегетационного периода варианты, кроме торфопомётного компоста, почти не отличались друг от друга и от контроля.

В целом в первый год исследования пшеница на всех вариантах с удобрениями была хорошо обеспечена азотом, что подтверждается значительным превышением контроля и отсутствием разницы в урожайности пшеницы на этих вариантах.

В год последствий перед посевом на первом месте по содержанию минерального азота в слое 0-60 см стоял навоз и торфопомётный компост – 14,6 и 14,0 мг/кг почвы, затем идут торфонавозный компост – 12,2 мг/кг, торф – 9,4 мг/кг, мочевина – 8,9 мг/кг и контроль – 7,9 мг/кг почвы. В июле на вариантах с торфонавозным и торфопомётным компостами содержание минерального азота выше, чем на остальных вариантах. В августе преимущество за торфопомётным компостом. Таким образом, в первый год последствий на вариантах с компостами растения лучше обеспечены азотом, чем на вариантах с торфом, навозом и мочевиной. Это подтверждается существенной разницей прибавки урожайности на вариантах с компостами.

На второй год последствий в почве перед посевом на варианте с внесением торфопомётного компоста высокое количество минерального азота – 13,0 мг/кг, торфонавозного компоста – 8,6 мг/кг, навоза – 8,3 мг/кг, торфа – 4,8 мг/кг, мочевины – 4,3 мг/кг, на контроле – 2,6 мг/кг почвы. В июне почти одинаковое содержание азота в почве с торфонавозным и торфопомётным компостами – соответственно 13,0 и 12,7 мг/кг почвы, у торфа и навоза чуть ниже – 10,9 и 10,3 мг/кг почвы. В августе преимущество за торфопомётным компостом и навозом. Перед уборкой варианты с органическими удобрениями незначительно отличались друг от друга и резко превышали мочевины с контролем.

Таким образом, по мере прогревания почвы и уменьшения в ней избыточной влажности минерализация азотосодержащих соединений усиливается с одновременным активным развитием процесса нитрификации. Органическое вещество торфа как компонент удобрений отличается большей устойчивостью к минерализации, чем органическое вещество навоза. В связи с этим последствие органических удобрений, приготовленных с помощью торфа, носит более продолжительный характер, чем последствие навоза. При внесении торфа в серую лесную почву в процессе его минерализации азот переходит в усвояемые формы. После компостирования торфа с навозом и помётом дальнейшая минерализация органического вещества в минеральной почве протекает более интенсивно, чем одного торфа.

Рост кислотности ведет к снижению устойчивости растений к засухе и уменьшению окупаемости удобрений [Милащенко, 1996]. Повышение кислотности почвы приводит к увеличению подвижности гуминовых кислот, т.е. к выщелачиванию гумуса. Эти процессы чрезвычайно опасны, среднее снижение рН оподзоленных и выщелоченных черноземов составляет 0,03 в год.

В наших опытах после внесения удобрений на вариантах происходило увеличение рН солевой вытяжки по сравнению с контролем (табл. 20). В конце первого года действия на вариантах с компостами значение рН значительно превосходило другие варианты. На контроле в слое почвы 0-60 см рН солевой

вытяжки 4,7, на варианте с торфом – 5,1, торфонавозным компостом – 5,8, торфопомётным компостом – 5,9, навозом – 5,4 и мочевиной – 5,0.

Таблица 20 – Агрохимические показатели серой лесной почвы полевого опыта в слое 0-60 см

Вариант	1983 г.	1984 г.		1985 г.	1986 г.	
	14.11	30.05	24.08	27.08	28.05	17.09
pH (KCl)						
Контроль	4,9	4,7	4,7	4,6	4,9	4,7
Торф	5,2	5,1	5,1	4,9	5,4	5,0
Торфонавозный компост	5,3	5,3	5,8	4,9	5,5	5,2
Торфопомётный компост	5,1	5,0	5,9	5,0	5,2	5,3
Навоз	5,2	5,3	5,4	4,9	5,1	4,9
Мочевина	-	5,2	5,0	4,9	5,0	5,1
Ёмкость поглощения, мг-экв./100 г						
Контроль	22,1	21,8	21,5	20,8	19,8	20,7
Торф	26,6	26,7	26,0	23,5	22,6	21,7
Торфонавозный компост	30,2	30,1	31,5	26,7	27,2	25,1
Торфопомётный компост	30,4	28,6	29,6	26,9	25,2	25,3
Навоз	28,4	28,5	27,8	26,3	24,1	24,0
Мочевина	-	26,1	26,4	24,3	23,5	23,1

Варианты с удобрениями по ёмкости поглощения превосходили контроль. На контроле её значение постепенно снижалось. На вариантах с удобрениями в течение первого года действия значение ёмкости поглощения почти не изменялось, а на варианте торфопомётным компостом даже несколько увеличивалось по сравнению с первоначальной величиной.

В последующем на всех вариантах происходит снижение ёмкости поглощения. В течение всего периода исследований значение ёмкости поглощения на вариантах с торфонавозным и торфопомётным компостами значительно превышали остальные варианты. На втором месте – навоз, затем мочевина, торф уступал всем удобрениям.

После закладки опыта количество фосфора на вариантах с органическими удобрениями ниже, чем на контроле (табл. 21). Это, по-видимому, объясняется потреблением микроорганизмами фосфора минерального удобрения фона. В последующем варианты с органическими удобрениями превышали контроль. На

варианте с внесением мочевины содержание фосфора в течение всего опыта ниже, чем на контроле. По-видимому, мочевина способствовала более интенсивному потреблению растениями подвижного фосфора из почвы.

Таблица 21 – Содержание подвижных форм фосфора и калия в серой лесной почве полевого опыта в слое 0-60 см (мг/кг)

Вариант	1983 г.	1984 г.		1985 г.	1986 г.	
	14.11	30.05	24.08	27.08	28.05	17.09
Подвижный фосфор						
Контроль	130	50	79	67	52	35
Торф	74	57	93	59	64	47
Торфонавозный компост	71	93	1,2	75	76	59
Торфопометный компост	93	79	86	105	72	59
Навоз	109	73	96	55	85	48
Мочевина	-	44	62	47	40	30
Подвижный калий						
Контроль	142	100	102	102	131	123
Торф	136	112	121	119	117	112
Торфонавозный компост	149	111	110	109	91	101
Торфопометный компост	147	114	128	109	90	100
Навоз	125	136	122	130	106	99
Мочевина	-	107	117	117	95	109

В конце первого года варианты с компостами, торфом и навозом мало отличались друг от друга по содержанию подвижного фосфора. Компосты, особенно торфопомётный компост, в конце второго года по содержанию подвижного фосфора превосходили торф и навоз. Преимущество компостов сохранилось и на третий год за счет минерализации органических форм.

В течение первых двух лет исследования варианты по количеству подвижного калия в почве почти не отличались друг от друга и от контроля. На третий год содержание подвижного калия на вариантах с удобрениями ниже, чем на контроле, из-за более высокого урожая.

Таким образом, более высокая эффективность компостов объясняется переходом труднодоступных форм питательных веществ в легкодоступные и улучшением агрохимических свойств почвы.

Сорные растения – один из биологических факторов снижения урожайности сельскохозяйственных культур. Увеличению засоренности посевов могут способствовать и органические удобрения. Для установления влияния разных органических удобрений на засоренность посевов определяли численность сорняков количественно-весовым методом перед уборкой культуры. В фазу кущения проводилась обработка посевов 2,4Д-аминной солью. Жаркая погода и обилие осадков в конце июня и в июле 1984 года способствовали вспышке засоренности на опытном поле. Подобная картина наблюдалась и в хозяйствах этой зоны. Наибольшее количество сорняков во все годы исследования наблюдалось на варианте с навозом. В первый год количество сорняков достигало 98,8 шт./м², сырая масса на этом варианте составила 165,8 г/м² (табл. 22). В опытах С.С. Сдобникова и Г.В. Фетисова [1986] даже на варианте с полуперепревшим навозом было отмечено наибольшее количество сорняков по сравнению с торфопомётным компостом – 72 шт./м².

**Таблица 22 – Засоренность посевов овса и яровой пшеницы
в полевом опыте**

Варианты опыта	Количество сорняков, шт./м ²				Сырая масса сорняков, г/м ²			
	пшеница		овес	ср.	пшеница		овес	ср.
	1984	1985	1986		1984	1985	1986	
Контроль	72,0	72,7	21,0	55,2	92,6	80,7	103,0	92,1
Торф	41,2	21,7	20,3	27,7	101,4	124,7	110,0	112,0
Торфонавозный компост	82,8	47,7	21,5	50,7	145,6	123,0	161,0	143,2
Торфопомётный компост	46,8	51,0	20,5	39,4	117,1	79,7	128,3	108,4
Навоз	98,8	54,0	23,0	58,6	165,8	128,7	113,3	135,9
Мочевина	81,2	43,0	20,5	48,2	117,5	122,7	100,0	113,4

Самая низкая засоренность была на вариантах с торфом и торфопомётным компостом – 27,7 и 39,4 шт./м². Повышение температуры компоста во время его созревания и торфа в процессе саморазогревания до 45-50°C и выше приводит к коагуляции белка семян сорняков и потери их всхожести.

Температура в торфонавозном компосте поднималась только до 40°C и поэтому засоренность здесь выше по сравнению с торфом и торфопомётным компостом, но ниже, чем на варианте с навозом. На контроле высокая засоренность объясняется слабыми посевами, не способными угнетать сорную растительность. По видовому составу на опытном поле преобладал щетинник (*Setaria glauca*) – 50-90 %. В сырой массе сорняков наибольшая доля приходится на многолетние – 50-80 %.

Важное место на современном этапе развития сельского хозяйства для повышения продуктивности растений занимают органические удобрения. В год действия и в первый год последействия влияние различных удобрений на урожайность и качество зерна изучалось на пшенице сорт Тюменская-80, во второй год последействия – на овсе сорт Таёжник. Урожайность культур определялась поделочно-уборкой комбайном с одновременным взвешиванием. Учетная площадь деланки 160 м².

В первый год исследования на всех вариантах была существенная прибавка урожайности по сравнению с контролем: торф – 1,50 т/га, торфонавозный компост – 1,37 т/га, торфопомётный компост – 1,75 т/га, навоз – 0,79 т/га, мочевины – 1,34 т/га (табл. 23).

Таблица 23 – Действие и последействие удобрений на урожайность яровой пшеницы и овса

	Урожайность, т/га			Сумма, т з. ед./га	Прибавка, %
	пшеница	пшеница	овёс		
Контроль	1,59	0,99	1,18	4,28	-
Торф	3,09	1,41	1,56	6,96	63
Торфонавозный компост	2,96	1,81	1,84	7,56	77
Торфопомётный компост	3,34	2,04	1,95	8,41	96
Навоз	2,38	1,57	1,77	6,51	52
Мочевина	2,93	1,18	1,31	6,24	46

В варианте с навозом сорняки оказали угнетающее действие на культурные растения, поэтому здесь самая низкая прибавка. Очевидно их влияние на

урожайность и в торфонавозном компосте, но в меньшей степени, чем на варианте с навозом.

Опытами Красноярского СХИ [Майборода, Терехова, 2001] подтверждено, что компосты на основе торфа уже в первый год применения не уступали навозу по эффективности.

Самая высокая урожайность получена на варианте с торфопомётным компостом – 3,34 т/га. Варианты с торфом, компостами и мочевиной существенно не отличались друг от друга по прибавке урожайности.

Во второй год исследования существенная прибавка урожайности пшеницы по сравнению с контролем получена на всех вариантах, кроме варианта с мочевиной: торф – 0,42 т/га, торфонавозный компост – 0,82 т/га, торфопомётный – 1,05 т/га, навоз – 0,58 т/га. Компосты существенно отличались от вариантов с торфом, навозом и мочевиной. Как и в первый год исследования самая высокая урожайность получена на варианте с торфопомётным компостом – 2,04 ц/га, что превышало контроль на 106 %.

Урожайность овса на опытном участке на третий год исследования на всех вариантах, кроме мочевины, была существенно выше, чем на контроле. Наибольшую прибавку урожайности дал вариант с торфопомётным компостом – 0,77 т/га, затем торфонавозный – 0,66 т/га. Вариант с мочевиной дал незначительную прибавку урожайности – 0,13 т/га. Компосты превосходили торф по прибавке урожайности на 0,28 и 0,33 т/га. Разница в прибавке урожайности компостов с навозом незначительна. Последействие компостов и навоза на третий год изучения дало больший эффект по повышению урожайности, чем последействие торфа и мочевины.

В целом за три года исследования была определена прибавка урожайности в зерновых единицах [Практикум ..., 1977; Нормы ..., 1985]. Наибольшую прибавку урожайности с учетом действия и двух лет последействия обеспечил торфопомётный компост – 96 %. Затем торфонавозный компост – 77 %. На вариантах с торфом и навозом эта прибавка составила 63 и 52 %. Наиболее низкой она была при внесении мочевины из-за невысокой эффективности в

последствия – 46 %. На варианте с навозом отрицательную роль на прибавку урожайности сыграла засоренность в первый год исследования.

Прибавка урожайности на вариантах с торфонавозным и торфопомётным компостами превышала вариант с навозом на 16 и 29 %. Разница в прибавке урожайности на вариантах с торфом и компостами в сравнении с вариантом, где вносилась мочеви́на, существенна: 12, 21 и 35 %. Урожайность культур при внесении торфопомётного компоста выше на 21 %, чем при внесении торфа.

Внесенные удобрения оказывали влияние и на содержание основных элементов питания в зерне. В первые два года исследования по содержанию фосфора и калия в зерне пшеницы компосты превосходили остальные удобрения. На третий год в овсе эта разница сглаживалась (табл. 24).

Таблица 24 – Влияние удобрений на содержание элементов питания в зерне яровой пшеницы и овса, %

Вариант	Пшеница (действие)	Пшеница (последствие)	Овёс (последствие)
Фосфор (P ₂ O ₅)			
Контроль	0,62	0,50	0,54
Торф	0,61	0,51	0,60
Торфонавозный компост	0,68	0,62	0,52
Торфопомётный компост	0,67	0,63	0,59
Навоз	0,54	0,50	0,58
Мочевина	0,46	0,43	0,54
Калий (K ₂ O)			
Контроль	2,72	2,23	1,03
Торф	2,77	2,16	1,02
Торфонавозный компост	2,88	2,54	1,08
Торфопомётный компост	2,86	2,31	1,07
Навоз	2,75	2,28	0,99
Мочевина	2,54	2,29	1,02
Азот общий			
Контроль	2,47	2,50	2,20
Торф	2,57	2,56	2,31
Торфонавозный компост	3,41	2,66	2,07
Торфопомётный компост	2,96	2,76	2,46
Навоз	2,55	2,68	2,08
Мочевина	2,81	2,61	2,22

По содержанию общего азота в зерне пшеницы компосты превышали другие удобрения только в первый год изучения, в остальные два года отклонения незначительные.

Таким образом, полученные данные свидетельствуют о том, что компосты с учетом действия и последействия более существенно влияют на урожайность сельскохозяйственных культур, чем торф, навоз и мочевины.

2.2 Применение соломисто-навозного компоста

Осенью 2009 г. после уборки кукурузы был заложен производственный опыт в АО «Успенское» Тюменского района Тюменской области по изучению влияния на продуктивность культур соломисто-навозного компоста. Схема опыта: 1. контроль, 2. компост (150 т/га). Почва опытного участка – серая лесная. В 2010 и 2012 гг. возделывали ячмень сорт Ача с нормой высева 5,5 млн. всхожих зёрен на гектар, в 2011 г. – викоовсяную смесь на сенаж в соотношении 1:2 с общей нормой высева 300 кг/га. Все варианты были в трёхкратной повторности. Площадь одной делянки – 0,8 га. Основная осенняя обработка почвы в 2009 г. – вспашка оборотным плугом, а в последующие два года – глубокое рыхление на глубину 30 см без оборота пласта. Агротехника ухода за посевами использовалась общепринятая для АО «Успенское». Общий фон минерального питания состоял из аммиачной селитры в дозах 100, 120 и 160 кг/га соответственно по годам. Пахотный горизонт серой лесной почвы при закладке опыта характеризовался следующими показателями: $pH_{\text{сол}}$ 5,4, гумус – 5,2%, гидролитическая кислотность – 3,4 мг-экв./100 г почвы, P_2O_5 – 206 мг/кг почвы, K_2O – 116 мг/кг почвы, $N(NO_3)$ – 10,5 мг/кг почвы.

Агрохимические показатели. Внесение компоста в слое 0-40 см по данным весны 2010 г. снижало обменную и гидролитическую кислотность на 5 и 9 % (табл. 25). Степень насыщенности почв основаниями возрастала на компосте на 52 %. В 2011 г. сохранились значительные различия между изучаемыми вариантами и контролем. В 2012 г. ёмкость поглощения уменьшилась на вариантах к уровню 2010 г. Степень насыщенности почв

основаниями в слое 0-40 см серой лесной почвы уменьшилась незначительно в 2012 г. к первоначальному обследованию 2010 г.

В опытах И.В. Греховой [1989, 1991, 1997] максимальная сумма поглощённых оснований при внесении торфонавозного компоста приходилась на конец первого года действия и превышала контроль в слое 0-60 см на 46 %. В данном опыте в слое 0-40 см – на конец второго года (компост соломенно-навозный) и превышение контроля составило 55 %.

Таблица 25 – Агрохимическая характеристика серой лесной почвы (0-40 см)

Варианты	pH _{сол.}	мг-экв./100 г			V, %
		H _г	S	T	
20.05.10 г.					
Контроль	5,5	3,2	5,4	10,4	51,9
Компост (150 т/га)	5,8	2,9	10,7	13,6	78,7
22.09.10 г.					
Контроль	5,6	3,2	7,1	10,3	68,9
Компост (150 т/га)	5,8	2,5	8,0	10,5	76,2
15.06.11 г.					
Контроль	5,8	3,8	6,2	10,0	62,0
Компост (150 т/га)	6,1	2,2	7,4	10,2	72,5
18.08.11 г.					
Контроль	5,8	3,1	8,4	11,5	73,0
Компост (150 т/га)	6,2	2,4	13,0	15,4	84,4
16.05.12 г.					
Контроль	5,7	2,6	9,4	12,0	78,3
Компост (150 т/га)	6,0	2,5	10,3	12,8	80,5
11.09.12 г.					
Контроль	5,5	3,4	7,1	10,5	67,6
Компост (150 т/га)	5,9	3,1	7,0	10,1	69,3

Примечание: H_г – гидролитическая кислотность, S – сумма поглощённых оснований, T – общая ёмкость поглощения, V – степень насыщенности почвы основаниями.

Содержание гумуса через год после внесения компоста в дозе 150 т/га в слое 0-20 и 20-40 см серой лесной почвы превышало контроль на 0,3 % (относит. 8 %) (табл. 26). В слое 0-40 см при внесении компоста содержание гумуса повысилось относительно контроля на 0,4 % (12 %).

Таблица 26 – Содержание гумуса в серой лесной почве, %

Варианты	Даты отбора проб		
	22.09.2010 г.	18.08.2011 г.	11.09.2012 г.
0-20 см			
Контроль	4,0	3,4	3,8
Компост (150 т/га)	4,3	3,8	4,0
20-40 см			
Контроль	2,9	2,4	2,8
Компост (150 т/га)	3,2	2,7	2,9
0-40 см			
Контроль	3,4	2,9	3,3
Компост (150 т/га)	3,8	3,2	3,4

На второй год превышение над контролем в содержании гумуса в почве изучаемого варианта сохранилось: в слое 0-20 см – на 0,4 % (относит. 12 %); в слое 20-40 см – на 0,3 % (относит. 12 %), в слое 0-40 см – на 0,3% (относит. 10 %). На третий год разница между контролем и компостом уменьшилась, превышение составило: в слое 0-20 см – 0,2 % (относит. 5 %), в слое 20-40 см – 0,1 % (относит. 4 %), в слое 0-40 см – 0,1 % (относит. 3 %). Увеличению гумуса в слое 20-40 см способствовала вспашка оборотным плугом на глубину 22 см при заделке компоста, а в последующие два года – глубокое рыхление на глубину 30 см без оборота пласта.

По содержанию подвижного фосфора различия между контролем и компостом незначительные в слоях почвы 0-20 и 0-40 см 2 и 5 мг/кг, в слое 20-40 см превышение контроля возрастает – различие в 12 мг (табл. 27). Во всех слоях почвы возрастание содержания подвижного калия в пределах 4-5 мг/кг.

На второй год при выращивании однолетних трав содержание подвижных форм фосфора и калия в почве при внесении компоста превышало контроль: 0-20 см – на 12 и 52 мг/кг, в слое 20-40 – 12 и 24 мг/кг соответственно. В среднем в слое почвы 0-40 см различие с контролем по содержанию подвижного фосфора в изучаемом варианте незначительное – 2 мг/кг, а по подвижному калию существенное – 38 мг/кг.

Таблица 27 – Влияние компоста на содержание подвижных форм фосфора и калия, мг/кг

Варианты	22.09.2010 г.		18.08.2011 г.		11.09.2012 г.	
	P ₂ O ₅	K ₂ O	P ₂ O ₅	K ₂ O	P ₂ O ₅	K ₂ O
0-20 см						
Контроль	90	102	72	80	80	72
Компост (150 т/га)	88	106	84	132	90	114
20-40 см						
Контроль	54	104	56	76	50	54
Компост (150 т/га)	66	109	48	100	74	135
0-40 см						
Контроль	72	103	64	78	65	63
Компост (150 т/га)	77	108	66	116	82	124

На третий год при внесении компоста превышение контроля по содержанию подвижного фосфора в почве увеличилось по сравнению с предыдущими годами. Превышение составило: 0-20 см – 10 мг/кг, 20-40 см – 24 мг/кг, 0-40 см – 17 мг/кг. Увеличилось различие с контролем и по содержанию подвижного калия: 0-20 см – 42 мг/кг, 20-40 см – 123 мг/кг, 0-40 см – 61 мг/кг.

Таким образом, при внесении компоста снижалась кислотность, повышались сумма поглощённых оснований и степень насыщенности почвы основаниями, содержание гумуса, подвижных форм фосфора и калия.

Динамика минеральных форм азота. На серых лесных почвах Западной Сибири режим азотного питания растений аммонийно-нитратный [Синягин, Кузнецов, 1979; Кочергин, Рущик, Вольщук, 1983; Синявский, 1984]. В нашем опыте наблюдения в динамике велись за аммонийной и нитратной формами минерального азота в серой лесной почве.

В 2010 г. в весенний период в слое почвы 0-40 см минеральный азот преобладал в нитратной форме, превышение над аммонийной на контроле в 2 раза, при внесении компоста – в 2,3 раза (табл. 28). В летний период различие между формами азота незначительное. В сентябре резко возрастало содержание аммонийной формы азота и снижалось содержание нитратной – различие на контроле в 5,4 раза, на компосте – в 2,5 раза. Содержание минерального азота при внесении компоста выше контроля в мае на 31,3 мг/кг (52 %), в июне – на

16,1 мг/кг (19 %), в сентябре – на 17,0 мг/кг (25 %). В июле наблюдалось снижение содержания минерального азота на 8,5 мг/кг (11 %). Объяснить снижение азота можно нитрификацией и активным потреблением питательных веществ урожаем из почвы именно в этот период.

Таблица 28 – Содержание минерального азота в слое 0-40 см серой лесной почвы, мг/кг абс. сух. почвы (2010 г.)

Варианты	Формы минерального азота		Минеральный азот
	N-NH ₄	N-NO ₃	
20.05			
Контроль	20,1	39,5	59,6
Компост (150 т/га)	27,2	63,6	90,9
28.06			
Контроль	40,7	42,8	83,5
Компост (150 т/га)	52,3	47,3	99,6
21.07			
Контроль	36,1	42,6	78,7
Компост (150 т/га)	31,9	38,3	70,2
22.09			
Контроль	57,5	10,6	68,1
Компост (150 т/га)	60,8	24,3	85,1

При выращивании однолетних трав в 2011 г. в почве на контроле в конце июня преобладала нитратная форма азота (на 13 %) над аммонийной (табл. 29).

В почве с компостом наоборот аммонийная форма превышала нитратную в 2,1 раза. Содержание минерального азота в почве с компостом меньше контроля на 6 %, в первой половине июля выше контроля на 31 % (на контроле преобладала аммонийная форма, на компосте – нитратная), в конце июля – на 71 % (нитратная форма преобладала над аммонийной). В августе повысилось содержание аммонийного азота на обоих вариантах, содержание на контроле выше компоста на 17 %. В августе после уборки однолетних трав на сенаж преобладал азот в аммонийной форме, в сентябре – в нитратной. В оба эти месяца содержание минерального азота в почве на контроле было выше, чем на варианте с компостом на 10 и 19 % соответственно.

Таблица 29 – Содержание минерального азота в слое 0-40 см серой лесной почвы, мг/кг абс. сух. почвы (2011 г.)

Варианты	Формы минерального азота		Минеральный азот
	N-NH ₄	N-NO ₃	
28.06			
Контроль	60,7	68,6	129,3
Компост (150 т/га)	83,0	38,8	121,8
13.07			
Контроль	53,3	32,0	85,3
Компост (150 т/га)	47,9	63,9	111,8
28.07			
Контроль	12,8	28,2	41,0
Компост (150 т/га)	34,7	35,6	70,3
18.08			
Контроль	51,1	37,1	88,2
Компост (150 т/га)	42,6	37,3	79,9
08.09			
Контроль	30,9	36,2	67,1
Компост (150 т/га)	21,3	35,1	56,4

В весенне-летний период второго года последствия содержания азота в нитратной форме преобладало над аммонийной (табл. 30).

Таблица 30 – Содержание минерального азота в слое 0-40 см серой лесной почвы, мг/кг абсолют. сух. почвы (2012 г.)

Варианты	Формы минерального азота		Минеральный азот
	N-NH ₄	N-NO ₃	
16.05			
Контроль	46,7	60,4	107,1
Компост (150 т/га)	41,6	55,4	97,0
15.06			
Контроль	47,9	57,6	105,5
Компост (150 т/га)	42,0	43,9	85,9
12.07			
Контроль	45,0	83,1	128,1
Компост (150 т/га)	76,8	80,1	156,9
11.09			
Контроль	67,5	23,8	91,3
Компост (150 т/га)	36,6	59,6	96,2

В мае и июне содержание минерального азота при внесении компоста ниже контроля на 9 и 18 %, в июле и сентябре – выше на 22 и 5 % соответственно.

Растения ячменя и однолетних трав при внесении компоста были хорошо обеспечены элементами питания, что подтверждалось прибавкой урожайности этих культур.

Влияние компоста на продуктивность культур. В опыте 2010 г. густота стояния растений ячменя превышала контроль при внесении компоста на 11 % (табл. 31). Наибольшая кустистость наблюдалась на варианте компост, что выше контроля на 24 %. Масса растений при применении компоста существенно повысилась на 65% по отношению к контролю. Длина растений ячменя на этом варианте была ниже контроля на 1,5 см.

Таблица 31 – Влияние компоста на растения ячменя (2010 г.)

Вариант	Число растений, шт.	Коэффициент кущения	Масса растений, кг/м ²	Длина растений, см
Контроль	592	1,7	1,7	67,7
Компост (150 т/га)	657	2,1	2,8	66,2
НСР ₀₅	15,5	-	0,16	7,6

Компост повышал число колосков в колосе, число зёрен в колосе и массу зёрен в колосе на 2, 3 и 9 % соответственно, но различие с контролем незначительно (табл. 32).

Таблица 32 – Влияние компоста на структуру урожая ячменя (2010 г.)

Вариант	Длина колоса, мм	Число колосков, шт.	Число зёрен в колосе, шт.	Масса зёрен в колосе, г
Контроль	60,1	17,7	19,1	0,97
Компост (150 т/га)	58,2	18,0	19,6	1,06
НСР ₀₅	10,4	3,2	2,4	0,11

В 2012 г. на развитие растений повлияла засуха, не наблюдалось кущение, значительно снизились число и масса зёрен в колосе по сравнению с 2010 г.

Число продуктивных стеблей ячменя на изучаемом варианте существенно превышало контроль на 47,0 шт./м² (9%) (табл. 33). По числу и массе зёрен в колосе существенное превышение контроля на 15 и 14 % соответственно.

Таблица 33 – Влияние компоста на ячмень (2012 г.)

Вариант	Число продуктивных стеблей, шт./м ²	Число зёрен в колосе, шт.	Масса зёрен в колосе, г
Контроль	523,3	10,7	0,57
Компост (150 т/га)	570,3	12,3	0,65
НСР ₀₅	22,0	2,0	0,14

Внесение компоста существенно повлияло на урожайность ячменя и однолетних трав (табл. 34).

Таблица 34 – Влияние компоста на урожайность культур, т/га

Вариант	Ячмень 2010 г.	Одн. травы 2011 г.	Ячмень 2012 г.
Контроль	3,9	27,9	2,9
Компост (150 т/га)	5,9	31,2	3,7
НСР _{0,5}	0,15	1,85	0,49

Урожайность ячменя при внесении компоста превышала контроль в 2010 г. на 51 %, в 2012 г. – на 28 %. В 2011 г. урожайность однолетних трав повышалась по сравнению с контролем на варианте компост на 12 %.

Рентабельность при применении компоста составила 43 %, на контроле – 44 % (табл. 35).

Таблица 35 – Экономическая эффективность применения компоста на ячмене сорт Ача (2010, 2012 гг.)

Варианты	Урожайность, ц/га	Затраты на 1 га, руб.	Себестоимость 1 ц, руб.	Цена реализации 1 ц, руб.	Прибыль, руб.	Рентабельность, %
Контроль	34,0	13334,36	392,19	700,00	10465,64	44
Компост	48,0	19232,91	400,69	700,00	14367,09	43

Внесение органических удобрений затратная операция, но они имеют длительное действие на плодородие почв и урожайность культур. В среднем за два года урожайность ячменя выше контроля на 14 га (на 41 %).

В АО «Успенское» для поддержания плодородия пашни, увеличения продуктивности зерновых и кормовых культур на поля ежегодно вносится соломисто-навозный компост в количестве 35 тыс. т под осеннюю вспашку, минеральные удобрения (аммиачная селитра, диаммофоска) – в дозе 85 кг д.в./га под яровой сев. Активно проводится известкование средне и слабокислых почв. Введены в севообороты полей многолетние травы до 2400 га. Таким образом, в данном хозяйстве заботливо относятся к своей кормилице – почве.

Глава 3. ВЛИЯНИЕ ТОРФА И ПОЖНИВНЫХ ОСТАТКОВ РАПСА ЯРОВОГО НА ПЛОДОРОДИЕ ЧЕРНОЗЁМА ВЫЩЕЛОЧЕННОГО И ПРОДУКТИВНОСТЬ КУЛЬТУР

Сельскохозяйственные культуры и их растительные остатки играют большую роль в воспроизводстве органического вещества в почве, в том числе гуминовых соединений, в улучшении агрофизических и биологических свойств и в обеспечении противозрозионной способности почв [Орлов, 1974; Александрова, 1980; Пономарева, Плотникова, 1980; Ганжара, 1988, 1997; Сдобников, 1994; Григорьева, 1995; Лыков, 2002; Сафонов, Алферов, 2002; Ильина, Дрожжин, 2003; Еськов, Новиков и др., 2003].

В природных экосистемах, где урожай человеком не убирается, в почву ежегодно поступает вся биомасса, равная годичной продукции [Титлянова, Тихомирова, Шатохина, 1982; Базилевич, Гребенщиков, Титков 1986], которая составляет в зависимости от почвенно-растительных зон от 3,5 до 25,0 т/га. В агроценозах поступление растительных остатков в почву также изменяется в широких пределах — от 2,8 до 11,9 т/га [Кирюшин и др., 1993; Лошаков, 2003]. Поступление растительных остатков в почву зависит от возделываемых культур и условий их выращивания [Лыков, 1982; Левин, 1986].

Характер превращения в почве растительных остатков хорошо изучен [Новицкий, 1971; Коротков, Ипполитова, 1976; Александрова, 1980; Сафонова, 1984; Сафонов, 1986; Довбан К.И., Довбан В.К., 1992; Лебедева, Надежкин, 1995, 1996]. Авторы отмечают, что постепенная минерализация пожнивных и корневых остатков сопровождается мобилизацией из них элементов питания. Преобладающая преимущественная роль в накоплении органического вещества почвы принадлежит корневой системе, а не надземной части растений [Гольдштайн, Боинчан, 2000]. Естественный рост корней растений наиболее совершенен, чем искусственное распределение растительной массы в почве. Равномерное распределение в верхних слоях пожнивных и корневых остатков повышает биологическую активность почвы и служит хорошим средством

борьбы с эрозией. Благодаря корневой системе дополнительно вовлекаются в круговорот питательные вещества из различных слоев почвы, а также фиксируется азот воздуха бобовыми культурами (Кант, 1982). Интенсивность этих процессов зависит от влажности, количества глиняных частиц в почве и звеньев севооборота [Шелюто А.А., Шелюто Б.В., 1993; Кузин, Кузина, 1996; Кузин, Ильвачев, 1997].

Влияние сельскохозяйственных культур на режим органического вещества зависит от их биологических особенностей и от технологии возделывания. Поступление органического вещества в почву уменьшается в ряду: многолетние травы-зерновые-пропашные-пар. В этом направлении увеличиваются и потери гумуса. Данные исследований, проведенных в Московской области на дерново-подзолистых почвах [Лошаков, 2003], показали, что многолетние травы оставляют в почве до 60 % органического вещества от общей синтезированной биомассы, тогда как при возделывании зерновых и других культур поступает его в почву не более 30-35 % [Козлова, 1996].

Большое значение имеет и качество растительных остатков, особенно соотношение С:N. По данным В.Г. Лошакова [1991] в растительных остатках многолетних трав оно равно 13-15, озимой пшеницы – 47-52, овса – 44-50, ячменя – 42-45, кукурузы – 31-32. Растительные остатки с высоким содержанием азота, как правило, разлагаются быстрее, чем остатки с высоким содержанием углерода [Гольдштейн, Боинчан, 2000]. Для размножения почвенные микроорганизмы нуждаются в богатой азотом пище. При недостатке азота почвенные микроорганизмы связывают его во временно недоступные формы для растений. В таких условиях почвенные микроорганизмы неэффективно используют углерод соломы, большее количество углерода выделяется в атмосферу в виде углекислого газа. Иммобилизация азота почвы микроорганизмами происходит, если соотношение С:N превышает 40, или содержание азота в растительных остатках ниже 1 %. Растительные остатки высвобождают азот в том случае, когда содержание азота в них превышает 2 %. По содержанию азота растительные остатки культур размещаются в следующем ряду по убыванию: многолетние

бобовые > однолетние бобовые > корне-, клубнеплоды > кукуруза > зерновые культуры.

В соломе находится достаточно большое количество лигнина. Полезно знать соотношение между количеством азота и лигнина в растительных остатках, поскольку оно определяет ценность данных растительных остатков как удобрения для почвы [Гольдштейн, Боинчан, 2000]. Многолетние травы, как и навоз животных, являются наилучшими удобрениями для почвы, т.к. содержат высокий процент азота и лигнина. Поэтому они стимулируют микробиологические процессы в почве. После разложения растительных остатков лигнин используется для формирования гумуса.

Увеличению содержания гумуса в почве способствует и использование зелёных удобрений – сидератов. Сидерация – приём удобрения почвы путём запахивания зелёной массы растений. Определения «сидерация» и «зелёное удобрение» принято считать синонимами [Довбан, 2009].

Российскими учёными выявлена высокая эффективность сидеральных культур, обеспечивающая широкие перспективы в их применении [Довбан К.И., Довбан В.К., 1992; Кормилицын, 1994; Милюткин, 1999; Новиков, Тамонов, Фролова, Ермакова, 2013; Борисова, 2015; Толмачёв, 2017]. Применение сидератов способствует сохранению и восстановлению плодородия, борьбе с сорными растениями, улучшению физических и агрохимических свойств почвы [Гавар, Макаров, Кошелев, 1997; Гребенников, 2021; Сулейменова, Михайлова, Ефименко, 2023]. Заделка зелёного удобрения повышала содержание гумуса в почве на 0,22-0,28 % и снижала рН на 0,02-0,04 ед. в сравнении с чистым паром [Васильев, 2014]. При применении зеленого удобрения в несколько раз повышается биологическая активность почвы, бурно развивается сапрофитная микрофлора почвы, которая активно разлагает растительные остатки и подавляет грибную микрофлору, вызывающую болезни растений [Лошаков, 2013].

Органические соединения сухого вещества зеленых удобрений представлены главным образом гемицеллюлозами, целлюлозами и негумифицированными остатками [Александрова, 1980]. Наиболее быстро в

растительных остатках минерализуются водорастворимые вещества, несколько медленнее – липиды и гемицеллюлоза и очень медленно – целлюлоза и лигнин [Сафонов, 1986].

При применении зеленых удобрений дополнительно в почву поступает от 3 до 18 т/га свежего органического вещества, увеличивается содержание азота, снижается содержание углерода и калия, в динамике фосфора закономерностей не выявлено [Возняковская, Попов и др., 1988; Дудин, Лобков, 1990; Красножен, 1994; Попова, Вознесенская, 1994].

На скорость перехода труднодоступных соединений в усвояемую для растений форму влияют биохимические процессы в почве. Интенсивность микробиологических процессов, вид и количество почвенной микрофлоры зависят от состояния почвы [Акинчин, Кузнецова, Линков, 2012]. Запашка сидеральных культур положительно сказалась на накоплении питательных элементов, содержание азота, фосфора и калия в 1,9-3,9 раза превышало контроль [Бахвалова, Федорова, 2021].

Внесение сидератов увеличивает общее содержание гумуса, в его групповом составе повышается доля лабильных форм. В молекуле гуминовой кислоты под действием сидерата увеличивается карбоксилизация, алифатичность и химическая активность [Новицкий, 1985; Иванова, 1991; Коржов, 1992; Синих, 1995; Алексеев, 1997].

При разложении сидеральных культур в почве увеличивается доля новообразованных гуминовых кислот с развитой периферической частью, обогащенной аминокислотами и углеводами. Наиболее активно процессы протекают при запашке зеленой массы и корневых остатков донника белого (Егоров, 1989; Бердников, 1990; Сафонов, Волкова, 1993; Иутинская, Иванова, Воцелко, Голобородько, 1994]. Содержание азота в послеуборочных остатках бобовых значительно больше, чем в злаковых культурах [Баева, 1983; Новицкий, 1971]. Т.А. Рогова [1987] установила, что послеуборочные остатки клевера и люцерны за год разлагались на 60 %, а тимopheевки – на 30 %. По данным С.А. Воробьева [1979], при летней запашке многолетних трав двухлетнего пользования

к осени разложилось 42,4 % органических остатков, а к весне следующего года – 63,6 %. Более интенсивно процессы разложения корневых остатков идут под бобовыми культурами, поэтому они со свойственной им почвенной микрофлорой способствуют ускоренному разложению растительных остатков бедных азотом [Зезюков, Коржов, 1992].

Эффективность зеленых удобрений зависит от срока их внесения. В течение двух лет возделывания яровой пшеницы наиболее сильное действие проявилось при заделке донниковой массы в конце августа-первой половине сентября. Водорастворимые гумусовые вещества в летний период подвергаются минерализации или дальнейшей гумификации [Давлятшин, Хабабрахманов, 1992; Шпедт, 1998]. Потери гумуса при возделывании сельскохозяйственных культур не могут восполняться исключительно за счет растительных остатков [Пестряков, 1973; Егоров, 1981; Лыков, 1982; Орлов, Сдобников, Аммосова и др., 1987; Минеев, 1988].

За счет растительных остатков потери гумуса в почвах Нечерноземной зоны, как отмечает ряд авторов [Александрова, 1980; Шпедт, 1995; Назарюк, 1990; Орлов, Садовникова, Суханова, 2005], могут быть восполнены только на 50-70 %, поэтому наряду с органическими удобрениями, имеющими небольшое соотношение C/N, необходимо использовать удобрения, обеспечивающие поступление углерода и повышающие коэффициент гумификации органического вещества почвы [Назарюк, 1989; Малышев, 1991; Ларионова, 1994; Пиминенко, Савощенко, 1996].

В земледелии умеренного пояса большое распространение получили крестоцветные культуры [Зыбалов, 1992]. В нашей зоне – рапс яровой и редька масличная. Эти культуры хорошо вписываются в существующую систему сельскохозяйственных машин и орудий, имеют высокий коэффициент размножения, мало требовательны к почвенно-климатическим условиям [Хабибрахманов, Лотфуллин, 1992, 1993]. Крестоцветные оказывают

благоприятное воздействие на развитие почвенной микрофлоры и их используют в качестве сидеральных удобрений [Шроль, Юрчак, 1981].

Растительные остатки крестоцветных культур богаты протеинами, аминокислотами, органическими кислотами, сахарами, минеральными веществами, представляют собой богатую подкормку для развития биологических процессов в почве. Они способствуют интенсивному выделению углекислого газа почвой, освобождению аммиака, регулируют фунгистазис почвы, поддерживая его на более высоком уровне (Patrik, 1963, Кант, 1982).

Свежие растительные остатки содержат ингибиторы прорастания и роста, что негативно сказывается на всхожести семян культур, поэтому после заделки их в почву необходимо выждать некоторое время, чтобы они были переработаны микроорганизмами [Стрельников, Горлова, Бочкарева, Трубина, 2018]. В то же время эта же особенность очищает поля от сорняков, предупреждает размножение и накопление в почве вредителей и возбудителей болезней. При возделывании капустных культур происходит подавление сорняков под воздействием тиоцианов – серосодержащих соединений, получаемых в процессе распада глюкозинолатов, содержащихся в листьях, стеблях, семенах, корнях, корневых выделениях капустных. Попадая в почву, они ингибируют прорастание семян и вегетативных органов размножения сорных растений [Sarwar, Kirkegaard, Wong, Desmarchelier, 1998], подавляют вредителей и патогенных грибов [Малюга, Маринкина, Баранов, Васильев, 2011].

Применение капустных культур в качестве сидератов окультуривает почву, повышает микробиологическую активность почвы и урожайность культур, накапливает в почве элементы питания [Стрельников, Горлова, Бочкарева, Трубина, 2018]. В опытах А.А. Васильева [2014] в почве после ярового рапса отмечено увеличение содержания P_2O_5 на 16,5 мг/кг. Автор связывает это со способностью капустных культур усваивать фосфор из труднодоступных соединений почвы.

Научные исследования по использованию торфа в сельском хозяйстве, а также опыты по совместному применению органических удобрений разных по

степени доступности для растений стали основой для разработки технологии по использованию торфа в качестве компонента при компостировании и совместного применения с сидеральной культурой. Для Тюменской области, имеющей характерные климатические и почвенные условия, применение торфа совместно с сидеральной культурой может быть основой дальнейшего изучения торфа и создания новых видов органических удобрений.

В качестве сидеральной культуры в полевых опытах использовали рапс яровой. Для повышения коэффициента гумификации органического вещества почвы нами проведены опыты по совместному применению удобрения с узким соотношением C:N (пожнивные остатки рапса ярового) и удобрения с широким соотношением C:N (торф). По изучению влияния совместного применения торфа и пожнивных остатков ярового рапса на динамику почвенных процессов чернозёма выщелоченного проведены в 1996-2000 гг. два полевых опыта.

В опыте № 1, заложенном в 1996 г., изучалось влияние сроков (июнь, август) внесения торфа в дозе 40 т/га и пожливной массы ярового рапса (2,25-3,0 т/га) на динамику почвенных процессов и продуктивность зерновых культур. Схема опыта: 1. контроль; 2. мочевины (N_{90}); 3. торф (40 т/га, июнь) + рапс яровой (3,0 т/га, пожнивные остатки); 4. рапс яровой (2,25 т/га, пожнивные остатки) + торф (40 т/га, август); 5. торф (40 т/га, июнь); 6. торф (40 т/га, август); 7. рапс яровой (2,55 т/га, пожнивные остатки). Повторность в опыте четырехкратная; размещение делянок четырехярусное, рендомизированное; общая площадь делянки 246 м², учетная – 200 м².

В полевом опыте № 2, заложенном в 1997 г., проводилось изучение влияния высоких доз торфа (100 и 200 т/га), внесенных в июне, и пожнивных остатков ярового рапса (8,5-9,2 т/га) на интенсивность почвенных процессов. Опыт проводился по схеме: 1. контроль; 2. торф (100 т/га, июнь); 3. рапс яровой (9,2 т/га, пожнивные остатки); 4. торф (100 т/га, июнь) + рапс яровой (8,5 т/га, пожнивные остатки); 5. торф (200 т/га, июнь) + рапс яровой (9,2 т/га, пожнивные остатки). Повторность в опыте трёхкратная, размещение делянок четырехярусное, рендомизированное. Общая площадь делянки 200 м², учетная –

140 м². Исследования проводились в севообороте: 1. чистый или занятый пар (закладка опыта по вариантам); 2. яровая пшеница; 3. яровая пшеница; 4. овес.

Минеральные и органические удобрения вносились согласно опытным вариантам. Минеральное удобрение карбамид вносили на варианте «мочевина» ежегодно перед посевом зерновых культур с нормой внесения 90 кг д.в./га. В опытах использовался низинный торф месторождения Боровое. Ботанический состав торфа представлен тростниками и осоками, степень разложения 45 %, зольность 7,8 %. Яровой рапс запахивали в виде пожнивных остатков с высотой стерни 20-25 см, оставленной после скашивания культуры на зелёный корм. Срок посева рапса в первом опыте 25 июня, во втором опыте – 30 июня. Торф и пожнивную массу ярового рапса запахивали в паровом поле.

Зерновые культуры: яровая пшеница сорт Тулунская 12 и овес сорт Таежник – с нормой высева 6,2 и 5,5 млн. всхожих семян/га соответственно, возделывались по общепринятой агротехнике для зоны северной лесостепи Тюменской области. Наиболее благоприятным годом для выращивания зерновых культур был 1997 г., удовлетворительными – 1996 и 2000 гг. и неблагоприятными – 1998 и 1999 гг.

Почва опытного участка – чернозём выщелоченный тяжелосуглинистый. Характеристика пахотного горизонта: содержание гумуса – 5,4 %, рН сол. – 5,1, содержание подвижного фосфора – 31,1 мг/кг, подвижного калия – 124,5 мг/кг.

3.1 Содержание и фракционный состав органического вещества

Содержание органического вещества. В воспроизводстве органического вещества большое значение имеют процессы превращений его в почве, биохимическая активность, вещественная и энергетическая ценность. В исследованиях важное значение имеет изучение не только количественных изменений органического вещества почвы, но и качественных. Качественный состав органического вещества – важный диагностический показатель окультуренности и плодородия почвы [Лыков, 1973]. Содержанием органического вещества, его качественным составом и характером

биохимических превращений в почве определяются трансформационная и аккумулирующая способности почвы. На трансформацию органического вещества большое влияние оказывают погодные условия, состав разлагающихся остатков и характер их поступления в почву.

Для повышения актуального и потенциального плодородия почв необходимо использовать органические удобрения, содержащие вещества, отличающиеся по доступности для растений. Наблюдения за динамикой содержания органического вещества в почве при совместном применении торфа и рапса позволяют оценить интенсивность процессов деструкции растительных остатков и их гумификации в почве.

В момент закладки первого опыта (июнь 1996 г.) торф в дозе 40 т/га был внесен перед посевом рапса на 2 вариантах: торф (июнь)+рапс и торф (июнь). Содержание органического вещества в почве этих вариантов по сравнению с контролем в слое почвы 0-40 см повысилось на 1,4 и 1,8 % соответственно (табл. 36). В почве остальных вариантов без внесения торфа количество органического вещества варьировало от 4,4 до 4,6 %.

Таблица 36 – Содержание органического вещества в слое почвы 0-40 см, %

Вариант	Действие		Последствие					
			1 год		2 год		3 год	
	20.06	10.09	23.05	17.09	28.05	07.10	20.05	27.08
Контроль	4,4	3,9	4,3	4,6	4,8	4,4	4,6	4,4
Мочевина	4,5	4,0	3,9	4,5	4,0	4,5	4,3	3,6
Торф (40 т/га, июнь) + рапс (3,0 т/га)	5,8	5,6	4,8	5,0	5,2	5,0	5,4	5,4
Рапс (2,3 т/га) + торф (40 т/га, август)	4,6	5,7	4,6	5,0	5,2	5,9	5,2	5,1
Торф (40 т/га, июнь)	6,2	6,2	5,2	5,4	5,8	5,7	5,4	4,6
Торф (40 т/га, август)	4,4	5,5	5,1	5,4	5,0	5,6	5,8	4,9
Рапс (2,5 т/га)	4,6	4,8	5,0	4,4	4,6	5,5	4,6	4,3

Согласно литературным данным в разные сроки вегетационного периода содержание органического вещества варьирует. Рассмотрим этот показатель в

начале и в конце вегетации. В почве без внесения торфа содержание органического вещества снизилось на 0,5 %. Жаркая погода с достаточным количеством осадков способствовали минерализации органического вещества чернозёма выщелоченного. На контроле в сентябре этого года было минимальное его значение. При выращивании рапса на фоне внесения торфа и без него снижение составило 0,2 %. На всех вариантах с внесением органики содержание органического вещества превышало контроль на 0,9-2,3 %.

После уборки рапса на зеленый корм перед вспашкой был внесен торф в той же дозе, что и в июне – 40 т/га. Содержание органического вещества в занятом и чистом пару увеличилось на 1,1 %.

В первый год последствий удобрений содержание органического вещества в почве вариантов с торфом превысило контроль на 0,3-0,9 %, а на варианте рапс на 0,7 %. Снижение содержания органического вещества на 0,4 % наблюдалось в почве с внесением мочевины. К осени в почве всех вариантов наблюдалось увеличение содержания органического вещества на 0,2-0,6 %. Сочетание оптимального гидротермического и водно-воздушного режимов с периодически повторяющимся иссушением способствовало разложению органических остатков и накоплению органического вещества. Варианты с внесением торфа превышали контроль на 0,4-0,8 %. Без внесения торфа наблюдалось снижение содержания органического вещества на 0,1-0,2 % по отношению к контролю.

Сохранилось превышение над контролем по органическому веществу в почве и весной второго года последствий органических удобрений на 0,4-1,0 %. Ниже контроля содержание в почве вариантов мочевины и рапс на 0,8 и 0,2 % соответственно. К концу вегетационного периода произошло незначительное снижение содержания органического вещества в почве на вариантах с внесением торфа в июне на 0,1-0,2 %. В октябре самое низкое содержание органического вещества на контроле, ниже, чем в мае на 0,2 %. Все варианты с внесением торфа и сидерата превышали контроль по содержанию органического вещества на 0,6-

1,5 %. Выше всего содержание на варианте с внесением торфа в августе по стерне сидерата.

На третий год последствий в мае содержание органического вещества в слое почвы 0-40 см на вариантах с торфом и сидератом превысило контроль на 0,6-1,2 %. В почве на варианте мочевины содержание ниже контроля на 0,3 %. В почве варианта рапс содержание органического вещества было на уровне контроля. К концу лета разница между контролем и вариантами с органикой сохранялась, но на меньшую величину, чем в мае – на 0,2-1,0 %. Теплая и влажная погода 1999 г. способствовали минерализации органического вещества. В почве в конце августа наблюдалось снижение его содержания на 0,1-0,9 %. Варианты с торфом превышали контроль на 0,2 и 0,5 %, при совместном применении торфа и сидерата – на 0,7 и 1,0 %. Ниже контроля содержание органического вещества в почве вариантов рапс на 0,1 %, мочевины – на 0,8 %.

В почве второго опыта на контроле и посевах рапса содержание органического вещества составило 5,0 и 5,2 % соответственно (табл. 37).

Таблица 37 – Содержание органического вещества в слое почвы 0-40 см, %

Вариант	Действие		Последствие					
			1 год		2 год		3 год	
	06.06	10.10	02.06	05.10	20.05	27.08	22.05	25.08
Контроль	5,0	4,4	4,1	4,5	4,1	4,9	4,4	5,8
Торф (100 т/га, июнь)	7,2	8,2	7,2	6,0	6,2	5,1	6,0	6,2
Рапс (9,2 т/га)	5,2	5,5	4,8	4,7	4,8	5,8	4,5	5,2
Торф (100 т/га, июнь)+ рапс (8,5 т/га)	7,6	6,1	6,2	5,0	4,6	6,4	6,0	6,8
Торф (200 т/га, июнь)+ рапс (9,2 т/га)	12,0	6,8	8,0	6,2	5,6	6,4	6,2	6,5

После внесения торфа в дозах 100 т/га на двух вариантах содержание увеличилось по сравнению с контролем на 2,2 и 2,6 %, в дозе 200 т/га – на 6,3 %. В начале октября в почве вариантов с выращиваем рапса после внесения торфа наблюдались более низкие показатели, чем в июне. На контроле снижение составило 0,6 %. В чистом пару через четыре месяца после внесения торфа в дозе

100 т/га отмечено увеличение на 1,0 %. В занятом пару после заправки пожнивных остатков рапса увеличение органического вещества составило 0,3 %.

В начале лета первого года последствия органических удобрений содержание органического вещества в почве в слое 0-40 см вариантов с торфом превысило контроль на 3,1 %, а к концу вегетационного периода на 1,5 %. На варианте рапс в летнем образце почвы превышение контроля по органическому веществу составило 0,7 %, в осеннем – 0,2 %. При совместном применении торфа в дозах 100 и 200 т/га и рапса превышение контроля в июне составило 2,1 и 3,9 %, в октябре – 0,5 и 1,7 % соответственно.

Весной второго года последствия в почве с внесением органических удобрений в слое 0-40 см количество органического вещества превышало контроль на 0,5-2,1 %, в конце августа – на 0,2-1,5 %. Самое высокое содержание органического вещества на вариантах совместного применения торфа и сидерата. При сравнении данных в течение вегетации наблюдалось увеличение содержания органического вещества к концу лета на всех вариантах, кроме торфа. В почве этого варианта снижение на 0,3 %.

На третий год последствия удобрений превышение контроля в содержании органического вещества в почве в весенний период отмечено на варианте с торфом на 1,6 %, а на варианте рапс – на 0,1 %, при совместном применении торфа и рапса – на 1,6-1,8 %. Самое высокая величина органического вещества в почве на варианте торф (200 т/га)+рапс. В конце августа в сравнении с маем на всех вариантах наблюдалось увеличение содержания органического вещества на 0,2-0,8 %. Погодные условия 2000 г. способствовали накоплению органического вещества в почве вариантов. Преимущество вариантов с органическими удобрениями по сравнению с контролем сохранялось, превышение – на 0,4-2,0 %.

В среднем за четыре года исследований содержание органического вещества в почве контроля обоих опытов находилось в пределах 4,4-4,5 % (табл. 38). При ежегодном внесении мочевины содержание органического вещества в чернозёме выщелоченном меньше чем на контроле на 0,2 %.

**Таблица 38 – Содержание органического вещества в чернозёме
выщелоченном (среднее за годы исследований)**

Вариант	Содержание органического вещества, %	Коэффициент вариации, %
Первый опыт		
Контроль	4,4±0,25	5,7
Мочевина	4,2±0,32	7,6
Торф (40 т/га, июнь)+рапс (3,0 т/га)	5,3±0,32	6,1
Рапс (2,3 т/га)+торф (40 т/га, август)	5,2±0,43	8,3
Торф (40 т/га, июнь)	5,6±0,50	8,9
Торф (40 т/га, август)	5,2±0,42	8,1
Рапс (2,5 т/га)	4,7±0,36	7,6
Второй опыт		
Контроль	4,5±0,32	7,8
Торф (100 т/га, июнь)	6,5±0,90	13,8
Рапс (9,2 т/га)	5,1±0,41	8,0
Торф (100 т/га, июнь)+рапс (8,5 т/га)	6,3±1,29	20,5
Торф (200 т/га, июнь)+рапс (9,2 т/га)	7,2±1,92	26,7

При запашке пожнивных остатков рапса ярового в дозе 2,5 т/га превышение контроля составило 0,3 %, в дозе 9,2 т/га – 0,6%. Внесение торфа в июне в дозе 40 т/га повысило количество органического вещества на 1,2 %, в дозе 100 т/га – на 2,0 %, внесение 40 т/га в августе – на 0,8 %. Максимальные значения органического вещества в почве обоих опытах установлены при совместном применении торфа и пожнивных остатков рапса ярового. Превышение контроля при дозе торфа 40 т/га составило 0,8-0,9 %, 100 т/га – 1,8 %, 200 т/га – 2,7 %. В исследованиях других авторов [Лукин, Золкина, Марчук, 2021] при использовании повышенных доз органических удобрений также происходило увеличение в почве запасов гумуса.

Коэффициент вариации в первом опыте во всех вариантах меньше 10 %, что говорит о незначительной степени рассеивания данных в течение четырёх лет исследований. Значительное рассеивание данных в вариантах второго опыта при внесении высоких доз торфа при совместном применении с рапсом, т.к. коэффициент вариации больше 20 %. Но он меньше 33 %, значит совокупность однородная.

Погодные условия влияли на минерализацию и гумификацию. В чернозёме выщелоченном в 1996 и 1999 гг. из-за жаркой погоды с достаточным количеством осадков преобладали процессы минерализации органического вещества. В 1997 и 2000 гг. сочетание оптимальных температур и осадков с периодическим иссушением способствовали гумификация органических остатков, в 1998 г. в следствии теплой и влажной погоды в равной степени протекали процессы разложения и гумификации.

На трансформацию органического вещества кроме погодных условий большое влияние оказывают состав разлагающихся остатков и характер их поступления в почву. Внесение торфа в обоих опытах увеличивало содержание органического вещества в почве на большую величину и более длительный срок в сравнении с рапсом. В течение трех лет последействия его содержание в обоих опытах значительно превышало контроль. Что нельзя однозначно сказать о почве на варианте рапс. Весной первого года последействия в первом опыте содержание органического вещества превышало контроль на 0,7 %, а на третий год последействия оно стало на уровне контроля и в начале вегетации и в конце. Во втором опыте при увеличении дозы рапса в 3,7 раза в конце третьего года последействия превышение контроля составило 0,4 %. В обоих опытах максимальные значения органического вещества наблюдались в почве на вариантах совместного применения торфа и сидерата.

Фракционный состав органического вещества почвы. В процессе фракционирования органического вещества почвы было выделено три фракции гуминовых, четыре фракции фульвокислот и фракция негидролизующего остатка. Первые фракции подвижных гуминовых кислот, подвижных фульвокислот и «агрессивных» фульвокислот представлены свободными и связанными с полуторными окислами гумусовыми кислотами. Вторая фракция гуминовых и фульвокислот представлена гумусовыми кислотами, связанными с кальцием. Третью фракцию представляют гуминовые и фульвокислоты, связанные с глинистыми минералами и устойчивыми полуторными окислами. Количество негидролизующего остатка рассчитывалось по разнице между общим

содержанием органического углерода и содержанием углерода гуминовых и фульвокислот.

Суммарное содержание гуминовых веществ в торфе с месторождения Боровое составляло приблизительно половину от всей органической массы сухого торфа – 54,0 % (табл. 39). Количество гуминовых кислот превосходило содержание фульвокислот в 2,4 раза. По соотношению Сгк/Сфк торф соответствует гуматному типу органического вещества. Характер изменения содержания гумусовых кислот в опыте свидетельствует о том, что соотношение гуминовых и фульвокислот во многом зависит от интенсивности процессов трансформации или минерализации органического вещества в почве, а при одинаковых метеорологических и почвенных условиях – от вида используемых удобрений.

Таблица 39 – Содержание гуминовых и фульвокислот в торфе месторождения Боровое, % от валового содержания углерода

Гуминовая кислота				Фульвокислота					Негидролизуемый остаток	Сгк/Сфк
1	2	3	сумма	1а	1	2	3	сумма		
10,2	12,0	15,7	37,9	1,5	3,6	4,1	6,9	16,1	46,0	2,35

Содержание фракции подвижных гуминовых кислот (ГК-1) после внесения органических удобрений в почву повысилось по сравнению с контролем на всех вариантах первого и второго опытов: с применением торфа на 8-15 и 21-44 отн. %, на вариантах рапс на 4 и 8 отн. % соответственно (табл. 40). Увеличенная доза торфа (100 т/га) повышала содержание ГК-1 в почве на 21 отн. % по сравнению с контролем (второй опыт). При увеличении дозы торфа до 200 т/га увеличивалось и содержание ГК-1 на 8 отн. % по сравнению с дозой 100 т/га. За год действия торфа и пожнивных остатков рапса наблюдалось увеличение содержания ГК-1. При увеличении дозы торфа и совместного применения торфа и рапса разница с контролем более существенна.

**Таблица 40 – Фракционный состав гуминовых кислот почвы,
% от С_{общ.} почвы**

Вариант	ГК-1		ГК-2		ГК-3	
	1 год	4 год	1 год	4 год	1 год	4 год
Первый опыт						
Контроль	6,6	5,7	16,4	15,7	9,0	9,5
Мочевина	6,5	5,4	16,2	16,0	9,1	9,7
Торф (40 т/га, июнь)+рапс (3,0 т/га)	7,2	5,9	18,9	20,6	13,9	14,0
Рапс (2,3 т/га)+торф (40 т/га, август)	7,6	6,1	19,1	20,9	14,0	14,3
Торф (40 т/га, июнь)	7,1	5,1	18,8	19,5	13,3	15,2
Торф (40 т/га, август)	7,5	5,6	19,1	19,0	13,4	15,4
Рапс (2,5 т/га)	6,9	5,6	17,1	15,8	9,4	11,1
Второй опыт						
Контроль	6,6	5,9	17,8	16,6	9,6	11,6
Торф (100 т/га, июнь)	8,0	6,5	24,3	27,0	16,7	17,7
Рапс (9,2 т/га)	7,1	6,9	25,8	22,6	11,5	11,5
Торф (100 т/га, июнь)+рапс (8,5 т/га)	8,8	8,2	24,5	28,1	16,7	16,6
Торф (200 т/га, июнь)+рапс (9,2 т/га)	9,5	8,5	30,5	33,1	17,8	16,7

К третьему году последствий удобрений (четвертый год опыта) на всех вариантах двух опытов наблюдалось снижение содержания фракции подвижных гуминовых кислот в почве. В относительных процентах, несмотря на разные годы проведения опытов, снижение на контролях отличалось незначительно – 14 и 11 отн. %. При совместном применении торфа и рапса снижение в разные сроки применения почти одинаковое 18 и 19 отн. %, как и у мочевины (18 отн. %) и рапса (19 отн. %). Самое высокое снижение при применении одного торфа: на 26 и 28 отн. % в первом опыте и на 18 отн. % во втором. Увеличение дозы торфа и рапса как при применении отдельно, так и совместно уменьшало снижение ГК-1. При дозе рапса 2,5 т/га снижение 19 отн. %, при дозе 9,2 т/га – 2 отн. %; при дозе торфа 40 т/га и рапса 2,3-3,0 т/га – 18-19 отн. %, при дозах торфа 100 и 200 т/га и рапса 8,5-9,2 т/га – 7-10 отн. %. При сравнении с контролем в конце проведения первого опыта содержание ГК-1 выше на вариантах совместного применения торфа и рапса – на 4 и 8 отн. %. Во втором опыте из-за более высокой дозы удобрений варианты с органическими удобрениями значительно

превышали контроль: при отдельном применении – на 11 и 18 отн. %, при совместном – на 40 и 46 отн. %.

Содержание фракции гуминовых кислот, связанных с кальцием (ГК-2), выше, чем фракций ГК-1 и ГК-3. В опытах других исследователей содержание ГК-2 ниже [Донских, Назарова, Оливье Эвани, 1997].

В почве в год внесения удобрений в первом и втором опыте содержание фракции ГК-2 повысилось по сравнению с контролем на вариантах с применением торфа и торфа с сидератом на 15-16 и 38-71 отн. %, а на вариантах рапс на 4 и 45 отн. % соответственно. Разницы между сроками внесения торфа и совместным и отдельным применением торфа и рапса почти нет. С увеличением дозы удобрений во втором опыте разница с контролем у изучаемых вариантов высокая.

К третьему году последствий удобрений наблюдалось снижение содержания фракции гуматов кальция в почве вариантов двух опытов: контроль на 4-7 отн. %; мочевины на 1 отн. % и рапс на 8-12 отн. %, а повышение на вариантах: торф совместно с рапсом на 9-15 отн. %, чистый торф на 4-11 отн. %. С повышением дозы торфа и рапса изменения более значительные и в сторону увеличения, и в сторону уменьшения. По отношению к контролю на третий год последствий увеличилось содержание ГК-2 на всех изучаемых вариантах обоих опытов. В почве варианта мочевины и рапс первого опыта увеличение незначительное. При использовании торфа увеличение ГК-2 составляло 24 и 21 отн. %, при совместном применении торфа и рапса – 31 и 33 отн. %. Во втором опыте такая же последовательность в увеличении ГК-2: рапс – 36 отн. %, торф – 63 отн. %, торф+рапс – 69 и 99 отн. %.

По содержанию фракции гуминовых кислот (ГК-3), прочно связанных с глинистыми минералами и полуторными окислами алюминия и железа в почве, повышение по сравнению с контролем наблюдалось в первом и во втором опытах на всех вариантах с внесением органических удобрений. Изменения фракции ГК-3 по отношению к контролю самые низкие на варианте рапс: 4 отн. % в первом опыте и 21 отн. % во втором. Средние изменения на варианте с применением

чистого торфа – 48-49 и 74 отн. %, наиболее высокие на вариантах торф+рапс – 54-56 и 74-85 отн. % соответственно.

На третий год последствий органических удобрений повышение содержания фракции прочно связанных гуминовых кислот в почве первого опыта отмечалось на вариантах: контроль на 6 отн. %; мочевины на 7 отн. %; торф совместно с рапсом на 1 и 2 отн. %; чистый торф на 14 и 15 отн. %, рапс на 18 отн. %. Во втором опыте содержание гуминовых кислот третьей фракции в почве повысилось на вариантах: контроль на 2,0 %; торф (100 т/га) на 1,0 % и понизилось на вариантах торф совместно с рапсом на 0,1-1,1 % и рапс на 1,0 %. Разница с годом закладки в первом опыте более существенна при отдельном применении торфа и рапса – 14-18 отн. %, на остальных вариантах изменения незначительные – от 1 до 8 отн. %. Значительные изменения во втором опыте на контроле – увеличение на 20 отн. %, на изучаемых вариантах наблюдалось увеличение (торф, рапс) и уменьшение (торф+рапс), но незначительное.

В конце опытов высокое содержание ГК-3 на варианте с внесением чистого торфа – превышение контроля на 60 и 62 отн. % в первом опыте и 52 отн. % во втором; среднее – при совместном применении торфа и рапса – на 48 и 51 отн. % (первый опыт), 43 и 44 отн. % (второй опыт). Вариант рапс превышал контроль на 17 отн. % в первом опыте и находился на уровне контроля во втором опыте.

Разница между изучаемыми вариантами и контролем по содержанию ГК-1, ГК-2 выше, а по ГК-3 ниже на третий год последствий, чем в год действия.

Таким образом, в почве вариантов контроль и мочевины изменение содержания гуминовых кислот направлено на снижение количества фракций подвижных и связанных с кальцием и повышение доли прочно связанных гуминовых кислот. После внесения удобрений на вариантах с применением торфа совместно с рапсом в почве наблюдалось повышение всех фракций гуминовых кислот, а дальнейшее изменение направлено на снижение доли подвижных и повышение доли связанных с кальцием и прочно связанных гуминовых кислот. На вариантах с более высокими дозами удобрений повышение содержания гуминовых кислот в почве идет только за счет

значительного повышения доли гуматов кальция, а содержание прочно связанных кислот осталось на прежнем уровне.

В почве при применении чистого торфа наблюдалось повышение всех фракций гуминовых кислот в почве, но к третьему году последствия содержания фракции подвижных гуминовых кислот снизилось, гуматов кальция сохранилось на прежнем уровне, а доля гуминовых кислот третьей фракции значительно выросла. На варианте рапс после внесения в почву пожнивных остатков незначительно повысилась доля всех фракций гуминовых кислот, а к третьему году последствия по содержанию гуминовых кислот вариант был на уровне контроля.

По изменению фракционного состава мнения в литературных источниках различны. Одни исследователи при применении органических удобрений установили увеличение фракций ГК-1 [Гармаш, 1990; Бессарабова, 1993; Завьялова, Косолапова, Соснина, 2004; Ревенский, Чимитдоржиева, Цыбенков, 2004], другие уменьшение [Донских, Назарова, Оливье Эвани, 1997]. В одних работах отмечают увеличение ГК-2 [Минина, 1981; Донских, Назарова, Оливье Эвани, 1997; Храмцов, Безвиконный, 1998; Елькина, Константинова, 1998; Назарова, Митяшина, 2003; Завьялова, Косолапова, Соснина, 2004], в других уменьшение [Назарюк, 1989; Ревенский, Чимитдоржиева, Цыбенков, 2004]. Установлено в исследованиях [Минина, 1981; Гармаш, 1990; Донских, Назарова, Оливье Эвани, 1997; Храмцов, Безвиконный, 1998] увеличение в почве содержания фракции ГК-3, уменьшение не отмечено.

По фульвокислотам единого мнения нет: одни наблюдали уменьшение [Донских, Назарова, Оливье Эвани, 1997; Ревенский, Чимитдоржиева, Цыбенков, 2004;], другие четких закономерностей в динамике фульвокислот не выявили [Переверзев, 1987; Храмцов, Безвиконный, 1998].

В наших исследованиях содержание фракции «агрессивных» фульвокислот (ФК-1а) в почве в год закладки первого опыта на изучаемых вариантах или было на уровне контроля или увеличивалось не более, чем на 4 отн. % (табл. 41). Фракция подвижных фульвокислот (ФК-1) увеличилась

значительно только при совместном применении торфа и рапса – на 13 и 15 отн. %, на остальных вариантах этот показатель был на уровне контроля.

Таблица 41 – Фракционный состав фульвокислот почвы, % от С_{общ.} почвы

Вариант	ФК-1а		ФК-1		ФК-2		ФК-3	
	1 год	4 год	1 год	4 год	1 год	4 год	1 год	4 год
Первый опыт								
Контроль	2,4	2,3	3,2	3,1	7,3	7,6	3,9	4,2
Мочевина	2,4	2,4	3,3	2,9	7,3	7,6	3,9	4,0
Торф (40 т/га, июнь)+рапс (3,0 т/га)	2,4	2,2	3,6	2,7	8,4	7,9	5,0	5,1
Рапс (2,3 т/га)+торф (40 т/га, август)	2,5	2,2	3,7	2,9	8,6	8,0	5,1	5,1
Торф (40 т/га, июнь)	2,5	2,3	3,5	3,0	8,6	8,0	4,7	4,8
Торф (40 т/га, август)	2,5	2,3	3,2	2,8	8,4	8,5	5,0	5,1
Рапс (2,5 т/га)	2,4	2,3	3,4	3,2	7,4	7,7	4,5	4,0
Второй опыт								
Контроль	2,0	1,9	3,6	3,5	8,1	8,2	5,1	4,5
Торф (100 т/га, июнь)	2,2	1,9	4,1	3,8	10,5	8,6	6,3	6,4
Рапс (9,2 т/га)	2,2	1,9	3,8	3,2	8,2	8,6	4,8	4,5
Торф (100 т/га)+рапс (8,5 т/га)	2,2	1,6	4,6	3,1	10,0	8,2	6,0	6,8
Торф (200 т/га)+рапс (9,2 т/га)	2,3	1,8	5,3	4,2	11,6	10,4	8,0	7,5

В почве второго опыта величина фракций ФК-1а превышала контроль при внесении органических удобрений на 10-15 отн. %. Фракция ФК-1 увеличилась на варианте рапс на 6 отн. %, выше изменения в почве на варианте торф – на 14 отн. % и при совместном применении торфа и пожнивных остатков рапса – на 28 и 47 отн. %.

К третьему году последствия удобрений содержание «агрессивных» и подвижных фракций фульвокислот в почве обоих опытов снизилось на всех вариантах. В относительных процентах снижение ФК-1а незначительно в первом опыте – от 2 до 10 отн. %. Во втором опыте снижение больше: на контроле – 5 отн. %, рапс и торф – 14 отн. %, торф+рапс – 27 и 22 отн. %. Снижение фракции ФК-1 по вариантам первого и второго опытов: рапс – на 6 и 16 отн. %, торф – на 14, 12 и 7 отн. %, торф совместно с рапсом – 25, 22 и 33, 21 отн. % соответственно. Таким образом, более значительное снижение фракций ФК-1а и ФК-1 при совместном применении торфа и пожнивных остатков рапса. Срок применения

торфа не повлиял на содержание этих фракций, а увеличение дозы торфа усилило их снижение.

В работах [Гармаш, 1990; Елькина, Константинова, 1998; Перченко, Глагольев, Кравец, 2003] также отмечалось уменьшение фракции ФК-1а. По содержанию фракции ФК-1 наблюдали увеличение [Назарюк, 1989; Ревенский, Чимитдоржиева, Цыбенков, 2004] и уменьшение [Бессарабова, 1993, Донских, Назарова, Оливье Эвани, 1997; Перченко, Глагольев, Кравец, 2003].

На третий год последствий почти на всех вариантах обоих опытов наблюдалось меньшее содержание фракций ФК-1а и ФК-1 по сравнению с контролем. Только на вариантах второго опыта торф и торф+рапс увеличили содержание фракции ФК-1 составило 8 и 20 отн. %.

Содержание в почве фульвокислот, связанных с кальцием (ФК-2), в первый год и по окончании первого опыта у варианта мочевины было на уровне контроля. В начале опыта у вариантов с применением торфа содержание фракции ФК-2 повысилось по отношению к контролю на 15 и 18 отн. %, у варианта рапса только на 1 отн. %. Во втором опыте превышение контроля в содержании фракции фульватов кальция в почве наблюдалось на варианте с применением торфа на 30 отн. %, совместном применении торфа и рапса на 23 и 43 отн. %. В работах [Назарюк, 1989; Елькина, Константинова, 1998; Ревенский, Чимитдоржиева, Цыбенков, 2004] отмечалось уменьшение фракции ФК-2.

К третьему году последствий органических удобрений содержание фракции фульвокислот, связанных с кальцием, повысилось в почве обоих опытов: контроль на 4 и 1 отн. %, мочевины – на 4 отн. %, рапс – на 4 и 5 отн. %. И понизилось содержание фракции подвижных кислот в почве на вариантах торф совместно с рапсом на 6, 7 и 18, 10 отн. %; чистый торф на 7 и 18 отн. % соответственно.

На изучаемых вариантах на третий год последствий опытов по отношению к контролю содержание ФК-2 или почти не изменялось, или изменялось в сторону увеличения до 5 отн. %. Кроме вариантов торф (август)

первого опыта и торф (200 т/га)+рапс второго опыта, величина этой фракции выше контроля на 12 и 27 отн. % соответственно.

По содержанию в почве фракции фульвокислот (ФК-3), прочно связанных с глинистыми минералами и полуторными окислами алюминия и железа, повышение по сравнению с контролем произошло в первом опыте на вариантах с торфом на 21 и 28 отн. %, на варианте рапс – на 15 отн. %, при совместном применении торфа и рапса – на 28 и 31 отн. %. В почве с внесением мочевины – на уровне контроля. Во втором опыте содержание фракции ФК-3 по сравнению с контролем было повышено в почве на вариантах с торфом на 24 отн. %, совместно торф с рапсом – на 18 и 57 отн. %, снижено на варианте рапс – на 6 отн. %.

К концу опытов в почве содержание фракции ФК-3 повысилось в первом опыте на вариантах: контроль – на 8 отн. %; мочевина – на 2 отн. %; торф совместно с рапсом – на 2 отн. %; чистый торф – на 2 отн. % и снизилось на варианте рапс на 11 отн. %. В почве второго опыта содержание фракции ФК-3 повысилось на вариантах: торф (100 т/га) на 2 отн. % и торф (100 т/га)+рапс на 13 отн. % и понизилось на вариантах контроль на 12 отн. %, торф (200 т/га)+рапс и рапс на 6 отн. %.

На третий год последствий разница между контролем и изучаемыми вариантами сохранилась (кроме вариантов мочевина и рапс). На варианте рапс в первом опыте в год действия удобрений наблюдалось увеличение ФК-3 на 17 отн. %, а на третий год последствий уменьшение на 6 отн. % по сравнению с контролем. Содержание ФК-3 в почве на этом варианте второго опыта ниже контроля на 6 отн. %, как и в год закладки опыта. На варианте мочевина содержание ФК-3 ниже контроля на 5 отн. %. Превышение контроля наблюдалось в почве вариантов торф первого опыта на 14 и 21 отн. %, второго опыта – на 42 отн. %, при совместном применении торфа и рапса – на 21 отн. % (первый опыт), 51 и 67 отн. % (второй опыт).

Таким образом, изменение содержания фульвокислот в почве вариантов контроль и мочевина направлено на снижение доли «агрессивных» и подвижных

фракций фульвокислот и повышение доли связанных с кальцием и прочно связанных фракций фульвокислот.

В почве чернозёма выщелоченного после внесения торфа совместно с рапсом произошло повышение всех фракций фульвокислот, а дальнейшее изменение направлено на снижение доли «агрессивных», подвижных, связанных с кальцием и повышение доли прочно связанных фракций фульвокислот. Происходило более заметное снижение фракции ФК-1. На вариантах с чистым торфом в почве наблюдалось повышение всех фракций фульвокислот, к третьему году последействия содержание фракции «агрессивных», подвижных фульвокислот и фульватов кальция снизилось, а доля фульвокислот третьей фракции повысилась. На варианте рапс в почве повысилась доля подвижных и связанных с кальцием фракций фульвокислот, а к третьему году последействия по содержанию фульвокислот в почве вариант был на уровне контроля.

По сумме гуминовых кислот в первом опыте в год закладки увеличение по сравнению с контролем составляло при применении пожнивных остатков рапса 4 отн. %, при внесении торфа отдельно и совместно с сидератом – 22-27 отн. % (табл. 42). Во втором опыте увеличение более значительное – 31 и 44-70 отн. % соответственно.

Изменения за три года последействия почти не произошли. При сравнении данных на третий год последействия в первом опыте разница по сумме ГК между контролем и изучаемыми вариантами увеличивалась в сравнении с годом действия удобрений и составляла: рапс – 6 отн. %, торф – 29 и 30 отн. %, торф совместно с рапсом – 31 и 34 отн. %. Во втором опыте величина суммы ГК над контролем увеличивалась по сравнению с годом закладки на вариантах с применением торфа отдельно (50 отн. %) и совместно с рапсом (56 и 71 отн. %), но уменьшалась на варианте рапс (21 отн. %).

Таким образом, при применении органических удобрений содержание гуминовых кислот увеличивалось на 4-70 отн. %. Изменений по сумме ГК за три года последействия нет, есть изменения по фракциям.

Увеличение гуминовых кислот также отмечают [Кук, 1970; Cooke, 1976; Донских, Назарова, Оливье Эвани, 1997; Храмцов, Безвиконный, 1998; Ревенский, Чимитдоржиева, Цыбенков, 2004].

**Таблица 42 – Содержание гуминовых и фульвокислот в почве,
% от С_{общ. почвы}**

Вариант	С _{ГК}		С _{ФК}		С _{ГК} +С _{ФК}		С _{ГК} /С _{ФК}	
	1 год	4 год	1 год	4 год	1 год	4 год	1 год	4 год
Первый опыт								
Контроль	32,0	30,9	16,8	17,2	48,8	48,1	1,9	1,8
Мочевина	31,8	31,1	16,9	16,9	48,7	48,0	1,9	1,8
Торф (40 т/га, июнь)+рапс (3,0 т/га)	40,0	40,5	19,4	17,9	59,4	58,4	2,1	2,3
Рапс (2,3 т/га)+торф (40 т/га, август)	40,7	41,3	19,9	18,2	60,6	59,5	2,0	2,3
Торф (40 т/га, июнь)	39,1	39,8	19,2	18,1	58,3	58,5	2,0	2,2
Торф (40 т/га, август)	40,1	40,0	19,1	18,7	59,2	58,7	2,1	2,1
Рапс (2,5 т/га)	33,3	32,6	17,8	17,1	51,1	49,7	1,9	1,9
Второй опыт								
Контроль	34,0	34,1	18,8	18,1	52,8	52,2	1,8	1,9
Торф (100 т/га, июнь)	49,0	51,2	23,2	20,8	72,2	72,0	2,1	2,5
Рапс (9,2 т/га)	44,4	41,1	20,0	18,2	64,4	59,3	2,2	2,2
Торф (100 т/га)+рапс (8,5 т/га)	50,0	53,0	22,9	19,7	72,9	72,7	2,2	2,7
Торф (200 т/га)+рапс (9,2 т/га)	57,9	58,4	27,2	23,9	85,1	82,3	2,1	2,4

Сумма фракций фульвокислот при применении удобрений по сравнению с контролем не изменилась на варианте мочевины, увеличивалась незначительно на варианте рапс – на 6 отн. % в первом и втором опытах. На остальных вариантах увеличение более заметное: на вариантах с чистым торфом – на 13 и 14 отн. % в первом опыте и 23 отн. % во втором, при совместном применении торфа и рапса на 15 и 18 отн. % (первый опыт), 22 и 45 отн. % (второй опыт).

При применении торфа увеличение суммы фракций гуминовых кислот почти в 2 раза выше, чем суммы фракций фульвокислот. Повышение сумм фракций гуминовых и фульвокислот при применении пожнивных остатков рапса в дозе 2,5 т/га одинаковое, в дозе 9,2 т/га увеличение гуминовых кислот в 5 раз больше увеличения фульвокислот.

За годы последействия наблюдалось снижение содержания фульвокислот на всех изучаемых вариантах, кроме мочевины. На вариантах совместного применения торфа и рапса снижение самое заметное и составило 8 отн. % в первом опыте и 12-14 отн. % во втором.

При внесении в почву органических удобрений сумма гуминовых и фульвокислот ($C_{ГК} + C_{ФК}$) увеличилась, при применении мочевины не изменялась. Запашка пожнивных остатков рапса повышала в почве содержание гуминовых и фульвокислот на 5 отн. % в первом опыте и на 22 отн. % во втором. Внесение торфа (40 т/га) в июне отдельно и совместно с рапсом увеличило содержание суммы кислот на 19 и 22 отн. % соответственно. Разница между контролем и вариантами с внесением торфа отдельно и совместно с рапсом в августе несколько выше июньского внесения и составила 21 и 24 отн. %. Увеличенные дозы рапса и торфа во втором опыте влияли в большей степени на сумму кислот. Превышение над контролем в почве варианта с рапсом составило 22 отн. %, с торфом 37 отн. %, с торфом и рапсом – 38 и 61 отн. %. Самые высокие значения суммы кислот и всех фракций наблюдались при дозе торфа 200 т/га. За годы последействия изменения незначительные.

Одни авторы отмечали при применении органических удобрений увеличение суммы гуминовых и фульвокислот [Гармаш, 1990], другие изменений в сумме не наблюдали [Лыков, 1973; Назарюк, 1989; Бессарабова, 1993].

Соотношение $C_{ГК}/C_{ФК}$ в почве первого опыта после внесения удобрений на варианте контроль, мочевина и рапс составляло 1,9, на вариантах с торфом оно варьировало в пределах 2,0-2,1, превышая предыдущие варианты на 5-11 %. На третий год последействия удобрений показатель $C_{ГК}/C_{ФК}$ в почве вариантов контроль и мочевина снизился на 5 %. Соотношение $C_{ГК}/C_{ФК}$ в почве повысилось на 10-15 % на вариантах с совместным применением торфа и рапса, на варианте чистый торф на 8 % при внесении в июне. При внесении органических удобрений соотношение $C_{ГК}/C_{ФК}$ в почве превышало контроль и мочевины на 6-28 %. Максимальное увеличение на вариантах совместного применения торфа и рапса.

Во втором опыте в первый год соотношение $C_{ГК}/C_{ФК}$ в почве при внесении органических удобрений превысило контроль на 17-22 %. На третий год последствия удобрений показатель $C_{ГК}/C_{ФК}$ в почве варианта контроль существенно не изменился, на остальных вариантах соотношение $C_{ГК}/C_{ФК}$ в почве повысилось: на вариантах торф (100 т/га)+рапс и торф (200 т/га)+рапс на 23 и 14 % соответственно; на варианте торф (100 т/га) – на 16 % и на варианте рапс – на 14 %.

Следует отметить, что динамика трансформации органического вещества в почве в результате применения мочевины и органических удобрений (торфа и рапса) значительно отличалась и по направленности процессов разложения органического вещества, и по их интенсивности. Использование минерального удобрения привело к незначительному снижению содержания общего углерода в почве, сужению соотношения $C_{ГК}/C_{ФК}$ и уменьшению суммы гуминовых и фульвокислот. По сравнению с контролем снижение содержания общего углерода в почве варианта мочевина было большим, а соотношение $C_{ГК}/C_{ФК}$ шире, что может быть объяснено более интенсивными микробиологическими процессами.

Применение торфа совместно с рапсом привело к значительному повышению содержания гуминовых и фульвокислот в почве. К третьему году последствия соотношения $C_{ГК}/C_{ФК}$ в почве стало более широким, что свидетельствует о повышении качественного состава гумуса почвы. Среди этих вариантов, отличающихся по срокам внесения удобрений, следует выделить вариант рапс+торф (август), где к третьему году последствия содержание гуминовых и фульвокислот в почве было выше, чем на варианте торф (июнь)+рапс, хотя $C_{ГК}/C_{ФК}$ было равным.

В почве вариантов с чистым торфом повысилось содержание общего углерода, к третьему году последствия содержание гумусовых кислот в почве изменилось не существенно, и соотношение $C_{ГК}/C_{ФК}$ было несколько уже вариантов с совместным применением торфа и рапса.

В рассмотренных литературных источниках у авторов единое мнение по увеличению соотношения $C_{ГК}:C_{ФК}$ при применении органических удобрений [Минина, 1981; Переверзев, 1987; Назарюк, 1989; Гармаш, 1990; Малышев, Лато, Походная, Красноберская, 1990; Бессарабова, 1993; Донских, Назарова, Оливье Эвани, 1997; Елькина, Константинова, 1998; Храмцов, Безвиконный, 1998; Завьялова, Косолапова, Соснина, 2004; Ревенский, Чимитдоржиева, Цыбенков, 2004; Перченко, Глагольев, Кравец, 2004].

Динамика содержания фракций гуминовых и фульвокислот на вариантах с применением торфа показала, что к третьему году последствия, произошло повышение доли фракции прочно связанных кислот в почве, обеспечивающих потенциальное плодородие почвы. А по содержанию фракции подвижных и связанных с кальцием гумусовых кислот, характеризующих эффективное плодородие почвы, варианты с совместным применением торфа и рапса превышали варианты с чистым торфом.

Варианты рапс в год закладки опыта значительно повысили содержание в почве фракции подвижных и связанных с кальцием гуминовых и фульвокислот. Произошло повышение соотношения $C_{ГК}/C_{ФК}$ в почве. К третьему году последствия удобрений наблюдалось снижение содержания в почве гумусовых кислот и сужение соотношения $C_{ГК}/C_{ФК}$, хотя данные значения и превышали контроль.

В итоге, при совместном внесении торфа и пожнивных остатков рапса ярового к третьему году последствия удобрений отмечено наиболее высокое содержание органического вещества и лучший качественный состав гумуса почвы по сравнению с отдельным применением торфа и рапса. При совместном внесении торфа и пожнивной массы рапса в дозах 100 т/га и 8,5 т/га и в дозах 40 т/га и 3,0 т/га соответственно, к третьему году последствия удобрений содержание органического вещества в почве составило 6,8 и 5,4 %, а соотношение $C_{ГК}/C_{ФК}$ – 2,7 и 2,3.

Таким образом, внесение торфа в дозах от 40 до 200 т/га как отдельно, так и совместно с пожнивными остатками ярового рапса, повышало содержание

органического вещества в почве. Качественный состав органического вещества почвы к третьему году последствий удобрений достигал наилучших показателей при совместном внесении торфа и пожнивных остатков рапса. При внесении торфа в чернозёме выщелоченном в обоих опытах менялся тип гумуса почвы с фульватно-гуматного на гуматный.

На фоне применения торфа и пожливной массы ярового рапса к третьему году последствий в почве произошло повышение доли фракции гуминовых кислот, связанных с кальцием на 9-15 отн. %. Наибольшее повышение доли фракций прочно связанных гуминовых (6-15 отн. %) и фульвокислот (2-3 отн. %) отмечалось при внесении торфа без рапса. По содержанию фракций подвижных и связанных с кальцием гуминовых кислот, характеризующих эффективное плодородие почвы, совместное применение торфа и рапса превышало результат внесения чистого торфа на 13-29 отн. % и 7-13 отн. % соответственно.

3.2 Биологическая активность почвы

Активность микроорганизмов зависит от внешних условий и стадии трансформации органического вещества. Применение трудно разлагаемого органического вещества торфа и легкогидролизуемых веществ зеленого удобрения ведет к активизации разных видов микроорганизмов, а совместное их использование, приводит к увеличению общей биогенности почвы и повышению интенсивности разложения органического вещества.

Влияние микроорганизмов на процессы трансформации органического вещества и интенсивность микробиологической активности почвы характеризует степень разложения льняного полотна.

Микробиологическая активность почвы в год закладки первого опыта к сентябрю была максимальной при июньском внесении торфа совместно с пожнивными остатками ярового рапса. На вариантах торф (июнь)+рапс, рапс+торф (август), торф (июнь) и рапс превышение степени разложения льняного полотна над контролем составило 3,0; 2,8; 3,0 и 2,3 % соответственно, что было в пределах НСР₀₅ (табл. 43). Причем варианты с пожнивными

остатками рапса имели микробиологическую активность почвы несколько ниже варианта торф, внесенного в июне.

В первый год последствий удобрений в первом опыте повышение микробиологической активности в почве имели все варианты с торфом и рапсом, а наиболее высокую активность – варианты торф (июнь)+рапс и торф (июнь), где превышение над контролем составило 3,9 и 4,4 %.

Во второй год последствий удобрений степень разложения льняного полотна в почве вариантов торф (июнь)+рапс и рапс+торф (август) превысила контроль на 12,3 и 10,8 %, на остальных вариантах осталась в пределах контроля.

Таблица 43 – Степень разложения льняного полотна в почве, %

Вариант	Действие	Последствие		
		1 год	2 год	3 год
Контроль	7,2	7,1	10,0	10,2
Мочевина (N ₉₀)	8,1	7,7	11,1	10,8
Торф (40 т/га, июнь)+рапс (3,0 т/га)	10,2	11,0	22,3	14,0
Рапс (2,3 т/га)+торф (40 т/га, август)	10,0	10,2	20,8	13,5
Торф (40 т/га, июнь)	10,2	11,5	10,0	11,0
Торф (40 т/га, август)	7,5	10,0	11,1	10,5
Рапс (2,5 т/га)	9,5	10,0	9,5	10,4
НСР ₀₅	6,9	6,5	10,9	5,4

На третий год последствий удобрений преимущество совместного применением торфа и рапса над остальными вариантами сохранилось, при этом превышение над контролем по степени разложения полотна в почве составило 3,8 и 3,3 %. На вариантах торф (июнь), торф (август) и рапс микробиологическая активность почвы была на уровне контроля.

Во втором опыте превышение над контролем вариантов торф (100 т/га), рапс и торф (200 т/га)+рапс по степени разложения льняного полотна составило 5,6; 5,4 и 7,4 % соответственно (табл. 44). Следует отметить вариант торф (100 т/га)+рапс, где активность микрофлоры в почве находилась на уровне контроля.

Высокая микробиологическая активность почвы в первый год последствия удобрений отмечена на вариантах торф (100 т/га)+рапс, торф (100 т/га) и рапс, превышение над контролем составило 12,0; 7,3 и 6,0 % соответственно. Вариант торф (200 т/га)+рапс превосходил контроль по степени разложения полотна на 3,6 %, среди вариантов с органическими удобрениями имел самый низкий показатель.

В почве во второй год последствия удобрений высокая степень разложения льняного полотна наблюдалась на всех вариантах с органическими удобрениями, а наибольшая – на варианте торф (200 т/га)+рапс, где превышение над контролем составило 15,2 %.

Таблица 44 – Степень разложения льняного полотна в почве, %

Вариант	Действие	Последствие		
		1 год	2 год	3 год
Контроль	4,8	9,7	8,5	10,4
Торф (100 т/га, июнь)	10,4	21,7	16,0	16,5
Рапс (9,2 т/га)	10,2	15,7	10,3	11,2
Торф (100 т/га, июнь)+рапс (8,5 т/га)	5,4	17,0	14,3	15,9
Торф (200 т/га, июнь)+рапс (9,2 т/га)	12,2	13,3	23,7	20,2
НСР ₀₅	4,8	10,1	3,6	3,1

На третий год последствия удобрений превышение над контролем показателя степени разложения льняного полотна произошло в почве вариантов торф (100 т/га), торф (100 т/га)+рапс и торф (200 т/га)+рапс соответственно на 6,1; 5,5 и 9,8 %. Микробиологическая активность почвы варианта рапс превышала контроль в пределах НСР₀₅.

В целом за четыре года наблюдений за микробиологической активностью почвы первого опыта следует отметить повышение степени разложения льняного полотна на всех вариантах с внесенными органическими удобрениями. При этом в почве варианта рапс максимум активности микроорганизмов отмечался в первый год последствия, у вариантов с совместным применением

торфа и рапса – на второй и третий год последствий, а у вариантов с чистым торфом – снижение во второй год последствий удобрений до уровня контроля.

Во втором опыте повышение доз торфа и рапса изменило динамику активности микроорганизмов в почве в течение трех лет последствий по сравнению с первым опытом. У вариантов торф (100 т/га) и рапс максимум активности пришелся на первый год последствий удобрений, а в последующие два года наблюдалось снижение микробиологической активности. Вариант торф (100 т/га)+рапс в первый год последствий имел максимальное значение степени разложения льняного полотна в почве, с последующим снижением во второй год последствий и вновь повысил микробиологическую активность на третий год последствий удобрения. Вариант торф (200 т/га)+рапс минимальную микробиологическую активность в почве имел в первый год последствий удобрения, а наибольшую на второй и третий год последствий удобрения.

Динамика микробиологической активности почвы вариантов с совместным применением торфа и рапса зависела от доз внесения. Прежде всего, следует отметить, что максимумы активности микроорганизмов в первом опыте при внесении в почву торфа в дозе 40 т/га и пожнивной массы ярового рапса 2,3-3,0 т/га наблюдались во второй год последствий, во втором опыте при внесении торфа в дозе 100 т/га и рапса массой 8,5 т/га – в первый и третий год, а на варианте торф (200 т/га) и рапс массой 9,2 т/га – во второй год последствий.

В почве вариантов чистый торф и рапс наибольшая степень разложения льняного полотна в почве была в первый год последствий удобрений с последующим снижением до уровня контроля. Следует также отметить повышение микробиологической активности почвы в течение всего времени исследований при применении торфа в дозе 100 т/га. Причиной этого может быть поступление большого количества минерального азота с торфом,

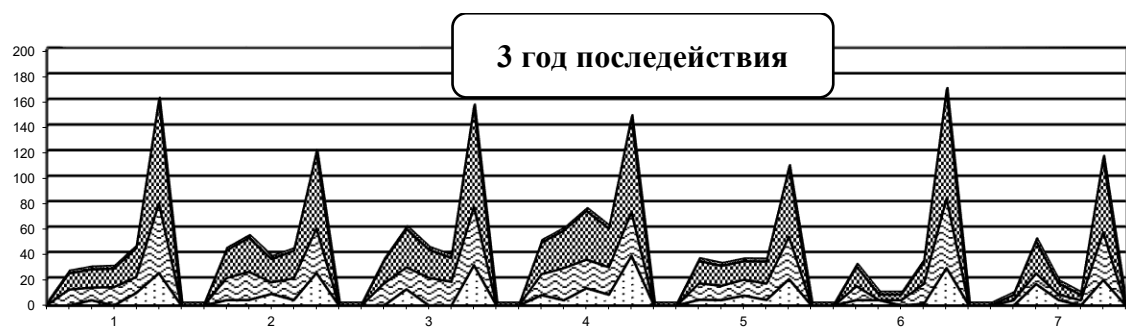
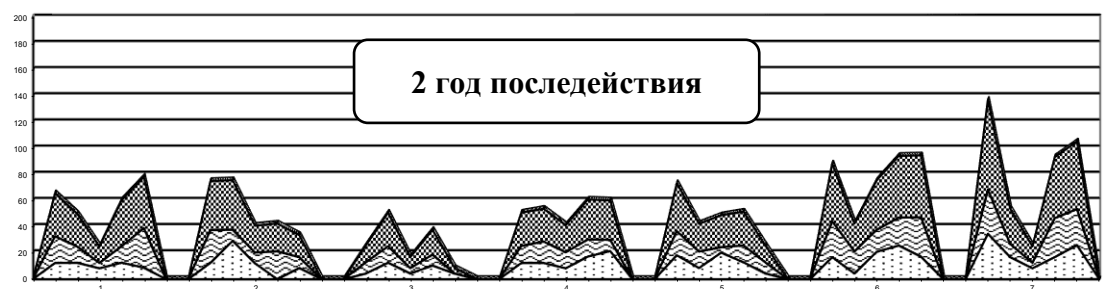
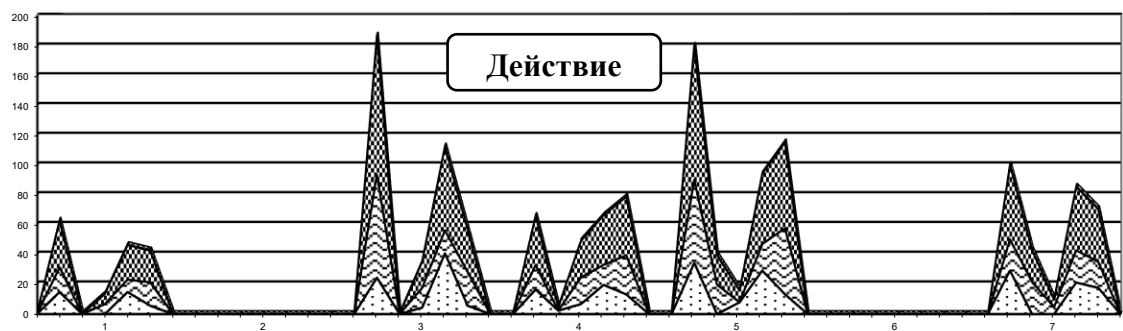
обеспечивающего высокий уровень содержания этого элемента в течение трех лет последствия удобрения и как следствие повышение биогенности почвы.

В среднем за четыре года наблюдений степень разложения льняного полотна в среднем по двум опытам превышала контроль на вариантах при внесении рапса на 2,3 % (27 отн. %), торфа – на 3,9 % (46 отн. %), торфа с рапсом – 7,5 % (88 отн. %). При совместном применении торфа и пожнивной массы рапса повышенная биологическая активность почвы сохранялась в течение четырех лет наблюдений и в большей мере проявлялась на второй и третий год последствия, где степень разложения льняного полотна составила 13,5-23,7 %. Совместное применение торфа и пожнивных остатков рапса ярового увеличивало биологическую активность почвы по сравнению с отдельно внесенным торфом и рапсом в среднем за четыре года наблюдений на 3,6 % (29 отн. %) и 5,2 % (48 отн. %) соответственно.

3.3 Содержание минерального азота

Торф, рапс яровой и мочевины – азотсодержащие удобрения, отличающиеся по степени доступности для растений. Трансформация азотсодержащих (минеральных и органических) веществ в почве идет в направлении и интенсивности, характерной для конкретного вида удобрения. В результате процесса минерализации азотсодержащих соединений в почве образуется минеральный азот в виде солей аммония и азотной кислоты, который становится доступным и для растений, и для микроорганизмов. Наблюдение за аммонийно-нитратным режимом почвы необходимо для выявления преобладающих процессов аммонификации, нитрификации и т.д. Изучение динамики минерального азота в почве позволяет проследить за интенсивностью трансформации азотсодержащих соединений различных удобрений и установить влияние этого процесса на урожайность сельскохозяйственных культур.

В первом опыте в год закладки количество нитратного азота в почве превышало аммонийный с мая по июль и в сентябре (рис. 2, прил. Б).



□ аммонийный азот ▨ нитратный азот ▩ минеральный азот

Обозначения: 1 – контроль; 2 – мочевины; 3 – торф (июнь)+рапс; 4 – рапс+торф (август);
5 – торф (июнь); 6 – торф (август); 7 – рапс

Рисунок 2 – Содержание минеральных форм азота в слое почвы 0-40 см с интервалом 20 дней, мг/кг абс. сух. почвы

В августе количественное преобладание аммонийного азота в почве было отмечено на всех вариантах, кроме варианта рапс. После внесения торфа в слое почвы 0-40 см содержание минерального азота превысило контроль на 59,3-62,7 мг/кг абс. сух. почвы. В целом за вегетационный период содержание в почве аммонийного и нитратного азота было максимально на всех вариантах в июне, а минимально – в июле.

В первый год последствий органических удобрений в первом опыте в мае содержание аммонийного азота в почве превышало нитратный на варианте контроль и торф (июнь)+рапс, а в июне – на варианте мочевины. В почве остальных вариантов превышение содержания нитратного азота над аммонийным было в течение всего лета.

Содержание минерального азота в мае было наибольшее в почве варианта рапс+торф (август), а самое низкое в почве вариантов торф (июнь)+рапс, торф (июнь) и торф (август). В июне содержание минерального азота в почве было на всех вариантах выше по сравнению с контролем, кроме варианта рапс. Во второй половине лета содержание минерального азота в почве было ниже контроля на вариантах торф (июнь)+рапс, торф (июнь) и торф (август). На остальных вариантах оно было на уровне или незначительно выше контроля. В целом за год в почве максимум содержания аммонийного и нитратного азота в почве приходился на июнь, а минимум – на весь июль.

Во второй год последствий первого опыта в первой половине лета превышение содержания аммонийного азота в почве над нитратным отмечалось на вариантах мочевины и рапс, а к июлю данное соотношение наблюдалось на остальных вариантах, кроме торф (июнь)+рапс и рапс+торф (август). Во второй половине лета соотношение изменилось и преобладание аммонийного азота в почве было только на вариантах торф (июнь)+рапс и рапс+торф (август).

Повышение содержания в почве минерального азота по сравнению с контролем наблюдалось на вариантах мочевины и рапс в первой половине лета. В почве вариантов торф (июнь)+рапс и рапс+торф (август) количество минерального азота было на уровне или ниже контроля. В почве варианта торф

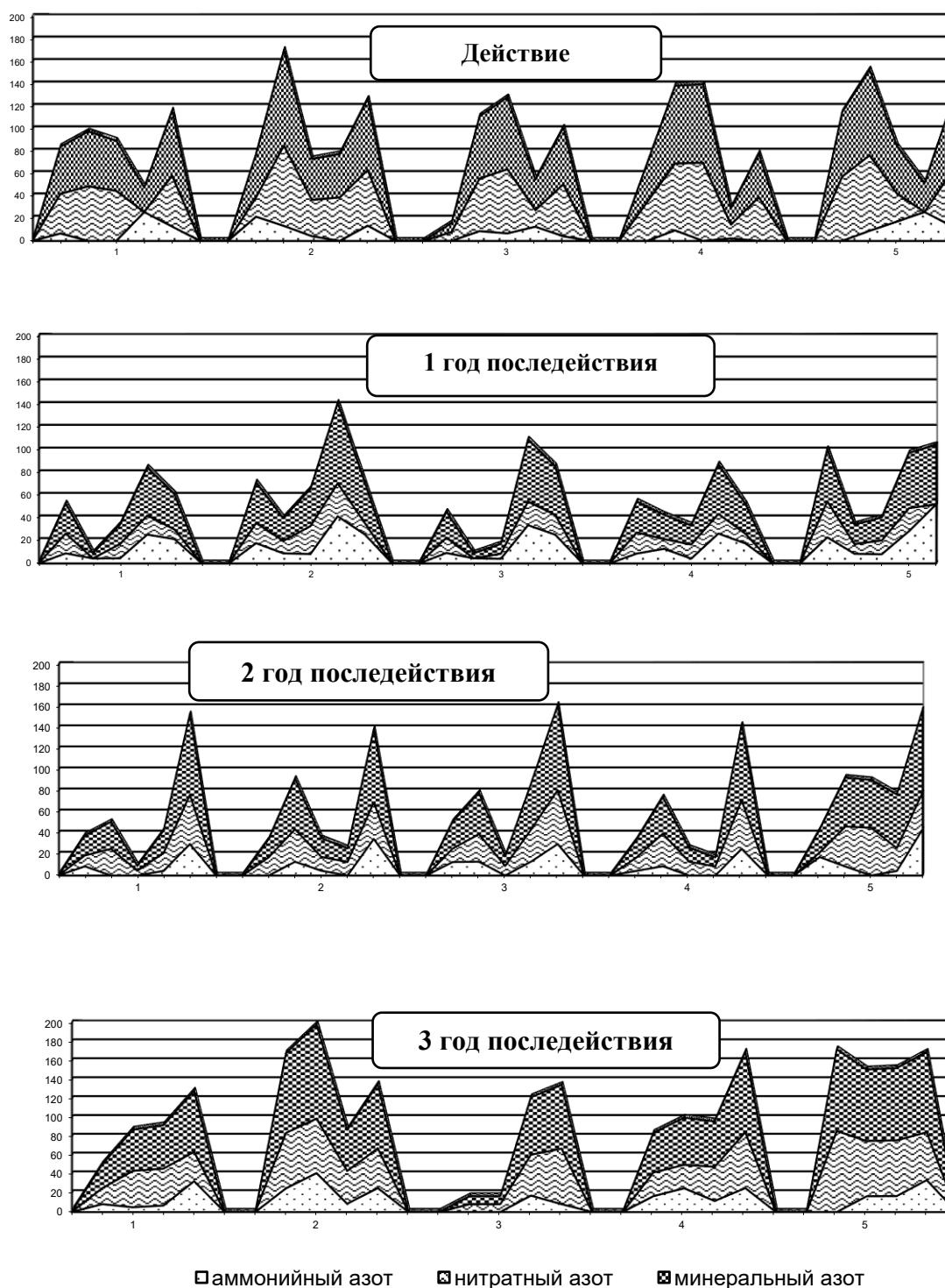
(июнь) в первой половине лета содержание азота было в пределах контроля, а к октябрю было ниже на 26,3 мг/кг. В почве варианта торф (август) содержание минерального азота было так же на уровне контроля, а во второй половине вегетационного периода превысило контроль и к октябрю превышение составило 8,3 мг/кг. Максимум содержания минерального азота в почве приходился на начало и конец лета, а минимум на июль.

На третий год последствий органических удобрений в первом опыте в течение всего лета аммонийный азот превышал содержание в почве нитратного азота на всех вариантах. Величина минерального азота в почве изменялась за весь вегетационный период на варианте контроль в слое 0-40 см в пределах 4,2-60,5 мг/кг абс. сух. почвы. В почве варианта мочевины в мае-июне содержание минерального азота превышало, а в августе-сентябре было на уровне контроля. В почве вариантов торф (июнь)+рапс и рапс+торф (август) содержание минерального азота было выше контроля, а вариантов торф (июнь), торф (август) и рапс было ниже контроля за весь вегетационный период. В целом за год максимум содержания аммонийного и нитратного азота в почве приходился на конец сентября, а минимум – на весь июль.

В год закладки второго опыта превышение содержания в слое почвы 0-40 см аммонийного азота над нитратным наблюдалось только в августе на вариантах контроль и торф (200 т/га)+рапс (рис. 3, прил. В). В целом же преобладание содержания нитратного азота в почве было в течение всего вегетационного периода и на всех вариантах. Содержание минерального азота в почве после внесения торфа превышало контроль в начале июля на 20,3-67,9 мг/кг абс. сух. почвы. Максимум содержания аммонийного и нитратного азота приходится на июль, а минимум – на август.

В первый год последствий органических удобрений в почве преобладала нитратная форма азота в течение всего вегетационного периода. По содержанию минерального азота варианты с торфом превосходили контроль в течение всего лета. В начале июля вариант торф (100 т/га) по содержанию минерального азота

в почве превышал контроль 15,5 мг/кг абс. сух. почвы, а в конце августа – на 28,5 мг/кг абс. сух. почвы.



Обозначения: 1 – контроль, 2 – торф (100 т/га), 3 – рапс, 4 – торф (100 т/га)+рапс, 5 – торф (200 т/га)+рапс

Рисунок 3 – Содержание минеральных форм азота в слое почвы 0-40 см с интервалом 20 дней, мг/кг абс. почвы

В почве вариант рапс по содержанию аммонийного и нитратного азота в первой половине лета был на уровне контроля, а в конце лета превысил контроль на 12,4 мг/кг абс. сух. почвы. В целом за вегетационный период содержание минерального азота в почве было максимальным в августе, а минимальным в начале июля.

На второй год последствий удобрений в почве количество аммонийного азота было ниже нитратного в течение всего лета. По содержанию в почве минерального азота на протяжении всего вегетационного периода варианты торф (200 т/га)+рапс и рапс превышали контроль, а варианты торф (100 т/га) и торф (100 т/га)+рапс во второй половине лета были ниже контроля. Максимальное содержание минерального азота в почве отмечалось в сентябре, а минимальное в июле.

На третий год последствий удобрений превышение количества нитратного азота в почве над аммонийным было в течение всего вегетационного периода. По содержанию минерального азота в почве варианты торф (200 т/га)+рапс и торф (100 т/га)+рапс превосходили контроль в течение всего лета. Вариант торф (100 т/га) превышал контроль в первой половине лета, а во второй был на уровне контроля.

В итоге следует отметить, что по соотношению аммонийного и нитратного азота в почве года последствий органических удобрений значительно отличались между собой. В первый год последствий следует отметить максимальное превышение содержания нитратного азота над аммонийным азотом в почве. Во второй год последствий произошло изменение соотношения в начале и конце вегетационного периода в зависимости от вариантов опыта. Третий год последствий органических удобрений по соотношению аммонийного и нитратного азота в почве не выделялся.

За годы исследований содержание минерального азота в почве обоих опытов зависело от доз, сроков и последовательности внесения органических удобрений. В среднем в год действия удобрений содержание минерального азота

превышало контроль в почве при внесении торфа в июне на 16,8-22,7 мг/кг в первом опыте, на 7,3 мг/кг во втором опыте (табл. 45).

Таблица 45 – Содержание минерального азота в слое почвы 0-40 см, мг/кг абс. сух. почвы

Вариант	Действие	Последействие		
		1 год	2 год	3 год
Первый опыт				
Контроль	22,5	43,0	26,0	22,9
Мочевина	-	46,6	30,5	29,6
Торф (40 т/га, июнь)+рапс (3,0 т/га)	39,3	27,9	14,4	23,2
Рапс (2,3 т/га)+торф (40 т/га, август)	26,5	56,3	26,3	38,9
Торф (40 т/га, июнь)	45,2	32,5	21,7	32,6
Торф (40 т/га, август)	-	32,2	37,0	34,8
Рапс (2,5 т/га)	29,3	32,8	39,2	23,2
Второй опыт				
Контроль	45,4	22,7	24,1	71,0
Торф (100 т/га, июнь)	52,7	39,9	23,5	72,9
Рапс (9,2 т/га)	41,2	22,7	32,1	45,4
Торф (100 т/га)+рапс (8,5 т/га)	37,7	24,9	20,9	59,2
Торф (200 т/га)+рапс (9,2 т/га)	50,9	33,2	38,5	80,4

В первый год последействия удобрений превышали контроль варианты: в первом опыте рапс+торф (август) на 13,3 мг/кг, во втором опыте – торф (100 т/га, июнь) и торф (200 т/га)+рапс на 17,2 и 10,5 мг/кг соответственно. В почве с запашкой рапса содержание минерального азота ниже контроля в первом опыте на 10,2 мг/кг, во втором – на уровне контроля.

Во второй год последействия в первом опыте превышение контроля наблюдалось в почве на вариантах торф (август) и рапс на 11,0 и 13,2 мг/кг, во втором опыте – рапс и торф (200 т/га)+рапс на 8,0 и 14,4 мг/кг соответственно.

На третий год последействия в первом опыте среднее содержание минерального азота было выше контроля на всех вариантах на 4,3-24,3 мг/кг. Максимальное превышение на варианте рапс+торф (август). Во втором опыте превышал контроль только вариант торф (200 т/га)+рапс на 9,4 мг/кг.

В годы последствий сельскохозяйственные культуры были в достаточной мере обеспечены нитратным азотом. По градации А.Е. Кочергина [1965] в среднем за три года последствия средняя (10-15 мг/кг) обеспеченность нитратным азотом в слое почвы 0-40 см отмечена в почве варианта торф (40 т/га)+рапс – 14,9 мг/кг, высокая (15-20 мг/кг) обеспеченность на варианте рапс – 19,6 мг/кг, на остальных вариантах первого и второго опыта обеспеченность нитратным азотом очень высокая (более 20 мг/кг) – 20,8-32,0 мг/кг (табл. 46).

Таблица 46 – Содержание нитратного азота в слое почвы 0-40 см, мг/кг абс. сух. почвы

Вариант	Последствие			
	1 год	2 год	3 год	среднее
Первый опыт				
Контроль	35,6	15,1	17,0	22,6
Мочевина	25,6	18,0	20,0	21,2
Торф (40 т/га, июнь)+рапс (3,0 т/га)	20,9	7,6	16,3	14,9
Рапс (2,3 т/га)+торф (40 т/га, август)	43,9	11,9	24,1	26,6
Торф (40 т/га, июнь)	30,4	9,3	22,6	20,8
Торф (40 т/га, август)	30,0	20,0	21,2	23,7
Рапс (2,5 т/га)	26,4	18,7	13,8	19,6
Второй опыт				
Контроль	11,9	17,2	46,6	25,2
Торф (100 т/га, июнь)	20,7	14,8	45,8	27,1
Рапс (9,2 т/га)	9,8	19,2	34,2	21,1
Торф (100 т/га)+рапс (8,5 т/га)	11,8	14,8	38,4	21,7
Торф (200 т/га)+рапс (9,2 т/га)	16,1	21,9	58,1	32,0

3.4 Содержание подвижных форм фосфора и калия

Подвижный фосфор. Фосфор необходим растениям в течение всей жизни, но более всего необходим в начальный период их роста и развития. Почва опытного участка имеет низкое содержание подвижного фосфора. В слое 0-20 см на контроле оно находилось в пределах от 28,0 до 38,0 мг/кг, а в слое 20-40 см варьировало от 44,0 до 78,0 мг/кг. Оптимальные запасы подвижного фосфора для данного типа почв 100-150 мг/кг почвы [Чириков, 1968]. Поэтому внесение удобрений, содержащих подвижный фосфор, является одним из условий

повышения эффективного плодородия почвы. Внесение торфа не обеспечит значительного поступления этого элемента в почву. Изменение условий пищевого режима почв, вызванное применением органических удобрений, может быть непосредственно связано с активизацией почвенных процессов.

В год внесения удобрений в слое почвы 0-40 см первого опыта наблюдалось повышение содержания подвижного фосфора по сравнению с контролем на вариантах при внесении торфа в июне на 21,6 и 26,3 мг/кг (62 и 75 %), при внесении торфа в августе – на 13,2 и 17,6 (38 и 50 %) (табл. 47, прил. Г). На варианте рапс содержание подвижного фосфора в почве превысило контроль на 13,5 мг/кг (38 %).

Таблица 47 – Содержание подвижного фосфора в слое почвы 0-40 см, мг/кг

Вариант	Действие	Последствие		
		1 год	2 год	3 год
Первый опыт				
Контроль	35,2	48,1	62,8	50,4
Мочевина	36,0	47,9	51,8	43,0
Торф (40 т/га, июнь)+рапс (3,0 т/га)	56,8	44,7	48,6	56,0
Рапс (2,3 т/га)+торф (40 т/га, август)	48,4	38,9	47,0	55,4
Торф (40 т/га, июнь)	61,5	53,6	49,9	56,9
Торф (40 т/га, август)	52,8	65,3	57,0	50,8
Рапс (2,5 т/га)	48,4	59,0	52,6	66,6
Второй опыт				
Контроль	51,3	47,6	53,6	54,1
Торф (100 т/га, июнь)	56,5	71,7	55,1	56,7
Рапс (9,2 т/га)	58,2	59,0	58,6	43,5
Торф (100 т/га)+рапс (8,5 т/га)	54,1	72,8	42,4	49,4
Торф (200 т/га)+рапс (9,2 т/га)	52,4	48,3	60,2	41,5

Во втором опыте в слое почвы 0-40 см в среднем количество подвижного фосфора за вегетационный период на контроле составило 51,3 мг/кг. Среди изучаемых вариантов наибольшее повышение содержания подвижного фосфора в почве по сравнению с контролем отмечено на вариантах торф (100 т/га) и рапс соответственно на 5,2 и 6,9 мг/кг (10 и 13 %).

В первый год последствий удобрений в слое почвы 0-40 см первого опыта количество подвижного фосфора на контроле составило 48,1 мг/кг. Среди вариантов, значительно превышающих контроль по содержанию подвижного фосфора в почве, следует выделить торф (июнь), торф (август) и рапс соответственно на 5,5; 17,2 и 10,9 мг/кг (11, 36 и 23 %). В почве варианта рапс+торф (август) содержалось на 9,2 мг/кг (19 %) подвижного фосфора меньше, чем на контроле. Во втором опыте в первый год последствий органических удобрений в слое почвы 0-40 см количество подвижного фосфора на контроле составило 47,6 мг/кг. По сравнению с контролем следует выделить варианты торф (100 т/га), торф (100 т/га)+рапс и рапс, где превышение содержания подвижного фосфора в почве составило 24,1; 25,2 и 11,4 мг/кг (51, 53 и 23 %).

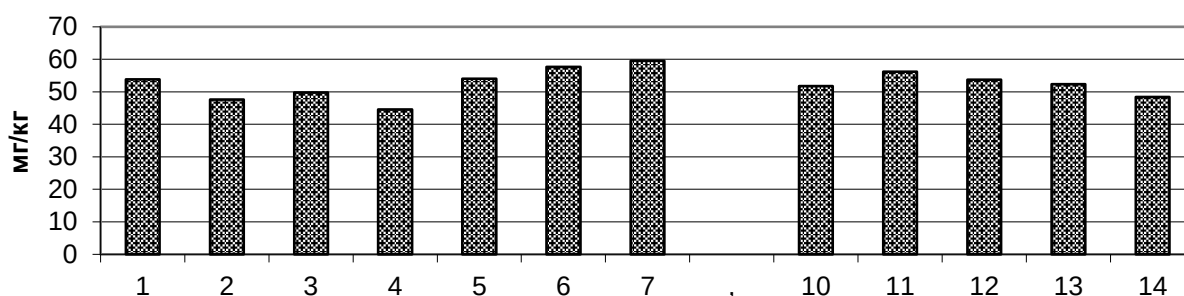
Все варианты в первом опыте на второй год последствий удобрений по содержанию подвижного фосфора уступали контролю. Наиболее низкое содержание фосфора отмечено на вариантах совместного применения торфа с сидератом на 14,2 и 15,8 мг/кг почвы (23 и 25 %). Во втором опыте на второй год последствий удобрений наблюдалось повышение содержания подвижного фосфора в почве на контроле до 53,6 мг/кг. По сравнению с контролем в слое почвы 0-40 см значительное снижение количества подвижного фосфора отмечено на варианте торф (100 т/га)+рапс на 11,2 мг/кг (21 %). В почве остальных вариантов отмечено превышение над контролем по содержанию подвижного фосфора, особенно значительное в почве варианта торф (200 т/га)+рапс на 6,6 мг/кг (12 %).

На третий год последствий органических удобрений в первом опыте превышение контроля по содержанию подвижного фосфора в почве отмечено на вариантах торф (июнь)+рапс, рапс+торф (август), торф (июнь) и рапс соответственно на 5,6, 5,0, 6,5 и 16,2 мг/кг (11, 10, 13 и 32 %). Во втором опыте на третий год последствий удобрений за вегетационный период содержание подвижного фосфора в почве на варианте контроль составило 54,1 мг/кг. Превышал контроль по этому показателю вариант торф (100 т/га) на 2,6 мг/кг.

Следует также выделить варианты рапс, торф (100 т/га)+рапс и торф (200 т/га)+рапс, где количество подвижного фосфора в почве по сравнению с контролем снизилось на 10,6, 4,7 и 12,6 мг/кг (20, 64 и 23 %).

По годам последействия органических удобрений в первом опыте в слоях почвы 0-40 см в первый год последействия в сравнении с годом закладки опыта в почве вариантов с совместным применением торфа и рапса наблюдалось понижение количества подвижного фосфора. На второй и третий год последействия удобрений содержание подвижного фосфора в почве этих вариантов повышалось. Во втором опыте повышение отмечено в первый год, в последующие – снижение.

В среднем за три года последействия содержание подвижного фосфора в почве первого опыта превышало контроль на вариантах рапс и торф (август) на 5,6 и 3,9 мг/кг (10 и 7 %) (рис. 4). Во втором опыте незначительно ниже контроля содержание подвижного фосфора было на варианте с высокой дозой торфа, остальные варианты превышали контроль. Более значительное превышение контроля отмечено на варианте с внесением одного торфа – на 9,4 мг/кг (18 %).



Обозначения: 1, 10 – контроль, 2 – мочевины, 3 – торф(июнь)+рапс, 4 – рапс+торф(август), 5 – торф(июнь), 6 – торф(август), 7, 12 – рапс, 11 – торф (100 т/га), 13 – торф (100 т/га)+рапс, 14 – торф (200 т/га)+рапс

Рисунок 4 – Влияние удобрений на содержание подвижного фосфора в слое почвы 0-40 см в среднем за три года последействия, мг/кг

В почве при внесении мочевины во все годы последствия содержание подвижного фосфора ниже контроля, в среднем за три года снижение на 6,2 мг/кг (12 %).

Таким образом, внесение в почву органических удобрений оказало существенное влияние на содержание подвижного фосфора в почве выщелоченного чернозема в год действия и первый год последствия.

Подвижный калий. Влияние органических удобрений на содержание подвижного калия в почве определяется видом удобрения и типом почвы. При внесении органических удобрений в почву в год закладки опытов содержание подвижного калия повышалось незначительно (табл. 48, прил. Д). Следует выделить варианты рапс первого и торф (100 т/га) второго опытов, где превышение над контролем в слое почвы 0-40 см составило соответственно 7,5 и 8,2 мг/кг.

Таблица 48 – Содержание подвижного калия в слое почвы 0-40 см, мг/кг

Вариант	Действие	Последствие		
		1 год	2 год	3 год
Первый опыт				
Контроль	129,8	125,3	117,9	116,2
Мочевина	132,1	134,2	122,0	103,9
Торф (40 т/га, июнь)+рапс (3,0 т/га)	131,0	127,8	108,5	99,6
Рапс (2,3 т/га)+торф (40 т/га, август)	134,2	142,9	110,6	97,1
Торф (40 т/га, июнь)	130,6	121,2	103,2	98,1
Торф (40 т/га, август)	133,4	128,8	111,9	99,8
Рапс (2,5 т/га)	137,3	127,4	117,9	104,9
Второй опыт				
Контроль	120,6	104,4	106,6	113,8
Торф (100 т/га, июнь)	128,8	103,1	103,7	109,1
Рапс (9,2 т/га)	124,8	100,7	99,7	113,6
Торф (100 т/га)+рапс (8,5 т/га)	118,2	107,4	95,4	120,1
Торф (200 т/га)+рапс (9,2 т/га)	118,2	107,4	95,4	120,1

В первый год последствия органических удобрений в первом опыте более значительное повышение содержания подвижного калия в почве по сравнению с контролем произошло на вариантах мочевины и рапс+торф (август)

на 8,9 и 17,6 мг/кг. Остальные варианты первого опыта и все варианты второго опыта по содержанию обменного калия в почве были на уровне контроля.

Во второй год последствий удобрений в первом опыте повышение содержания обменного калия в почве по сравнению с контролем произошло на варианте мочевины на 4,1 мг/кг, на варианте рапс – на уровне контроля, снижение этого показателя на остальных вариантах на 5-12 %. Во втором опыте на второй год последствий содержание подвижного калия ниже контроля на всех изучаемых вариантах на 2,9-11,2 мг/кг (3-11 %).

На третий год последствий удобрений в первом опыте показатели подвижного калия ниже контроля на всех вариантах, наиболее значительное понижение при внесении торфа отдельно и совместно с рапсом на 16,4-19,1 мг/кг (14-16 %). Во втором опыте содержание подвижного калия в почве повысилось по сравнению с контролем на вариантах совместного применения торфа и рапса на 6,3 мг/кг (6 %).

В среднем за три года последствий в почве вариантов двух опытов содержание подвижного калия было или на уровне контроля или ниже контроля, но различие менее 10 %.

Таким образом, внесение торфа и пожнивных остатков ярового рапса не оказало существенного влияния на содержание подвижного калия в почве чернозёма выщелоченного в течение всего периода последствий удобрений.

3.5 Физико-химические свойства почвы

Обменная кислотность почвы. Одним из агрохимических показателей, определяющих плодородие почвы, является кислотность. Органические удобрения, содержащие физиологически активные вещества, и погодные условия, влияющие на формирование биологической массы растений и вынос минеральных солей, приводят к колебаниям актуальной и обменной кислотности. Установление динамики pH в опыте позволило изучить действие органических удобрений торфа и рапса в период внесения и трех лет последствий.

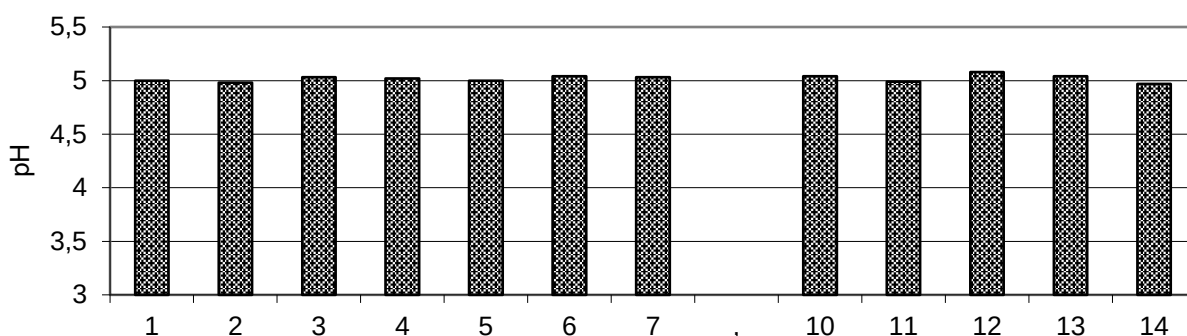
В первом опыте в год закладки и в последующие годы последействия органических удобрений обменная кислотность в слое почвы 0-40 см находилась на уровне контроля (табл. 49, прил. Е). Показатели варьировали в основном в пределах 5,0-5,1 ед. рН, почва слабокислая. Аналогичная картина по обменной кислотности и во втором опыте.

Таблица 49 – Обменная кислотность в слое почвы 0-40 см, ед. рН

Вариант	Действие	Последействие		
		1 год	2 год	3 год
Первый опыт				
Контроль	5,0	5,0	5,0	5,3
Мочевина	5,1	5,0	5,0	5,0
Торф (40 т/га, июнь)+рапс (3,0 т/га)	5,1	5,0	4,9	5,2
Рапс (2,3 т/га)+торф (40 т/га, август)	4,9	5,0	5,0	5,1
Торф (40 т/га, июнь)	5,1	5,0	5,0	5,1
Торф (40 т/га, август)	5,0	5,1	5,1	5,0
Рапс (2,5 т/га)	5,0	5,0	5,1	5,2
Второй опыт				
Контроль	5,0	5,0	5,1	5,0
Торф (100 т/га, июнь)	5,0	5,1	4,9	5,0
Рапс (9,2 т/га)	5,0	5,1	5,3	5,0
Торф (100 т/га)+рапс (8,5 т/га)	4,9	5,0	5,1	5,1
Торф (200 т/га)+рапс (9,2 т/га)	4,9	4,8	5,1	5,1

Можно отметить во втором опыте вариант с внесением торфа в дозе 200 т/га. В год внесения кислотность увеличилась, показатель снизился на 0,1 ед. рН. В первый год последействия снижение еще на 0,1 ед. рН, различие с контролем на 0,2 ед. рН. Почва перешла в градацию среднекислых, но во второй и третий годы последействия кислотность уменьшилась, показатель рН увеличился на 0,3 ед. И почва снова вернулась в разряд слабокислых.

В целом в среднем за три года последействия удобрений показатель рН почвы в опытах на всех вариантах был в пределах контроля (рис. 5).



Обозначения: 1, 10 – контроль, 2 – мочевины, 3 – торф (июнь)+рапс, 4 – рапс+торф (август), 5 – торф (июнь), 6 – торф (август), 7, 12 – рапс, 11 – торф (100 т/га), 13 – торф (100 т/га)+рапс, 14 – торф (200 т/га)+рапс

Рисунок 5 – Влияние удобрений на pH (сол.) в слое почвы 0-40 см в среднем за три года последействия

Гидролитическая кислотность. Гидролитическая кислотность показывает концентрацию ионов водорода в почвенном растворе, одно из важных показателей кислотно-основного состояния почвы. Гидролитическая кислотность влияет на доступность питательных веществ для растений, а также на различные химические процессы в почве. Определение данного показателя важно при применении удобрений, известковании и других агрохимических приёмах [Минеев, Сычев, Гамзиков и др., 2017].

Почва опытного участка имеет высокий уровень гидролитической кислотности. В год закладки опытов на контроле этот показатель составил 6,6-6,7 мг-экв./100 г (таб. 50, прил. Ж). Применение мочевины и органических удобрений в год закладки опытов снизило уровень гидролитической кислотности в почве по сравнению с контролем на 0,2-0,8 мг-экв. /100 г в первом опыте и на 0,1-0,5 мг-экв. /100 г во втором опыте.

В первый год последействия органических удобрений в первом опыте гидролитическая кислотность почвы вариантов с отдельным применением торфа и рапса снизилась на 0,8 и 0,6 мг-экв./100 г. Во втором опыте снижение гидролитической кислотности по сравнению с контролем отмечалось на

вариантах торф (100 т/га), рапс, торф (100 т/га)+рапс и торф (200 т/га)+рапс на 0,8; 1,1; 1,0 и 1,0 мг-экв./100 г соответственно.

Таблица 50 – Гидролитическая кислотность в слое почвы 0-40 см, мг-экв./100 г

Вариант	Действие	Последствие		
		1 год	2 год	3 год
Первый опыт				
Контроль	6,7	6,2	5,4	5,5
Мочевина	5,9	6,1	4,3	5,4
Торф (40 т/га, июнь)+рапс (3,0 т/га)	6,4	6,7	4,3	4,0
Рапс (2,3 т/га)+торф (40 т/га, август)	6,2	6,5	5,0	4,8
Торф (40 т/га, июнь)	6,5	6,5	5,0	4,8
Торф (40 т/га, август)	6,5	5,4	4,9	5,1
Рапс (2,5 т/га)	5,9	5,6	4,4	4,5
Второй опыт				
Контроль	6,6	5,1	5,4	5,0
Торф (100 т/га, июнь)	6,1	4,3	5,2	4,6
Рапс (9,2 т/га)	6,1	4,0	5,5	4,9
Торф (100 т/га)+рапс (8,5 т/га)	6,1	4,1	4,7	5,0
Торф (200 т/га)+рапс (9,2 т/га)	6,5	4,1	5,2	4,3

На второй год последствия удобрений в опытах показатель гидролитической кислотности почвы снижался на всех вариантах, а наиболее значительные изменения этого показателя по сравнению с контролем произошли на вариантах мочевины, торф (июнь)+рапс, рапс первого опыта и торф (100 т/га)+рапс второго на 0,7-1,1 мг-экв./100 г соответственно.

На третий год последствия удобрений в первом опыте снижение гидролитической кислотности почвы по сравнению с контролем наблюдалось у всех вариантов. Наиболее значительное на варианте торф (июнь)+рапс на 1,5 мг-экв./100 г. Во втором опыте снижение гидролитической кислотности почвы по сравнению с контролем произошло на вариантах торф (100 т/га) и торф (200 т/га)+рапс на 0,4 и 0,7 мг-экв./100 г соответственно.

Внесение органических удобрений понизило гидролитическую кислотность в почве. В первом опыте следует отметить второй и третий года

последствия органических удобрений, когда варианты с удобрениями имели наименьший уровень гидролитической кислотности в почве. Во втором опыте наиболее низкая гидролитическая кислотность почвы отмечена в первый год последствия.

В среднем за три года последствия удобрений показатель гидролитической кислотности в почве первого опыта на изучаемых вариантах был ниже, чем на контроле на 0,4-1,5 мг-экв./100 г. Самое низкое значение на варианте рапс. Во втором опыте показатель гидролитической кислотности почвы на вариантах с использованием органических удобрений был также ниже контроля на 0,4-0,7 мг-экв./100 г. Повышенная доза торфа (200 т/га) в большей степени влияла на снижение гидролитической кислотности.

Поглотительная способность почвы. Поглотительная способность почвы играет важную роль в минеральном питании растений и процессах взаимодействия между почвой и вносимыми удобрениями. Поглотительную способность характеризует сумма поглощённых оснований, выраженная через суммарное содержание катионов кальция и магния, вытесненных ионами водорода соляной кислоты.

Сумма поглощённых оснований в чернозёме выщелоченном в обоих опытах высокая, на контроле в год закладки опытов её значение 26,4-27,4 (табл. 51, прил. 3). В первом опыте превышали контроль в почве в слое 0-40 см варианты с внесением торфа в июне на 3,4 и 3,8 мг-экв./100 г (13 и 14 %). Во втором наблюдалось незначительное понижение катионной поглотительной способности почвы на всех вариантах с органическими удобрениями.

В первый год последствия удобрений в первом опыте снижение суммы поглощённых оснований в слое 0-40 см по сравнению с контролем отмечалось на всех вариантах с удобрениями. Во втором опыте повышение поглотительной способности почвы по сравнению с контролем отмечено на варианте торф (100 т/га) на 5,8 мг-экв./100 г (24 %).

Во второй год последствия органических удобрений в первом опыте повышение поглотительной способности почвы не на одном из вариантов не

произошло. Во втором опыте повышение суммы поглощенных оснований почвы по сравнению с контролем произошло на всех вариантах, более значительное в почве вариантов торф (100 т/га)+рапс и торф (200 т/га)+ рапс на 5,1 и 5,2 мг-экв./100 г (20 %) соответственно.

Таблица 51 – Сумма поглощённых оснований в слое почвы 0-40 см, мг-экв./100 г

Вариант	Действие	Последствие		
		1 год	2 год	3 год
Первый опыт				
Контроль	26,4	26,7	26,1	25,6
Мочевина	26,6	26,0	24,0	23,8
Торф (40 т/га, июнь)+рапс (3,0 т/га)	29,8	26,6	24,1	27,2
Рапс (2,3 т/га)+торф (40 т/га, август)	26,2	26,9	24,1	25,8
Торф (40 т/га, июнь)	30,2	26,6	26,6	29,9
Торф (40 т/га, август)	27,0	25,9	26,9	26,6
Рапс (2,5 т/га)	26,2	26,2	25,3	27,0
Второй опыт				
Контроль	27,4	24,0	25,7	22,6
Торф (100 т/га, июнь)	25,7	29,8	28,4	27,6
Рапс (9,2 т/га)	26,6	22,8	26,7	22,8
Торф (100 т/га)+рапс (8,5 т/га)	27,2	25,6	30,9	28,8
Торф (200 т/га)+рапс (9,2 т/га)	25,7	23,4	30,8	28,8

В третий год последствия удобрений наибольшее повышение поглотительной способности почвы по сравнению с контролем отмечалось на вариантах торф (июнь) первого опыта – на 4,3 мг-экв./100 г, торф (100 т/га), торф (100 т/га)+рапс торф (200 т/га)+рапс второго опыта – на 5,0-6,2 мг-экв./100 г (22-27 %) соответственно.

По годам исследований значительного изменения показателя суммы поглощенных оснований в слое почвы 0-40 см на варианте контроль не произошло. Вариант мочевины на протяжении трех лет исследований уступал контролю на 0,7-2,1 мг-экв./100 г. Применение органических удобрений повысило показатель суммы поглощенных оснований почвы наиболее отчетливо в почве вариантов второго опыта.

В среднем за три года последствия удобрений сумма поглощённых оснований в почве вариантов первого опыта отклонялась от контроля незначительно. Во втором опыте сумма поглощённых оснований в почве вариантов торф (100 т/га), торф (100 т/га)+рапс и торф (200 т/га)+рапс превышала контроль на 4,5, 4,3 и 3,6 мг-экв./100 г (19, 18 и 15 %) соответственно. Таким образом, повышение поглощательной способности наблюдалось при внесении торфа в дозах 100 и 200 т/га.

Степень насыщенности основаниями показывает долю поглощённых оснований от общей ёмкости поглощения. Почва опытного участка имеет повышенную степень насыщенности основаниями 79,8-80,6 % (табл. 52, прил. И), что соответствует тяжелосуглинистым почвам с высоким содержанием гумуса. В год закладки опытов после внесения удобрений в почву значительного повышения степени насыщенности основаниями относительно контроля не произошло.

Таблица 52 – Степень насыщенности основаниями в слое почвы 0-40 см, мг-экв./100 г

Вариант	Действие	Последствие		
		1 год	2 год	3 год
Первый опыт				
Контроль	79,8	81,6	83,2	82,4
Мочевина	82,0	81,0	84,8	81,4
Торф (40 т/га, июнь)+рапс (3,0 т/га)	82,0	79,9	85,0	87,4
Рапс (2,3 т/га)+торф (40 т/га, август)	80,8	80,6	84,0	84,3
Торф (40 т/га, июнь)	82,2	83,3	84,2	85,0
Торф (40 т/га, август)	82,3	82,7	86,9	85,3
Рапс (2,5 т/га)	81,5	82,4	84,9	85,4
Второй опыт				
Контроль	80,6	84,0	84,4	81,8
Торф (100 т/га, июнь)	80,8	87,2	84,7	85,7
Рапс (9,2 т/га)	81,6	85,1	83,1	82,2
Торф (100 т/га)+рапс (8,5 т/га)	81,8	86,1	86,8	85,1
Торф (200 т/га)+рапс (9,2 т/га)	79,8	85,3	85,4	87,0

В первый год последствия органических удобрений в первом опыте степень насыщенности основаниями превышала контроль на вариантах с

отдельным внесением торфа на 1,1-1,7 %. Во втором опыте превышение степени насыщенности основаниями почвы контроля отмечено на всех вариантах с органическими удобрениями, более значительное при внесении одного торфа – на 3,2 %.

Во второй год последствий удобрений в первом опыте повышение степени насыщенности основаниями почвы по сравнению с контролем отмечено на всех вариантах – на 0,8-3,7 %. Во втором опыте повышение степени насыщенности основаниями почвы по сравнению с контролем отмечено на вариантах с совместным внесением рапса и торфа в дозах 100 и 200 т/га на 2,4 и 1,0 % соответственно.

На третий год последствий удобрений степень насыщенности почвы основаниями превышала контроль на всех вариантах с внесением органических удобрений: в первом опыте – на 1,9-5,0 %, во втором – на 0,4-5,2 %. Самое низкое повышение в обоих опытах на вариантах с внесением пожнивных остатков рапса.

В целом в обоих опытах повышение степени насыщенности почвы основаниями наблюдалось в год закладки опыта на вариантах с органическими удобрениями. В последующие годы последствий удобрений высокие показатели степени насыщенности почвы основаниями отмечались на вариантах с высокими дозами внесенных удобрений. Варианты с торфом по степени насыщенности почвы основаниями между собой существенной разницы не имели. Следует выделить вариант мочевины, где два года степень насыщенности почвы основаниями были ниже, чем на контроле.

За средним за три года последствий удобрений показатель степени насыщенности почвы основаниями в почве на всех вариантах двух опытов с применением органических удобрений повышался по сравнению с контролем на 0,6-2,6 мг-экв./100 г. Таким образом, органические удобрения, повышая содержание органического вещества в почве, положительно влияли на поглотельную способность почвы.

3.6 Продуктивность культур

При оценке действия удобрений основным фактором является изучение влияния их на растения. Удобрения различаются по эффективности и срокам действия и последствий, поэтому выбор и создание оптимального соотношения между различными видами удобрений при их совместном использовании позволит более полно влиять на урожайность сельскохозяйственных культур.

В первом опыте посев рапса происходил в неблагоприятных условиях, вызванных отсутствием осадков во второй декаде июня. Посев рапса по внесенному в начале июня торфу вызвал более ранние всходы на 3-4 дня, чем посев рапса без внесения торфа. В результате прибавка урожая рапса с июньским торфом по сравнению рапсом без торфа составила 3,56-3,31 т/га. В итоге масса пожнивных остатков на варианте торф (июнь)+рапс больше на 0,45-0,75 т/га.

Рост и развитие рапса во втором опыте проходили при благоприятных климатических условиях. И урожайность рапса во втором опыте была выше урожайности рапса в первом опыте в среднем в 3,4 раза. Различия урожайности по вариантам находится в пределах НСР₀₅ (табл. 53).

Таблица 53 – Биологическая урожайность рапса ярового, т/га

Вариант	Урожайность хозяйственная	Пожнивные остатки
1996 г.		
Торф (40 т/га, июнь)+рапс	8,44	3,00
Рапс+торф(40 т/га, август)	4,88	2,25
Рапс	5,13	2,55
НСР ₀₅	1,55	0,64
1997 г.		
Рапс	21,5	9,2
Торф (100 т/га, июнь)+рапс	18,0	8,5
Торф (200 т/га, июнь)+рапс	22,5	9,2
НСР ₀₅	5,25	2,6

Урожайность яровой пшеницы в первый год последствий органических удобрений в первом опыте была выше на варианте с мочевиной по сравнению с

контролем на 0,52 т/га. На вариантах с рапсом урожайность была значительно ниже контроля на 0,88-1,18 т/га. В данном случае последствие рапса вызвало угнетение развития растений. При внесении чистого торфа (июнь, август) прибавка урожайности по сравнению с контролем составила 0,05-0,30 т/га (табл. 54). Во втором опыте в первый год последствия повышение урожайности пшеницы отмечено на вариантах торф (100 т/га), торф (200 т/га)+рапс, соответственно на 0,45 и 0,70 т/га по сравнению с контролем, на вариантах рапс, торф (100 т/га)+рапс повышение урожайности не значительное – 0,12 т/га. Сидеральная культура в этом опыте в первый год последствия уменьшила действие торфа на урожайность пшеницы, а применение торфа с более высокими дозами привело к значительному увеличению урожайности.

Таблица 54 – Влияние удобрений на урожайность зерновых культур, т/га

Вариант	Пшеница	Пшеница	Овес
Опыт 1996-1999 гг.			
Контроль	3,45	0,78	1,03
Мочевина (N ₉₀)	3,97	1,09	1,27
Торф (40 т/га, июнь)+рапс (3,0 т/га)	2,27	0,95	1,10
Рапс (2,3 т/га)+торф (40 т/га, август)	2,52	1,00	1,11
Торф (40 т/га, июнь)	3,50	0,96	1,27
Торф (40 т/га, август)	3,75	0,88	1,10
Рапс (2,5 т/га)	2,57	1,01	0,86
<i>HCP₀₅</i>	0,27	0,11	0,10
Опыт 1997-2000 гг.			
Контроль	1,78	0,82	2,03
Торф (100 т/га, июнь)	2,23	1,10	1,68
Рапс (9,2 т/га)	1,90	1,17	1,70
Торф (100 т/га, июнь)+рапс (8,5 т/га)	1,90	0,87	1,71
Торф (200 т/га, июнь)+рапс (9,2 т/га)	2,48	1,05	2,18
<i>HCP₀₅</i>	0,44	0,28	0,43

Для развития пшеницы погодные условия в 1997 г. были благоприятными, а в 1998 г. неблагоприятными. В результате урожайность пшеницы в первом опыте в первый год последствия была выше, чем урожайность во втором в среднем в 1,5 раза. В первый год последствия в обоих опытах можно выделить

три группы вариантов с органическими удобрениями по влиянию на урожайность пшеницы: чистый торф, рапс и торф совместно с рапсом. Высокая урожайность получена на вариантах с торфом: торф (100 т/га), торф (200 т/га)+рапс, торф (июнь), торф (август); наименьшая урожайность – на вариантах с внесением торфа в июне совместно с рапсом: торф (июнь)+рапс, торф(100 т/га)+ рапс; промежуточная урожайность – на варианте рапс.

Урожайность пшеницы в первом опыте во второй год последствий на варианте мочевины превышала контроль на 0,31 т/га, а на вариантах торф (июнь) + рапс, рапс+торф (август) и рапс на 0,17; 0,22 и 0,23 т/га соответственно. Остальные варианты дали несущественную прибавку в пределах НСР₀₅. Во втором опыте во второй год последствий повышение урожайности пшеницы на вариантах торф (100 т/га), рапс, торф (200 т/га)+рапс по сравнению с контролем составило соответственно 0,28; 0,35; 0,23 т/га и находилось в пределах НСР₀₅. Во втором опыте так же, как и в первом, на второй год последствий существенной разницы между вариантами нет. Во второй год последствий все варианты с органическими удобрениями имели урожайность пшеницы в пределах НСР₀₅.

В третий год последствий существенная прибавка урожайности овса по сравнению с контролем получена на вариантах с внесением мочевины (0,24 т/га) и торфа (июнь) (0,24 т/га), на остальных вариантах урожайность изменилась в пределах НСР₀₅. Урожайность овса во втором опыте на третий год последствий снизилась по сравнению с контролем в пределах НСР₀₅ на вариантах рапс, торф (100 т/га), торф (100 т/га)+рапс на 0,35; 0,33; 0,32 т/га соответственно и увеличилась на 0,15 т/га на варианте торф (200 т/га)+рапс.

Третьему году последствий соответствовали 1999 и 2000 гг. По климатическим условиям эти годы были благоприятными для выращивания овса. Второй опыт по климатическим условиям соответствовал опыту в первый год последствий, в результате урожайность по вариантам была близка урожайности первого года последствий. Распределение вариантов с органическими удобрениями по урожайности на группы соответствовало

первому году последействия: торф, рапс и торф совместно с рапсом. Исключением стал вариант торф (100 т/га) значительно снизивший урожайность. Следует также выделить вариант рапс, где урожайность в обоих опытах в независимости от климатических условий была самая низкая.

Влияние на урожайность зерновых культур торфа и рапса при их совместном использовании на протяжении трех лет последействия изменялось в зависимости от года последействия, сроков и доз внесения удобрений, климатических условий и т.д.

В год закладки опыта наибольшая урожайность рапса получена на варианте с внесением торфа до посева, по сравнению с вариантом без внесения торфа. В результате вариант торф (июнь)+рапс к концу года по содержанию минерального азота был на уровне контроля, а варианты рапс+торф (август), торф (июнь) и торф (август) превышали его в среднем в 1,5-2 раза.

Следует обратить внимание на вариант рапс, где урожайность пшеницы ниже контроля, и на варианты торф (июнь), торф (август), торф (100 т/га) и торф (200 т/га)+рапс, где урожайность превысила контроль. Высокая урожайность на варианте торф (200 т/га)+рапс возможна из-за более широкого соотношения массы торфа к массе рапса, а причиной низкой урожайности остальных вариантов с рапсом может быть негативное влияние в первый год последействия пожнивных остатков на развитие пшеницы.

Повышение урожайности пшеницы по сравнению с контролем во второй год последействия было в обоих опытах на всех вариантах. Существенной разницы между вариантами торф (июнь)+рапс и рапс+торф (август) по урожайности пшеницы не наблюдалось. На третий год последействия в первом опыте варианты с совместным применением торфа и рапса по урожайности овса были на уровне вариантов контроль и торф (август) и уступали варианту торф (июнь) в пределах НСР₀₅. Во втором опыте варианты торф (100 т/га), рапс и торф (100 т/га)+рапс по урожайности были на одном уровне.

Таким образом, по результатам двух полевых опытов нет однозначного ответа по использованию рапса ярового в качестве сидерального удобрения.

Запашка пожнивных остатков рапса повышала в почве содержание органического вещества и гумусовых кислот. Но снижала урожайность пшеницы яровой в первый год последействия. Причиной этого может быть негативное воздействие на развитие пшеницы тиоцианов, получаемых в результате распада глюкозинолатов, содержащихся в капустных культурах. Снималось негативное действие рапса при совместном применении с торфом, внесённом в дозе 200 т/га. Использование азотного удобрения привело к незначительному снижению содержания общего углерода в почве, сужению соотношения $C_{ГК}/C_{ФК}$ и уменьшению суммы гуминовых и фульвокислот. Применение торфа отдельно и совместно с рапсом значительно повышало содержание гуминовых и фульвокислот в почве. К третьему году последействия соотношения $C_{ГК}/C_{ФК}$ в почве стало более широким, что свидетельствует о повышении качественного состава гумуса почвы. При внесении торфа в чернозёме выщелоченном в обоих опытах менялся тип гумуса почвы с фульватно-гуматного на гуматный.

Глава 4. ПРИМЕНЕНИЕ ОСАДКА СТОЧНЫХ ВОД В КАЧЕСТВЕ ОРГАНИЧЕСКОГО УДОБРЕНИЯ

4.1 Состав и свойства осадков сточных вод

Осадок сточных вод (ОСВ) – твердая фракция сточных вод, состоит из органических и минеральных веществ, выделенных в процессе очистки сточных вод методом отстаивания и добавления комплекса микроорганизмов. Осадок сточных вод является одним из эффективных доступных и дешевых органоминеральных удобрений [Ивлев, Дербенцева, 2002]. На канализационных очистных сооружениях ежегодное количество образуемых осадков составляет 70-80 млн. м³ при влажности 96-97 % или 2,5-3 млн. т сухого вещества. По ряду причин утилизируется не более 20 % [Александровская, Кузьменкова, Гуляев, Крхамбаров, 1977; Захаренко, 2004]. Огромное количество осадков скапливается и затрудняет работу очистных сооружений, приводит к увеличению иловых карт и нагрузки на них [Арчегова, 1998].

По своему составу осадки сточных вод представляют собой комплексное удобрение с постоянно обновляемой сырьевой базой. В сухой массе они содержат до 50 % и более органического вещества, 1-2 % и более общего азота, до 3-4 % фосфора, 0,3-0,6 % калия, широкий спектр микроэлементов, имеют нейтральную или близко к нейтральной реакцию среды [Данилов-Данильян, 1997; Газизов, Яппаров, Биккинина, Суханова, 2016]. Ежегодный выход питательных веществ в виде осадка сточных в Российской Федерации составляет 448 тыс. т азота, 64 тыс. т фосфора и 12 тыс. т калия, всего 524 тыс. т в год, что достаточно для ежегодного удобрения более 1 млн. га пахотных земель [Данилов-Данильян, 1997]. В осадке сточных вод высокое содержание органических веществ. Богаты они азотом и усвояемыми формами фосфатов. Он является ценным органическим удобрением [Вермиш, 1978, Межевова, Азаров, 2021, Семерджян, Орехова, Кондратенко, Варакин, 2022]. Осадок сточных вод превосходил навоз по содержанию органического вещества в 1,8 раза, азота – в 1,6 раза [Жигарева, 2018]. Внесение осадка сточных вод повышало плодородие

почвы и урожайность культур, улучшало агрофизические свойства почвы, увеличивало запас органического вещества, азота, биологическую активность почвы [Байбеков, Мерзлая, Власова, Намухин, 2013; Касатиков, 2020].

Осадки сточных вод индивидуальны по своему химическому составу. На настоящий момент они пока малоизученные удобрения, что нередко создает весьма подозрительное к ним отношение. Известные преимущества осадка сточных вод могут проявляться в недостаточной степени в связи с потенциальной опасностью его для человека и животных [Адерихин, Усков, Дудкин, Брехов, 1978; Байбеко, Мерзлая, Власова, 2015]. В агропроизводстве за рубежом используют 30-40 % накапливающихся осадков сточных вод, в России – 5-7 % [Байбеко, Мерзлая, Власова, 2015; Семерджян, Орехова, Кондратенко, Варакин, 2022]. Основные ограничения в использовании осадка сточных вод – непостоянный химический состав и возможное превышение существующих регламентов содержания токсичных веществ, что создает риск загрязнения почвы и растений. Основными опасными факторами являются: загрязнение тяжелыми металлами, микропластиком, углеводородами, вредными микроорганизмами (патогенной микрофлорой, гельминтами), которые могут причинить вред здоровью человека и окружающей среде при неправильном применении [Ковда, 1985; Ekane, Barquet, Rosemarin, 2021, Рабинович, Подолян, Зинковская, 2023]. В сточных водах возможен спонтанный процесс образования новых, неизвестных соединений, механизм формирования которых существующими методами установить чрезвычайно трудно.

По химическому составу осадки сточных вод с различных очистных станций значительно различаются [Мерзлая, Воробьева, 2006]. Они все содержат большое количество протеинов, жиров и минеральных веществ и могут найти применение в качестве удобрения. Но из-за высокой влажности (достигающей 98 % в свежем иле и 90-85 % в осадке с иловых площадок), пластичности и возможного наличия яиц гельминтов и патогенной микрофлоры кишечной группы использование свежего ила для удобрения полей не практикуется.

Наличие в осадке сточных вод патогенной микрофлоры обуславливает

необходимость их обеззараживания. По заключению московской аналитической лаборатории ЗАО НПФ «БИФАР» осадки сточных вод очистных сооружений канализации г. Тюмени, механически обезвоженные и выдержанные в естественных условиях в течение 2-х лет не оказывают угнетающего действия на рост и развитие растений и классифицируются как малоопасные отходы (4-ый класс опасности). Патогенные микроорганизмы, яйца гельминтов, жизнеспособные личинки и куколки мух не обнаружены. Численность бактерий группы кишечной палочки увеличена по сравнению с санитарными нормами [Куркова, Сирыпник, 2004].

Повышенное содержание тяжелых металлов в осадке сточных вод представляет потенциальную экологическую токсичность [Мерзлая, 2009; Черногоров, Чекмарев, Васенев, Гогмачадзе, 2012]. Н.Т. Чеботарев, Н.Д. Найденов, А.А. Юдин [2016] к наиболее общим малоспецифическим проявлениям токсического действия тяжелых металлов на растения относят торможение роста, хлороз и нарушение водного обмена. Внесение избытка тяжелых металлов ввиду их низкой растворимости может привести к аккумуляции в почве.

Содержание веществ в осадках определяется составом сточных вод и технологией их очистки [Газизов, Яппаров, Биккинина, Суханова, 2016]. Содержание тяжелых металлов в осадке сточных вод зависит от доли промышленных стоков в общегородской канализации. В осадках сточных вод коммунального хозяйства г. Пензы наблюдалось превышение ПДК по кадмию и никелю [Чекаев, 2010], г. Набережные Челны – по цинку [Газизов, Яппаров, Биккинина, Суханова, 2016], г. Твери – по меди, цинку и мышьяку [Барановский, Подолян, 2017], г. Перми – по кадмию [Отаббонг, Якименко, Садовникова, 2001].

Химический и биологический состав существенно колеблется не только в разных городах и в разные годы, но и в пределах одного очистного сооружения в течение года [Жигарева, 2018].

В осадке сточных вод содержание тяжелых металлов может превышать ПДК, поэтому необходимо установить его дозу, повышающую плодородие и не угнетающую растения. При анализе литературных источников установили, что в

опытах разных авторов дозы осадка сточных вод варьируют в значительных пределах. Осадок сточных вод вносили в дозе 10 т/га весной под культивацию два года подряд [Рауэлиаривуни, Васенев, Касатиков, Шабардина, 2013], 5 и 10 т/га [Межевова, Азаров, 2021], 3, 9, 27 т/га [Хабарова, Виноградов, Кочуров и др., 2018], 7,5 и 15 т/га [Пахненко, Ермаков, Убугунов, 2009], 30, 60 и 120 т/га [Чеботарев, Найденов, Юдин, 2016], 30-40 т/га [Газизов, Яппаров, Биккинина, Суханова, 2016], 20, 40, 60 т/га [Жигарева, 2018]. И.И. Васенев, Н.К. Сюняев, Б. Бадарч [2010] осадок вносили в дозах 10 т/га (4 раза с циклом 1 раз в 3 года) и 200 т/га (2 раза за период 2001-2010 гг.). Авторами [Байбеков, Мерзлая, Власова, Налиухин, 2013] установлено, что при внесении осадка сточных вод в дозе 4 т/га уровни поступления тяжелых металлов и мышьяка в почву были невысокими и не могли оказать негативного влияния на ее экологическое состояние.

На основе литературных материалов нами было принято решение изучить действие на почву и тест-культуру внесение осадка сточных вод в дозах: 3,5, 5, 25 и 50 т/га в вегетационном опыте. Вегетационный метод – исследование, осуществляемое в строго контролируемых условиях внешней среды сроком от нескольких дней до нескольких месяцев в вегетационных климатических камерах. Этим методом с высокой эффективностью можно установить различия между вариантами опыта и провести оценку действия удобрений на растения.

В качестве тест-культуры использовали яровую пшеницу сорт Иргина. Контроль – темно серая лесная почва. В качестве сосудов использовали стаканы емкостью 500 мл, масса почвы составляла 530 г. Семена отбирались однородные по размеру по 20 шт. Каждая партия семян взвешивалась, для опытов брали партии семян с небольшим расхождением по массе. Семена замачивали на сутки в чашках Петри и отбирали для посева по 15 шт. на сосуд. При посеве делали ямочки глубиной 1,5 см (рис.). Пинцетом укладывали в ямки зерна ростком вниз. Заделывали ямки стеклянной палочкой.

Сосуды помещали в климатостат марки КС-200 СПУ. Опыты проводили в 4-6 кратной повторности. Семена проращивались при температуре 20⁰С с заданной программой смены «дня» и «ночи». Подсчет энергии прорастания

проводили на 4 сутки, всхожесть – на 7 сутки. Уборку сосудов проводили на 14 сутки после посева семян (рис. 6-7). Отмывали корневую систему проростков, подсчитывали число корешков и проводили биометрические замеры: длина и масса корневой системы, длина и масса надземной части растений.



Рисунок 6 – Закладка опыта



**Рисунок 7 – Сосуды с растениями
тест-культуры в климаткамере**

4.2 Влияние осадка сточных вод на растения

Почвы, благодаря высокой катионной поглотительной способности, хорошо удерживают положительно заряженные ионы металлов [Алексеев, 2008]. Поэтому их постоянное поступление даже в малых количествах способно привести к существенному накоплению металлов в почве. Кислотность почвы влияет на подвижность металлов и усвоение их растениями. Нейтральная реакция среды предотвращает фитотоксичность многих тяжелых металлов при существенном их содержании в почве. Но такое же содержание тяжелых металлов при pH 5,5 и ниже может быть летальным для растений.

Токсическое действие тяжелых металлов на растения можно проследить по посевным качествам семян и морфометрическим параметрам растений тест-культуры. Энергия прорастания повысилась при внесении осадка сточных вод в дозе 3,5 т/га на 8 %, существенно снизилась на 22 % при внесении в почву осадка

в дозе 50 т/га (табл. 55). При внесении осадка сточных вод в дозах 5 и 25 т/га этот показатель снижался по отношению к контролю не существенно. На всхожесть изучаемые дозы осадка не оказали существенного влияния.

**Таблица 55 – Влияние осадка сточных вод на посевные качества семян
тест-культуры**

Вариант	Энергия прорастания, %	Всхожесть, %	Число корешков, шт.	Длина корней, см	Масса корней, г	Длина растений, см	Масса растений, г
Почва (контроль)	87	94	4,8	13,3	0,26	16,4	1,80
Почва+ОСВ (3,5 т/га)	94	98	5,0	13,9	0,32	18,8	2,05
Почва+ОСВ (5 т/га)	86	90	5,3	11,4	0,24	13,9	1,94
Почва+ОСВ (25 т/га)	82	96	5,0	9,1	0,26	11,9	1,86
Почва+ОСВ (50 т/га)	68	98	5,0	9,3	0,27	10,7	1,07
<i>НСР₀₅</i>	9	4	0,3	1,3	0,05	3,0	0,20

По числу корешков существенно превышал контроль вариант с внесением осадка в дозе 5 т/га. На всех вариантах, кроме дозы 3,5 т/га, по сравнению с контролем наблюдалось существенное уменьшение длины корневой системы проростков на 15-32 %. Масса корневой системы снижалась при внесении высоких доз осадка сточных вод. Вариант с внесением осадка в дозе 3,5 т/га существенно превышал контроль по данному показателю на 14 сутки проращивания на 23 %.

Высоту растений существенно снизили дозы осадка 25 и 50 т/га на 28 и 45 %. Низкие дозы не оказали существенного влияния. Массу растений существенно повысила на 14 % доза 3,5 т/га. Внесение дозы 50 т/га отрицательно сказалось на данном показателе, снижение на 41 %. Остальные две дозы не оказали существенного влияния.

Положительно на все показатели семян и растений повлияло внесение осадка сточных вод только в минимальной дозе – 3,5 т/га (рис. 8).



7 сутки после посева



14 сутки после посева

Обозначения: 1 – контроль, 2 – почва+ОСВ (3,5 т/га), 3 – почва+ОСВ (5 т/га),
4 – почва+ОСВ (50 т/га), 5 – почва+ОСВ (25 т/га)

Рисунок 8 – Растения тест-культуры (яровая пшеница)

Повторно был проведен опыт с дозами 3,5 и 5 т/га. Осадок сточных вод в предыдущем опыте брали на очистных сооружениях осенью 2012 г., в данном опыте – летом 2013 г.

На энергию прорастания и всхожесть осадок сточных вод в дозах 3,5 и 5,0 т/га не оказал влияния, показатели на уровне контроля (табл. 56).

Таблица 56 – Влияние осадка сточных вод на посевные качества семян тест-культуры

Вариант	Энергия прорастания, %	Всхожесть, %	Число корешков, шт.	Длина корней, см	Масса корней, г	Длина растений, см	Масса растений, г
Почва (контроль)	48	79	5,1	12,3	0,20	20,1	1,01
Почва+ОСВ (3,5 т/га)	47	77	5,4	10,5	0,18	20,2	0,91
Почва+ОСВ (5,0 т/га)	48	77	5,3	12,4	0,29	19,5	1,03
НСР ₀₅	8	5	0,1	3,7	0,13	3,3	0,22

По числу корешков осадок сточных вод в обоих дозах существенно превышал контроль на 4-6 %. Длина корней на уровне контроля. Масса корней существенно превышала контроль только при внесении осадка сточных вод в

дозе 5,0 т/га на 45 %. Различие доз осадка сточных вод с контролем по показателям надземной части растений не существенно.

По результатам двух вегетационных опытов можно сделать заключение, что для повышения плодородия почвы можно вносить осадок сточных вод в дозах до 5,0 т/га.

4.3 Влияние осадка сточных вод на содержание тяжелых металлов в почве и растениях

В условиях химического загрязнения в золе растений возрастает содержание тяжелых металлов. Зольный состав растений должен рассматриваться как один из существенных показателей гигиенического качества растений. Растение может быть опасным для животных и человека даже при высокой питательности в случае содержания недопустимых количеств тяжелых металлов. При этом растения могут не иметь признаков отравления и патологических изменений. Опасность отравления тяжелыми металлами прежде всего угрожает животным. Сено, солома и ботва практически не защищены биологическим барьером. Генеративные органы растений от прямого поступления тяжелых металлов из стеблей и листьев защищены флорой.

Микроэлементы – цинк, медь, марганец, участвуют во многих биохимических реакциях, протекающих в клетках растения. Одни из них только содействуют процессу образования протеина, а другие участвуют в построении больших молекул, и поэтому имеют критическое значение для функционирования клеток.

В опыте А.С. Рауэлиаривуни, И.И. Васенева, В.А. Касатикова, Н.П. Шабардиной [2013] двукратное применение осадка сточных вод в дозе 10 т/га не сопровождалось превышением установленных ПДК в почве, но в растениях горчицы белой отмечено значительное поступление тяжелых металлов, превышало МДУ содержание хрома. Внесение осадка сточных вод в дозах более 30 т/га приводило к избыточному накоплению тяжелых металлов в почве и растениях, достаточно высокой подвижности токсичных элементов в почве

[Чеботарев, Найденов, Юдин, 2016]. При использовании осадка сточных вод в дозах 60 и 120 т/га содержание в почве свинца превышало ПДК в 1,1, цинка в 1,9, кадмия в 1,7-2,0 раза.

При внесении осадка в дозе 10 т/га (4 раза с циклом 1 раз в 3 года) отмечался по отношению к контролю рост концентрации свинца в 1,1 раза, кадмия – 1,2 раза, цинка – 1,9 раза, но не превышал ОДК [Васенев, Сюняев, Бадарч, 2010]. При внесении осадка сточных вод в дозе 200 т/га (2 раза за период 2001-2010 гг.) по отношению к контролю увеличилось содержание свинца в 2,7 раза, кадмия – 16,7 раза (5,4 ОДК), цинка – в 40 раз (4,1 ОДК).

Высокая доза (15 т/га) повышала в дерновой лесной почве содержание кадмия на 43,8 % (в 1,4 раза), свинца – на 31,2 % (в 1,3 раза), никеля – на 58,8 % (в 1,6 раза), цинка – на 21,6 % (в 1,2 раза), содержание меди снижалось на 9 % [Пахненко, Ермаков, Убугунов, 2009].

На содержание тяжелых металлов нами были исследованы образцы почвы и растений контроля и доз осадка 3,5 и 5,0 т/га.

В осадке сточных вод валовое содержание цинка превышало ПДК в 4,6 раза, ОДК – в 2,0 раза (табл. 57). Подвижные формы превышали ПДК в 16,0 раз, ОДК – в 6,0 раз.

Внесенный осадок увеличивал содержание в почве валовое содержание цинка: доза 3,5 т/га – на 28 %, доза 5,0 т/га – на 93 %. В растениях тест-культуры превышения ПДК не наблюдалось при внесении обоих доз. По сравнению с растениями, выращенными на почве, содержание цинка повышалось: доза 3,5 т/га – на 14 %, доза 5,0 т/га – на 32 %. В корнях содержание цинка на уровне почвы.

Валовое содержание свинца в осадке сточных вод составляло 1,6 ПДК, но не превышало ОДК. Содержание подвижных форм свинца в 3,2 раза ниже ПДК. В корнях и вегетативных частях растений содержание данного тяжелого металла в пределах контроля.

Существуют данные о возрастании содержания кадмия в продуктах питания как результат загрязнения окружающей среды. Кадмий может выступать как антагонист цинка, нарушая его поступление в растение. Его

избыток ингибирует синтез ДНК, белков и нуклеиновых кислот, влияет на активность ферментов, нарушает усвоение и обмен других микроэлементов (Zn, Cu, Se, Fe), что может вызывать их дефицит.

Таблица 57 – Содержание тяжелых металлов I класса опасности в почве и растениях, мг/кг

Вариант	Почва		Растения	Корни
	Валовое содержание	Подвижные формы		
Цинк				
Почва пашни (контроль)	65,8	3,8	24,7	44,3
ОСВ	457,4	376,4	-	-
Почва+ОСВ (3,5 т/га)	84,2	5,2	28,2	42,6
Почва+ОСВ (5,0 т/га)	127,2	8,2	32,7	44,5
ПДК (МДУ)	100	23	50	-
ОДК	220	60	-	-
Свинец				
Почва пашни (контроль)	21,3	0,5	20,3	17,2
ОСВ	49,8	1,9	-	-
Почва+ОСВ (3,5 т/га)	20,6	0,6	22,0	14,3
Почва+ОСВ (5,0 т/га)	23,7	0,6	23,6	15,5
ПДК (МДУ)	32	6	5	-
ОДК	130	60	-	-
Кадмий				
Почва пашни (контроль)	1,5	0,1	1,8	1,6
ОСВ	3,4	1,4	-	-
Почва+ОСВ (3,5 т/га)	1,8	0,2	2,2	1,6
Почва+ОСВ (5,0 т/га)	2,2	0,3	2,4	2,0
ПДК (МДУ)	-	1	0,3	-
ОДК	2	1	-	-

В осадке сточных вод валовое содержание кадмия составляло 1,7 ОДК и превышало содержание в почве в 2,3 раза. Содержание подвижных форм составляло 1,4 ПДК и превышало контроль в 14,0 раз. Осадок в дозе 5,0 т/га повышал валовое содержание кадмия в почве на 47 %, что превышало ПДК. В корнях и вегетативной части растений содержание кадмия выше контроля на 25 и 33 % соответственно. Внесение в почву осадка сточных вод в дозе 3,5 т/га

повышало содержание кадмия в вегетативной части растений на 22 %, в корнях – содержание на уровне контроля.

Медь необходима для нормального развития и растений и животных. При ее недостатке болеют и отмирают листья растений, не образуются семена. Медь входит в состав ферментов – оксидаз, полифенолоксидаз, лактозы и др. В осадке сточных вод валовое содержание и содержание подвижных форм меди превышало ПДК на 34 и 73 %, но не превышало ОДК (табл. 58). На содержание меди в почве и растениях изучаемые дозы не оказали существенного влияния, содержание на уровне контроля.

Таблица 58 – Содержание тяжелых металлов II класса опасности в почве и растениях, мг/кг

Вариант	Почва		Растения	Корни
	Валовое содержание	Подвижные формы		
Медь				
Почва пашни (контроль)	15,1	0,3	7,4	10,9
ОСВ	73,9	5,2	-	-
Почва+ОСВ (3,5 т/га)	12,9	0,2	7,0	12,3
Почва+ОСВ (5,0 т/га)	14,2	0,3	7,1	14,0
ПДК (МДУ)	55	3	30	-
ОДК	132	50	-	-
Никель				
Почва пашни (контроль)	17,9	1,3	н.о.	8,0
ОСВ	28,3	3,8	-	-
Почва+ОСВ (3,5 т/га)	10,3	1,4	н.о.	10,7
Почва+ОСВ (5,0 т/га)	14,4	1,4	н.о.	14,9
ПДК (МДУ)	85	4	3	-
ОДК	80	36	-	-
Хром				
Почва пашни (контроль)	27,2	0,2	4,6	14,2
ОСВ	37,5	0,6	-	-
Почва+ОСВ (3,5 т/га)	28,8	0,2	2,4	17,0
Почва+ОСВ (5,0 т/га)	37,2	0,2	2,9	25,4
ПДК (МДУ)	100	6	0,5	-
ОДК	-	15	-	-

Содержание никеля в осадке сточных вод значительно ниже ПДК. В почве при внесении осадка валовое содержание никеля ниже контроля, валовых форм – на уровне контроля. В корнях тест-культуры содержание никеля при внесении осадка сточных вод в почву превышало контроль в 1,3 и 1,9 раза соответственно по дозам. В вегетативной части растений никель не обнаружен.

Содержание хрома в осадке сточных вод значительно ниже ПДК, но валовое содержание выше, чем в почве на 38 %, содержание подвижных форм – в 3 раза. В корнях тест-культуры содержание хрома превышало контроль: доза 3,5 т/га – в 1,2 раза, доза 5,0 т/га – в 1,8 раза. В растениях содержание хрома при внесении осадка сточных вод в почву ниже контроля (почвы).

В растительных организмах ртуть вызывает ингибирование клеточного дыхания, фотосинтеза, образования хлорофилла, газового обмена, снижение ферментативной активности.

Содержание ртути в осадке сточных вод ниже ПДК, но выше контроля в 5,0 раз (табл. 59). Внесенные дозы осадка повышали содержание ртути в почве в 4,5 (доза 3,5 т/га) и 5,5 раза (5,0 т/га), в вегетативной части растений тест-культуры – в 2,0 раза.

Таблица 59 – Содержание ртути в почве и растениях, мг/кг

Варианты	Почва (валовое содержание)	Растения	Корни
Почва (контроль)	0,2	0,1	0,1
ОСВ	1,0	-	-
Почва+ОСВ (3,5 т/га)	0,9	0,2	0,1
Почва+ОСВ (5,0 т/га)	1,1	0,2	0,1
ПДК (МДУ)	2,1	-	-
ОДК	-	-	-

Соединения мышьяка играют важную роль в агробиологических процессах. Отмечено, что небольшие количества его стимулируют рост и развитие растений.

Содержание мышьяка в осадке сточных вод ниже ПДК, но выше контроля в 2,2 раза (табл. 60). При внесении осадка сточных вод в почву повышалось содержание мышьяка в 1,6 и 1,8 раза. В корнях растений превышение контроля в 2,0-3,0 раза, в вегетативной части растений – содержание на уровне контроля.

Таблица 60 – Содержание мышьяка в почве и растениях, мг/кг

Вариант	Почва (валовое содержание)	Растения	Корни
Почва (контроль)	0,5	0,1	0,1
ОСВ	1,1	-	-
Почва+ОСВ (3,5 т/га)	0,8	0,1	0,2
Почва+ОСВ (5,0 т/га)	0,9	0,1	0,3
ПДК (МДУ)	2	-	-
ОДК	10	-	-

В осадке сточных вод превышение ПДК наблюдалось по валовому содержанию цинка, меди, свинца, кадмия и ртути, по подвижным формам цинка, меди и кадмия. Содержание никеля, хрома и мышьяка значительно ниже ПДК. В почве внесение осадка повышало валовое содержание цинка, хрома, кадмия, ртути и мышьяка, но превышали ПДК только цинк и ртуть, а также кадмий при внесении дозы 5,0 т/га. Содержание подвижных форм возрастало по цинку и кадмию, но не превышало ПДК. В растениях на контроле и на изучаемых вариантах содержание свинца, хрома и кадмия превышало максимально допустимый уровень. В вегетативной части растений содержание свинца, кадмия и ртути содержалось значительно больше, чем в корнях. Эти металлы беспрепятственно поступают из корней в надземную часть растений. Содержание цинка, меди, никеля, хрома и мышьяка в корнях превышало вегетативную часть растений, т.е. они задерживаются в корнях и в меньшей степени поступают в надземную часть растений.

Коэффициент биологического поглощения подтвердил вышесказанное: цинк, медь, никель, хром и мышьяк в большей степени поглощались корнями, а свинец, кадмий и ртуть – вегетативной массой растений (табл. 61).

Таблица 61 – Коэффициент биологического поглощения (КБП)

Элемент	Объект	Вариант		
		Почва пашни (контроль)	Почва+ОСВ (3,5 т/га)	Почва+ОСВ (5,0 т/га)
Цинк	Корни	0,67	0,51	0,35
	Растения	0,38	0,33	0,25
Медь	Корни	0,72	0,99	0,96
	Растения	0,49	0,54	0,50
Свинец	Корни	0,81	0,70	0,66
	Растения	0,95	1,07	1,00
Никель	Корни	0,45	1,04	1,03
	Растения	0	0	0
Хром	Корни	0,52	0,59	0,68
	Растения	0,17	0,08	0,08
Кадмий	Корни	1,07	0,89	0,91
	Растения	1,20	1,22	1,09
Ртуть	Корни	0,50	0,11	0,09
	Растения	0,50	0,22	0,18
Мышьяк	Корни	0,20	0,25	0,33
	Растения	0,20	0,12	0,11

Коэффициент биологического поглощения корнями растений при внесении осадка сточных вод в почву превышал контроль по меди, никелю, хрому и мышьяку. Этот коэффициент преобладал на контроле по цинку, свинцу, кадмию и ртути. В растениях коэффициент биологического поглощения при внесении осадка превышал контроль по меди и свинцу, а был ниже – по цинку, хрому, кадмию, ртути и мышьяку. Никель в растениях не обнаружен. Суммарное поглощение тяжелых металлов корнями при внесении осадка незначительно превышало контроль, растениями – меньше контроля.

Наиболее информативным критерием оценки количества металлов, перешедших из почвы в растения, служит коэффициент накопления (Кн). Рассчитывается как отношение содержания элемента в золе растений к содержанию его подвижных форм в почве, т.к. именно они доступны растениям. Биологическое накопление происходило в большей степени в вегетативной

массе растений по свинцу и кадмию, в корневой системе – по цинку, меди, никелю и хрому (табл. 62).

Таблица 62 – Коэффициент биологического накопления (Кн)

ТМ	Объект	Вариант		
		Почва (контроль)	Почва+ОСВ (3,5 т/га)	Почва+ОСВ (5,0 т/га)
Цинк	Корни	11,7	8,2	5,4
	Растения	6,5	5,4	4,0
Медь	Корни	36,3	61,5	46,7
	Растения	24,7	23,3	35,5
Свинец	Корни	34,4	23,8	25,8
	Растения	40,6	36,7	39,3
Никель	Корни	6,2	7,6	10,6
	Растения	0	0	0
Хром	Корни	71,0	85,0	127,0
	Растения	23,0	12,0	14,5
Кадмий	Корни	16,0	8,0	6,7
	Растения	18,0	11,0	8,0

При внесении осадка сточных вод в почву коэффициент биологического накопления корнями растений превышал контроль по меди, никелю и хрому, уступал контролю – по цинку, свинцу и кадмию. Коэффициент биологического накопления в растениях при внесении осадка превышал контроль по меди, а был ниже контроля – по цинку, свинцу, хрому и кадмию.

4.4 Влияние осадка сточных вод на агрохимические показатели почвы

Применение осадка сточных вод положительно влияло на агрохимические свойства почвы [Чеботарев, Найденов, Юдин, 2016]. Увеличивались показатели рН водной и солевой вытяжек, снижалась гидролитическая кислотность, повышались степень насыщенности основаниями и биологическая активность.

Внесение осадка сточных вод улучшало физические свойства почв: повышалась водоудерживающая способность, уменьшалась объемная масса. Присутствие органического вещества повышало оструктуренность, наличие

грубых частиц и кальция улучшало водно-физические свойства почвы [Дунсин, Касатиков, Раскатов, 2005].

При внесении осадка сточных вод в дозе 10 т/га весной под культивацию два года подряд [Рауэлиаривуни, Васенев, Касатиков, Шабардина, 2013] существенно повышалось содержание в почве общего углерода и подвижного фосфора. Осадок сточных вод в дозах 30-40 т/га [Газизов, Яппаров, Биккинина, Суханова, 2016] повышал гумуса на 0,2-0,5 % (абс.), подвижного фосфора на 10-21 %, обменного калия на 9-16 % по сравнению с фоном (K_{60}). Реакция почвенного раствора увеличилась на 0,2-0,3 ед. Показатели гидролитической кислотности выросли на 3,3-5,2 %. Отмечено небольшое увеличение суммы поглощенных оснований.

И.И. Васенев, Н.К. Сюняев, Б. Бадарч [2010] при внесении осадка сточных вод в дозе 10 т/га (4 раза с циклом 1 раз в 3 года) за 10 лет наблюдали несущественное повышение органического вещества (0,05 %), снижение кислотности (на 0,32 ед.), повышение содержания подвижного фосфора на 2,5 мг/кг в год. Изменение содержания обменного калия невелико – 0,8 мг/кг в год. Доза 200 т/га (2 раза за период 2001-2010 гг.) за 10 лет более значительно влияла на почву: повышение органического вещества в 3,0 раза, снижение кислотности на 0,45 ед., повышение содержания подвижного фосфора на 11,4 мг/кг в год, обменного калия – на 5,8 мг/кг в год.

При внесении осадка сточных вод в дозах 20, 40, 60 т/га наблюдалось повышение содержания нитратного азота в почве, накопление подвижного фосфора и незначительное увеличение калия [Жигарева, 2018]. Т.Н. Большева, А.Р. Валитова, П.П. Кижаккин, В.А. Касатиков [2006] отмечали, что осадок практически не влиял на обеспеченность почв калием. В осадке низкое содержание калия, поэтому накопление его в почве не происходило. Но в опытах других авторов [Пахненко, Ермаков, Убугунов, 2009] содержание доступного калия в почве увеличивалось при внесении осадка сточных вод на 33 %.

При внесении малой дозы осадка (7,5 т/га) биологическая активность увеличивалась, высокой дозы (15 т/га) – снижалась [Пахненко, Ермаков, Убугунов, 2009].

Внесение осадка сточных вод в дозах 3, 9, 27 т/га [Хабарова, Виноградов, Кочуров и др., 2018] на деградированном агроземе приводило к повышению содержания в почве органического вещества на 0,40-0,57 %, общего азота – на 0,01-0,06 %, общего фосфора – на 1,8-11,1 %, обменного калия на 5,1-33,2 мг/кг, биологической активности – на 9,4-11,2 %.

В нашем опыте внесение в почву осадка сточных вод в дозах 25 и 50 т/га отрицательно сказалось на развитии проростков яровой пшеницы, поэтому агрохимические показатели определяли только в почве при внесении доз 3,5 и 5 т/га осадка сточных вод.

Содержание гумуса в почве – показатель плодородия. В осадке сточных вод повышенное содержание гумуса – 7,7 % (табл. 63). В почве вегетационного опыта среднее содержание гумуса – 5,4 %. Изменения в содержании гумуса при внесении осадка в дозах 3,5 и 5 т/га не значительные.

Таблица 63 – Влияние осадка сточных вод на агрохимические свойства почвы

Показатели	Вариант			
	Почва (контроль)	ОСВ	Почва+ОСВ (3,5 т/га)	Почва+ОСВ (5,0 т/га)
Содержание гумуса, %	5,4	7,7	4,9	5,1
pH _{сол.}	6,5	5,4	6,4	6,4
Гидролитическая кислотность, мг-экв./100 г	1,31	4,72	1,31	1,40
Сумма поглощенных оснований, мг-экв./100 г	25,6	4,3	24,2	23,0
Ёмкость поглощения, мг-экв./100 г	26,9	9,0	25,5	24,4
Степень насыщенности почв основаниями, %	95,2	47,8	94,9	94,3

Реакция среды оказывает сложное действие на условия питания растений, подвижность микроэлементов, активность микрофлоры, физико-химические свойства почвы. Кислотность почвы, определяемая в солевой вытяжке, называется обменной, обусловлена ионами водорода и алюминия. Результаты определения pH солевой вытяжки служат для характеристики степени кислотности почвы. Реакция среды осадка сточных вод слабокислая, почвы – нейтральная. При добавлении осадка к почве кислотность остается нейтральной.

Кислотность почвы, обусловленная менее подвижными ионами водорода, называется гидролитической. При обработке почвы ацетатом натрия в раствор переходят все содержащиеся в почве ионы водорода (и алюминия), т.е. определяется сумма всех видов кислотности (актуальная, обменная и гидролитическая) [Муравин, 2003]. Поэтому под термином «гидролитическая кислотность» обозначают общую кислотность почвы. Определяют ее для расчета ёмкости поглощения, установления доз извести, возможности эффективного применения фосфоритной муки. Общее количество способных к обмену поглощенных катионов называется ёмкостью поглощения. Величина ёмкости поглощения характеризует обменную поглотительную способность почвы. На почвах с низкой ёмкостью поглощения при внесении удобрений возможно вымывание питательных элементов и излишнее повышение концентрации раствора. Сумма поглощённых оснований, выраженная в процентах от ёмкости поглощения, называется степенью насыщенности почв основаниями. Она показывает, какая часть общей ёмкости поглощения приходится на поглощенные основания и какая на гидролитическую кислотность [Агрохимия, 1982]. Данная величина – важный показатель для характеристики поглотительной способности и степени кислотности почвы.

У осадка сточных вод гидролитическая кислотность выше в 3,6 раза, а сумма поглощенных оснований меньше в 6,0 раз, ёмкость поглощения – в 3,0 раза, степень насыщенности почв основаниями – в 2,0 раза, чем в почве. Внесение осадка в дозах 3,5 и 5,0 т/га повлияло не существенно на агрохимические свойства темно серой лесной почвы. Показатели обменной

кислотности, гидролитической кислотности, суммы обменных оснований, ёмкости поглощения, степени насыщенности основаниями незначительно снизились.

По результатам исследований авторы [Чеботарев, Найденев, Юдин, 2016] сделали вывод, что осадок сточных вод следует использовать только для удобрения растений непродовольственного назначения (газоны, цветники, питомники и др.). Мы согласны с данными авторами и рекомендуем использовать осадок сточных вод для повышения плодородия нарушенных земель в дозах не более 5 т/га, т.к. дозы 25 и 50 т/га по ряду показателей оказали существенное отрицательное действие на проростки тест-культуры.

В связи со значительным варьированием содержания тяжелых металлов в осадке сточных вод необходимо проводить регулярный мониторинг их состава [Васенев, Сюняев, Бадарч, 2010]. Для применения в качестве удобрений осадки сточных вод должны соответствовать требованиям ГОСТ Р 17.4.3.07-2001. Важно, чтобы в их составе не наблюдалось превышения содержания тяжелых металлов и патогенной микрофлоры.

Глава 5. ПРИГОТОВЛЕНИЕ И ПРИМЕНЕНИЕ ПИТАТЕЛЬНЫХ ГРУНТОВ

5.1 Разработка грунтов с осадком сточных вод

Требованиям стандарта по содержанию тяжелых металлов удовлетворяют не все осадки сточных вод. В разных городах России осадки имели превышение по содержания кадмия, никеля, хрома, цинка. Согласно стандарту, такие осадки не допускаются для использования в качестве удобрения без соответствующего разбавления инертными наполнителями: торфом, древесными опилками, сапропелем и др. Кроме того, действующими санитарно-эпидемиологическими требованиями к качеству почвы, запрещается применение осадка сточных вод и компостов из них, если внесение этих удобрений превысит уровень загрязнения почв до значений 0,7-0,8 ПДК. Это требование нужно учитывать при обязательной оценке фонового содержания тяжелых металлов на каждой конкретной местности [Седых, 1997].

По мнению авторов [Барановский, Подолян, 2017] осадки сточных вод целесообразно использовать не в чистом виде, а в составе компостов и смесей. Компосты на основе осадка сточных вод увеличивали содержания азота, подвижного фосфора, обменного калия [Чекаев, 2010]. Способствуя накоплению гумуса, катионов кальция и магния, увеличили сумму обменных оснований в почвенно-поглощающем комплексе.

Компоненты для приготовления компостов с осадком сточных вод используют разные. Н.Т. Чеботарев, Н.Д. Найденов, А.А. Юдин [2016] осадок сточных вод компостировали с торфом, навозом и пометом. В опыте [Байбеков, Мерзлая, Власова, 2016] осадок компостировали с торфом в соотношении 1:1, вносили в дозах 2, 4, 6 т/га. При внесении компоста в дозе 6 т/га отмечена тенденция к увеличению содержания свинца в соломе и семенах льна долгунца. В конце опыта содержание подвижного фосфора увеличивалось, а подвижного калия – уменьшалось.

Но широкого распространения производство компостов с участием осадка сточных вод пока не находит, т.к. необходима площадка для компостирования, завоз компонентов, перемешивание с наполнителями, достижение необходимой температуры. Авторы [Барановский, Подолян, 2017] предлагают смешивать компоненты в процессе заделки в почву. Сначала вносят на поверхность почвы органический наполнитель, затем равномерно разбрасывают осадок сточных вод и сразу запахивают в почву. В опыте в качестве наполнителей использовали опилки, торф и солому. Соотношения осадка сточных вод к компонентам изучали 1:1, 1:2, 1:3. Все смеси вызвали увеличение подвижных форм питательных веществ: аммонийного азота – на 3-6 мг/кг, нитратного азота – на 3-8 мг/кг, подвижных фосфатов – на 15-39 мг/кг, обменного калия – на 9-21 мг/кг почвы. На взгляд авторов, смеси в процессе трансформации оказывали влияние на мобилизацию питательных веществ из почвенных запасов. Наибольшее количество тяжелых металлов перешло в почву при внесении смесей в соотношении 1:1. Содержание тяжелых металлов не превышало ПДК. Авторы рекомендуют смешивать осадок сточных вод с органическими наполнителями в соотношении 1:2.

В своих исследованиях Ч. Дунсин, В.А. Касатиков и В.А. Раскатов [2005] готовили компост из осадка сточных вод г. Владимира и викоовсяной смеси в соотношении 1:1. Доза компоста 30 т/га. Достоверно снизился уровень гидролитической кислотности на 5,4 и 8,5 %, что обусловлено действием 2- и 3-валентных катионов, попадающих в почвенный раствор в процессе разложения осадка сточных вод и викоовсяной смеси. Сумма поглощённых катионов увеличилась на 8,5 и 7,5 %. Содержание подвижного фосфора в пахотном слое почвы возрастало соответственно в 2,9 и 3,8 раза. Повышение обусловлено содержанием фосфора в осадке сточных вод и викоовсяной смеси, а также разложением удобрений в почве. Содержание обменного калия в почве после внесения компоста снижалось. Объясняют авторы это тем, что в удобрениях низкое содержание калия и повышенный вынос возросшей биомассой ячменя.

Влияние осадке сточных вод на агрохимические свойства почвы определяется качественным и количественным составом органического вещества, зольной части осадка, свойствами компонентов, используемых при производстве смесей [Касатиков, Еськов, Черников и др., 2003].

Предыдущий наш опыт показал, что внесение осадка сточных вод в чистом виде в качестве органического удобрения может повысить содержание тяжелых металлов в растениях, угнетающее их развитие. Осадок сточных вод может быть пригоден при смешивании с другими компонентами в составе грунтов. Перед нами стояла задача определить соотношение осадка сточных вод Тюменских очистных сооружений с разными компонентами.

Влияние грунтов разного состава на растения. Вначале мы смешивали осадок сточных вод с почвой (темно серая лесная) и торфом. В вегетационном опыте изучали следующие соотношения компонентов: ОСВ:торф (3:1), почва:ОСВ (3:1), почва:торф:ОСВ (2:1:1). В качестве первого контроля была темно серая лесная почва, второй контроль – осадок сточных вод. На всех вариантах наблюдалось существенное снижение энергии прорастания на 21-71 % по сравнению с контролем (табл. 64). Всхожесть существенно снизилась только при смешивании осадка с торфом в соотношении 3:1.

Таблица 64 – Влияние грунтов на растения тест-культуры

Вариант	Энергия прорастания, %	Всхожесть, %	Число корешков, шт.	Длина корней, см	Масса корней, г/сосуд	Длина растений, см	Масса растений, г/сосуд
Почва пашни (контроль 1)	86	93	4,7	12,5	0,24	17,7	1,89
ОСВ (контроль 2)	55	97	5,3	3,2	0,15	10,8	1,75
ОСВ:торф (3:1)	40	86	4,3	2,8	0,17	9,4	1,68
Почва:ОСВ (3:1)	25	91	5,0	7,7	0,30	15,5	2,20
Почва:торф:ОСВ (2:1:1)	68	92	5,1	11,4	0,49	18,4	2,92
НСР ₀₅	11,1	6,2	0,22	1,19	0,05	2,6	0,24

Число корешков существенно повысилось на всех изучаемых вариантах на 6-13%, кроме смеси осадка с торфом – снижение на 9 %. Осадок и смесь осадка

с торфом особенно негативно повлияли на длину корневой системы, уменьшение составило 75 и 78 %. Смесь почвы с торфом и осадком в соотношении 2:1:1 не оказала существенного действия на данный показатель. Существенно повысилась масса корневой системы при проращивании семян на смеси почвы с торфом и осадком (2:1:1) на 104 %. На вариантах ОСВ и ОСВ:торф (3:1) данный показатель существенно снизился на 38 и 29 % соответственно.

Положительно повлиял на длину растений только один грунт: смесь почва:торф:осадок – повышение на 4 %, не различие с контролем не существенно. Существенно снизили данный показатель осадок и смесь осадка с торфом на 39 и 47 % соответственно.

Осадок и смесь осадка с торфом понизили массу надземной части растений на 7 и 11 %, но различие не существенно с контролем. Существенно повысилась масса растений на вариантах почва:осадок и почва:торф:осадок на 16 и 54 %.

Различие вариантов наглядно видно на рисунке 9.



7 суток после посева



14 суток после посева

Обозначения: 1 – почва пашни (контроль), 2 – ОСВ, 3 – ОСВ:торф (3:1),
4 – почва:торф:ОСВ (2:1:1), 5 – почва:ОСВ (3:1)

Рисунок 9 – Влияние грунтов на растения тест-культуры

В следующем опыте изучали смешивание осадка сточных вод с торфом (соотношение от 1 до 4), торфом и песком (соотношения 1:1:2, 1:1:3, 1:2:2). Существенное увеличение энергии прорастания семян яровой пшеницы на 5-22

% по сравнению с контролем наблюдалось у 5 вариантов грунтов из 7 (табл. 65).
На всхожесть семян изучаемые варианты грунтов не оказали значимого влияния.

**Таблица 65 – Влияние осадка сточных вод в составе грунтов
на растения тест-культуры**

Вариант	Энергия прорастания, %	Всхожесть, %	Число корешков, шт.	Длина корней, см	Масса корней, г/сосуд	Длина растений, см	Масса растений, г/сосуд
Почва пашни (контроль 1)	66,6	96,6	3,8	15,7	1,57	22,4	2,86
ОСВ:торф (1:1)	73,3	96,6	3,5	10,8	1,72	26,5	3,60
ОСВ:торф (1:2)	81,6	98,3	3,4	13,1	1,66	24,9	3,80
ОСВ:торф (1:3)	71,6	96,6	3,7	15,8	1,68	23,5	2,93
ОСВ:торф (1:4)	68,2	96,6	3,8	16,2	1,70	24,9	2,95
ОСВ:песок:торф (1:1:2)	66,6	98,3	3,6	15,8	1,59	24,8	2,94
ОСВ:песок:торф (1:1:3)	69,9	94,9	3,8	15,4	1,61	23,5	2,59
ОСВ:песок:торф (1:2:2)	71,6	98,3	3,7	16,2	1,91	23,4	2,71
<i>НСР₀₅</i>	2,7	1,3	0,12	0,38	0,44	2,3	0,53

По числу корешков существенно ниже контроля смеси осадка с торфом в соотношении 1:1 и 1:2 на 9 и 11%. Особенно негативно смеси осадка с торфом в соотношении 1:1 и 1:2 повлияли на длину корневой системы, уменьшение составило 31 и 17 % соответственно. Тяжелые металлы, содержащиеся в осадке с превышением ПДК, угнетали корневую систему растений. Увеличение длины корневой системы наблюдалось на смеси осадка с торфом в соотношении 1:4 и на грунте ОСВ:песок:торф (1:2:2) на 3 % по сравнению с контролем. Снижение доли осадка в составе грунтов снимало отрицательное действие тяжелых металлов на растения.

Увеличение массы корневой системы происходило на всех вариантах, но различие с контролем не существенно. Наиболее значительно выше контроля этот показатель на варианте ОСВ:песок:торф в соотношении 1:2:2 – на 22 %.

На всех вариантах грунтов наблюдалось увеличение длины растений пшеницы, но прибавка к контролю существенна только у четырех вариантов:

ОСВ+торф (1:1) – на 18 %, ОСВ+торф (1:2), ОСВ+торф (1:4), ОСВ+песок+торф (1:1:2) – на 11 %. Масса надземной части растений существенно увеличилась при смешивании осадка с торфом в соотношении 1:1 и 1:2 на 26 и 33 % соответственно.

В 2017 г. компания Life Force Group объявила конкурс научно-исследовательских работ по оценке потенциала гуминовых продуктов для применения их в сельском хозяйстве и природоохранных технологиях на принципах органического, традиционного и интенсивного земледелия и предложила для тестирования два сухих гуминовых препарата из бурого угля. С препаратом Natural humic acids проведен вегетационный опыт по его смешиванию с осадком сточных вод. Также в опыте изучали возможность смешивания осадка сточных вод с сапропелем. В качестве контроля – темно серая лесная почва.

Энергия прорастания семян тест-культуры по сравнению с контролем существенно снизилась при смешивании с сапропелем на 23,3 %, с сухим гуминовым препаратом – на 30,0 % (табл. 66). Всхожесть семян существенно ниже контроля в смеси осадка сточных вод с ГП – на 8,3 %.

Таблица 66 – Влияние грунтов на растения тест-культуры, %

Вариант	Энергия прорастания, %	Всхожесть, %	Число корешков, шт.	Длина корней, см	Масса корней, г/сосуд	Длина растений, см	Масса растений, г/сосуд
Почва пашни (контроль 1)	64,9	86,6	4,1	16,6	0,19	231,7	1,13
ОСВ:ГП (3:1)	34,9	78,3	4,2	8,4	0,10	238,5	1,10
ОСВ:сапропель (3:1)	41,6	83,3	4,3	8,7	0,08	238,5	1,07
<i>НСР₀₅</i>	<i>12,1</i>	<i>8,2</i>	<i>0,3</i>	<i>1,4</i>	<i>0,01</i>	<i>17,0</i>	<i>0,18</i>

Грунты не оказали существенно влияния на число корешков, но существенно снизили длину корневой системы – на 48 и 49 %. Также существенно снизилась и их масса – на 47 и 58 %.

Влияние грунтов на надземную часть растений тест-культуры в пределах ошибки опыта. Длина растений не существенно выше контроля, а масса наоборот – не существенно ниже контроля.

Таким образом, смешивание осадка сточных вод в соотношении 3:1 с гуминовым препаратом Natural humic acids и сапропелем не снизило негативное действие осадка на корневую систему растений (рис. 10). В дальнейшем изучении других соотношений осадка сточных вод с этими компонентами не видим практического применения.

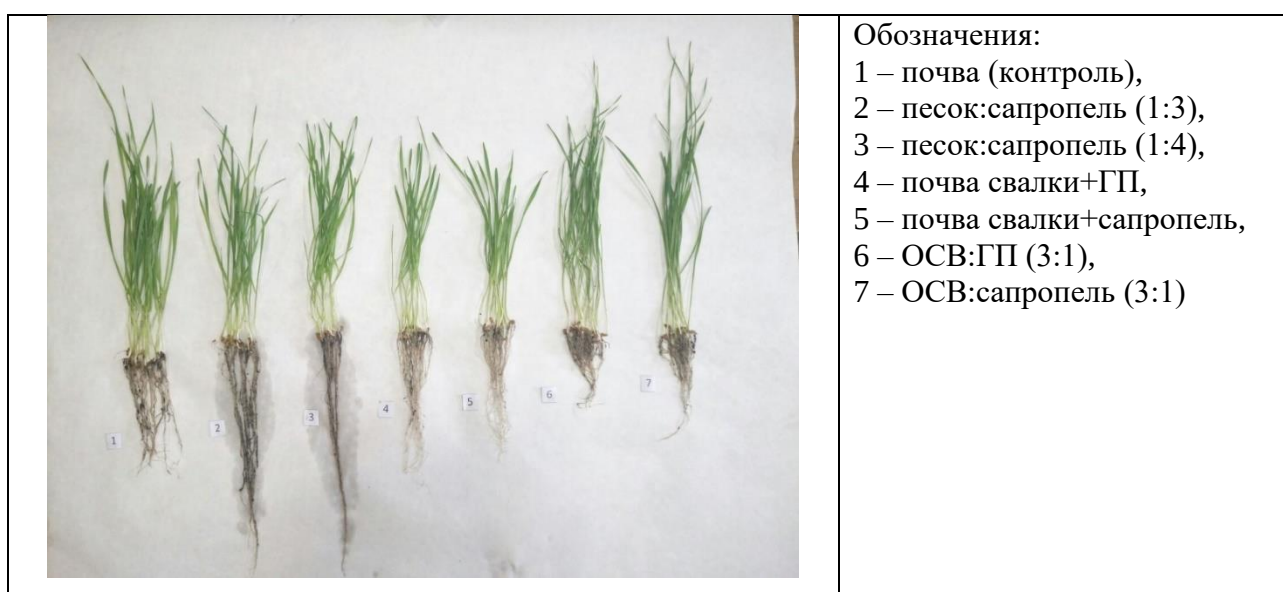


Рисунок 10 – Растения тест-культуры (яровая пшеница)

Влияние разного состава грунтов на содержание тяжелых металлов в почве и растениях. Валовое содержание тяжелых металлов в почве дает представление о потенциальной экологической опасности загрязнения. Для растений представляют опасность подвижные формы тяжелых металлов [Васенев, Сюняев, Бадарч, 2010]. При внесении осадка сточных вод авторы наблюдали повышение содержания доступного свинца (в 1,4-4,1 раза) и кадмия (в 1,5-20,5 раз). При малой дозе осадка сточных вод отмечали снижение подвижных форм цинка на 4 %, при высокой дозе – возрастание в 2,7 раза.

Одни авторы в своих опытах [Рауэлиаривуни, Васенев Касатиков, Шабардина, 2013; Чеботарев, Найденов, Юдин, 2016] устанавливали, что применение осадка сточных вод в продукции превышало МДУ по содержанию цинка, свинца, кадмия, никеля и хрома в 1,1-15,0 раз. Другие авторы [Пахненко, Ермаков, Убугунов, 2009; Жигарева, 2018] наблюдали увеличение содержания тяжелых металлов по сравнению с контролем, но значения были ниже МДУ.

Определение тяжелых металлов мы проводили только в 2 грунтах: худший и лучший варианты грунта по биометрическим показателям тест-культуры.

Содержание цинка в осадке сточных вод превышало ПДК и ОДК: валовое содержание в 4,4 и 2,0 раза, содержание подвижных форм – в 13,6 и 5,3 раза соответственно (табл. 67). В почве валовое содержание составляло 0,6 ПДК и 0,3 ОДК, содержание подвижных форм – ниже ПДК в 6,1 раза. При смешивании осадка с торфом в соотношении 3:1 сохранялось значительное превышение ПДК и ОДК: валовое содержание – в 3,7 и 1,7 раза, содержание подвижных форм – 11,2 и 4,3 раза соответственно. Содержание цинка в наименьшей степени были в грунте почва:торф:ОСВ (2:1:1). Валовое содержание выше ПДК, но ниже ОДК, содержание подвижных форм выше – 3,3 ПДК и 1,3 ОДК. В корнях содержание цинка наблюдалось значительно выше, чем в растениях: контроль – в 1,8 раза, ОСВ – 6,9 раза, ОСВ:торф (3:1) – 7,2 раза, Почва:торф:ОСВ (2:1:1) – 4,3 раза. В растениях содержание цинка на всех вариантах не превышало МДУ. Но больше всего данный металл содержался в растениях, выращенных на ОСВ, в меньшем количестве – на контроле.

Свинец превышал ПДК только по валовому содержанию в осадке сточных вод и при смешивании с торфом, но не превышал ОДК. Содержание подвижных форм свинца многократно ниже ПДК. Но в растениях его находилось на контролях и грунтах в количестве, превышающем МДУ в 2,6-5,8 раза.

Валовое содержание кадмия в осадке сточных вод и при его смешивании с компонентами превышало ПДК на 25-70 %. Незначительно превышало ПДК содержание подвижных форм свинца в осадке сточных вод и при смешивании с

торфом. В растениях содержание кадмия превышало МДУ на всех вариантах – в 4,0-6,3 раза.

Таблица 67 – Содержание тяжелых металлов I класса опасности в грунтах и растениях, мг/кг

Вариант	Грунты		Растения	Корни
	Валовое содержание	Подвижные формы		
Содержание цинка				
Почва (контроль 1)	65,8	3,8	24,7	44,3
ОСВ (контроль 2)	435,1	313,7	36,8	255,4
ОСВ:торф (3:1)	371,7	258,7	30,5	220,0
Почва:торф:ОСВ (2:1:1)	120,1	76,8	29,0	123,4
<i>ПДК (МДУ)</i>	<i>100</i>	<i>23</i>	<i>50</i>	
<i>ОДК</i>	<i>220</i>	<i>60</i>		
Содержание свинца				
Почва (контроль 1)	21,3	0,5	20,3	17,2
ОСВ (контроль 2)	37,5	1,7	13,0	22,2
ОСВ:торф (3:1)	34,9	1,5	10,2	21,4
Почва:торф:ОСВ (2:1:1)	26,6	0,8	28,8	22,7
<i>ПДК (МДУ)</i>	<i>32</i>	<i>6</i>	<i>5</i>	
<i>ОДК</i>	<i>130</i>	<i>60</i>		
Содержание кадмия				
Почва (контроль 1)	1,5	0,1	1,8	1,6
ОСВ (контроль 2)	3,3	1,4	1,9	2,8
ОСВ:торф (3:1)	3,4	1,2	1,2	2,5
Почва:торф:ОСВ (2:1:1)	2,5	0,4	1,3	2,4
<i>ПДК (МДУ)</i>	<i>2</i>	<i>1</i>	<i>0,3</i>	
<i>ОДК</i>	<i>2</i>	<i>1</i>		

Валовое содержание меди превышало ПДК в осадке сточных вод и при его смешивании с торфом в соотношении 3:1, но данные значения не превышали ОДК (табл. 68). Аналогичная картина по содержанию подвижных форм. Ниже ПДК содержание меди на контроле и при смешивании осадка сточных вод с почвой и торфом. В корнях содержание меди на всех вариантах с осадком превышало контроль в 3,2-3,3 раза. В растениях меди содержалось ниже МДУ в 3,8-4,1 раза. Различия между контролем и вариантами не значительные.

Содержание никеля на всех вариантах значительно ниже ПДК. В растениях он не обнаружен. Хром в почве, осадке и грунтах находился в малом количестве, но в растениях его содержание превышало МДУ.

Таблица 68 – Содержание тяжелых металлов II класса опасности в грунтах и растениях, мг/кг

Вариант	Грунты		Растения	Корни
	Валовое содержание	Подвижные формы		
Содержание меди				
Почва (контроль 1)	15,1	0,3	7,4	10,9
ОСВ (контроль 2)	75,6	4,6	7,4	36,3
ОСВ:торф (3:1)	58,5	3,4	7,3	34,3
Почва:торф:ОСВ (2:1:1)	19,8	0,7	8,0	35,2
<i>ПДК (МДУ)</i>	55	3	30	
<i>ОДК</i>	132	50		
Содержание никеля				
Почва (контроль 1)	17,9	1,3	н.о	8,0
ОСВ (контроль 2)	27,4	3,3	н.о	10,4
ОСВ:торф (3:1)	15,8	2,8	н.о	12,5
Почва:торф:ОСВ (2:1:1)	6,7	1,6	н.о	10,7
<i>ПДК (МДУ)</i>	85	4	3	
<i>ОДК</i>	80	36		
Содержание хрома				
Почва (контроль 1)	27,2	0,2	н.о.	14,2
ОСВ (контроль 2)	31,7	0,6	4,6	20,2
ОСВ:торф (3:1)	28,2	0,6	1,3	23,2
Почва:торф:ОСВ (2:1:1)	19,9	0,4	1,1	18,0
<i>ПДК (МДУ)</i>	100	6	0,5	
<i>ОДК</i>		15		

На содержание цинка, кадмия, меди и свинца в грунтах и растениях из второго вегетационного опыта нами были исследованы три варианта, выделившиеся по влиянию на тест-культуру. В грунтах определяли подвижные формы.

Содержание цинка превышало контроль при смешивании осадка сточных вод с компонентами на 40-110 %, в растениях – на 6-84 % (табл. 69). Но эти значения значительно ниже ПДК и МДУ. Больше всего содержалось цинка при

смешивании осадка сточных вод с торфом в соотношении 1:4. Содержание свинца в грунтах значительно ниже ПДК, но выше контроля на 24-45 %. Больше всего свинца при смешивании осадка с песком и торфом в соотношении 1:2:2. В растениях содержание свинца ниже определения.

Таблица 69 – Содержание тяжелых металлов в грунтах и растениях, мг/кг

Вариант	Грунты	Растения	Корни
Содержание цинка			
Почва (контроль 1)	8,9	9,8	17,5
ОСВ:торф (1:4)	18,7	18,0	19,0
ОСВ:песок:торф (1:2:2)	15,1	10,4	22,4
ОСВ:песок:торф (1:1:2)	12,5	17,1	14,5
<i>ПДК (МДУ)</i>	23	50	-
<i>ОДК</i>	60	-	-
Содержание свинца			
Почва (контроль)	1,13	<0,1	<0,1
ОСВ:торф (1:4)	1,40	<0,1	<0,1
ОСВ:песок:торф (1:2:2)	1,64	<0,1	<0,1
ОСВ:песок:торф (1:1:2)	1,44	<0,1	<0,1
<i>ПДК (МДУ)</i>	6	5	-
<i>ОДК</i>	60	-	-
Содержание кадмия			
Почва (контроль)	<0,1	0,13	<0,1
ОСВ:торф (1:4)	<0,1	0,08	0,35
ОСВ:песок:торф (1:2:2)	<0,1	0,08	0,58
ОСВ:песок:торф (1:1:2)	<0,1	0,23	0,14
<i>ПДК (МДУ)</i>	1	0,3	-
<i>ОДК</i>	1	-	-
Содержание меди			
Почва (контроль)	0,89	5,68	9,43
ОСВ:торф (1:4)	1,32	5,60	7,40
ОСВ:песок:торф (1:2:2)	1,06	4,15	5,65
ОСВ:песок:торф (1:1:2)	1,21	2,35	4,73
<i>ПДК (МДУ)</i>	3	30	-
<i>ОДК</i>	50	-	-

Кадмия на контроле и в грунтах, а также в растениях содержалось значительно ниже ПДК и МДУ. Содержание меди в грунтах превышало

контроль на 19-48 %, но показатели ниже ПДК. В растениях наоборот медь преобладала при выращивании на почве.

В первом опыте осадок и смесь осадка с торфом превышали ПДК по содержанию валовых и подвижных форм цинка, меди, свинца и кадмия. Все изучаемые варианты не превышали ПДК по содержанию никеля и хрома. В растениях, выращенных на почве и изучаемых грунтах, наблюдалось превышение МДУ по содержанию свинца, кадмия и хрома.

Коэффициент биологического поглощения (КБП) показал, что цинк, медь, никель и хром в большей степени поглощались корнями (табл. 70). Преобладало поглощение корнями по свинцу на вариантах ОСВ и ОСВ:торф (3:1), по кадмию – на всех вариантах, кроме контроля.

Таблица 70 – Коэффициент биологического поглощения (КБП)

ТМ	Объект	Вариант			
		Почва (контроль)	ОСВ	ОСВ :торф (3:1)	Почва:торф:ОСВ
Цинк	Корни	0,67	0,59	0,59	1,03
	Растения	0,38	0,08	0,08	0,24
Медь	Корни	0,72	0,48	0,59	1,78
	Растения	0,49	0,10	0,12	0,40
Свинец	Корни	0,81	0,59	0,61	0,85
	Растения	0,95	0,50	0,29	1,08
Никель	Корни	0,45	0,38	0,79	1,60
	Растения	0	0	0	0
Хром	Корни	0,52	0,64	0,82	0,90
	Растения	0	0,14	0,05	0,06
Кадмий	Корни	1,07	0,85	0,74	0,96
	Растения	1,20	0,58	0,35	0,52

В корнях растений, выращенных на почве и грунтах, наблюдалось различие по биологическому поглощению тяжелых металлов. Максимальный коэффициент поглощения в корнях на почве и осадке отмечен по кадмию, при смешивании осадка с торфом (3:1) – по хрому, на грунте почва:торф:ОСВ (2:1:1) – по меди. Трёхкомпонентный грунт превышал контроль по поглощению цинка,

меди, никеля и хрома – на 53,7, 47,2, 255,6 и 73,1 % соответственно, на уровне контроля – по свинцу, ниже контроля на 10,3 % – по кадмию.

Биологическое накопление в корнях значительно преобладало по сравнению с вегетативной массой растений по цинку, меди, никелю и хрому (табл. 71). Накопление свинца в растениях преобладало над корнями на вариантах: почва (контроль) и почва:торф:ОСВ (2:1:1); кадмия – только на контроле.

Таблица 71 – Коэффициент биологического накопления (Кн)

ТМ	Объект	Вариант			
		Почва (контроль)	ОСВ	ОСВ:торф (3:1)	Почва:торф:ОСВ (2:1:1)
Цинк	Корни	11,66	0,81	0,85	1,61
	Растения	6,50	0,12	0,12	0,38
Медь	Корни	36,33	7,89	10,09	50,28
	Растения	24,67	1,61	2,15	11,43
Свинец	Корни	34,40	13,06	14,27	28,38
	Растения	40,60	7,65	6,80	36,00
Никель	Корни	6,15	3,15	4,46	6,69
	Растения	0	0	0	0
Хром	Корни	71,00	33,67	38,67	45,00
	Растения	0	7,67	2,17	2,75
Кадмий	Корни	16,00	2,00	2,08	6,00
	Растения	18,00	1,36	1,00	3,25

Наибольшее накопление на контроле (почва) в корнях наблюдалось по цинку, свинцу, хрому и кадмию, в растениях – по цинку, меди, свинцу и кадмию. По коэффициенту биологического накопления меди и никеля в корнях преобладал трёхкомпонентный грунт, в растениях по хрому – осадок сточных вод. Никель в растениях не обнаружен.

В опыте с другими грунтами никель и хром не определяли, т.к. содержание никеля в растениях не установлено, а хром находится в незначительном количестве. И в почве и грунтах определяли содержание подвижных форм тяжелых металлов, поэтому рассчитан только коэффициент биологического накопления.

В корнях растений максимальный Кн наблюдался в почве (контроль) по цинку, меди и свинцу, в грунте ОСВ:песок:торф (1:2:2) – по кадмию (табл. 72). В вегетативной массе растений Кн преобладал по меди и свинцу на почве (контроль), по цинку и кадмию – на грунте ОСВ:песок:торф (1:1:2).

Таблица 72 – Коэффициент биологического накопления (Кн)

ТМ	Объект	Вариант			
		Почва (контроль)	ОСВ:торф (1:4)	ОСВ:песок:торф (1:2:2)	ОСВ:песок:торф (1:1:2)
Цинк	Корни	2,01	1,02	1,48	1,16
	Растения	1,10	0,96	0,69	1,37
Медь	Корни	10,60	5,61	5,33	3,91
	Растения	6,38	4,24	3,92	1,94
Свинец	Корни	0,09	0,07	0,06	0,07
	Растения	0,09	0,07	0,06	0,07
Кадмий	Корни	1,00	3,50	5,80	1,40
	Растения	1,30	0,80	0,80	2,30

Для предотвращения загрязнения рекультивируемых территорий тяжелыми металлами можно рекомендовать смешивать осадок сточных вод с иловых площадок с торфом в соотношении 1:4 и с песком и торфом в соотношении 1:1:2 и 1:2:2.

Влияние компонентов на агрохимические свойства грунтов. При смешивании осадка с торфом содержание гумуса почти на уровне осадка. При смешивании почвы с осадком и торфом в соотношении 2:1:1 содержание гумуса повышалось на 14,8 % (табл. 73).

Кислотность осадка сточных вод слабая, почвы – нейтральная. При добавлении осадка к почве кислотность осталась нейтральной. У осадка сточных вод гидролитическая кислотность выше в 3,6 раза, а сумма поглощённых оснований меньше в 6 раз, емкость поглощения – в 3 раза, степень насыщенности почв основаниями – в 2 раза, чем в почве. Смешивание осадка с торфом ухудшает еще в большей степени обменную поглотительную способность. Добавление почвы к смеси осадка с торфом улучшает показатели, но они значительно ниже, чем в почве.

Таблица 73 – Агрохимические показатели грунтов

Показатели	Вариант			
	Почва	ОСВ	ОСВ:торф (3:1)	Почва:торф:ОСВ (2:1:1)
Содержание гумуса, %	5,4	7,7	7,5	6,2
pH _{сол.}	6,5	5,4	5,7	6,1
Гидролитическая кислотность, мг-экв./100 г	1,31	4,72	4,55	2,10
Сумма поглощенных оснований, мг-экв./100 г	25,6	4,3	3,1	7,2
Ёмкость поглощения, мг-экв./100 г	26,9	9,0	7,7	9,3
Степень насыщенности почв основаниями, %	95,2	47,8	40,3	77,4

Для применения осадка сточных вод в составе грунтов при биологической рекультивации можно рекомендовать смешивать осадок сточных вод с иловых площадок с почвой и торфом в соотношении 1:2:1, с торфом в соотношении 1:4 и с песком и торфом в соотношении 1:1:2 и 1:2:2.

Осадок сточных вод можно применять в виде удобрительных смесей с органическими субстратами при внесении в почву пашни. В Тверской области изучали действие удобрительных смесей в дозе 60 т/га на дерново-подзолистой супесчаной почве. Наиболее высокие показатели прироста урожайности культур получены при использовании в качестве наполнителя торфа, соломы и опилок в равных долях с осадком сточных вод [Рабинович, Подолян, Зинковская, 2023]. Мы же для предотвращения накопления в почве тяжелых металлов рекомендуем при приготовлении удобрительных смесей смешивать осадок сточных вод с компонентами в соотношении не менее 1:3.

5.2 Разработка грунтов на основе сапропеля

Сапропель – илообразное природное органическое вещество, образованное путем отложения на дно пресноводных водоемов отмирающих растений и микроорганизмов с ограниченным доступом кислорода. Это высокоэффективное экологически чистое органо-минеральное удобрение, представляющее собой

отложение пресноводных водоемов, содержащее биохимически ценные микроэлементы и микроорганизмы различных физиологических групп. В составе сапропеля имеются все питательные вещества, необходимые для роста и развития растений. Сформированный природными физико-химическими процессами, происходящими в водоеме на протяжении десятков тысяч лет, состав сапропелей определяет его качественную и агрономическую оценку, как сырья, используемого человечеством в качестве удобрений, мелиорантов (рекультивантов), почвообразователей. Сапропелевое удобрение способствует мобилизации почвенного состава, приводит к самоочищению от болезнетворных грибков и микроорганизмов. Сапропелевое удобрение богато витаминами группы В (В₁, В₁₂, В₃, В₆), Е, С, D, Р, каротиноидами, многими ферментами (каталазами, пероксидазами, редуктазами, протеазами) [Бычев, 2014].

Сапропели имеют различный химический состав и широко используются как сырье для получения экологически чистых удобрений различного назначения. Такие удобрения содержат комплекс органических и минеральных веществ, соединения азота, фосфора, калия, серы, меди, бора, молибдена и других микроэлементов. В составе органической части сапропелей имеются биологически активные вещества – гуминовые кислоты, витамины. Важнейшие характеристики сапропеля как удобрения – уровень зольности и кислотности, содержание кремния, железа, серы, карбонатов, кальция и т.д. Сапропели используются для производства органических, органоминеральных и известковых удобрений, могут применяться в смеси с навозом, различными отходами, минеральными удобрениями.

Минеральная часть сапропеля, представляющая собой основную составляющую сапропелевого удобрения, содержит большое количество микроэлементов: Co, Mn, Cu, B, Zn, Br, Mo, V, Cr, Be, Ni, Ag, Sn, Pb, As, Ba, Sr, Ti. По сравнению с торфом и торфонавозными компостами, органическая масса сапропелевого удобрения отличается более высоким содержанием гидролизуемых веществ, таких, как аминокислоты, углеводы широкого спектра, гемицеллюлоза и азотосодержащие соединения. По результатам лабораторных и

натурных исследований, проводившихся в течении ряда лет в России, Белоруссии и Латвии было практически обосновано внесение сапропеля на легких, песчаных и каменистых почвах, на землях, перенасыщенных минеральными удобрениями, а также на орошаемых землях [Захаров, 2007].

Урожайность сельскохозяйственных культур после внесения в почву сапропеля как натурального биостимулятора роста растений увеличивается на 27-50% [Плотников, Башмаков, Канашова, 2016].

Наибольшая урожайность зерновых получена при внесении сапропеля в норме 120-145 т/га и равна 28,2 ц/га при урожайности на варианте без удобрений 19,0 ц/га. Внесение сапропеля в пахотный слой дает повышение урожайности картофеля. Наибольшая эффективность данного вида удобрений доказана Центром по сапропелю на почвах с высоким содержанием подвижного фосфора и обменного калия. Прибавка к контролю составляет в среднем за год 46% или 100 ц/га при урожайности на контроле 218 ц/га. Доза внесения сапропеля составила от 42 до 148 т/га и 200-214 т/га. При кислой почве с содержанием гумуса 3,0-3,5 %, с низкими запасами азота и со средней обеспеченностью подвижными формами фосфора и калия, наоборот, более эффективны невысокие нормы сапропеля от 90 до 120 т/га. Причем действие сапропеля на урожайность клубней картофеля в названных нормах аналогично действию минеральных удобрений в повышенной норме N90P120K180. При урожайности 228 ц/га на контроле прибавка от сапропеля составила 24-30 ц/га или 10-13 %, а от полного минерального удобрения 36 ц/га или 16 % [Зельтина, 1997].

Способы заделки сапропеля также значительно влияют на агрохимические показатели почвы в пахотном горизонте. При поверхностной заделке внесения сапропелевого удобрения отмечается возрастание содержания гумуса с 3,2 до 5,0 %. При этом идет наиболее активная минерализация органики и насыщение пахотного слоя подвижными формами фосфора и калия. В клубнях картофеля повышалось содержание фосфора, калия, магния и крахмала [Николайкин, Николайкина, Мелехова, 2006].

Сапропель, как удобрение, вносится в почву механическим или ручным способом. Различают площадное и точечное внесение в почву сапропелевого удобрения. Наиболее удобной формой на больших площадях является механизированное площадное внесение гранулированного сапропеля в почву совместно с посадочным материалом. Для частного использования и для выращивания цветочной, овощной продукции целесообразно использовать точечное внесение удобрений при посадке и в процессе созревания. При внесении сапропеля «вразброс» по площади перед вспашкой потерь азота не наблюдается даже при длительной задержке пахоты, сапропель обладает длительным полезным последствием равным, минимум, 3-4 годам, при дозах внесения 15-20 кг/м² срок действия сапропеля прослеживается до 14 лет [Иванова, 1997]. Сапропель при внесении в почву улучшает ее механическую структуру, влагопоглощающую и влагоудерживающую способность, на 2-3 год дает увеличение в почве гумуса, активизирует почвенные процессы; благодаря медленной растворимости действующих в сапропеле веществ обеспечивается сбалансированное питание растений всеми элементами питания.

Нами были проведены исследования по определению оптимальных соотношений сапропеля с торфом и песком.

Определение оптимальных соотношений компонентов. В вегетационном опыте изучали смешивание торфа с сапропелем в соотношениях 2:1, 1:1,5, 1:3, 1:4; песок с сапропелем в соотношениях 1:3, 1:4; торф с песком и сапропелем в соотношении 1:1:3. В качестве контролей взяли почву пашни (темно серая лесная, контроль № 1), торф низинный (контроль № 2), сапропель (контроль №3). Энергия прорастания семян тест-культуры на всех изучаемых вариантах грунтов существенно выше контроля № 1 на 10-25 % (табл. 74). Показатель существенно ниже контролей № 2 и 3 только у грунта песок:сапропель (1:3). По отношению к этим контролям можно выделить два грунта: торф:сапропель (2:1) и торф:песок:сапропель (1:1:3). Всхожесть семян на всех изучаемых грунтах так же, как и энергия прорастания, существенно выше контроля № 1 – на 5-13 %. По всхожести в опыте существенно ниже 1 и 2

контролей смеси торфа с сапропелем в соотношении 1:1,5 и 1:3 – на 6,7 и 8,5 % соответственно, в остальных вариантах различия не существенны.

Таблица 74 – Влияние грунтов с сапропелем на растения тест-культуры

Вариант	Энергия прорастания, %	Всхо- жесть, %	Число коре- шков, шт.	Длина корней, см	Масса корней, г	Длина расте- ний, см	Масса расте- ний, г
Почва пашни (контроль №1)	64,9	86,6	4,1	16,0	0,19	23,2	1,13
Торф (контроль №2)	83,3	98,3	4,2	18,1	0,28	24,7	1,35
Сапропель (контроль №3)	89,9	100,0	4,2	20,5	0,33	25,5	1,45
Торф:сапропель (1:1,5)	81,6	89,9	4,1	17,0	0,27	22,0	1,31
Торф:сапропель (2:1)	89,9	100,0	4,2	17,8	0,28	21,7	1,35
Торф:сапропель (1:3)	81,6	91,6	4,1	17,5	0,27	21,7	1,30
Торф:сапропель (1:4)	81,6	98,3	4,3	23,4	0,35	24,6	1,31
Песок: сапропель (1:3)	74,9	96,6	4,4	24,8	0,39	23,4	1,24
Песок: сапропель (1:4)	81,6	94,9	4,3	24,7	0,41	23,8	1,26
Торф:песок:сапропель (1:1:3)	85,0	98,3	4,4	23,1	0,36	24,6	1,48
<i>HCP₀₅</i>	6,5	4,7	0,2	0,8	0,11	1,2	0,15

По числу корешков существенно выше трёх контролей варианты грунтов: песок:сапропель (1:3) и торф:песок:сапропель (1:1:3), увеличение составило 5-7 %. Проростки на всех изучаемых вариантах по длине корневой системы существенно превышали контроль № 1 – на 6-55 %. Самое существенное увеличение длины корневой системы по сравнению с контролем № 2 и контролем № 3 наблюдалось на смеси торфа с сапропелью (1:4), смеси песка с сапропелью в соотношениях 1:3 и 1:4, на грунте торф:песок:сапропель (1:1:3). Масса корневой системы выше трёх контролей на вариантах грунтов: торф:сапропель (1:4), песок с сапропелью в соотношениях 1:3 и 1:4, торф:песок:сапропель (1:1:3). Различие существенно только с контролем № 1 – 84-116 %.

По длине растений существенно выше контроля № 1 варианты грунтов: торф:сапропель (1:4) и торф:песок:сапропель (1:1:3) – на 6 %. Но различие их с

контролями № 2 и 3 не существенно. Варианты смеси торфа с сапропелью в соотношениях (1:1,5; 2:1; 1:3) существенно снизили длину растений по отношению ко всем трём контролям.

На всех вариантах грунтов масса проростков выше контроля № 1 на 10-31 %. Различие не существенно при смешивании сапропеля с песком. Но проростки на этих двух вариантах имели массу меньше контролей № 2 и 3.

Фото растений тест-культуры представлено на рисунке 11.



Обозначения: 1 – торф (контроль 1),
2 – сапропель (контроль 2), 3 – торф:сапропель
(1:1,5), 4 – торф:сапропель (2:1),
5 – торф:сапропель (1:3), 6 – торф:сапропель
(1:4), 7 – торф:песок:сапропель (1:1:3)



Обозначения:
1 – почва контроль,
2 – песок:сапропель (1:3),
3 – песок:сапропель (1:4)

Рисунок 11 – Растения тест-культуры (яровая пшеница)

К выделившимся вариантам грунтов был добавлен препарат Росток в дозе 50 мл на 500 г грунта. На энергию прорастания препарат Росток оказал существенное влияние на грунте песок:сапропель (1:3) – увеличение на 20 % (относит.) (табл. 75). На двух других грунтах различие между вариантами с добавлением Ростка и без него не существенно. Всхожесть при добавлении Ростка увеличилась только на грунте песок:сапропель (1:3) – увеличение на 4 % (относит.).

Таблица 75 – Влияние гуминового препарата в составе грунтов на посевные качества семян тест-культуры

Вариант	Энергия прорастания, %	Всхожесть, %
Почва (контроль)	64,9	86,6
Песок:сапропель (1:3)	74,9	96,6
Песок:сапропель (1:3)+Росток	89,9	100,0
Торф:сапропель (1:4)	84,9	98,3
Торф:сапропель (1:4)+Росток	81,6	98,3
Торф:песок:сапропель (1:1:3)	89,9	98,3
Торф:песок:сапропель (1:1:3)+Росток	84,9	100,0
<i>НСР₀₅</i>	4,5	2,3

Число корешков при добавлении Ростка в грунты существенно не изменилось (табл. 76). Длина корневой системы при добавлении Ростка во всех грунтах увеличилась, существенное различие по отношению к грунтам без стимулятора наблюдалось при смешивании торфа с сапропелем и в трехкомпонентной смеси на 1,2 и 1,6 см соответственно. Масса корневой системы увеличилась при добавлении Ростка, но различие с вариантами без него не существенное.

Таблица 76 – Влияние гуминового препарата в составе грунтов на растения тест-культуры

Вариант	Число корешков, шт.	Длина корней, см	Масса корней, г	Длина растений, см	Масса растений, г
Почва (контроль)	4,1	16,0	0,19	23,2	1,13
Песок:сапропель (1:3)	4,4	24,8	0,39	23,4	1,24
Песок:сапропель (1:3)+Росток	4,4	25,2	0,41	24,6	1,31
Торф:сапропель (1:4)	4,3	23,4	0,35	24,6	1,31
Торф:сапропель (1:4)+Росток	4,4	24,6	0,39	25,6	1,33
Торф:песок:сапропель (1:1:3)	4,4	23,1	0,36	24,6	1,48
Торф:песок:сапропель (1:1:3)+Росток	4,4	24,7	0,41	25,9	1,48
<i>НСР₀₅</i>	0,2	0,5	0,19	1,0	0,06

Длина растений на всех грунтах при добавлении препарата Росток существенно увеличилась на 5 %. Масса проростков существенно увеличилась только при добавлении препарата Росток в грунт песок:сапропель (1:3) на 6 %.

Продолжили опыты по поиску оптимальной дозы препарата Росток для добавления в сапропель. Препарат Росток добавляли в дозах 1, 5, 10, 25 мл на 500 г сапропеля. С внесением гуминового препарата Росток энергия прорастания семян тест-культуры на всех вариантах существенно выше контроля на 6,6-20,0 %; всхожесть семян – на 6,7-26,7 % (табл. 77).

Таблица 77 – Влияние дозы препарата Росток на растения тест-культуры

Вариант	Энергия прорастания, %	Всхожесть, %	Число корешков, шт.	Длина корней, см	Масса корней, г	Длина растений, см	Масса растений, г
Контроль (сапропель)	37,8	64,4	4,0	12,9	0,53	13,6	0,77
Сапропель+Росток (25 мл)	53,3	84,4	4,7	16,7	0,91	23,0	1,19
Сапропель+Росток (10 мл)	44,4	71,1	4,6	16,4	0,92	22,8	1,31
Сапропель+Росток (5 мл)	51,1	77,8	4,9	16,3	0,93	22,2	1,50
Сапропель+Росток (1 мл)	57,8	91,1	5,1	17,8	1,06	24,5	1,87
<i>HCP₀₅</i>	7,8	9,8	0,4	1,8	0,09	5,2	0,21

По числу корешков все варианты выше контроля, существенно выше контроля вариант с дозой Ростка 1 мл на 28 %. По длине корневой системы существенно превышал контроль этот же вариант – на 38 %. По массе корневой системы все изучаемые варианты были выше контроля, максимальная прибавка на варианте сапропель+Росток (1 мл) на 100 %.

По биометрическим показателям надземной части растений можно выделить вариант с внесением Ростка в дозе 1 мл, превышение контроля по длине и массе составило 80 и 143 % соответственно.

На основании результатов опытов было принято решение провести опыт с добавлением в изученные ранее грунты гуминового препарата Росток (1 мл 1 % препарата на 500 г грунта). Состав грунтов следующий: грунт 1 – сапропель+Росток, грунт 2 – торф:сапропель (2:1)+Росток, грунт 3 –

(песок:сапропель (1:3)+Росток, грунт 4 – (торф:песок:сапропель (1:1:3)+Росток, грунт 5 – торф:сапропель (1:4)+Росток.

Энергия прорастания и всхожесть семян тест-культуры на всех грунтах существенно выше контроля на 16,7-25,0 % и 11,7-13,4 % соответственно (табл. 78).

Таблица 78 – Влияние грунтов на посевные качества семян тест-культуры

Вариант	Энергия прорастания, %	Всхожесть, %	Число корешков, шт.	Длина корней, см	Масса корней, г	Длина растений, см	Масса растений, г
Почва (контроль)	64,9	86,6	4,1	16,0	0,19	23,2	1,13
Грунт 1	89,9	100,0	4,2	20,5	0,33	25,5	1,45
Грунт 2	89,9	100,0	4,2	17,8	0,28	21,7	1,35
Грунт 3	89,9	100,0	4,4	24,6	0,41	24,6	1,31
Грунт 4	85,0	98,3	4,4	23,1	0,36	24,6	1,48
Грунт 5	81,6	98,3	4,3	23,4	0,35	24,7	1,31
<i>HCP₀₅</i>	6,5	4,7	0,2	0,8	0,11	1,2	0,15

По числу корешков существенно выше контроля грунты составов 3 и 4, увеличение составило 7 %. Проростки на всех вариантах по длине корневой системы существенно превышали контроль – на 11-54 %. Самое значительное увеличение длины корневой системы по сравнению с почвой пашни наблюдалось при выращивании тест-культуры на грунте составов 3, 4 и 5. Масса корневой системы растений на всех вариантах выше контроля на 47-116 %. Различие несущественно с контролем только у грунта состава 2.

Длина растений тест-культуры существенно выше контроля у грунта составов 1, 3, 4 и 5 на 6-10 %.

На грунте состава 2 высота растений ниже контроля на 6 %, но масса растений существенно больше, чем на контроле – на 19 %. На остальных грунтах масса растений также превышала контроль – на 16-31 %.

Преимущество грунтов всех марок по отношению к почве пашни наглядно видно на рисунке 12.



Обозначения:

- 1 – грунт 3,
- 2 – грунт 1,
- 3 – грунт 2,
- 4 – почва пашни (контроль),
- 5 – грунт 5,
- 6 – грунт 4

Рисунок 12 – Растения тест-культуры (яровая пшеница)

Таким образом, в вегетационном опыте изучались пять грунтов на основе сапропеля в сочетании с торфом и песком в разных соотношениях по массе компонентов с добавлением гуминового препарата Росток. Все грунты благоприятно влияли на растения тест-культуры, повышая посевные качества семян и биометрические показатели корневой системы и надземной части растений.

5.3 Применение грунтов при рекультивации почвы несанкционированной свалки бытовых отходов

При рекультивации нарушенных земель грунты могут быть использованы для биологического этапа рекультивации в качестве почвогрунтов при создании плодородного слоя, для рекультивации загрязненных и обедненных почв; при строительстве и эксплуатации линейных сооружений, отвалов промышленных отходов, земель, загрязненных нефтепродуктами, территорий промышленных площадок; в целях лесохозяйственного, природоохранного и санитарно-гигиенического направлений рекультивации; для проведения биологической рекультивации специализированных полигонов размещения осадков сточных вод, полигонов твердых бытовых отходов и полигонов промышленных отходов.

Почву для вегетационного опыта по установлению эффективного способа рекультивации нарушенных земель взяли с территории несанкционированной многолетней свалки. Почва свалки загрязнена цинком (1,4 ПДК) и свинцом (1,4 ПДК) (табл. 79) [Брыксина Т.С., Грехова И.В., 2017].

Таблица 79 – Валовое содержание тяжелых металлов в почве свалки в слое 0-10 см, мг/кг (2017 г.)

Наименование	Цинк	Кадмий	Свинец
Почва свалки	138,0±41,0	1,11±0,33	45,13±13,54
ПДК	100,0	3,0	32,0

В вегетационном опыте при внесении в почву свалки грунта № 1 (сапропель+Росток) энергия прорастания и всхожесть семян тест культуры увеличились на 13,4 и 31,3 % соответственно, что говорит о снижении негативного действия почвы свалки органическим удобрением (табл. 80).

Таблица 80 – Влияние сапропеля на посевные качества семян тест-культуры

Вариант	Энергия прорастания, %	Всхожесть, %
Почва (контроль)	64,9	86,6
Загрязненная почва	54,9	65,3
Загрязненная почва+грунт № 1 (сапропель+Росток) (30 т/га)	78,3	96,6
<i>НСР₀₅</i>	12,1	8,2

Грунт положительно повлиял на корневую систему растений тест-культуры. Существенно по сравнению с почвой свалки повысились показатели: число корешков – на 33 %, масса корней – на 45 % (табл. 81). Длина корней превышала почву свалки на 8 %, но различие не существенно.

Внесение грунта на основе сапропеля в почву свалки повлияло и на надземную часть растений тест-культуры. Превышение почвы свалки по длине и массе растений на 7 и 3 %, но различие не существенно

Таблица 81 – Влияние сапропеля на растения тест-культуры

Вариант	Число корешков, шт.	Длина корней, см	Масса корней, г	Длина растений, см	Масса растений, г
Почва (контроль)	4,1	16,0	0,19	23,2	1,13
Загрязненная почва	3,3	13,2	0,11	19,7	1,05
Загрязненная почва+грунт № 1 (сапропель+Росток)	4,4	14,3	0,16	21,0	1,08
НСР ₀₅	0,28	1,38	0,13	1,70	0,18

В следующем вегетационном опыте по установлению эффективного способа рекультивации нарушенных земель испытывали разработанный грунт на основе осадка сточных вод (торф:песок:ОСВ=2:2:1). Грунт вносили в почву свалки в дозе 50 т/га. Семена тест-культуры перед посевом на сутки замачивали в воде и растворе гуминового препарата Росток (0,001 % концентрации).

Энергия прорастания на загрязненной почве существенно снизилась на 11 % к контролю при обработке семян водой (табл. 82). При добавлении грунта она повысилась на 16 %. При обработке семян Ростком наблюдалось существенное повышение энергии прорастания на 17 и 24 % на контроле и загрязненной почве.

Таблица 82 – Влияние грунта и препарата Росток на посевные качества семян тест-культуры

Вариант		Энергия прорастания, %	Всхожесть, %
Почва	Обработка семян		
Почва пашни (контроль)	Вода	84,4	95,5
	Росток	98,9	97,7
Загрязненная почва	Вода	75,5	84,4
	Росток	93,3	95,5
Загрязненная почва+грунт	Вода	97,8	100,0
	Росток	97,8	100,0
НСР ₀₅		1,9	1,3

Всхожесть при обработке Ростком повысилась на контроле на 2,2 %, на загрязненной почве – на 11,1 %. Как и в случае с энергией прорастания, всхожесть семян существенно снизилась на 12 % только на загрязненной почве

при обработке водой. Гуминовый препарат снимал отрицательное действие загрязненной почвы на семена тест-культуры. При внесении грунта всхожесть повысилась по сравнению с загрязненной почвой на 16,6 %. На фоне внесения грунта энергия прорастания и всхожесть имеют одинаковые показатели при обработке водой и препаратом Росток.

Обработка семян тест-культуры препаратом Росток положительно повлияла на число корешков у проростков пшеницы: превышение контроля на 4-7 % (табл. 83). Длина корневой системы при обработке Ростком увеличилась на почве пашни на 20 %, на загрязненной почве – на 27 %. На варианте загрязненная почва+грунт – на 31 %.

Таблица 83 – Влияние грунта и препарата Росток на корневую систему тест-культуры

Вариант		Число корешков, шт.	Длина корней, см	Масса корней, г
Почва	Обработка семян			
Почва пашни (контроль)	Вода	4,6	16,0	0,27
	Росток	4,8	19,2	0,34
Загрязненная почва	Вода	4,6	15,6	0,22
	Росток	4,9	19,9	0,36
Загрязненная почва+грунт	Вода	4,9	16,0	0,32
	Росток	4,9	20,9	0,36
<i>НСР₀₅</i>		0,4	8,5	0,1

Масса корневой системы проростков существенно понизилась в варианте загрязненная почва при обработке семян водой на 19 %. Применение препарата Росток для обработки семян тест-культуры положительно сказалось на массе корневой системы тест-культуры. На почве пашни эффект составил 26 %, на загрязненной почве – 64 %, в варианте с внесением грунта – 13 %.

При обработке семян Ростком длина растений превышала обработку водой: на контроле – на 16 %, на загрязненной почве – на 36 %, на варианте загрязненная почва+грунт – на 6 % (табл. 84).

Масса растений при обработке семян препаратом Росток также увеличивалась. На почве пашни эффективность составила 26 %, на загрязненной почве – 87 %, в варианте загрязненная почва+грунт – 13 %.

Таблица 84 – Влияние грунта и препарата Росток на надземную часть растений тест-культуры

Вариант		Длина растений, см	Масса растений, г
Почва	Обработка семян		
Почва пашни (контроль)	Вода	19,0	0,47
	Росток	22,0	0,59
Загрязненная почва	Вода	18,1	0,39
	Росток	24,5	0,73
Загрязненная почва+грунт	Вода	23,1	0,61
	Росток	24,5	0,69
НСР ₀₅		1,80	0,04

Различие между вариантами с обработкой семян гуминовым препаратом Ростком и водой наглядно видно на рисунке 13.



Обозначения:

- 1 – почва пашни (семена замочены в воде),
- 2 – почва пашни (семена замочены в Ростке),
- 3 – почва свалки (семена замочены в воде),
- 4 – почва свалки (семена замочены в Ростке),
- 5 – почва свалки+грунт (семена замочены в воде),
- 6 – почва свалки+грунт (семена замочены в Ростке)

Рисунок 13 – Растения тест-культуры (яровая пшеница)

Содержание подвижных форм цинка в загрязненной почве в слое 0-30 см превышало ПДК в 3,1 раза (табл. 85). Содержание кадмия в почве значительно ниже ПДК. По меди и свинцу превышения не обнаружено. Но по данным Т.С.

Брыксиной, И.В. Греховой [2017] содержание свинца в слое 0-10 см почвы свалки составило 20,04 мг/кг, что превышало ПДК в 3,3 раза.

**Таблица 85 – Содержание подвижных форм тяжелых металлов
в почве свалки, мг/кг**

Наименование	Цинк	Кадмий	Медь	Свинец
Почва свалки	70,00±25,00	0,05±0,02	0,32±0,096	3,84±0,92
ПДК	23,0	1,0	3,0	6,0

В корнях растений тест-культуры на загрязненной почве содержание цинка превышало контроль в 5,0 раз (табл. 86). При внесении грунта в загрязненную почву содержание цинка в корнях снижалось в 2,0 раза. При обработке семян Ростком корни растений накапливали цинка больше на контроле и загрязненной почве на 31 %, при внесении грунта – на 20 %, чем при обработке водой. Содержание цинка в корнях в 1,5-2,0 раза больше, чем в растениях. Обработка семян Ростком снижала поступление цинка из корней в растения: на контроле – на 25 %, на загрязненной почве – на 5 %, при внесении грунта – на 23 %.

В растениях на всех вариантах и в корнях на контроле содержание свинца менее 0,1 мг/кг. Свинец присутствовал только в корнях на загрязненной почве. При обработке семян Ростком на загрязненной почве и при внесении питательного грунта корнями накапливалось свинца больше в 1,5 и 3,0 раза соответственно, чем при обработке водой.

Содержание подвижных форм кадмия в почве не превышало ПДК, а в растениях содержание кадмия выше МДУ в среднем в 11,0 раз. Растения по содержанию этого металла отличались от корней незначительно, т.е. корневая система тест-культуры не служила барьером поступления кадмия в растения. В корнях на загрязненной почве содержание кадмия превышало контроль на 7 %, а при внесении питательного грунта снижалось в 1,5 раза. При обработке семян Ростком на загрязненной почве в корнях накапливалось кадмия больше на 25 %, чем при обработке водой. Внесение грунта снижало накопление кадмия в корнях на 15 %. Обработка семян Ростком снижала поступление кадмия в растения: на

контроле – на 22 %, на загрязненной почве – на 10 %, при внесении грунта – на 7 %.

Таблица 86 – Содержание тяжелых металлов в надземной и корневой частях тест-культуры, мг/кг

Вариант	Обработка семян	Растения	Корни
Содержание цинка			
Почва пашни (контроль)	Вода	42,4	63,2
	Росток	31,8	83,2
Загрязненная почва	Вода	134,2	310,5
	Росток	127,5	405,5
Загрязненная почва+грунт	Вода	86,4	135,8
	Росток	66,9	163,7
МДУ		50,0	
Содержание свинца			
Почва пашни (контроль)	Вода	менее 0,1	менее 0,1
	Росток	менее 0,1	менее 0,1
Загрязненная почва	Вода	менее 0,1	9,7
	Росток	менее 0,1	14,7
Загрязненная почва+грунт	Вода	менее 0,1	8,3
	Росток	менее 0,1	23,3
МДУ		5	
Содержание кадмия			
Почва пашни (контроль)	Вода	4,3	3,1
	Росток	3,3	3,6
Загрязненная почва	Вода	3,5	3,3
	Росток	3,1	4,2
Загрязненная почва+грунт	Вода	2,7	2,1
	Росток	2,5	2,4
МДУ		0,3	
Содержание меди			
Почва пашни (контроль)	Вода	8,5	19,7
	Росток	3,1	18,6
Загрязненная почва	Вода	15,1	15,1
	Росток	6,8	18,7
Загрязненная почва+грунт	Вода	13,5	16,3
	Росток	6,2	11,2
МДУ		30,0	

Содержание меди в растениях ниже МДУ. На загрязненной почве и при внесении питательного грунта содержание меди в корнях тест-культуры меньше

контроля на 23 и 17 % соответственно. По сравнению с обработкой семян водой при применении Ростка на контроле и при внесении питательного грунта корни накапливали меди меньше на 6 и 31 % соответственно, а на загрязненной почве, наоборот, больше на 23 %. Обработка семян Ростком снижала поступление меди в растения на всех вариантах в 2-3 раза.

Способность тяжелых металлов поглощаться растениями, что в последующем определяет их аккумуляцию в звеньях трофической цепи, в том числе и в организме человека, определяется с помощью коэффициента биологического накопления. Чем больше его значение, тем активнее элементы переходят из почвы в растения.

В зависимости от значений коэффициентов биологического накопления, по степени поглощаемости растениями тяжелые металлы образуют следующий ряд: $Cd > Cu > Zn > Pb$ (табл. 87). Растениями более активно поглощался кадмий, менее всего свинец.

Таблица 87 – Коэффициенты биологического накопления тяжелых металлов тест-культурой

Вариант	Обработка семян	Zn	Cd	Cu	Pb	Среднее
Растения						
Загрязненная почва	Вода	1,9	70,0	47,1	<0,03	29,7
	Росток	1,8	63,0	21,4	<0,03	21,5
Загрязненная почва+грунт	Вода	1,2	55,6	42,1	<0,03	24,7
	Росток	0,9	51,6	19,5	<0,03	18,0
Корни						
Загрязненная почва	Вода	4,4	66,6	47,4	2,5	30,2
	Росток	5,7	83,0	58,5	3,8	37,7
Загрязненная почва+грунт	Вода	1,9	42,6	51,0	2,1	24,4
	Росток	2,3	49,0	35,0	6,0	23,1

Корни тест-культуры более активно поглощали тяжелые металлы, чем растения. Предпосевная обработка Ростком усиливала интенсивность поглощения тяжелых металлов на загрязненной почве корнями на 25 %.

Добавление грунта к загрязненной почве уменьшало поглощение тяжелых металлов корнями при обработке семян водой на 19 %, Ростком – на 24 %.

Обработка семян Ростком уменьшала биологическое поглощение тяжелых металлов растениями на загрязненной почве на 28 %, при добавлении питательного грунта – на 27 %. Использование питательного грунта на загрязненной почве снижало интенсивность поглощения тяжелых металлов растениями на 17 %, а совместно с обработкой семян гуминовым препаратом – на 39 %.

Таким образом, внесение грунтов на основе сапропеля и осадка сточных вод, а также обработка семян гуминовым препаратом Росток уменьшали негативное действие загрязненной почвы тяжелыми металлами на высеваемую культуру, что обеспечило благоприятный рост и развитие растений при биологической рекультивации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Компостирование в условиях Северного Зауралья является эффективным приемом утилизации навоза и помета, а также обеспечивает увеличение выхода органических удобрений.

В процессе компостирования навоза и помёта с торфом групповой состав органического вещества компостов подвергался изменению: увеличивалось содержание водорастворимых и гидролизуемых соединений, уменьшалось количество трудногидролизуемых соединений. Происходило разложение органических форм азота: увеличивалось содержание минерального, гексозаминного, общего гидролизуемого азота, снижалось содержание неидентифицированных и негидролизуемых азотных соединений.

Минерализация органического вещества компостов в минеральной почве протекала интенсивнее, чем торфа. В серой лесной почве при внесении торфяных компостов происходило более заметное увеличение содержания минерального азота, рН солевой, суммы поглощённых оснований, чем с торфом, навозом и мочевиной. Повышение плодородия почв подтверждалось существенной разницей прибавки урожайности в вариантах с компостами.

Конфигурация бурта влияла на активность разогрева соломисто-навозного компоста и содержание минерального азота. Оптимальный тепловой режим и максимальное содержание минерального азота наблюдались у бурта длиной 50 м и шириной 6 м. Средние показатели наблюдались в бурте с прямоугольной формой основания (30х10 м), низкие – в бурте с основанием в виде квадрата (20х20 м). При квадратной форме бурта разогрев компоста до температуры 50⁰С наблюдался только в восточной и южной стороне бурта, с западной – температура поднималась до 39⁰С, с северной стороны бурта температура в течение лета сохранялась ниже 10⁰С.

Повышение содержания гумуса в слое 0-40 см при внесении соломисто-навозного компоста составило в первый год 0,4 % (12 %), второй – 0,3 % (10 %), третий – 0,1 % (3 %). В динамике в течение трёх лет в слое 0-40 см преимущественное содержание аммонийной и нитратной форм азота

наблюдалось на варианте компост. Урожайность культур в среднем по трём годам исследований существенно повышалась при внесении 150 т/га компоста на 29 %. Рентабельность при применении компоста составила 43 %, на контроле – 44 %. Внесение органических удобрений затратная операция, но они длительно действуют на плодородие почв и урожайность культур.

Внесение торфа в дозах от 40 до 200 т/га как отдельно, так и совместно с пожнивными остатками рапса ярового, повышало содержание органического вещества в почве. Качественный состав органического вещества почвы к третьему году последствия удобрений достигал наилучших показателей при совместном внесении торфа и пожнивных остатков рапса. Соотношение Сгк/Сфк составляло 2,7. По содержанию фракций подвижных и связанных с кальцием гуминовых кислот, характеризующих эффективное плодородие почвы, совместное применение торфа и рапса превышало результат внесения чистого торфа на 0,56 и 1,85 % соответственно.

Совместное применение торфа и пожнивных остатков ярового рапса увеличивало биологическую активность почвы по сравнению с отдельно внесённым торфом и рапсом в среднем за четыре года наблюдений на 3,8 %.

Пожневные остатки рапса ярового в качестве сидерального удобрения снижали урожайность пшеницы яровой в первый год последствия. Снималось негативное действие рапса при совместном применении с торфом, внесённом в дозе 200 т/га.

Внесение в почву осадка сточных вод в дозе 3,5 и 5,0 т/га оказало положительное действие на энергию прорастания, лабораторную всхожесть, существенно повысило массу корневой системы и массу проростков тест-культуры. Дозы осадка 25 и 50 т/га по ряду показателей оказали существенное отрицательное действие на проростки пшеницы.

Осадок сточных вод с иловых площадок рекомендуется смешивать с почвой и торфом в соотношении 1:2:1, с торфом в соотношении 1:4 и с песком и торфом в соотношениях 1:1:2 и 1:2:2, угнетения растений при таких соотношениях не наблюдалось.

В результате анализа влияния грунтов на основе сапропеля на посевные качества семян и биометрические показатели проростков тест-культуры выделились грунты: торф:сапропель (1:4, 2:1), песок:сапропель (1:3) и торф:песок:сапропель (1:1:3).

Внесение питательного грунта (осадок сточных вод:песок:торф, в соотношении 1:2:2) в дозе 20 т/га в загрязненную почву снижало накопление растениями тяжелых металлов: цинка – на 36 %, кадмия – на 21 %, меди – на 11 %. Внесение питательного грунта в загрязненную почву совместно с обработкой семян гуминовым препаратом Ростком снижало интенсивность биологического поглощения тяжелых металлов растениями на 39 %, что предполагает возможность их совместного применения для биологической рекультивации.

РЕКОМЕНДАЦИИ

1. При приготовлении компоста формировать бурт с соотношением длины к ширине более 3:1, располагать с юга на север, так чтобы одна из длинных сторон бурта была расположена на восток.

2. В качестве органического удобрения допустимо внесение в почву осадка сточных вод в дозе не более 5,0 т/га. При приготовлении грунтов рекомендуется смешивать осадок сточных вод с компонентами в соотношении не менее 1:3.

3. Сапропель при приготовлении питательных грунтов и удобрительных смесей рекомендуется смешивать с компонентами в соотношениях: торф:сапропель – 2:1 и 1:4, песок:сапропель – 1:3, торф:песок:сапропель – 1:1:3, с добавлением гуминового препарата Росток (2 мл/кг).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Абызов С.С. Процессы фиксации азота при компостировании кислых торфов: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 1962. 18 с.

Агарков Л.И. Влияние способов заделки органических удобрений на некоторые физические свойства дерново-подзолистых песчаных почв // Деградация и восстановление лесных почв. М., 1991. С. 265-275.

Агрохимические методы использования почв. М., 1975. С. 63-105.

Адерихин П.Г., Усков Б.В., Дудкин Ю.И., Брехов М.Т. Потенциальное плодородие вскрышных пород КМА. Воронеж, 1978. 224 с.

Акинчин А.В., Кузнецова Л.Н., Линков С.А. Формирование урожая и качества силоса кукурузы в зависимости от способов обработки почвы и удобрений // Кукуруза и сорго. 2012. № 3. С. 18-21.

Александрова Л.Н. Органическое вещество почвы и процессы его трансформации. Л.: Наука, 1980. 287 с.

Александровская З.И., Кузьменкова А.М., Гуляев Н.Ф., Крхамбаров Я.Н. Санитарная очистка городов от твердых бытовых отходов. М.: Стройиздат, 1977. С. 215-217.

Алексеев Г.К. Влияние сидератов на плодородие почвы и урожайность сельскохозяйственных культур // Интенсификация земледелия в условиях рыночной экономики. Чебоксары, 1997. С.42-45.

Андреев В.А., Зимин В.Н., Быкова А.В. Способы снижения засоренности навоза// Земледелие. 1989. № 6. С. 59-61.

Аристархова В. О микробиологических превращениях и эффективности от их дополнительных компонентов // Проблемы экологии. Томск, 1976. Т. 4. С. 65-70.

Арчегова И.Б. Эффективная система природовосстановления – основа перспективного природопользования на Крайнем Севере: Докл. на общ. собр. Коми НЦ УрО РАН. Сыктывкар, 1998. С. 33-40.

Афанасьев А.Е., Смирнов В.И., Васильев А.Н., Болтушкин А.Н. Усовершенствованный способ производства торфонавозных удобрений в

полевых условиях // Роль минерально-сырьевой базы Сибири в устойчивом функционировании плодородия почв: Мат. Всерос. науч.-практ. конф. Красноярск, 2001. С. 257-258.

Афанасьев И.И., Русонович А.М., Янович Н.И. Водный режим супесчаных почв Белоруссии // Изв. АН БССР. Сер. с.-х. н. 1975. № 4. С. 17-21.

Баева Н.Н. Количество и наземный состав наземных и корневых остатков в дерново-подзолистых почвах легкого механического состава // Агрономические особенности почв и поднятие их производительности. Ереван, 1983. С. 22-27.

Базилевич Н.И., Гребенщиков О.С., Титков А.А. Географические закономерности структуры и функционирования экосистемы. М., 1986. 296 с.

Байбеков Р.Ф., Мерзлая Г.Е., Власова О.А. Агроэкологическая оценка действия органических и органоминеральных удобрений в полевом севообороте // Земледелие. 2016. № 7. С. 16-19.

Байбеков Р.Ф., Мерзлая Г.Е., Власова О.А. Использование органических отходов для удобрения агроценозов // Земледелие. 2015. № 2. С. 34-36.

Байбеков Р.Ф., Мерзлая Г.Е., Власова О.А., Налиухин А.Н. Изучение удобрений на основе осадков сточных вод // Агрохимический вестник. 2013. № 6. С. 28-30.

Баранов А.П., Касатиков В.А., Ладан С.С. Оценка рисков загрязнения кадмием агроценозов с длительным применением осадка городских сточных вод // Плодородие. 2021. № 2. С. 60-64.

Барановский И.Н. Роль органического удобрения в плодородии дерново-подзолистой почвы и урожайности сельскохозяйственных культур: Автореф. дис. ... д. с.-х. н.: / Тверская ГСХА. СПб., Пушкин, 1995. 35 с.

Барановский И.Н., Подолян Е.А. Удобрительные смеси с участием сточных вод на дерново-подзолистых почвах // Молочнохозяйственный вестник. 2017. № 3 (270). С. 16-25.

Бахвалова С.А., Федорова А.В. Сидераты и урожайность яровой пшеницы // Плодородие. 2021. № 2. С. 36-38.

Безуглова О.С., Казеев К.Ш., Колесников С.И., Назеренко О.Г. Современное состояние черноземов Ростовской области // Современное состояние черноземов: Мат. Междунар. науч. конф. Ростов-на-Дону, 2013. С. 6-10.

Бердников А.М. Научное обоснование применения зеленых удобрений в современном земледелии на дерново-подзолистых почвах Полесья УССР: Автореф. дис. ...д-ра б. н. / Беларусс. НИИ почвоведения и агрохимии. Минск, 1990. 38 с.

Бессарабова А.А. Изменение качества состава гумуса при внесении органических удобрений // Научные и прикладные вопросы мониторинга земель Дальнего Востока. Владивосток, 1993. С. 70-75.

Блинков Г.Н. Об эффективности торфяных удобрений в условиях Томского района // Химизация сельского хозяйства в Сибири. Новосибирск, 1968. С. 39-42.

Блинова Г.М. Условия и способы превращения азота торфа в соединения усвояемые растениями: Автореф. дис. ... к. с.-х. н. М., 1975. 20 с.

Бодрова Е.М., Озолина З.Д. Органические удобрения. М., 1963. С. 20.

Бодрова Е.М., Озолина З.Д. Совместное применение органических и минеральных удобрений. М., 1965. 140 с.

Божков Д.В., Бирюкова О.А., Нор-Аревян В.С., Медведева А.М. Мониторинг плодородия чернозема обыкновенного Ростовской области // Современное состояние черноземов: Мат. Междунар. науч. конф. Ростов-на-Дону, 2013. С. 50-52.

Большева Т.Н., Валитова А.Р., Кижаккин П.П., Касатиков В.А. Результаты утилизации осадков сточных вод во Владимирской области // Агрохимический вестник. 2006. № 1. С. 28-29.

Бондарь Л.П., Синовский Г.В. Удобрения на основе торфа и жидкого навоза промышленных и животноводческих комплексов // Торфяная промышленность. 1982. № 4. С. 27-28.

Борисова Е.Е. Применение сидератов в мире // Вестник НГИЭИ. 2015. № 6 (49). С. 24-33.

Бортник Т.Ю., Клековкин К.С., Карпова А.Ю., Башков А.С. Последствие длительного использования систем удобрения на показатели плодородия почвы // Плодородие. – 2022. – № 3. – С. 42-45.

Брыксина Т.С., Грехова И.В. Влияние свалки бытовых отходов на свойства почвы // Актуальные вопросы науки и хозяйства: новые вызовы и решения: Сб. мат. LI Междунар. студ. науч.-практ. конф. Тюмень, 2017. С. 20-22.

Булгаков Д.С., Молчанов Э.Н., Карманов И.И., Рожков В.А. Проблемы исследования деградации почв // Ресурсный потенциал почв – основа продовольственной и экологической безопасности России: Мат. Междунар. науч. конф. С-Пб., 2011. С. 11-13.

Бурак Ю.К. Использование торфа в сельском хозяйстве. М., 1975. С. 13-15.

Ванюшина А.Я., Кутепов В.В. Физико-химические аспекты технологии компостирования сброженного осадка сточных вод // Почвы и окружающая среда. 2004. С. 277.

Васенев И.И., Сюняев Н.К., Бадарч Б. Агроэкологическая оценка характерных для Калужской области старопахотных дерново-подзолистых почв после неоднократного применения свежих и обезвоженных осадков сточных вод // Достижения науки и техники АПК. 2010. № 10. С. 12-16.

Васильев А.А. Влияние сидератов на фитосанитарное состояние агроэкосистем картофеля // Пермский аграрный вестник. 2014. № 3 (7). С.3-10.

Вермиш Л.П. Пути использования сточных вод в сельскохозяйственной практике // Междунар. с/х журнал. 1978. № 6. С. 77-80.

Виноградский С.Н. Микробиология почвы. М., 1952. 792 с.

Владимирова М.Н. Изменение содержания и состава гумуса в тяжелосуглинистых дерново-подзолистых почвах при внесении высоких доз органических удобрений // Гумус и почвообразование. Л.-Пушкин, 1973. Т. 206. С. 30-34.

Возняковская Ю.М., Попов Ж.П. Сидеральные удобрения – регуляторы почвенно-микробиологических процессов в условиях почв утомления. // Докл. ВАСХНИЛ. 1988. № 2. С. 6-9.

Вопросы системы земледелия зоны достаточного увлажнения Тюменской области. Рекомендации. Тюмень, 1970. 72 с.

Воробьев С.А. Севообороты интенсивного земледелия. М., 1979. 368 с.

Вышимский А.М. Органические удобрения и значение торфа в их накоплении. Киев, 1965. 348 с.

Гавар С.П., Макаров А.Р., Кошелев Б.С. Влияние сидерального удобрения на урожай зерновых культур в лесостепной зоне Омской области // Агрохимия. 1997. № 3. С. 41-46.

Газизов Р.Р., Яппаров А.Х., Биккинина Л.М.-Х., Суханова И.М. Влияние осадков сточных вод на плодородие выщелоченного чернозема и урожайность яровой пшеницы // Агрохимический вестник. 2016. № 4. С. 16-19.

Гамзиков Г.П. Азот в земледелии Западной Сибири. М., 1981. 267 с.

Гамзиков Г.П. Изменение органического вещества сезонно-мерзлотных почв при длительном систематическом применении удобрений // Ресурсный потенциал почв – основа продовольственной и экологической безопасности России: Мат. Междунар. науч. конф. С-Пб., 2011. С. 47-48.

Гамм Т.А., Гривко Е.В., Идигенов Б.Б. Влияние на урожай яровой пшеницы удобрений из органических отходов на черноземе обыкновенном // Плодородие. 2023. № 2. С. 76-79.

Ганжара Н.Ф. Гумусообразование и агрономическая оценка органического вещества подзолистых и черноземных почв европейской части СССР: Автореф. дис. ... д-ра б. н. М., 1988. 410 с.

Ганжара Н.Ф. Гумусообразование и агрономическая оценка органического вещества почв. М., 1997. 81 с.

Гармаш Н.Ю. Влияние органических удобрений на состав гумуса дерново-подзолистой почвы // Химия в сельском хозяйстве. 1996. № 5. С. 22-25.

Герасимова М.И., Строганова М.Н., Можарова Н.В., Прокофьева Т.В.

Антропогенные почвы: генезис, география, рекультивация // Учебное пособие. Смоленск, 2003. 268 с.

Голштайн В., Боинчан Б. Ведение хозяйств на экологической основе в лесостепной и степной зонах Молдовы, Украины и России. М., 2000. 260 с.

Гордеев В.Ю. Технологический процесс и оборудование для производства комплексных торфопометных удобрений // Новое в технике и технологии добычи торфа и комплексном его использовании: Тр. ВНИИТП. Л., 1976. Вып. 37. С. 126-128.

Гребенников А.М. Влияние сороочищающей способности сидеральных агрообществ на урожай последующих культур // Плодородие. 2021. № 4. С. 53-55.

Грехова И.В. Влияние удобрений на агрохимические свойства почвы // Современные проблемы научного обеспечения АПК и подготовки кадров: Мат. науч.-техн. конф. Тюмень, 1989. С. 74-75.

Грехова И.В. Динамика азота в процессе компостирования торфа с навозом и птичьим пометом // Сборник научных трудов: секция агрохимии, почвоведения и агроэкологии. Екатеринбург, 2002. Т. 3. С. 185-191.

Грехова И.В. Изменения азотных соединений в торфе и компостах // Земледелие. 2005. № 3. С. 12-13.

Грехова И.В. Опыт компостирования низинного торфа с навозом и пометом // Поиск и творчество молодых – реализации продовольственной программы: Мат. науч.-практ. конф. Тюмень, 1985. С. 36.

Грехова И.В. Применение органических удобрений // Аграрная наука и образование в условиях аграрной реформы в Тюменской области: проблемы, поиски, решения. Тюмень, 1997. С. 72-73.

Грехова И.В. Характеристика низинных торфов Зауралья и их использование для воспроизводства плодородия почв: Дис. ... д. б. н. Тюмень, 2005. 404 с.

Грехова И.В. Эффективность применения органических удобрений // Химические проблемы отраслей народного хозяйства Тюменского региона и пути их решения: Тез. докл. обл. конф. Тюмень, 1991. С. 65.

Григорьева Е.Е. Гумус дерново-подзолистых почв. М., 1995. 73 с.

Гудилин И.И., Алиев С.А., Киселева Л.Н. и др. Повышение эффективности использования торфа в сельском хозяйстве // Использование торфа и торфяников в с/х Западной Сибири. Новосибирск, 1985. С. 3-16.

Давлятшин М.А., Хабабрахманов Х.Х. Изучение способов заделки пожнивного сидерата под яровую пшеницу: Мат. науч. конф. Казань, 1992. Ч. 1. С. 33-35.

Данилов-Данильян В.И. Экология, охрана природы и экологическая безопасность. М.: Изд-во МНЭПУ, 1997. С. 619.

Довбан К.И. Зеленое удобрение в современном земледелии: вопросы теории и практики // Минск, 2009. 404 с.

Довбан К.И., Довбан В.К. Сидерация в интенсивном земледелии. М., 1992. 67 с.

Довбан К.И., Довбан В.К., Бардинов Ф.Г. Сидерация в интенсивном земледелии // ВНИИТЭИагропром. М., 1992. 68 с.

Должиков Н.Ф. Утилизация птичьего помета // Химизация сельского хозяйства. 1990. № 12. С. 33-34.

Донских И.Н., Назарова А.В., Оливье Эвани. Групповой и фракционный состав гумуса дерново-подзолистой суглинистой почвы при различных системах удобрения // Агрохимия. 1997. № 5. С. 20-27.

Дубенок Н.Н., Шевченко В.А., Соловьев А.М. Использование органических отходов животноводческих комплексов при восстановлении плодородия малопродуктивных земель Нечерноземной зона // Плодородие. 2021. № 3. С. 99-103.

Дудин В.М., Лобков В.Т. Биологизация земледелия: основные направления // Земледелие. 1990. № 12. С. 43-46.

Дунсин Ч., Касатиков В.А., Раскатов В.А. Изменение агроэкологических параметров дерново-подзолистой почвы при применении органо-растительного компоста на основе осадка сточных вод // Известия ТСХА. 2005. Вып. 4. С. 24-31.

Дырин В., Блинков Г. О биологической активности низинного торфа // Вопросы биологии и агрономии. Томск, 1976. С. 3-25.

Егоров А.В. Эффективность применения зеленых удобрений в звене севооборота на серых лесных почвах южной лесостепной зоны Башкирской АССР: Автореф. дис. ... канд. с-х. наук. М., 1989. 22 с.

Егоров В.В. Некоторые вопросы повышения плодородия почв // Почвоведение. 1981. № 10. С. 71-79.

Елькина Г.Я., Константинова Т.П. Действие высоких доз органических удобрений на мелиорированных подзолистых почвах // Агрохимия. 1998. № 5. С. 68-75.

Еськов А.И. Органические удобрения в земледелии России // Дождевые черви и плодородие почв: Мат. Междунар. науч.-практ. конф. Владимир, 2004. С. 129-131.

Еськов А.И., Новиков М.Н., Лукин С.М., Тарасов С.И. Итоги длительных исследований по влиянию органических удобрений на плодородие почв, урожай сельскохозяйственных культур и окружающую среду. // Земледелие на рубеже XXI века: Сб. докл. Межд. науч. конф. М.: Изд-во МСХА, 2003. С. 140-145.

Жагрин Б.С. Накопление и повышение качества органических удобрений. Минск, 1982. С. 9.

Желязко В.И., Михальченко Н.Н., Копытовский В.В. Приготовление органических удобрений из жидкого навоза // Дождевые черви и плодородие почв: Мат. Межд. науч.-практ. конф. Владимир, 2004. С. 78-79.

Жигарева Ю.В. Оценка эффективности применения осадков сточных вод при возделывании картофеля // Вестник АГУ. 2018. Вып. 1 (216). С. 117-122.

Жуланова В.Н., Чупрова В.В. Оценка агропочвенного потенциала земледельческой территории Тувы // Почва как связующее звено функционирования природных и антропогенно-преобразованных экосистем: Мат. III Междунар. науч.-практ. конф. Иркутск, 2011. С. 265-268.

Завьялова Н.Е., Косолапова А.И., Соснина И.Д. Гумусное состояние и азотный фонд дерново-подзолистой почвы Предуралья в условиях интенсивного землепользования // Агрохимия. 2004. № 9. С. 21-25.

Захаров Н.Г. Рекультивация и охрана земель: Учебно-методический комплекс. Ульяновск: Изд-во Ульяновской ГСХА, 2007. 217 с.

Зезюков Н.И., Коржов С.И. Влияние соломы и сидеральных удобрений на микробиологические процессы в черноземе выщелоченном // Научное наследие В.В. Докучаева и современного земледелия. М., 1992. Ч. 1. С. 177-183.

Зыбалов В.С. Влияние поукосного рапса при использовании его на корм и зеленое удобрение на засорение почвы и посевов яровой пшеницы // Основы совершенствования звеньев зональных систем земледелия в Западной Сибири. Омск, 1992 (1993). С. 46-49.

Иванова Н.И. Микробиологические процессы и трансформация гумуса в черноземных почвах УССР при сидерации: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Киев, 1991. 22 с.

Ивлев А.М., Дербенцева А.М. Деградация почв и их рекультивация. Владивосток: ИД ДВГУ, 2002. 77 с.

Игошина О.В., Наумова Н.Н. Сукцессия сообществ беспозвоночных при компостировании и вермикомпостировании // Дождевые черви и плодородие почв: 2-я Межд. науч.-практ. конф. Владимир, 2004. С. 105-107.

Ильина Л.В., Дрожжин К.Н. Научная информация о результатах 30-летнего полевого опыта на серых лесных почвах // Земледелие на рубеже XXI века. Сб. докл. Межд. науч. конф. М., 2003. С. 88-94.

Иутинская Г.А., Иванова Н.И., Воцелко С.К., Голобородько С.П. Особенности гумусообразования при сидерации южных орошаемых черноземов // Почвоведение. 1994. № 3. С. 83-89.

Кант Г. Зеленое удобрение. М., 1982. 128 с.

Карпухин В.Т. Применение компостов под возделываемые культуры // Химизация сельского хозяйства. 1991. № 6. С. 23-25.

Касатиков В.А. Влияние мелиоративных доз осадка городских сточных вод на азотный режим дерново-подзолистой почвы и продуктивность зерновых культур // Агрохимия. 2020. № 6. С. 64-68.

Касатиков В.А., Еськов А.И., Черников В.А. и др. Влияние мелиорантов и осадков сточных вод на миграцию тяжелых металлов в дерново-подзолистой супесчаной почве // Известия ТСХА. 2003. № 1. С. 33-43.

Касатиков В.А., Шабардина Н.П., Раскатов В.А. Влияние осадка городских сточных вод на агробиологические показатели дерново-подзолистой почвы и продуктивность культур // Плодородие. 2022. № 1. С. 38-42.

Касимова Л.В., Класс А.Я., Порываева О.В. Компост в зимних условиях: способы подготовки и внесения // Земля Сибирская, Дальневосточная. 1988. № 2. С. 23-24.

Квасов В.А. Органические удобрения и плодородие почв // Химизация сельского хозяйства. 1991. № 12. С. 17-19.

Кирюшин В.И. и др. Концепция оптимизации режима органического вещества почв в агроландшафтах. М., 1993. 96 с.

Кирюшин В.И., Кирюшин С.В. Агротехнологии: Учебник. СПб.: Изд-во Лань, 2015. 464 с.

Кирюшин В.И., Усенко В.И., Мосторовой М.И., Чуканов В.И. Эффективность торфонавозных компостов на черноземах Западной Сибири // Агрохимия. 1988. № 4. С. 67-73.

Ковда В.А. Биогеохимия почвенного покрова. М.: Наука, 1985. С. 57.

Козлова Л.М. Влияние севооборотов на показатели плодородия дерново-подзолистых почв и урожайность сельскохозяйственных культур в Волго-Вятском регионе: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Пермь, 1996. 19 с.

Коржов С.И. Динамика почвенных микроорганизмов при разложении различных видов органических удобрений // Воспроизводство плодородия черноземов в Центрально-Черноземной зоне. Воронеж, 1992. С. 112-115.

Кормилицын В.Ф. Сидеральный пар в орошаемом земледелии Поволжья // Земледелие. 1994. №4. С. 8-10.

Коротков А.А., Ипполитова Л.Ф. О некоторых особенностях почвообразования в дерново-подзолистых пахотных песчаных почвах. Науч. тр. СХИ. Л., 1976. Т. 296. С. 3-13.

Косолапова А.И., Завьялова Н.Е. Приёмы повышения устойчивого развития агроландшафтов Предуралья // Агроэкологические аспекты адаптивно-ландшафтного земледелия и органическое вещество пахотных почв Предуралья: Тр. Пермского НИИСХ. Пермь, 2006. С. 37-42.

Котченко С.Г., Еремин Д.И., Груздева Н.Г. Дегумификация пашни, ее причины и меры предотвращения в Тюменской области // Плодородие почв и оценка продуктивности земледелия. VIII Сибирские Прянишниковские агрохимические чтения: Мат. междунар. науч.-практ. конф. Тюмень, 2018. С. 302-306.

Кочергин А.Е. Условия питания зерновых культур азотом, фосфором и калием и применение удобрений на черноземах Западной Сибири: Автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. М., 1965. 40 с.

Кочергин А.Е., Рущик Г.А., Вольщук А.Т. Режим нитратного азота и обменного аммония в серых лесных почвах подтаежной зоны Омской области // Агрохимия. 1983. № 5. С. 3-9.

Красножен С.М. Эффективность поукосных сидеральных культур, как предшественников яровой пшеницы // Наука – сельскому хозяйству. Курган, 1994. С. 7-10.

Криволапов И.П. Анализ биохимических процессов при компостировании // Вестник МичГАУ. 2010. № 1. С. 65-68.

Кудрявцев В.Н. Приготовление органических удобрений на промышленной основе // Химизация сельского хозяйства. 1989. № 5. С. 31-34.

Кузин Е.Н., Ильвачов Ю.А. Влияние зеленых и органических удобрений на структурное состояние чернозема выщелоченного // Развитие научного наследия академика Н.И. Вавилова: Тез. Межд. науч. конф. Саратов, 1997. Ч. 2. С. 56-62.

Кузин Е.Н., Кузина А.Н. Влияние органических удобрений и сидератов на агрофизические свойства чернозема выщелоченного и урожайность сельскохозяйственных культур // Проблемы земледелия в Поволжье. Саратов, 1996. С. 111-120.

Кузьменко Н.Н. Влияние насыщенности севооборота органическими и минеральными удобрениями на плодородие, урожайность и качество льнопродукции // Плодородие. 2022. № 1. С. 29-32.

Кук Дж. У. Регулирование плодородия почвы. М., 1970. 520 с.

Курганский В.П. Приемы приготовления торфо-навозных компостов в летнее время и их эффективность: Автореф. дис. ... к.с.-х.н. Жодино, 1972. 30 с.

Куркова Т.Н., Скрыпник Л.Н. Определение микрограммовых количеств селена в растениях методом атомно-абсорбционной спектроскопии с проточно-инженерным генерированием гибридов // Химическое загрязнение среды обитания и проблемы экологической реабилитации нарушенных экосистем: Сб. мат. II Всерос. науч.-практ. конф. Пенза, 2004. С. 100-102.

Лавровский В.И. Влияние органического вещества разных видов и норм навоза на баланс углерода и другие показатели плодородия почвы // Вопросы теории и практики повышения плодородия почв: тез. докл. Всесоюз. школа молодых ученых и специалистов. Москва, 1981. С. 131-132.

Ларионова А.А. Влияние азотных удобрений на разложение целлюлозы в зависимости от отношения C/N в почве // Почвоведение. 1994. № 9. С. 143-150.

Лашнев В.И., Малков А.А., Тюрина Р.И. и др. Основные результаты исследований в области производства торфяной продукции для сельского хозяйства // Торфяная промышленность. 1985. № 11. С. 12-16.

Лашнев В.И., Шуфинская З.Н. Применение торфопометных компостов в тепличном овощеводстве // Торфяная промышленность. 1983. № 12. С. 11-13.

Лашнев В.И., Шуфинская З.Н., Головина А.В. Результаты исследований по хранению торфопометных компостов // Торфяная промышленность. 1985. № 10. С. 16-18.

Лебедева Т.Б., Надежкин С.М. Зеленые удобрения на черноземных почвах Пензенской области // Проблемы села сегодня и завтра. Пенза, 1996. С. 80-82.

Лебедева Т.Б., Надежкин С.М. Изменение состава гумуса чернозема выщелоченного под воздействием зеленого удобрения // Экологические проблемы земледелия: Мат. науч.-практ. конф. Пенза, 1996. С. 27-29.

Лебедева Т.Б., Надежкин С.М. Использование сидеральных удобрений в лесостепи Среднего Поволжья // Экологические проблемы в агропромышленном комплексе Среднего Поволжья. Пенза, 1995. С. 28-29.

Левин Ф.И. Вопросы окультуривания, деградации и повышения плодородия почв. М., 1983. 92 с.

Лесто Н.К., Подзорова З.М. Способы приготовления торфяных удобрений и их эффективность на различных сельскохозяйственных культурах // Использование торфа и торфяников в сельском хозяйстве Западной Сибири. Новосибирск, 1981. С. 37-48.

Летяго С.В. Эффективность органических удобрений в зависимости от сроков их внесения в условиях дерново-подзолистых легкосуглинистых почв Центральной Зоны БССР: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Горки, 1975. С. 11.

Лопес де Гереню В.О. О выборе конструкции установки ускоренного компостирования // Торфяная промышленность. 1992. № 2. С.43-44.

Лошаков В.Г. Зеленое удобрение в земледелии Нечерноземной зоны // Владимирский земледелец. 2013. № 1 (63). С. 13-18.

Лошаков В.Г. Итоги исследований по севооборотам / Земледелие на рубеже XXI века: Сб. докл. Межд. науч. конф. М., 2003. С. 218-226.

Лошаков В.Г. Роль севооборота в современном земледелии / Земледелие на рубеже XXI века: Сб. докл. Межд. науч. конф. М., 2003. С. 36-43.

Лошаков В.Г. Севооборот и биологическое окультуривание дерново-подзолистых почв // Окультуривание почв: научные основы, опыт и направление. М., 1991. С. 9-15.

Лукин С.М., Золкина Е.И., Марчук Е.В. Влияние длительного применения удобрений на продуктивность севооборота, содержание и качественный состав органического вещества почвы // Плодородие. 2021. № 3 (120). С. 93-98.

Лукин С.М., Марчук Е.В. Эффективность использования торфо-навозных компостов // Мелиорация и водное хозяйство. 1996. № 2. С. 39.

Лушников Н.С., Чмелев М.П. Применение органических удобрений на основе торфа и их агроэкономическая эффективность // Тр. Всесоюз. НИИТП. Л., 1983. Вып. 51. С. 7-20.

Лыков А.М. Агроэкологическая оценка органического вещества легкосуглинистой почвы в длительном полевом опыте ТСХА // Длительному полевому опыту 90 лет: итоги научных исследований. М., 2002. С. 169-246.

Лыков А.М. Воспроизводство органического вещества в почве при интенсивном земледелии // Химизация сельского хозяйства. 1989. № 10. С. 27-31.

Лыков А.М. Воспроизводство плодородия почв Нечерноземной зоны. М., 1982. 143 с.

Лыков А.М. Превращения органического вещества и азота в дерново-подзолистой почве в длительном опыте ТСХА // Почвоведение. 1973. № 11. С. 53-61.

Лыков А.М. Превращения органического вещества и азота в дерново-подзолистой почве в длительном опыте ТСХА // Почвоведение. 1973. № 11. С. 53-61.

Майборода Н.М., Терехова В.Ф. Агроруды Красноярского края – на службу урожаю // Роль минерально-сырьевой базы Сибири в устойчивом функционировании плодородия почв: Мат. Всеросс. науч.-практ. конф. Красноярск, 2001. С. 59-66.

Макаренко С.В. Технологии компостирования // Химизация сельского хозяйства. 1989. № 11. С. 23-26.

Макаров И.Б. Плодородие и продуктивность почв: соотношение понятий // Плодородие. 2007. № 3. С 33-35.

Малышев И.Г. Проблемы производства и применения органических удобрений // Химизация сельского хозяйства. 1991. № 5. С. 32-35.

Малышев Ф.А., Лато Л.П., Походня Н.А., Красноберская О.Г. Превращение органического вещества торфа // Химизация с/х. 1990. № 6. С. 40-44.

Мальцев В.Т., Мошкарёв В.Н., Останин В.А., Лозовая Н.Г. Влияние различных приёмов известкования на агрохимические свойства серой лесной кислой почвы и продуктивность севооборота в Прибайкалье // Агрохимия. 2011. № 3. С. 24-32.

Малюга А.А., Маринкина Г.А., Баранов Д.С., Васильев В.Г. Роль предшественников в борьбе с ризоктониозом картофеля // Защита и карантин растений. 2011. № 1. С. 28-30.

Мамаев В.В., Сычева И.В., Сычев М.С. Влияние гуминовых и минеральных удобрений на урожайность озимой пшеницы // Агрохимический вестник. 2015. № 5. С. 10-12.

Мамченков И.П. Органические удобрения. М., 1965. 53 с.

Манорик А.В., Васильченко В.Ф., Ничик М.М. Физиологически активные вещества навозных и торфонавозных компостов // Роль минеральных элементов в обмене веществ и продуктивности растений. М., 1964.

Матвеева В.И. Влияние органических удобрений на соломенной и торфяной основах на плодородие почв и продуктивность растений // Бюлл. ВИУА. 1984. Вып. 65. С. 13-18.

Матросова Л.Е., Сергейчев А.И., Тремасов М.Я., Равилов А.З. Ускоритель ферментации (УФ-1) – основа получения экологически чистого органического удобрения // Дождевые черви и плодородие почв: Мат. Междунар. науч.-практ. конф. Владимир, 2004. С. 80-81.

Межевова А.С., Азаров А.С. Осадок сточных вод – высокоэффективное удобрение // Плодородие. 2021. № 5. С. 95-97.

Мельник И.А. Источники плодородия // Земледелие. 1989. № 7. С. 24-26.

Мерзлая Г.Б., Степанов А.И. Эффективность торфопометных компостов при выращивании картофеля в Центральной Якутии // Агрохимия. 1992. № 12. С. 64-67.

Мерзлая Г.Е. Агроэкологическая оценка использования осадка сточных вод г. Москвы // Агрохимия. 2009. № 5. С. 102-108.

Мерзлая Г.Е., Береснев Б.Г., Нестерович И.А., Матюшина Т.И., Белоус Н.М. Экологические аспекты применения бесподстильного навоза // Химизация. 1990. № 7. С. 43-46.

Мерзлая Г.Е., Володарская Н.И. Охрана окружающей среды при использовании бесподстильного навоза // Химизация с/х. 1991. № 1. С. 47-51.

Мерзлая Г.Е., Воробьева Р.П. Агроэкологический эффект использования осадков сточных вод // Вода: экология и технология: Сб. докл. 7-го Междунар. конгресса ЭКВАТЭК-2006. Ч. 2. М., 2006. С. 763.

Милащенко Н.З. Состояние плодородия почв России и меры по стабилизации производства зерна // Химия в с/х. 1996. № 5. С. 3-8.

Миллер В.В., Юрина Г.М. Влияние условий компостирования животноводческих стоков на процесс гумификации: Сб. науч. тр. / НИПТИМЭСХ Нечерноземной Зоны РСФСР, 1986. Вып. 49. С. 87-94.

Миллер Н.И., Миллер С.С., Рзаева В.В. Влияние основной обработки почвы и органических удобрений на урожайность и экономическую эффективность кукурузы в Западной Сибири // Вестник МичГАУ. 2023. № 1 (72). С. 45-49.

Миллер С.С., Дёмин Е.А., Миллер Е.И., Фоминцев А.В. Влияние органических удобрений на продуктивность зернопропашного севооборота в условиях лесостепной зоны Зауралья // Вестник Мичуринского ГАУ. 2022. № 4 (71). С. 93-97.

Милюткин В.А., Марковский А.А., Науметов Р.В. Использование сидератов в лесостепи Поволжья // Земледелие. 1999. № 6. С. 22-23.

Минеев В.Г. Экологические проблемы агрохимии. М., 1988. 285 с.

Миронов С.Ю., Протасова М.В., Проценко Е.П., Балабина Н.А., Лукьянчикова О.В. Технологические направления по переработке органических отходов // Auditorium. Электронный научный журнал Курского ГУ. 2017. № 1 (13).

Мишустин Е.Н. Ассоциация почвенных микроорганизмов. М., 1975. 107 с.

Мозжерин Н.М. Стимуляция образования физиологически активных веществ в почве органическими удобрениями // Использование торфа и торфяников в сельском хозяйстве Западной Сибири. Новосибирск, 1985. С. 55-61.

Молявко А.А., Старко М.Н. Эффективность торфонавозного компоста на основе жидкого навоза при внесении под картофель // Химия в с/х. 1984. № 7. С. 17-18.

Мудрых Н.М. Органические удобрения в Пермском крае: современная оценка потенциала и перспективы эффективного использования // Плодородие почв и оценка продуктивности земледелия. VIII Сибирские Прянишниковские агрохимические чтения: Мат. Междунар. науч.-практ. конф. Тюмень, 2018. С. 276-281.

Мукина Л.Р. Перспективы получения удобрений нового поколения на основе агроруд Сибири // Роль минерально-сырьевой базы Сибири в устойчивом функционировании плодородия почв: Мат. Всерос. науч.-практ. конф. Красноярск, 2001. С. 8-13.

Муравин Э.А. Агрохимия. М., 2003. С. 75-85.

Назаренко И.И., Свиридов А.Н. Трансформация гумуса оподзоленного чернозема, систематически удобряемого торфонавозными компостами: Сб. науч. тр. Харьковский СХИ. 1982. Вып. 284. С. 43-47.

Назарова А.В., Митяшина С.Н. Эколого-протекторная функция гуминовых веществ при загрязнении почвы и растений тяжелыми металлами // Гуминовые вещества в биосфере: Тез. докл. 2 Межд. конф. М., 2003. С. 84-85.

Назарюк В.М. Баланс и трансформация соединений углерода и азота при окультуривании малогумусных почв // Почвоведение. 1989. № 9. С. 35-43.

Назарюк В.М. Роль растительных остатков с малым соотношением C\N в балансе азота почвы // Проблемы почвоведения в Сибири. Новосибирск, 1990. С. 100-108.

Нарциссов В.П. Научные основы систем земледелия. М., 1982. 328 с.

Некрасов В.А., Лашнев В.И. Исследования и разработки в области приготовления и применения торфяной продукции для с/х // Торф, его свойства и перспективы применения: Тр. Межд. симп. МТО. Минск, 1982. С. 556-559.

Немчинов А.А. Болотные почвы и их использование / М.-Л., 1953. 108 с.

Николаева З.Ф. Эффективность различных видов торфа и торфонавозных компостов, приготовленных из них: Дис. ... канд. с.-х. н. Жодионо, 1974.

Николайкин Н.И., Николайкина Н.Е., Мелехова О.П. Экология: Учебник для вузов ФГУИПП. Нижполиграф, 2006. С. 129-134.

Новиков М.Н., Рябков В.В. Использование птичьего помета на удобрение // Земледелие. 1987. № 8. С. 53-55.

Новиков М.Н., Тамонов А.М., Фролова Л.Д., Ермакова Л.И. Сидераты в земледелии Нечерноземной зоны // Агрохимический вестник. 2013. № 4. С. 20-26.

Новицкий М.В. Гумусовый режим дерново-подзолистых почв и роль трансформации органического вещества в его формировании: Лекция. Л., 1985. 31 с.

Новицкий М.В. Превращение растительных остатков и вынос органических веществ в дерново-подзолистых суглинистых почвах: Автореф. дис. ... канд. с.-х. н. Л.-Пушкин, 1971. 23 с.

Новоселов С.И. Влияние севооборота и удобрений на урожайность сельскохозяйственных культур и плодородие почвы // Вестник Марийского ГУ

серия: Сельскохозяйственные науки. Экономические науки. 2017. № 1. С. 60-65.

Нормы и рационы кормления сельскохозяйственных животных: Справочное пособие. М., 1985. С. 331; С. 339.

Органические удобрения (метод. рекоменд.). Новосибирск, 1989. 43 с.

Орлов Д.С. Гумусовые кислоты почв. М., 1974. 333 с.

Орлов Д.С., Садовникова Л.К., Суханова Н.И. Химия почв. М.: Изд-во «Высшая школа», 2005. 558 с.

Орлов Д.С., Сдобников С.С., Аммосова Я.М., Шевцов Н.М., Мельников В.А. Теория гумусообразования и рациональное использование органических удобрений // Проблема гумуса в земледелии и использовании органических удобрений. Владимир, 1987. С. 8-9.

Отаббонг Э., Якименко О.С., Садовникова Л.К. Влияние городских осадков сточных вод на доступность биогенных элементов в вегетационном эксперименте // Агрохимия. 2001. № 2. С. 55-60.

Парнов Е.И., Оршанский Р.Б. Рассказ о торфе. М., 1966. С. 206-207.

Пахненко Е.П., Ермаков А.В., Убугунов Л.Л. Влияние осадков сточных вод города Улан-Удэ на свойства почвы, продуктивность и качество // Вестник Моск. ун-та. Сер. 17. Почвоведение. 2009. № 4. С. 33-39.

Переверзев В.Н. Роль органического вещества в почвообразовании и плодородии почв на Крайнем Севере: Автореф дис. ...д-ра с-х. н. Пушкин, 1985. 32 с.

Пестряков В.К. Окультуривание почв Северо-Запада. Л., 1973. 254 с.

Петербургский А.В. Агрохимия и физиология питания растений. 2-е изд., перераб. М., 1981. 184 с.

Петербургский А.В. Корневое питание растений. М., 1964. 108 с.

Петербургский А.В. Круговорот и баланс питательных веществ в земледелии. М., 1979. 168 с.

Петрунина В.А. Ускоренная технология производства органических удобрений // Дождевые черви и плодородие почв: Мат. Межд. науч.-практ. конф. Владимир, 2004. С. 123-125.

Петухин Ю.А., Пятакин В.Н. Производство органических удобрений // Химизация с/х. 1989. № 11. С. 33-35.

Пиминенко М.И., Савощенко З.П. Использование излишков соломы в сочетании с редькой масличной на зеленое удобрение // Известия Академии аграрных наук Республики Беларусь. 1996. № 2. С. 44-47.

Плотников А.М., Башмаков Е.О., Канашова Е.Е. Урожайность и качество ячменя при последствии извести и сапропеля // Вестник Курганской ГСХА. 2016. № 7. С. 224-226.

Подзорова З.М. Ресурсы и пути использования торфа в сельскохозяйственном производстве Западной Сибири. Новосибирск, 1983. 25 с.

Подзорова З.М. Эффективность органических удобрений, приготовленных на торфяной основе, при возделывании яровой пшеницы в севообороте // Гуминовые удобрения. Теория и практика их применения: Сб. науч. тр. Днепропетровск, 1983. С. 79-81.

Полетаева Л., Воронаев В. Влияние сроков внесения торфонавозного компоста на урожай и качество кормовой свеклы: Сб. науч. тр. Л., 1979. Вып. 383. С. 113-115.

Пономарева В.В., Плотникова Т.А. Гумус и почвообразование. Л., 1980. 221 с.

Попова Ж.Н., Вознесенская Н.М. Влияние зеленого удобрения на урожайность зерновых культур // Земледелие. 1994. № 6. С. 21-22.

Посыпанов Г.С. Методы изучения биологической фиксации азота в воздухе: Справочное пособие. М., 1991. 300 с.

Практикум по кормлению с.-х. животных. М., 1977. С. 283-287.

Приходько А.В. Влияние последствия применения органических удобрений в короткоротационном севообороте на продуктивность озимого ячменя // Известия сельскохозяйственной науки Тавриды. 2019. № 17 (180). С. 58-64.

Проблемы повышения эффективности торфа в сельском хозяйстве. М., 1984. 136 с.

Производство и применение органических удобрений в колхозах и совхозах Суздальского района Владимирской области. Владимир, 1984. 43 с.

Прянишников Д.Н. Агрохимия // Избр. соч. М., 1965. Т. 1. 767 с.

Пузанков А.Г., Бородин В.И., Гревцов Ю.И., Кривонос А.А. Анаэробные процессы переработки навоза и помета в экологии и ресурсосбережении // Химизация сельского хозяйства. 1993. № 7. С. 27-28.

Рабинович Г.Ю., Подолян Е.А., Зинковская Т.С. Агрегатный состав и плотность дерново-подзолистой почвы под воздействием осадка сточных вод // Плодородие. 2023. № 2. С. 88-92.

Рауэлиаривуни А.С., Васенев И.И., Касатиков В.А., Шабардина Н.П. Оценка последствий обогащенных ОСВ на дерново-подзолистых супесчаных почвах Владимирской Мещеры // Агрохимический вестник. 2013. № 2. С. 42-44.

Ревенский В.А., Чимитдоржиева Г.Д., Цыбенков Ю.Б. Приемы улучшения гумусного состояния дефлированных каштановых почв западного Забайкалья // Почвоведение. 2004. № 10. С. 1235-1240.

Рогова Т.А. Влияние зеленого удобрения на биологические показатели плодородия дерново-подзолистой почвы и урожайность ячменя при бессменных посевах и в специализированных зерновых севооборотах: Автореф. дис. ...канд. с.-х. наук. М., 1987. 16 с.

Сатликова Д.Ф., Дружакина О.П. Проблемы развития технологий утилизации органических отходов животноводства в России // Современные наукоемкие технологии. 2009. № 2. С. 74-75.

Сафонов А.П. Трансформация растительных остатков и органических удобрений в пахотных дерново-подзолистых суглинистых почвах: Автореф. дис. ...канд. с.-х. н. Пушкин, 1986. 15 с.

Сафонов А.П., Волкова И.Ю. Процессы трансформации растительных остатков в пахотных дерново-подзолистых почвах // Гумус и азот в земледелии Нечерноземной зоны РФ. СПб, 1993 (1996). С. 4-13.

Сафонов А.Ф., Алферов А.А. Содержание органического вещества и его лабильной фракции // Длительному полевому опыту ТСХА 90 лет: итоги науч. исследований. М., 2002. С. 95-109.

Сафонова О.М. Изменение состава и свойств органических веществ растительных остатков в процессе их трансформации // Гумус и азот в земледелии Нечерноземной зоны: Сб. науч. тр. Л., 1984. С. 18-24.

Светов В.А. Применение органических удобрений важнейшее средство комплексного окультуривания почв // Земледелие. 1985. № 8. С. 27-28.

Сдобников С.С. Пахать или не пахать? М., 1994. 228 с.

Сдобников С.С., Малофеев В.И., Фетисов Г.В. и др. Использование сырого птичьего помета в компостах // Вестник с.-х. науки. 1986. № 3. С. 55-59.

Сдобников С.С., Фетисов Г.В. Внесение торфопометного компоста послойно // Земледелие. 1986. № 4. С. 32-34.

Седых В.Н. Леса Западной Сибири и нефтегазовый комплекс // Нефть и лес: экологические проблемы. М., 1997. Вып. 1. 36 с.

Семерджян А.К., Орехова В.И., Кондратенко Л.Н., Варакин Г.С. Осадки сточных вод очистных сооружений г. Краснодара как удобрение для сельскохозяйственных угодий // Плодородие. 2022. № 4. С. 88-89.

Сидоренко О.Д. Изменение свойств дерново-подзолистой почвы при внесении компоста высокого нагрева // Проблема антропогенного почвообразования: Тез. докл. межд. конф. М., 1995. Т.1. С.174-176.

Сидоренко О.Д. Микробиологические основы получения компостов // Агрохимический вестник. 1997. № 6.

Сидоренко О.Д. Содержание и состав микроорганизмов в компостах // Аграрная наука. 1996. № 5. С. 28-29.

Синих Ю.Н. Влияние длительного использования зеленых удобрений на плодородие дерново-подзолистых почв и продуктивность зерновых севооборотов: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. М., 1995. 18 с.

Синявский В.А. Уровень подвижных форм азота и фосфора в почве и применение удобрений в Нечерноземной зоне Омской области // Химия в

сельском хозяйстве. 1984. № 3. С. 3-6.

Синягин И.И., Кузнецов Н.Я. Применение удобрений в Сибири. М., 1979. С. 144-147.

Система адаптивно-ландшафтного земледелия в природно-климатических зонах Тюменской области // Монография. Тюмень, 2019. 472 с.

Система ведения сельского хозяйства Северного Зауралья: Рекомендации. Тюмень, 1972. Т. 1. 477 с.

Сиухина М.С., Быкова С.Л. Сравнительная оценка изменения содержания гумуса в черноземе выщелоченном при длительной антропогенной нагрузке // Современное состояние черноземов: Мат. Междунар. науч. конф. Ростов-на-Дону, 2013. С. 270-272.

Славина Т.П., Изерская Л.А., Середина В.П. Использование торфа и торфосмесей в целях оптимизации биологического состояния и пищевого режима почв агроценозов // Торфяная промышленность. 1992. № 2. С. 34-36.

Спевак Н.В. Устройство для измельчения твердых органических удобрений // Дождевые черви и плодородие почв: Мат. Межд. науч.-практ. конф. Владимир, 2004. С. 91-92.

Стрельников Е.А., Горлова Л.А., Бочкарева Э.Б., Трубина В.С. Масличные капустные культуры – перспективный высокоэффективные сидерат // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2018. № 12-1. С. 125-131.

Сулейманов Р.Р., Хазиев Ф.Х., Гималетдинова Г.А., Хаматшин А.М. Черноземы выщелоченные Предуралья в условиях длительного сельскохозяйственного использования // Современное состояние черноземов: Мат. Междунар. науч. конф. Ростов-на-Дону, 2013. С. 293-295.

Сулейменова С.Б., Михайлова О.П., Ефименко Д.В. Эффективность возделывания сидератов // Молодой учёный. 2023. № 14 (461). С. 88-90.

Сычев В.Г., Рухович О.В. Длительные опыты с удобрениями – научное наследие академика Д.Н. Прянишникова // Плодородие почв и оценка

продуктивности земледелия. VIII Сибирские Прянишниковские агрохимические чтения: Мат. Междунар. науч.-практ. конф. Тюмень, 2018. С. 26-35.

Тарабукина Н.П., Степанов А.И., Прокопьева Н.И. Выживаемость патогенных микроорганизмов в компостах // Селекция, разведение и болезни сельскохозяйственных животных Якутии. Новосибирск, 1993. С. 95-100.

Терещук В.С., Бардинов Ф.Г., Тикавый В.А., Грибова Е.Д. Органические удобрения и чистота посевов // Химизация сельского хозяйства. 1990. № 1. С. 15-17.

Титлянова А.А., Тихомирова Н.А., Шатохина Н.Г. Биологический круговорот углерода и элементов минерального питания в природных экосистемах и агроценозах // Биогеохимический круговорот веществ: Тез. докл. Всес. конф. М., 1982. С. 15-16

Титова Э.В. Эффективность торфяных удобрений в земледелии Томской области // Проблемы использования торфяных ресурсов Сибири и Дальнего Востока в сельском хозяйстве: Тез. докл. Всес. науч.-практ. конф. Новосибирск, 1983. С. 23-24.

Тишкович А.В., Каннский А.В. Повышение эффективности торфонавозных компостов путем их аммонизации // Использование органических удобрений в с/х производстве: Тез. докл. Всес. совещ. М., 1981. С. 7-32.

Тишкович А.В., Шныриков В.Г., Зубовский В.С. Природа торфа и эффективность удобрений на его основе / Под ред. И.И. Лиштвана. Мн., 1987. 140 с.

Толмачев Н.И. Эффективность использования сидератов в севообороте в зависимости от способов основной обработки почвы и минеральных удобрений // Дисс. ...к. с.-х. н. Йошкар-Ола, 2017. 211 с.

Торф на удобрение. Минск, 1983. С. 7-23.

Трофимова Л.С., Кулаков В.А. Управление травяными экосистемами из многолетних трав // Вестник РАСХН. 2012. № 4. С. 67-69.

Трофимова Л.С., Трофимов И.А., Яковлева Е.П. Современное использование и состояние черноземов // Современное состояние черноземов: Мат. Междунар. науч. конф. Ростов-на-Дону, 2013. С. 314-315.

Туваев В.Н. Определение рациональных величин основных параметров процесса компостирования // Основные условия эффективного применения удобрений на Северо-западе РСФСР. Л., 1986. С. 92-101.

Тулин С.А., Ставрова Н.Г. Органические и минеральные удобрения на песчаных дерново-подзолистых почвах // Химия в сельском хозяйстве. 1996. № 3. С. 6-8.

Усенко В.И. Эффективность торфонавозных удобрений на выщелоченных черноземах Приобья // Место органических удобрений в системе удобрений в Сибири: Науч.-техн. бюлл. Новосибирск, 1984. Вып. 49. С. 19-24.

Усюкевич Г.А. Исследование процессов переработки торфа на удобрение и разработка рациональной структуры освоения торфяных ресурсов в с/х: Дис. ... канд. с.-х. наук. Минск, 1981.

Фатчихина О.Е. Рациональные способы повышения эффективности торфяных удобрений // Бюлл. науч.-техн. конф. 1958. № 3-4.

Филиппенко И., Курганский В. Эффективность торфонавозных компостов летней заготовки: Сб. науч. тр. / Белорусский НИИ земледелия. Минск, 1975. Вып. 19. С. 69-78.

Хабарова Т.В., Виноградов Д.В., Кочуров Б.И., Левин В.И., Бышов Н.В. Агроэкологическая эффективность использования осадка сточных вод и вермикомпостов в агроценозе овса посевного // Юг России: экология, развитие. 2018. Т. 13. № 2. С. 132-143.

Хабибрахманов Х.Х., Лотфуллин М.Р. Влияние способа заделки сидерата на агрофизические показатели почвы и урожайность озимой ржи // Проблемы экологии в сельском хозяйстве. Пенза, 1993. Ч. 1. С. 112-114.

Хабибрахманов Х.Х., Лотфуллин М.Р. Изучение способов заделки сидератов (рапс) в почву в сидеральном пару // Мат. юбилейной науч. конф. Казанский СХИ. Казань, 1992. Ч. 1. С. 31-33.

Хабилов И.К., Кузнецов В.И., Гилязетдинов Ш.Я., Ягафаров Р.Г., Рафиков Б.В., Шакиров Ю.С., Асылбаев И.Г. Агроэкологическая оценка почв Южного Урала и приёмы управления их плодородием // Ресурсный потенциал почв – основа продовольственной и экологической безопасности России: Мат. Междунар. науч. конф. С-Пб., 2011. С. 127-129.

Хисматуллин М.М. продуктивность и динамика плодородия полей орошения при применении навозных стоков животноводческих комплексов в Республике Татарстан // Плодородие. 2022. № 2. С. 62-67.

Хитрич П.В., Горкуша В.М., Дербон Ю.Г. Опыт применения органических удобрений // Земледелие. 1984. № 9. С. 41-44.

Хохлов В.И. Эффективное использование торфяных ресурсов // Химизация сельского хозяйства. 1991. № 7. С. 65-69.

Хохлов В.И. Эффективное использование торфяных ресурсов для производства органических удобрений // Торфяная промышленность. 1991. № 7. С. 37-43.

Хохлов В.И., Егоров А.А. Технологии переработки птичьего помета на удобрение // Земледелие. 1987. № 12. С. 32-35.

Храмцов И.Ф., Безвиконный Е.В. Гумусное состояние чернозема выщелоченного при длительном применении удобрений // Агрохимия. 1998. № 4. С. 25-28.

Чеботарев Н.Т., Найденов Н.Д., Юдин А.А. Агроэкологическая оценка применения осадков сточных вод в качестве удобрений сельскохозяйственных культур // Наука. Мысль: электронный периодический журнал. 2016. № 1-2. С. 31-36.

Чекаев Н.П. Изменение свойств чернозема выщелоченного под действием компостов из осадков сточных вод // Нива Поволжья. 2010. № 1 (14). С. 31-34.

Черкасов А.Н. Компосты: рецептура смеси, площадка по производству // Химизация сельского хозяйства. 1991. № 7. С. 64-67.

Черногоров А.Л. Агроэкологическая оценка земель и оптимизация землепользования. М.: Изд-во МГУ, 2012. 268 с.

Шевченко В.А., Соловьев А.М., Бондарева Г.И., Попова Н.П. Влияние минеральных удобрений и органических отходов на урожайность и качество продукции растениеводства на землях Верхневолжья // Плодородие. 2022. № 6. С. 15-19.

Шелюто А.А., Шелюто Б.В. Влияние сидератов и заправки соломы на агрофизические показатели плодородия почвы и урожайность культур севооборота // Проблемы экологии в сельском хозяйстве. Пенза, 1993. Ч. 1. С. 86-88.

Шемпель В.Г., Филлипенко И.В. Приемы эффективного использования торфа в сочетании с навозом // Органические удобрения: Тез. науч.-метод. совещания стран-участниц СЭВ. М., 1972. С. 42-43.

Шконде Э.И., Королева И.Е. О методах определения потребности почв в азотных удобрениях: Сб. «Третий делегатский съезд почвоведов». М., 1968. С. 143-147.

Шпедт А.А. Влияние зеленых удобрений на баланс органического вещества и лабильные формы гумусовых веществ в черноземе выщелоченном Красноярской лесостепи: Автореф дис. ... канд. с.-х. наук. Красноярск, 1995. 20 с.

Шпедт А.А. Влияние срока заделки надземной части донника на плодородие чернозема выщелоченного и урожайность яровой пшеницы в условиях Красноярской лесостепи // Агрохимия. 1998. № 2. С. 31-34.

Юдина Н.В. Изменение параметров гумусного состояния черноземов юга России в разных условиях землепользования // Современное состояние черноземов: Мат. Междунар. науч. конф. Ростов-на-Дону, 2013. С. 381.

Яковченко В.П. К вопросу об оптимальном содержании гумуса // Почвоведение. 1989. № 9. С. 117-121.

Ялтонский М.А. Влияние торфяных удобрений на целлюлозоразлагающую активность почвы и урожай сельскохозяйственных культур: Науч.-техн. бюл. / Всесоюзная академия с.-х. культур им. В.И. Ленина. Сибирское отделение. 1985. № 21. С. 32-38.

Ялтонский М.А. Динамика нитратного азота в серой лесной почве и изменение её агрохимических показателей под влиянием торфяных компостов и минеральных удобрений // Плодородие почвы и её воспроизводство в земледелии Восточной Сибири. Новосибирск, 1988. С. 50-57.

Ялтонский М.А. Роль торфяных удобрений в создании бездефицитного баланса органического вещества в земледелии Красноярского края // Повышение эффективности использования мелиорированных земель. М., 1985. С. 76-77.

Cochrane H.S.C. The compost heap // Agr. North. Irel. 1985. № 10. P. 344-346.

Cooke G.W. Long-term fertilize experiments in England. Annal. Agronomique, 1976. Vol. 27. № 5-6. P. 503-536.

Ekane N., Barquet K., Rosemarin A. Resources and Risks: Perceptions on the application of Sewage Sludge on Agricultural Land in Sweden, a Case Study. // Front. Sustain. Food Syst. 2021. № 5. In link: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fsufs.2021.647780/full>

Patrik Z.A., Toussoun T.A., Snyder W.C. Phitoxis substances in with decomposition of soil. Associated with decomposition of plant residues. // Phytopathology, 1963. № 2. P. 14-18.

Sarwar M., Kirkegaard J.A., Wong P.T.W., Desmarchelier J.M. Biofumigation potential of brassicas // Plant and Soil. 1998. Vol. 201. №1. P. 103-112.

Watson S.W. Taxonomic considerations of the family Nitrobacteriaceae Buchanan. "inter J. System Bacterial", 1971. Vol. 21. P. 254-270.

Wissing P. Erste Erfahrungen bei der Gewinnung und Aufbereitung organischer Düngestoffe aus Torf // Feldwirtschaft. 1978. P. 361-363.

Приложение А – Содержание минеральных форм азота в серой лесной почве полевого опыта в слое 0-60 см (мг/кг абс. сух. почвы)

Вариант	Срок определения												
	1983 г.		1984 г.				1985 г.			1986 г.			
	20.10	15.11	30.05	21.06	26.07	24.08	4.06	8.07	27.08	28.05	19.06	30.07	17.09
Содержание нитратного азота													
Контроль	3,7	2,1	12,5	13,1	2,6	4,1	6,7	4,5	0,9	2,6	2,6	0,7	1,4
Торф	14,9	8,0	34,9	20,3	2,3	4,4	7,0	4,3	1,5	4,8	4,0	1,4	4,0
ТНК	25,3	14,1	23,7	41,8	5,1	3,8	9,4	8,4	0,6	7,9	6,0	2,5	4,3
ТПК	30,5	15,8	60,5	27,2	25,4	23,6	11,5	6,6	7,3	13,0	9,1	3,8	5,2
Навоз	4,3	24,4	35,0	21,7	27,8	2,4	11,8	4,1	1,2	8,2	8,4	3,7	5,1
Мочевина	-	-	21,6	27,8	13,7	3,5	6,7	4,2	0,9	4,3	2,8	1,7	2,6
Содержание аммонийного азота													
Контроль	0,6	1,3	1,4	3,6	1,4	3,4	1,2	2,4	2,4	0,0	2,4	1,2	0,7
Торф	1,5	14,1	5,9	2,6	0,5	4,6	2,4	4,8	3,2	0,0	6,9	2,1	3,2
ТНК	2,3	2,2	1,9	5,3	2,3	4,8	2,8	4,2	3,2	0,7	7,0	2,8	2,2
ТПК	25,1	3,5	21,0	3,7	2,8	5,2	2,5	4,5	4,4	0,0	3,6	3,5	3,6
Навоз	1,8	4,0	5,9	4,8	6,9	3,7	2,8	3,5	3,3	0,1	1,9	3,4	3,2
Мочевина	-	-	17,5	8,7	7,2	4,3	2,2	3,1	2,7	0,0	2,3	1,5	1,0
Содержание минерального азота													
Контроль	4,3	3,4	13,9	16,7	4,0	7,5	7,9	6,9	3,3	2,6	5,0	1,9	2,1
Торф	16,4	22,1	40,8	22,9	2,8	9,0	9,4	9,1	4,7	4,8	10,9	3,5	7,2
ТНК	27,6	16,3	25,6	47,1	7,4	8,6	12,2	12,6	3,8	8,6	13,0	5,3	6,5
ТПК	55,6	19,3	81,5	30,9	28,2	28,8	14,0	11,1	13,0	11,7	12,7	7,3	8,8
Навоз	6,1	28,4	40,9	26,5	34,7	6,1	14,6	7,6	4,5	8,3	10,3	7,1	8,3
Мочевина	-	-	39,1	36,5	20,9	7,8	8,9	7,3	3,6	4,3	5,1	3,2	3,6

Приложение Б – Содержание минеральных форм азота в слое почвы 0-40 см, мг/кг абсолютно сухой почвы

Вариант	Срок определения																		
	1996					1997				1998					1999				
	20.06	10.07	30.07	19.08	10.09	23.05	19.06	16.07	17.09	28.05	25.06	29.07	26.08	07.10	20.05	16.06	20.07	27.08	30.09
Содержание аммонийного азота																			
Контроль	14,8	0,0	0,0	14,8	15,6	12,9	4,4	12,5	0,0	12,4	12,5	8,3	12,6	8,8	0,0	4,2	0,0	0,0	25,5
Мочевина	-	-	-	-	-	18,6	52,7	4,2	8,5	12,5	29,3	12,2	0,0	8,5	4,3	4,4	9,1	4,4	25,6
Торф (июнь)+рапс	24,4	0,0	4,5	40,8	5,6	12,8	15,3	0,0	0,0	4,3	12,6	4,3	8,4	4,2	0,0	12,8	0,0	0,0	21,7
Рапс+торф (август)	16,5	2,3	6,7	19,6	13,2	8,8	8,4	19,0	13,2	12,4	12,4	8,3	17,3	21,5	8,2	4,2	13,6	8,7	39,1
Торф (июнь)	34,2	0,0	11,4	29,2	13,3	4,3	4,2	0,0	0,0	28,3	8,5	8,2	12,9	4,3	8,6	4,3	11,8	4,4	20,8
Торф (август)	-	-	-	-	-	0,0	2,2	0,0	0,0	16,8	4,3	20,9	25,8	17,2	12,6	4,3	0,0	21,4	29,5
Рапс	21,0	0,0	0,0	21,2	17,6	4,3	12,7	4,2	4,3	34,7	16,9	8,3	16,9	25,9	0,0	16,9	4,4	0,0	30,2
Содержание нитратного азота																			
Контроль	16,6	0,0	6,8	8,4	35,7	38,6	58,0	43,8	2,2	20,4	8,3	4,1	12,6	30,2	12,6	0,0	4,6	12,6	55,0
Мочевина	-	-	-	-	-	24,7	39,3	4,2	34,0	25,0	27,0	8,2	21,3	8,3	17,3	22,2	9,2	17,1	34,0
Торф (июнь)+рапс	69,3	0,0	13,3	15,5	22,7	8,7	53,5	0,0	21,5	8,6	16,8	4,1	8,4	0,0	7,3	17,4	21,9	8,7	26,1
Рапс+торф (август)	16,5	0,0	17,9	13,5	26,3	43,8	61,4	18,1	52,4	13,0	12,4	12,3	13,1	8,7	16,5	25,3	22,6	21,6	34,5
Торф (июнь)	55,8	19,8	0,0	17,9	44,4	28,2	60,3	12,4	20,6	8,4	12,7	4,1	12,9	8,4	12,9	21,3	32,6	12,9	33,3
Торф (август)	-	-	-	-	-	26,0	81,0	4,3	8,6	27,4	4,3	16,8	21,4	30,1	21,0	0,0	4,4	25,8	54,7
Рапс	21,0	21,5	4,7	21,6	17,6	31,9	17,2	31,5	25,0	33,8	0,0	4,2	29,7	25,7	4,2	8,5	4,4	4,1	47,6
Содержание минерального азота																			
Контроль	30,9	0,0	6,8	23,1	51,2	51,5	62,4	56,3	2,2	32,7	20,8	12,4	25,2	39,0	12,6	4,2	4,6	12,6	80,5
Мочевина	-	-	-	-	-	43,3	92,0	8,3	42,5	37,5	56,3	20,3	21,3	16,8	21,5	26,6	18,3	21,4	59,6
Торф (июнь)+рапс	93,6	0,0	17,8	56,2	28,3	21,5	68,8	0,0	21,5	25,1	29,4	8,4	16,8	4,2	7,3	30,2	21,9	8,7	47,8
Рапс+торф (август)	33,0	2,3	24,6	28,2	38,9	52,6	69,8	37,1	65,6	25,4	24,7	20,6	30,4	30,2	24,7	29,5	36,1	30,2	73,6
Торф (июнь)	90,2	19,8	11,4	47,0	57,6	32,5	64,5	12,4	20,6	36,7	21,1	24,5	25,8	12,7	21,5	25,5	44,4	17,3	54,1
Торф (август)	-	-	-	-	-	26,0	83,2	4,3	8,6	44,1	8,5	37,7	47,2	47,3	33,6	4,3	4,4	47,2	83,5
Рапс	41,9	21,5	4,7	42,8	35,1	36,1	29,8	35,7	29,5	62,5	16,9	12,5	46,5	51,6	4,2	25,4	8,7	4,1	77,8

Приложение В – Содержание минеральных форм азота в слое почвы 0-40 см, мг/кг абсолютно сухой почвы

Вариант	Срок определения																		
	1997					1998					1999					2000			
	06.06	03.07	25.07	22.08	10.10	02.06	04.07	28.07	26.08	05.10	20.05	16.06	21.07	27.08	30.09	20.05	20.06	21.07	20.08
Содержание аммонийного азота																			
Контроль	6,6	0,0	0,0	25,8	12,8	9,0	4,4	4,5	25,5	21,6	8,7	0,0	0,0	4,4	29,8	8,4	25,1	16,9	42,8
Торф (100 т/га)	21,6	13,4	4,2	0,0	13,6	17,9	8,9	8,3	41,7	25,7	0,0	13,0	4,6	0,0	34,7	25,2	41,5	8,8	25,5
Рапс	0,0	8,7	6,7	12,7	4,1	9,2	4,5	4,1	33,8	25,4	12,8	13,1	0,0	13,4	29,9	0,0	0,0	17,5	8,4
Торф (100 т/га)+рапс	0,0	9,4	0,0	2,2	0,0	8,7	12,9	4,2	26,4	17,6	4,2	8,8	0,0	0,0	25,3	16,9	25,3	10,8	25,5
Торф (200 т/га)+рапс	0,0	9,0	17,3	25,8	13,2	23,1	8,5	8,1	28,5	52,6	17,5	8,5	0,0	4,3	43,9	0,0	16,8	17,0	34,0
Содержание нитратного азота																			
Контроль	25,5	49,0	44,8	0,0	65,5	17,6	0,0	12,7	16,9	8,5	30,3	25,6	4,5	16,9	46,8	16,9	58,7	59,3	51,3
Торф (100 т/га)	17,2	71,9	32,4	38,9	49,9	17,9	11,0	24,7	29,2	0,0	17,2	30,9	13,1	12,8	34,7	59,0	58,0	34,9	42,4
Рапс	8,0	47,0	57,5	14,8	46,6	13,6	0,0	4,5	21,0	17,5	12,7	26,1	9,1	30,7	51,5	8,4	8,3	43,5	59,1
Торф (100 т/га)+рапс	34,7	59,9	70,0	12,4	39,1	8,7	8,6	12,5	17,4	8,5	12,7	30,9	13,1	8,6	46,2	25,2	24,9	36,4	59,5
Торф (200 т/га)+рапс	57,4	67,6	15,0	0,0	49,2	23,1	8,6	12,2	20,4	0,0	4,4	38,0	45,3	21,6	34,9	86,3	58,8	59,4	50,9
Содержание минерального азота																			
Контроль	29,1	49,0	44,8	25,8	78,3	26,6	4,4	17,2	42,4	30,1	39,0	25,6	4,5	21,3	76,6	25,1	75,4	85,1	94,3
Торф (100 т/га)	38,8	85,2	36,6	38,9	63,5	35,8	19,9	33,0	70,9	25,7	17,2	43,9	17,7	12,8	69,3	58,7	123,9	43,4	76,2
Рапс	8,0	55,7	64,2	27,4	50,7	27,1	4,5	50,8	54,8	42,9	25,5	39,2	9,1	44,1	81,4	8,4	8,3	61,0	67,4
Торф (100 т/га)+рапс	34,7	69,3	70,0	14,5	39,1	17,3	21,5	16,7	43,8	26,1	16,8	39,6	13,1	8,6	71,5	50,4	58,1	32,4	93,7
Торф (200 т/га)+рапс	57,4	76,6	32,3	25,8	62,4	46,2	17,1	20,3	48,8	52,6	21,8	46,5	45,3	25,9	78,8	86,6	49,2	68,1	68,1

**Приложение Г – Содержание подвижного фосфора в слое почвы 0-40 см,
мг/кг**

Вариант	Действие		Последействие					
			1 год		2 год		3 год	
	20.06	10.09	23.05	17.09	28.05	07.10	20.05	27.08
Первый опыт								
Контроль	34,2	36,2	53,1	43,0	51,1	74,4	36,2	64,6
Мочевина	35,4	36,6	47,9	47,9	50,4	53,1	47,1	38,9
Торф (40 т/га, июнь)+рапс (3,0 т/га)	54,4	59,2	55,1	34,3	43,3	53,8	72,6	39,4
Рапс (2,3 т/га)+торф (40 т/га, август)	49,8	47,1	43,6	34,2	45,4	48,6	50,1	60,6
Торф (40 т/га, июнь)	71,8	51,2	56,1	51,2	48,6	51,2	64,1	52,4
Торф (40 т/га, август)	48,4	57,2	67,7	62,9	49,8	64,2	62,2	39,4
Рапс (2,5 т/га)	50,6	46,2	60,4	57,6	47,1	58,2	47,0	86,2
Второй опыт								
Контроль	56,5	46,1	45,8	49,4	53,3	53,9	39,0	69,2
Торф (100 т/га, июнь)	63,8	49,2	55,6	87,8	67,4	42,8	64,6	48,8
Рапс (9,2 т/га)	61,9	54,6	43,6	74,4	41,7	75,4	30,4	56,6
Торф (100 т/га)+рапс (8,5 т/га)	55,6	52,6	47,1	98,6	41,0	43,7	39,1	59,8
Торф (200 т/га)+рапс (9,2 т/га)	55,6	49,2	45,9	50,7	46,4	74,0	43,6	39,4

**Приложение Д – Содержание подвижного калия в слое почвы 0-40 см,
мг/кг**

Вариант	Действие		Последействие					
			1 год		2 год		3 год	
	20.06	10.09	23.05	17.09	28.05	07.10	20.05	27.08
Первый опыт								
Контроль	121,4	138,3	122,3	128,3	129,8	106,0	80,2	152,2
Мочевина	127,6	136,6	134,6	133,9	128,6	115,4	87,2	120,6
Торф (40 т/га, июнь)+рапс (3,0 т/га)	124,8	137,2	117,6	137,9	110,3	106,7	84,2	115,1
Рапс (2,3 т/га)+торф (40 т/га, август)	135,2	133,2	133,8	152,0	109,6	111,6	81,6	112,6
Торф (40 т/га, июнь)	140,0	121,2	120,7	121,7	99,4	107,1	85,2	110,9
Торф (40 т/га, август)	127,5	139,4	128,9	128,8	109,0	114,8	89,2	110,5
Рапс (2,5 т/га)	133,0	141,6	126,8	128,1	101,6	134,2	92,1	117,7
Второй опыт								
Контроль	114,4	126,8	93,6	115,2	93,6	119,7	104,3	123,2
Торф (100 т/га, июнь)	133,0	124,5	98,9	107,2	85,2	122,2	111,9	106,2
Рапс (9,2 т/га)	126,6	122,9	97,4	104,0	93,2	106,2	114,4	112,8
Торф (100 т/га)+рапс (8,5 т/га)	129,0	127,5	98,6	120,4	93,7	132,7	112,0	106,1
Торф (200 т/га)+рапс (9,2 т/га)	127,1	109,4	110,8	104,1	78,4	112,5	106,0	134,1

Приложение Е – Кислотность (рН_{сол.}) в слое почвы 0-40 см, ед. рН

Вариант	Действие		Последействие					
			1 год		2 год		3 год	
	20.06	10.09	23.05	17.09	28.05	07.10	20.05	27.08
Первый опыт								
Контроль	4,92	5,00	4,92	5,13	4,85	5,09	4,93	5,59
Мочевина	5,26	5,00	5,04	4,92	5,01	5,02	5,01	4,89
Торф (40 т/га, июнь)+рапс (3,0 т/га)	5,01	5,10	4,99	4,99	4,91	4,88	5,16	5,27
Рапс (2,3 т/га)+торф (40 т/га, август)	4,95	4,93	5,02	4,99	4,95	5,03	4,81	5,30
Торф (40 т/га, июнь)	5,09	5,10	4,99	4,98	4,92	4,99	5,03	5,09
Торф (40 т/га, август)	4,92	5,05	5,07	5,11	5,03	5,14	4,96	4,94
Рапс (2,5 т/га)	4,90	5,17	5,08	5,00	5,13	5,10	5,17	5,29
Второй опыт								
Контроль	4,95	5,07	5,03	5,06	5,11	5,10	4,96	5,01
Торф (100 т/га, июнь)	4,98	5,01	4,91	5,21	5,04	4,85	5,10	4,85
Рапс (9,2 т/га)	5,09	4,92	5,02	5,22	5,47	5,05	4,86	4,89
Торф (100 т/га)+рапс (8,5 т/га)	5,01	4,84	4,96	4,98	4,88	5,26	5,10	5,07
Торф (200 т/га)+рапс (9,2 т/га)	4,83	4,87	4,76	4,85	5,04	5,09	5,07	5,04

Приложение Ж – Гидролитическая кислотность в слое почвы 0-40 см, мг-экв./100 г

Вариант	Действие		Последействие					
			1 год		2 год		3 год	
	20.06	10.09	23.05	17.09	28.05	07.10	20.05	27.08
Первый опыт								
Контроль	7,12	6,33	6,81	5,70	5,39	5,45	5,27	5,66
Мочевина	5,95	5,85	6,08	6,13	4,27	4,28	6,30	4,51
Торф (40 т/га, июнь)+рапс (3,0 т/га)	6,17	6,70	6,80	6,60	4,34	4,22	4,63	3,34
Рапс (2,3 т/га)+торф (40 т/га, август)	6,17	6,33	7,03	5,95	5,19	4,72	5,76	3,91
Торф (40 т/га, июнь)	7,20	5,79	6,08	4,62	5,47	4,40	5,43	4,83
Торф (40 т/га, август)	5,85	5,85	6,33	4,62	3,81	4,34	5,98	3,39
Рапс (2,5 т/га)	5,86	5,95	6,55	4,70	4,40	4,62	5,14	3,95
Второй опыт								
Контроль	6,57	6,63	4,42	5,85	5,00	5,75	5,04	4,98
Торф (100 т/га, июнь)	6,27	5,85	4,01	4,58	6,01	4,33	4,19	5,00
Рапс (9,2 т/га)	7,28	4,82	4,44	3,61	5,18	5,75	4,47	5,42
Торф (100 т/га)+рапс (8,5 т/га)	6,57	5,55	4,01	4,27	4,53	4,78	4,95	5,14
Торф (200 т/га)+рапс (9,2 т/га)	7,28	5,74	4,14	4,01	5,26	5,15	4,42	4,19

**Приложение 3 – Сумма поглощённых оснований в слое почвы 0-40 см,
мг-экв./100 г**

Вариант	Действие		Последействие					
			1 год		2 год		3 год	
	20.06	10.09	23.05	17.09	28.05	07.10	20.05	27.08
Первый опыт								
Контроль	27,4	25,4	27,1	26,3	25,9	26,3	25,4	25,9
Мочевина	27,5	25,8	25,5	26,4	24,3	23,7	28,6	19,0
Торф (40 т/га, июнь)+рапс (3,0 т/га)	33,5	26,0	27,0	26,2	23,8	24,4	30,2	24,2
Рапс (2,3 т/га)+торф (40 т/га, август)	25,9	26,6	27,2	26,6	23,5	24,6	27,8	23,8
Торф (40 т/га, июнь)	33,1	27,2	27,0	26,1	24,8	28,3	29,6	28,1
Торф (40 т/га, август)	27,0	27,0	26,5	25,3	28,0	25,8	30,3	22,9
Рапс (2,5 т/га)	25,3	27,2	26,5	25,9	25,3	25,2	25,1	28,8
Второй опыт								
Контроль	27,0	27,9	23,6	24,3	25,2	26,2	20,7	24,4
Торф (100 т/га, июнь)	27,1	24,3	24,2	35,3	29,6	27,2	28,2	27,0
Рапс (9,2 т/га)	27,5	25,8	23,0	22,5	26,5	26,9	23,2	22,4
Торф (100 т/га)+рапс (8,5 т/га)	27,2	27,1	23,9	27,3	26,3	35,5	28,6	29,0

**Приложение И – Степень насыщенности основаниями в слое почвы
0-40 см, мг-экв./100 г**

Вариант	Действие		Последействие					
			1 год		2 год		3 год	
	20.06	10.09	23.05	17.09	28.05	07.10	20.05	27.08
Первый опыт								
Контроль	79,4	80,1	79,9	83,2	82,7	83,7	82,7	82,0
Мочевина	82,3	81,6	80,7	81,2	85,0	84,6	81,9	80,8
Торф (40 т/га, июнь)+рапс (3,0 т/га)	84,4	79,5	79,9	79,9	84,7	85,3	86,8	88,0
Рапс (2,3 т/га)+торф (40 т/га, август)	80,7	80,8	79,5	81,6	83,9	84,0	82,7	85,9
Торф (40 т/га, июнь)	82,1	82,4	81,6	85,0	81,8	86,5	84,6	85,4
Торф (40 т/га, август)	82,3	82,3	80,8	84,6	88,1	85,7	83,5	87,1
Рапс (2,5 т/га)	81,1	81,9	80,1	84,6	85,2	84,6	83,1	87,8
Второй опыт								
Контроль	80,4	80,9	87,4	80,5	86,8	81,9	80,5	83,0
Торф (100 т/га, июнь)	81,1	80,5	85,8	88,5	83,1	86,3	87,0	84,4
Рапс (9,2 т/га)	79,0	84,3	83,9	86,2	83,6	82,5	83,8	80,6
Торф (100 т/га)+рапс (8,5 т/га)	80,5	83,1	85,7	86,4	85,4	88,1	85,1	85,0
Торф (200 т/га)+рапс (9,2 т/га)	79,0	80,7	85,3	85,2	84,5	86,3	85,7	88,2

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	3
Введение	5
Глава 1. Компостирование навоза и помёта с торфом и соломой	9
1.1 Компостирование торфа с навозом и помётом	15
1.2 Компостирование навоза с соломой	38
Глава 2. Повышение плодородия серой лесной почвы и продуктивности культур	45
2.1 Применение торфа и компостов на его основе	47
2.2 Применение соломисто-навозного компоста	61
Глава 3. Влияние торфа и пожнивных остатков рапса ярового на плодородие чернозёма выщелоченного и продуктивность культур	70
3.1 Содержание органического вещества	77
3.2 Биологическая активность почвы	97
3.3 Содержание минерального азота	101
3.4 Содержание подвижных форм фосфора и калия	108
3.5 Физико-химические свойства почвы	113
3.6 Продуктивность культур	121
Глава 4. Применение осадка сточных вод в качестве органического удобрения	126
4.1 Состав и свойства осадков сточных вод	126
4.2 Влияние осадка сточных вод на растения	130
4.3 Влияние осадка сточных вод на содержание тяжелых металлов в почве и растениях	133
4.4 Влияние осадка сточных вод на агрохимические показатели почвы	140
Глава 5. Приготовление и применение питательных грунтов	145
5.1 Разработка грунтов с осадком сточных вод	145
5.2 Разработка грунтов на основе сапропеля	159
5.3 Применение грунтов при рекультивации почвы несанкционированной свалки бытовых отходов	168
Заключение	177
Рекомендации	179
Список использованной литературы	180
Приложения	208
Содержание	214

АВТОРЫ

	Грехова Ираида Владимировна Доктор биологических наук, профессор кафедры общей химии им. И.Д. Комиссарова ГАУ Северного Зауралья. Автор более 200 научных работ, посвященных плодородию почв, характеристике низинного торфа, его применению в чистом виде и в виде компостов; производству и действию гуминовых препаратов; применению осадка сточных вод и сапропеля; рекультивации нарушенных земель. Соавтор 2 патентов.
	Михеев Михаил Юрьевич Кандидат биологических наук, предприниматель.
	Семёнов Владислав Кириллович Кандидат сельскохозяйственных наук, главный агроном АО «Успенское».
	Гильманова Марина Валерьевна Кандидат биологических наук, технолог ООО «НПЦ «Эврика».

Размещается в сети Internet на сайте ФГБОУ ВО ГАУ Северного Зауралья
<https://www.gausz.ru/nauka/setevye-izdaniya/2023/grehova-udobreniya.pdf>
в научной электронной библиотеке eLIBRARY, ИТАР-ТАСС, РГБ,
доступ свободный

Издательство электронного ресурса
Редакционно-издательский отдел ФГБОУ ВО ГАУ Северного Зауралья.
Заказ № 1180 от 15.12.2023; авторская редакция.
Почтовый адрес: 625003, Тюменская область, г. Тюмень, ул. Республики, 7.
Тел.: 8 (3452) 290-111, e-mail: rio2121@bk.ru

ISBN 978-5-98346-147-5



9 785983 461475