

Министерство сельского хозяйства РФ
ФГБОУ ВО Государственный аграрный университет Северного Зауралья

На правах рукописи

Ахтямова Анастасия Андреевна

**Использование соломы для стабилизации гумусового состояния
чернозёма выщелоченного лесостепной зоны Зауралья**

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата сельскохозяйственных наук

Специальность 06.01.04 – агрохимия

Научный руководитель:
д.б.н., профессор Ерёмин Д.И.

Тюмень – 2018

Содержание

Введение.....	3
1 Обзор литературы.....	7
2 Природные условия и методика проведения исследований.....	28
2.1 Агроклиматические условия места проведения исследований.....	28
2.2 Характеристика почвы опытного поля ГАУ Северного Зауралья...	35
2.3 Материал и методика проведения исследований.....	41
3 Гумусовое состояние пахотного чернозёма при использовании соломы в качестве органического удобрения.....	44
3.1 Содержание и запасы гумуса при систематическом внесении минеральных удобрений и запашке соломы.....	44
3.2 Содержание и запасы гумуса при различных способах основной обработки почвы и запашке соломы.....	48
3.3 Коэффициенты минерализации гумуса и гумификации запаханной соломы.....	53
3.4 Баланс гумуса чернозёма выщелоченного при запашке соломы.....	57
4 Способы регулирования гумусового состояния чернозёма выщелоченного.....	60
4.1 Изменение химического состава соломы зерновых культур под действием минеральных удобрений.....	60
4.2 Динамика содержания азота, фосфора, калия и углерода при деструкции соломы.....	66
4.3 Влияние факторов на разложение соломы используемой в качестве органических удобрений.....	105
5 Питательный режим чернозёма выщелоченного при внесении минеральных удобрений и заделки соломы.....	119
6 Биоэнергетическая и экономическая оценка заправки измельчённой соломы на чернозёме выщелоченном.....	125
Заключение.....	130
Предложения производству.....	133
Список литературы.....	134
Приложения.....	157

Введение

Актуальность темы. При вовлечении почв в сельскохозяйственный оборот кардинально меняется почвообразовательный процесс. Это обусловлено тем, что под действием механических обработок в почве изменяются режимы увлажнения, температуры, аэрации и питания. При смене естественной растительности на сельскохозяйственную изменяется количественная и качественная характеристика растительных остатков, поступающих в почву. Это способствует к изменению гумусообразования и, как следствие, плодородия пахотных почв.

Многократно возрастающая активность почвенной микрофлоры на фоне дефицита растительных остатков усиливает процесс дегумификации пашни, что подтверждается многочисленными исследованиями по всей России (Иванов В.Д. и др., 2001; Кутькина Н.В., Еремина И.Г., 2013; Коваленко Н.А. и др., 2013; Габбасова И.М. и др., 2016; Унканжинов Г.Д., Болдырева Л.А., 2016). По данным Г.Д. Гогмачадзе (2010), более 90% пашни РФ нуждаются в дополнительном внесении органических удобрений. В частности, С.Г. Котченко и А.Я. Воронин (2016) отмечали, что в Тюменской области все пахотные почвы крайне остро нуждаются в органических удобрениях. Многие сельскохозяйственные предприятия перешли на минеральную систему удобрений, поскольку отказ от органических удобрений даёт возможность снизить себестоимость получаемой продукции. Внесение минеральных удобрений стимулировало активность почвенной микрофлоры, что на фоне высокой аэрации пахотного горизонта усиливает минерализацию растительных остатков и гумуса, в частности. Восстановление запасов гумуса возможно за счёт внесения органических удобрений. Однако аграрии не вносят их в нужном количестве, исходя из экономических соображений. В результате своих исследований Е.П. Ренёв (1999) установил, что экономически целесообразно перевозить органические удобрения на расстояния не более 5 км от места их заготовки. По этой причине внесение навоза сосредоточено на прифермских полях, которые в

настоящее время высокогумусированы и зачастую характеризуются нарушением азотного питания. На удалённых полях органические удобрения не вносятся десятилетиями, поэтому там проблема гумусообразования стоит наиболее остро.

Одним из решений проблемы дегумификации почв вовлечённых в пахотный фонд, считается использование соломы зерновых культур в качестве дешевого, но в тоже время эффективного органического удобрения. При формировании урожая 3,0 т/га зерна яровой пшеницы образуется 3,0-3,2 т/га соломы, что соответствует 10-11 тоннам навоза.

Возможности восстановления гумусового состояния пахотных чернозёмов лесостепной зоны Зауралья за счёт заправки соломы зерновых культур изучены недостаточно. Для создания балансовой модели гумусообразования пахотных почв Северного Зауралья общепринятые коэффициенты минерализации и гумификации органического вещества не подходят из-за региональных почвенно-климатических особенностей, поэтому необходимо определить соответствующие коэффициенты, учитывающие специфику гумусообразования на антропогенно-преобразованных почвах.

Цель исследований: стабилизация гумусового состояния чернозёма выщелоченного в лесостепной зоне Северного Зауралья.

Задачи исследования:

- изучить динамику содержания гумуса при использовании соломы в качестве органического удобрения;
- определить коэффициенты гумификации соломы. Установить взаимосвязь между гумификацией и химическим составом соломы;
- установить коэффициент минерализации органического вещества пахотного чернозёма при внесении минеральных удобрений;
- изучить биологические особенности накопления питательных веществ в соломе зерновых культур, выращенных при различном уровне минерального питания;

- исследовать интенсивность разложения соломы и изменение её химического состава на различных агрофонах;
- изучить возможности регулирования разложения соломы при использовании механической обработки почвы и агрохимикатов (мочевина, Компостный чай, гуминовый препарат);
- дать биоэнергетическую оценку динамики почвенного органического вещества пахотного чернозёма при внесении соломы и минеральных удобрений.

Научная новизна. Впервые в лесостепной зоне Зауралья определены коэффициенты минерализации гумуса и гумификации соломы на полях с различным агрофоном. Изучен процесс трансформации запахиваемой соломы на различных агрофонах и системах основной обработки почвы (отвальная, безотвальная, нулевая). Установлено влияние агрохимикатов (Росток, Компостный чай, мочевина) на процесс разложения соломы зерновых культур. Дана биоэнергетическая оценка органического вещества пахотного чернозёма лесостепной зоны Зауралья.

Практическая значимость работы. Положительный баланс гумуса чернозёма выщелоченного обеспечивает ежегодная заплата соломы зерновых культур и внесением минеральных удобрений на планируемую урожайность 3,0-4,0 т/га зерна. Внедрений результатов исследований выполнено в Тюменской области в ООО «Сибиря» на площади 3080 га, что обеспечило общий экономический эффект в размере 3850000 рублей. Результаты исследований используются в учебном процессе по дисциплинам: «Почвоведение»; «Агропочвоведение»; «Система удобрений» и «Экология почв».

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Положительный баланс гумуса чернозёма выщелоченного обеспечивает заплата соломы на фоне внесения удобрений на планируемую урожайность 3,0-4,0 т/га зерна.

2. Повышение уровня минерального питания на урожайность свыше 4,0 т/га зерна усиливает разрушение гумуса и растительных остатков. Коэффициент минерализации возрастает с 1,1 до 1,6; коэффициент гумификации растительных остатков уменьшается с 0,20 до 0,06.

Апробация работы. Результаты исследований докладывались на научно-практических конференциях: «Новый взгляд на решение проблем АПК» (Тюмень, 2015), «Научные достижения и открытия современной молодёжи» (Пенза, 2016; 2017), «Современные научно-практические решения в АПК» (Тюмень 2017). Результаты были номинированы в конкурсах на лучшую научную работу среди студентов, аспирантов и молодых учёных (Тюмень, 2015; Самара, 2015).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 16 статей, в том числе 9 в изданиях, рекомендованных ВАК РФ.

Личный вклад. В основу настоящей работы положены собственные исследования автора. Автор принимала непосредственное участие в составлении методики опыта, самостоятельно провела опыты и наблюдения в полевых и лабораторных условиях, обобщила и проанализировала экспериментальные данные, подготовила публикации по теме диссертации и написала текст диссертации.

Объём и структура диссертации. Работа изложена на 156 стр. компьютерного набора, состоит из введения, 6 глав, основных выводов, предложения производству и содержит 35 таблиц, 24 рисунка. Список литературы включает 192 источника, в том числе 14 иностранных.

Автор благодарит за помощь научного руководителя д. б. наук, профессора Ерёмина Д.И. и коллектив кафедры Почвоведения и агрохимии ГАУ Северного Зауралья за поддержку и сотрудничество в проведении исследований и обсуждении их результатов. Отдельную благодарность выражаем д. б. наук, профессору И.В. Греховой; д. с.-х. наук, профессору А.С. Иваненко; к. с.-х. наук, доценту Н.В. Фисунову.

1 Обзор литературы

Гумус – это главное вещество почвы, образующееся в результате почвообразовательного процесса и определяющее её плодородие. Именно гумус отвечает за структурное состояние почвы, тем самым косвенно влияя на её свойства. Гумус должен постоянно обновляться, так как его отдельные фракции отвечают за определённые процессы почвообразования.

Почвенное органическое вещество образуется из отмерших остатков растений, микроорганизмов, почвенных животных и продуктов их жизнедеятельности. Основным источником пополнения органического вещества – растительные остатки, количество которых зависит от типа растений и условий произрастания. Максимальное количество растительных остатков оставляют после себя многолетние бобовые и злаковые травы. А.М. Лыков с коллегами (2004) отмечали, что наибольшее количество растительного материала поступает в чернозёмные почвы. Вовлечение чернозёмных почв в сельскохозяйственный оборот неминуемо приводит к изменению количественного и качественного состава растительных остатков, поступающих в почву.

Сельское хозяйство в последние десятилетия претерпевает существенные изменения. Прежде всего, это касается животноводства, которое в условиях современной экономической и политической обстановки страны начало активно развиваться. Помимо товарной продукции, животноводство даёт ценнейшие для почвы отходы – разные виды навоза. Г.Д. Гогмачадзе (2010), проведя мониторинг почв и земельных ресурсов РФ, пришёл к выводу, что достаточное количество органических удобрений вносилось только на 5,2% от общей территории, отведенной под пахотные угодья. В тоже время наша страна богата огромными залежами торфа, которые при необходимости можно использовать в качестве органического удобрения или компонента при приготовлении компостов. По данным И.В. Греховой (2012), 15% территории Тюменской области занято торфяными месторождениями. Однако, как показывают данные мониторинга плодородия

пахотных земель РФ, ситуация далека от идеала. Сложилась парадоксальная ситуация: в хозяйствах скапливается огромная масса навоза, на их территориях присутствуют торфяники, а поля страдают от дефицита органического вещества. Анализ хозяйственной деятельности животноводческих предприятий Тюменской области показал, что навоз и другие органические отходы вывозятся по экономическим соображениям в лучшем случае – на поля, удалённые от фермы не далее 5-7 км, поэтому на этой территории наблюдается положительная динамика по содержанию гумуса и плодородию почвы в целом (Лебедева Т.Б. и др., 2008; Юскин А.А. и др., 2009; Масютенко Н.П., 2012).

Воспроизводство плодородия пахотных почв осуществляется за счёт современных систем земледелия: агротехнических и мелиоративных приёмов систем земледелия; интенсивного применения органических и минеральных удобрений, пестицидов, мелиорантов. П.А. Чекмарёв и С.В. Лукин (2013) установили, что современные нормы внесения органических удобрений на территории Центрального Чернозёмья недостаточны для поддержания бездефицитного баланса органического вещества почвы.

В работе В.В. Заболотских (2014) по восстановлению устойчивости и плодородия почв отмечалось, что главная проблема для сельского хозяйства – снижение почвенного плодородия. Автор указывал, что в России 46% пахотных земель испытывают дефицит гумуса. Ежегодно с полей теряется 750-800 млн т питательных веществ, необходимых растениям для роста и развития, из которых 2% приходится на общий азот, 1% – на валовый фосфор, 8% на калий и 5% – на гумус. Если провести перерасчёт на минеральные удобрения, то получается 26 млн т аммиачной селитры, 10 млн т суперфосфата и 100 млн т хлористого калия.

Изучая приёмы сохранения и повышения плодородия почв, Н.А. Максютков и В.М. Жданов (2011) выяснили, что в Оренбургской области в почвах снизилось содержание гумуса на 0,4% в связи с тем, что с 1 га пашни ежегодно теряется не менее 1 т гумуса.

При возделывании зерновых культур на полях остаётся много побочной продукции в виде соломы и пожнивно-корневых остатков. По обмену энергии солома не уступает зерну – в одном килограмме сосредоточено 18 МДж, однако её усвояемость в 5-6 раз ниже, чем у зерна, вследствие высокого содержания целлюлозы и лигнина (Сорокин И.Б. и др. 2004). Современные породы крупнорогатого скота требуют высокоэнергетические корма с большим содержанием азота – солома в этом случае по ценности кормов находится на последнем месте (Бахарев А.А., 2012; Шевелёва О.М. и др., 2012). Система земледелия предусматривает активное использование средств защиты растений, которые накапливаются в побочной продукции, что делает её нежелательным компонентом в питании животных.

По данным кафедры почвоведения и агрохимии ГАУ Северного Зауралья, в соломе зерновых в среднем содержится 0,50-0,67% азота; 0,14-0,25% фосфора и 0,75-0,80% калия (Ренёв Е.П., 1999; Ерёмин Д.И., 2003). Солома, используемая в качестве подстилки, проигрывает торфу и опилу, влагоёмкость которых в 3-5 раз выше. Уборка этих наполнителей, даже при максимальной влагонасыщенности, не составляет труда, чего не скажешь о соломе. Рассмотренные особенности соломы являются основными причинами нежелания её использовать в животноводстве, поэтому некоторые хозяйства её попросту сжигают прямо на полях. О.Г. Назаренко с соавторами (2011) отмечали, что при сжигании соломы в верхнем слое почвы теряется 1,3 т/га гумуса, а в слое 0-10 см испаряется вода, что приводит к увеличению глыбистости и ухудшению структуры почвы. При сжигании пожнивных остатков уничтожаются и полезные биоценозы.

В современном сельском хозяйстве функционируют узкоспециализированные предприятия, занимающиеся исключительно выращиванием зерновых культур. Для них солома считается невостребованным отходом, и избавляются от неё путём частичной продажи или же просто сжигают.

В исследованиях многих учёных (Безуглова О.С. и др., 2012; Васильев А.В., 2012; Дедов А.В. и др., 2012; Безлер Н.В., Черепухина И.В., 2013) выявлено, что научно-обоснованная заплата растительных остатков, в том числе и соломы зерновых культур, может компенсировать недостающее количество удобрений, требуемое для получения запланированной урожайности. Заплата соломы в почву решает две важнейшие задачи: возвращение в почву минеральных питательных веществ и обогащение пахотного слоя растительными остатками, которые влияют на физическое, химическое и биологическое состояние почвы (Щербина П., 2008; Зеленов А.В. и др., 2016). Ю.П. Сорочкин, З.Я. Брюхова (2011), В.П. Буренок с соавторами (2011) отмечали, что сидеральный пар и солома могут широко использоваться в сельскохозяйственном производстве для улучшения плодородия почв и повышения урожайности культур.

С.А. Шафран (2016), изучив динамику содержания питательных веществ в пахотных почвах Нечернозёмной зоны России за 40-летний период, который характеризовался различными уровнями использования удобрений, установил, что в 1971-1990 гг. во время интенсивной химизации поступление питательных веществ, превышало вынос их урожаем. Это привело к снижению кислотности почвы и повышению содержания фосфора и калия в почве. В последующем наблюдалось снижение уровня применения удобрений, что, в свою очередь, привело к ухудшению плодородия пахотных почв.

Один из важных показателей плодородия почвы – содержание органического вещества, из которых 85-90% составляет гумус, который снабжает растения основными элементами питания: азотом, фосфором, калием и микроэлементами. Также гумус принимает активное участие в процессе почвообразования, оказывая влияние на микроагрегатный состав почвы, предохраняя её от выветривания, снабжая растения углекислотой, необходимой для фотосинтеза, поэтому важно сохранить и приумножить запасы гумусовых веществ в почве (Корельская Т.А. и др., 2011).

Ценность гумуса определяется соотношением содержания в нём гуминовых кислот и фульвокислот. При синтезе гуминовых кислот в почвах отмечается улучшение качественных характеристик плодородия. Среди гумусовых веществ различают три главные группы соединений: гуминовые кислоты, фульвокислоты и гумин.

Гуминовые кислоты представляют собой тёмноокрашенную фракцию высокомолекулярных азотсодержащих соединений, которые извлекаются из почвы щелочными растворами. В своём составе они содержат 52-62% углерода, 3,0-5,5% водорода, 30-33% кислорода и 3,5-5,0% азота. Гумусовые кислоты состоят из карбоксильных, метоксильных и гидроксильных групп. Благодаря им, гумусовые кислоты обладают высокой поглотительной способностью, обменивая свои группы на катионы. Одновалентные катионы создают растворимые в воде соли, которые вымываются вглубь почвы. Двух и трёхвалентные катионы участвуют в формировании водопрочной структуры почвы.

Фульвокислоты – органические оксикарбоновые, азотсодержащие кислоты жёлтого цвета. В состав фульвокислот входит 44-49% углерода, 3,5-5,0% водорода, 44-49% кислорода и 2-4% азота. В отличие от гумусовых кислот, в своём составе они меньше содержат углерода и больше кислорода. Часть фульвокислот (ФК-1а и ФК-1) находится в свободном состоянии. При взаимодействии с катионами образуют соли – фульваты, которые растворимы в воде независимо от валентности металла. Под действием фульвокислот разрушаются минералы, которые активно принимают участие в подзолообразовательном процессе (Тюрин И.В., 1965; Понаморёва В.В., 1980).

Гумины представляют собой сложный комплекс, в состав которого входят гуминовые кислоты и фульвокислоты, прочно связанные с минеральной частью почвы. Могут растворяться в сильных кислотах.

В зависимости от состава гумусовые и фульвокислоты можно разделить на четыре фракции: 1-я – входят наиболее подвижные соединения

в почве, они связаны с несиликатными формами полуторных окислов; 2-я – более устойчивая, так как связана с кальцием; 3-я – связана с устойчивыми глинистыми соединениями в виде полуторных окислов алюминия и железа; 4-я – является самой агрессивной, так как реакция среды составляет 2,6-2,8. Плодородие почвы зависит от качественного состава гумуса. У чернозёмных почв преобладает вторая и третья фракции.

Гумус улучшает химические, физико-химические, физические, свойства почв и биологическую активность. Влияние его на химический состав почвы связано с накоплением азота и зольных элементов. Известно, что 98% валового азота, 25-60% фосфора и 75% серы находятся в органической части почвы. Гуминовые кислоты и фульвокислоты на ранних стадиях развития растений способствуют образованию корневой системы. Растворы гуминовых кислот активизируют ферментативную деятельность растений, поэтому важно сохранить и приумножить содержание гумусовых веществ в почвенном профиле (Комиссаров И.Д., Сартаков М.П., 2012).

Для повышения урожайности сельскохозяйственных культур в хозяйствах активно используют минеральные удобрения, отказываясь вносить органику, что приводит к постепенной дегумификации почв. В соломе углерода содержится в 3-4 раза больше, чем в других органических удобрениях, что считается чрезвычайно важным в регулировании баланса органического вещества почвы. Углерод в соломе сосредоточен в целлюлозе, пентозанах, гемицеллюлозе и лигнине, которые являются энергетическим субстратом для почвенных микроорганизмов и основным строительным материалом для гумуса (Ерёмин Д.И. и др., 2008).

И.Н. Шарков с соавторами (2016), провели многолетний полевой опыт по удалению соломы с поля в лесостепи Западной Сибири и установили, что среднегодовое количество растительных остатков в пашне уменьшилось на 3,1-3,4 т/га, а органического азота – на 17-20 кг. В результате удаления соломы с поля в пахотном слое почвы содержание подвижного гумуса уменьшилось на 19%, детрита – на 28% и мортмасс – на 36%.

Солома – экологически безопасный источник пополнения органического вещества чернозёмов. Как отмечали А.В. Дедов и др. (2012), под пропашные культуры солому озимой пшеницы лучше заделывать в сочетании с минеральными удобрениями или пожнивными сидератами. А.А. Моисеенко и Л.А. Негода (2007), изучая эффективность заделки соломы в севообороте, рассчитали, что при заделке 1 тонны соломы в почве формируется до 150 кг гумуса. Систематическая заделка соломы зерновых культур совместно с отавой, пожнивных и корневых остатков многолетних трав обеспечивает практически бездефицитный баланс органического вещества в почве. Это же подтверждается работой Л.Н. Трипольской с соавторами (2008) по изучению гумусного состояния пахотных почв.

Н.В. Смолин (1998) отмечал, что при заделке соломы на фоне минерального питания наблюдается тенденция повышения гумуса. Использование органоминеральной системы удобрений приводит к улучшению качества гумуса. Тогда как использование только одних минеральных удобрений снижает его качество, вследствие чего увеличивается его подвижность и разрушительное действие (Корчагин А.А. и др., 2013).

Исследуя состояние пахотных чернозёмов лесостепной зоны Зауралья, Д.И. Ерёмин (2014) установил, что для стабилизации гумуса необходимо запахивать 12-17 т/га зелёной массы растительных остатков. Выращивание зерновых культур без удобрений приводит к снижению содержания гумуса в почве с 7,19 (262 т/га) до 6,79% (247 т/га), тогда как внесение минеральных удобрений на планируемую урожайность 3,0 и 4,0 т/га зерна за 14 лет увеличило запасы гумуса на 11-13 т/га относительно первоначальных значений.

Внесение органических и минеральных удобрений повышает содержание и подвижность гумуса по всему профилю чернозёма выщелоченного, увеличивая его мощность за счёт миграционных форм гумусовых веществ (Стекольников К.Е., Кольцова О.М., 2012).

Результаты исследований динамики гумуса в длительных стационарных опытах в юго-западной части Центрального Чернозёмного региона показали, что при совместном использовании органических и минеральных удобрений количество гумуса повышалось от 0,63 до 0,78% в зернотравянопропашном севообороте (Никитин В.В. и др., 2015).

Изучая эффективность последствий различных видов органических удобрений, в том числе и соломы, А.Х. Куликова и Г.В. Сайдышева (2014) выявили их длительное положительное влияние на свойства чернозёма выщелоченного и урожайность зерна яровой пшеницы. Органические удобрения в последствии повышали урожайность яровой пшеницы на 14-22% относительно контроля.

В.И. Турусов и А.М. Новичихин (2012), Д.Д. Таркалсов и др. (2013) отмечали, что одна из основных причин потери почвенного гумуса – интенсивная механизированная обработка почвы и вывоз с полей растительных остатков. Ведь в природной экосистеме замкнутый круговорот органических веществ, тогда как в агроэкосистемах ежегодно с полей теряется значительная часть питательных веществ, что негативно отражается на почвенном плодородии.

И.А. Захаровой с соавторами (2016) установлено, что интенсификация сельского хозяйства приводит к ухудшению гумусового состояния почв, поэтому аграриям целесообразно восполнять потери органического вещества почвы путём внесения навоза, перегноя, заправки соломы и пожнивных остатков, что, в свою очередь, будет стабилизировать гумусовое состояние почвы.

И.Б. Сорокин с соавторами (2004) указали, что большое влияние на разложение соломы оказывает время её заправки. Наибольший эффект от заправки соломы зерновых культур проявляется при её заделке в осенний период под раннюю зябь. После заправки соломы до наступления устойчивых холодов есть 2-3 месяца положительных температур, при которых микробиологическая активность минует дефицит почвенного азота. За этот

период проходит пик их интенсивного размножения, и закреплённые питательные вещества высвобождаются из отмирающих микроорганизмов. В результате деструкции соломы образуются биологически активные вещества, стимулирующие рост и развитие растений, улетучиваются фитотоксичные вещества. Уже в первый год заделки соломы отмечалась прибавка в урожае яровой пшеницы на 9-23%. Поздняя заделка соломы в замерзающую почву или весенняя её заделка не оказывают положительного эффекта на урожай злаковых культур. Если совместно с соломой использовать минеральные удобрения, то отрицательного воздействия на культурные растения не будет (Сорокин И.Б. и др., 2007).

Заделка соломы в виде мульчи благоприятно сказывается при борьбе с водной и ветровой эрозией почв (Назаренко О.Г. и др., 2011), вследствие чего снижается риск поверхностного стока воды и испаряемости влаги. Сохранение стерни и соломы на поверхности почвы снижает ветровую эрозию. В условиях Западной Сибири сохранение соломы может иметь негативный эффект вследствие ухудшения температурного режима почвы в весенний период (Абрамов Н.В., 2013; Лазарев А.П. и др., 2014).

П.И. Никончик и А.Ч. Скируха (2012) выявили, что заделка соломы зерновых культур не приводит к существенной прибавке содержания гумуса в пахотном слое, но сохраняет его на исходном уровне. Заделка соломы в почву на глубину 0-20 см за 26 летний период увеличила содержание гумуса на 0,16 и 0,02% соответственно, тогда как при использовании соломистого навоза прибавка была в 8 раз выше. Ф.Ш. Мирамехмедов с соавторами (2016) установили, что ежегодный вынос гумуса на средних и лёгких по гранулометрическому составу почвах не может быть восполнен за счёт заделки одной лишь соломы в результате повышенной аэрации пахотного слоя.

В результате многолетних исследований С.Н. Никитин (2015) выяснил, что динамика улучшения гумусового состояния происходит только при заделке 50 т/га навоза с обязательным использованием соломы. Н.С. Матюк

и др. (2014) установили, что введение в севообороты чистых паров и пропашных культур усиливает минерализацию гумуса. Тогда как использование минеральных удобрений на планируемую урожайность обеспечивает бездефицитный баланс гумуса, а дополнительное внесение органических удобрений в виде навоза или соломы зерновых культур приводит к накоплению почвенного гумуса. Такие же результаты были получены в исследованиях А.А. Дедова с соавторами (2015). Они установили, что использование в севообороте сидерального (донник жёлтый) или занятого (люцерна синяя) пара ускоряет деструкцию растительных остатков на 38,8% относительно севооборота с чистым паром.

В условиях лесостепной зоны Зауралья чернозёмные почвы изначально обладают высокими запасами питательных веществ. Главным показателем их плодородия считается содержание гумуса и его качественный состав, поэтому главной задачей для аграриев остаётся сохранение и приумножение органического вещества почвы (Лазарев А.П. и др., 2014). Однако вовлечение почв в сельскохозяйственный оборот неминуемо приводит к изменению почвообразовательного процесса, особенно это касается гумусового состояния. Основой плодородия чернозёмов считают многолетнюю травянистую растительность, которая ежегодно оставляет на 1 гектаре до 10-20 т корней (Абрамов Н.В., 2013).

Накопление элементов питания в непродуктивных частях – биологическая особенность растений. В исследованиях многих учёных отмечалось, что содержание NPK в соломе зерновых культур составляет 0,60 0,20 и 0,78% соответственно, что зависит от особенностей возделывания культур и природно-климатической зоны (Ерёмин Д.И., 2003; Юскин А.А. Макаров В.И., 2009; Белкина Р.И., Масленко М.И., 2012).

Т.Б. Лебедевой с соавторами (2008) было установлено, что химический состав запахиваемой растительной и пожнивной массы влияет на содержание общего углерода и гумуса, в том числе лабильного органического вещества. А.М. Лыков и др. (2004) отмечали, что одним из главных значений

органического вещества является соотношение C:N. Свежее органическое вещество растительных остатков с узким диапазоном соотношения углерода к азоту стимулирует рост и развитие почвенной микрофлоры, так как является доступным источником их питания. Низкое содержание азота в органическом веществе принуждает микроорганизмы восполнять этот дефицит почвенным минеральным азотом.

Химический состав соломы влияет на скорость разложения растительных остатков, что объясняется стимулированием целлюлозоразлагающей биоты органическим азотом (Лазарев А.П., Майсямова Д.Р., 2006; Ерёмин Д.И., Попова О.Н., 2016). Оптимальным соотношением C:N считается 20:1, однако такое соотношение бывает крайне редко, обычно оно существенно больше – 60-80:1, что вызывает дополнительное потребление микроорганизмами почвенного азота и, как следствие, снижение урожайности сельскохозяйственных культур. По этой причине солому надо запахивать в почву вместе с компенсирующими дозами азотных удобрений (Скируха А.Ч., 2013; Ерёмин Д.И., Ахтямова А.А., 2015).

Обобщив результаты многолетних экспериментов, В.М. Семёнов и Т.Н. Лебедева (2015) установили, что при возвращении растительных остатков в почву применение азотных удобрений в 79% случаев способствовало увеличению содержания органического углерода, в 15% случаев – снижало и в 6% – не изменяло его содержание. Увеличение содержания органического вещества почвы способствует восполнению баланса углерода (Кулаков В.А., Щербаков М.Ф., 2011).

И.Б. Сорокин с соавторами (2004) рассчитали, что для создания положительного баланса гумуса необходимо ежегодно вносить не менее 17 т/га органических удобрений. При урожайности зерновых культур 3,0-5,0 т/га зерна заплата соломы способна создать бездефицитный баланс гумуса без дополнительных затрат на её переработку. Это объясняется тем, что изогумусовый коэффициент соломы равен 0,1-0,25, при запашке 2,0-4,0 т/га

растительных остатков в почве образуется 0,3-2,6 т/га гумуса, что компенсирует минерализацию почвенного органического вещества.

Изучая влияние растительных остатков на агроценоз яровой пшеницы, Б.Р. Ирмулатов и А.К. Сарбасов (2012) установили, что внесение соломы в дозе 3 т/га оптимизирует агрофизические свойства пахотного слоя и увеличивает урожайность яровой пшеницы на 29,7%.

В безгумусовых и малогумусовых горизонтах степень гумификации в 3-4 раза выше, чем в гумусных. Использование органических удобрений – навоза и соломы, способствует повышению органогенности чернозёма до 38% с увеличением подвижности гумуса. При этом повышается биологическая активность генетических горизонтов в 2 раза с увеличением содержания основных элементов питания (Куприченко М.Т., Менькина Е.А., 2012).

В исследованиях Л.Г. Комаревцевой (2008) по использованию соломы в качестве удобрения установлено, что заплата растительных остатков совместно с минеральными удобрениями увеличивает микробиологическую активность в 2,5 раза, а ферментативную активность – в 2 раза. Это подтверждается результатами исследований Н.В. Безлер и И.В. Черепухиной (2012). Выявлено, что при запатке соломы повышается содержание в почве подвижного фосфора и обменного калия. Использование соломы и минеральных удобрений позволяет получать прибавку в урожае на 0,3-0,8 т/га ячменя и 0,3-0,6 т/га овса. При этом увеличивается качество сельскохозяйственной продукции.

Изучая влияние органических удобрений, С.Н. Немцев с соавторами (2011) выяснили, что заплата соломы увеличивает выход пожнивных корневых остатков озимой пшеницы на 9%. При этом содержание основных элементов питания в растительных остатках озимой пшеницы увеличивается на 8-21% и составляет 0,78% азота, 0,34% – фосфора и 0,58% – калия.

Систематическая заплата соломы яровой пшеницы, выращенной на естественном агрофоне, возвращает в почву азота, фосфора и калия 10, 5 и 22

кг д.в./га соответственно. Выращивание яровой пшеницы на удобренных вариантах с планируемой урожайностью от 3,0 до 6,0 т/га зерна в разы увеличивало данный показатель и составляло: азота – 43; фосфора – 16 и калия 45 кг д.в./га (Ерёмин Д.И., Попова О.Н., 2016).

Исследованиями А.Ю. Фурсовой и А.Н. Есаулко (2015) установлено, что с увеличением уровня минерального питания содержание азота, фосфора и калия в растениях озимой пшеницы увеличивалось на 0,53; 0,13 и 0,31% соответственно. Однако Д.И. Ерёмин (2015) выявил, что внесение минеральных удобрений на планируемую урожайность до 4,0 т/га зерна не оказывает существенного влияния на скорость её разложения – убыль составила до 37% от исходной массы. На вариантах с высоким уровнем минерального питания (NPK на 5,0 и 6,0 т/га зерна) убыль массы соломы достигла 47%.

На химический состав соломы большое влияние оказывают предшественники и система обработки почвы. Максимальные значения содержания азота и калия в соломе яровой пшеницы были получены после предшественника в виде ячменя и составили 0,81 и 1,94% соответственно, что в 2 раза выше значений после чистого пара (Юскин А.А., Макаров В.И., 2009).

А.В. Дедов с соавторами (2012) отмечали, что, используя солому на удобрение, большое значение имеют темпы её разложения. Запаханная солома без внесения удобрений разлагается медленно, так как в её составе много углерода (клетчатка пропитана лигнином) и мало азота (большое соотношение C:N). Добавление к соломе минеральных удобрений увеличивает скорость её разложения в 1,4-1,5 раза, это подтверждается исследованиями Т.М. Серой и др. (2013): в первый год разлагается 50-83% растительных остатков в зависимости от дозы азотных удобрений. В пересчёте на 1 га в почву поступило: 44 кг азота, 53 кг фосфора, 217 кг калия, 34 кг кальция и 22 кг магния.

А.А. Громаков и А.И. Журавлёва (2012) выявили, что запашка соломы зерновых культур не оказывает существенной прибавки урожая подсолнечника, тогда как при совместной заделке соломы с минеральными удобрениями повышается урожайность на 16%. Это подтверждается В.В. Ивениным (2011), используя солому в качестве органического удобрения в дозе 4 т/га – он получил урожай ячменя 1,9 т/га.

Многие исследователи отмечали (Ерёмина Р.Ф. и др., 2010; Юшкевич Л.В. и др., 2012; Юшкевич Л.В., Ершов В.Л., 2013), что положительный эффект от запашки соломы будет проявляться со временем и возрастет при комплексном применении с гербицидами и минеральными удобрениями, в особенности азотными.

Изучая динамику разложения соломы в модельно-полевом опыте, Е.В. Богатырёва (2015) установила, что максимальная скорость разложения растительных остатков протекала в течении первых двух месяцев после её запашки. Внесение компенсирующих доз азота увеличило скорость разложения соломы на 12%.

Проведя полевые и научно-производственные исследования, Н.А. Чуян и Р.Ф. Ерёмина (2007) установили, что для устранения негативного влияния продуктов разложения свежего органического вещества на возделываемую культуру необходимо вносить азотные минеральные удобрения.

J.A. Baldock с соавторами (2007) отмечали, что трансформация микроорганизмами свежего органического вещества в пахотных почвах – ключевой фактор, определяющий такие процессы как глобальный круговорот углерода, производство продовольствия и парниковый эффект.

В работе Л.Ц. Хобракова с соавторами (2010) отмечалось, что в естественных условиях гумификация растительных остатков в почве осуществляется не только микробами и дождевыми червями, но и многими другими фитосапрофагами. Они создают мелкозёмистость и рыхлость, влияют на физические свойства, структуру и химические процессы, приводят

к смешиванию химических элементов, их аккумуляции и стабилизации в форме гумусовых веществ, определяющих почвенное плодородие.

Большое влияние на процесс почвообразования оказывают микроорганизмы. Из многочисленных процессов, происходящих в почве, большое значение имеют: усвоение азота, минерализация органических остатков, образование гумуса и его разложение. Состав и активность микрофлоры определяют интенсивность каждого из этих процессов. Таким образом формируется почвенное плодородие (Верзилин В.В. и др., 2005).

Наиболее легкодоступные органические соединения соломы разлагаются в первые две недели после её заделки (Nicolardot В. и др., 2007). При разложении соломы происходит минерализация органической массы с образованием гумусовых веществ. Процессы минерализации и гумификации органической массы соломы происходят под действием почвенной биоты с определёнными видами микроорганизмов (Тарасов С.А., Шершнева О.М., 2014).

Из всего разнообразия почвенных микроорганизмов изучено не более 10% (Орлова О.В. и др., 2015). Недостаточно изучены состав и структура микробного сообщества, ведущих разложение растительных остатков, в сторону преобладания минерализации или гумификации (Correns F. И др., 2006). Это объясняется полифункциональностью микроорганизмов, на их состав не всегда влияет изменение свойств растительных остатков (Baumann К. и др., 2009).

Д.И. Ерёминым и С.В. Абрамовой (2008) установлено, что высокие дозы минеральных удобрений, в особенности азотных, негативно влияют на почвенную биоту, длительное применение повышенных и высоких доз минеральных удобрений увеличивает количество грибов и актиномицетов, ингибируя развитие бактериальной микрофлоры. Это объясняется тем, что минеральные удобрения локально подкисляют почвенную среду, создавая благоприятные условия для развития грибной микрофлоры, которые выделяют токсины, негативно влияющие на культурные растения. А.А.

Кукишева (2008) выявила, что длительное использование минеральных удобрений активизирует рост фитотоксичных почвенных грибов родов *Fusarium*, *Alternaria*, *Penicillium* на 14-31% от общей численности микромицетов.

С.В. Суприной (2008) выявлено, что использование кальцийсодержащих удобрений на 48,3% увеличивает количество почвенных грибов. Почвенная грибная микрофлора – необходимый компонент для синтеза высокомолекулярных гумусовых веществ, а также для перевода питательных веществ из недоступной формы в легкодоступную (Ерёмин Д.И., Попова О.Н., 2016). В работе С.Н. Надежкина и Н.М. Нурмухаметова (2005) отмечалось, что использование соломы в качестве органического удобрения приводит к изменению состава почвенной микрофлоры, почвенные грибы постепенно замещаются целлюлозоразлагающимися бактериями, которые при соответствующем уровне аэрации синтезируют гумусовые вещества.

Многими учёными (Бабьева И.П., Зенова Г.М., 1983; Гусев М.В., Минеева Л.А., 2003; Масютенко Н.П., 2012; Скипин Л.Н. и др., 2014) установлено, что биомасса почвенных грибов превышает бактериальную независимо от типа почвы. В тоже время Д.И. Ерёмин и О.Н. Попова (2016) отмечали, что соотношение групп бактерий зависит от зоны и типа почвы. Также на количественную и качественную характеристику бактериальных микроорганизмов оказывают: реакция среды, влажность и аэрация (Шахова О.А., 2016).

Постоянно существует интерес направленного использования препаратов, позволяющих ускорить трансформацию соломы (Шершнева О.М., Тарасов С.А., 2014; Щербаков А.В. и др., 2014). В исследованиях многих российских и зарубежных учёных установлено, что применение биопрепаратов ускоряет процессы минерализации или гумификации растительных остатков в почве, а также снижает фитотоксичность продуктов её разложения и увеличивает урожайность сельскохозяйственных культур

(Gaind S., Nain L., 2007; Русакова И.В., 2011; Abro S. и др., 2011; Елихин И.В., 2013; Безлер Н.В., Черепухина И.В., 2013; Богатырёва Е.Н. и др., 2013; Русакова И.В., Московский В.В., 2015).

Активное использование средств химизации приводит к гибели отдельных видов почвенных микроорганизмов. На их место приходят микроорганизмы, для которых нетипичен почвообразовательный процесс при взаимодействии с растениями. Это может привести к тому, что пожнивные остатки могут перестать разлагаться и будут препятствовать проведению механизированной обработки почвы (Харченко А.Г., 2015).

Т.А. Девятова с соавторами (2010) установили, что обработка соломы, перед её заашкой гуматным препаратом Тамир, стимулирующим рост и развитие растений, в сочетании с аммиачной селитрой способствует ускорению деструкции соломы, улучшает физические и водно-физические свойства почвы. И.В. Русакова (2011) указывала, что обработка соломы биопрепаратом гумификатором Баркон способствует трансформации соломы в сторону гумификации, увеличивая её коэффициент на 66%; повышает содержание в почве общего органического углерода на 7% и легкоразлагаемого углерода на 28%. Обработка соломы биорепаратом Баркон устраняет фитотоксический эффект при её заашке, положительно влияя на рост и развитие растений.

Изучая влияние растительных остатков в севообороте, Н.В. Безлер и И.В. Черепухина (2013) доказали, что совместное использование с соломой микромицета-целлюлозолитика (питательная добавка) и азотных удобрений снижает токсичность действия веществ, выделяющихся при разложении. Урожай озимой пшеницы увеличился на 28%. тогда как заашка соломы без дополнительных компонентов способствовала снижению содержания азота в почве из-за иммобилизации его микроорганизмами, что привело к снижению урожайности озимой пшеницы на 11%.

А.Е. Шимко с соавторами (2015) выявили, что, солома, обработанная гуминовым препаратом «ВЮ-Дон», увеличивает скорость разложения растительных остатков с тенденцией на образование гумусовых веществ.

И.В. Русаковой (2011), И.В. Елихих (2013), И.В. Русаковой и В.В. Осковкиной (2016) установлено, что использование микробиологических препаратов благоприятно влияет на разложение соломы, а именно на скорость минерализации, степень разложения и накопления микробной массы. Также отмечено положительное влияние на разложение соломы при совместном использовании с биопрепаратами минерального азота. Запашка растительных остатков улучшает питательный режим за счёт увеличения элементов питания на 2,6-16,0 мг/кг почвы относительно неудобренного варианта. Добавление 10 кг азота на 1 т соломы и обработка её биологическим препаратом Байкал ЭМ-1 способствовали увеличению скорости разложения растительных остатков и повышению элементов питания на 5,6-23,0 мг/кг почвы. Также отмечена прибавка урожайности зерна на 10% (Куликова А.Х., Хисамова К.Ч., 2015).

А.А. Завалин и П.Н. Калабашкин (2015) выяснили, что использование биопрепаратов ризоторфин и микофил увеличивает содержание биологического азота в зерне и растительных остатках в 1,34 раза, тогда как на фоне фосфорно-калийных удобрений увеличение было в 1,14 раза.

Исследованиями О.А. Шаховой (2016) по изучению влияния агрохимикатов на микробиологическую активность было установлено, что обработка льняного полотна препаратами Стернифаг и Росток способствовала увеличению скорости разложения до 70% от исходной массы. Также отмечалось, что наиболее активным стал слой 10-20 см, убыль массы увеличилась до 23%. Микробиологическая активность чернозёма выщелоченного на 67% зависит от аэрации и запасов доступной влаги почвы.

М.Ф. Борисенков и др. (2011), изучая действие ферментативной обработки соломы, установили, что гриб *Trichoderma viride* приводит к увеличению содержания в ней лигнинов.

Е.В. Богатырёва (2015), исследуя влияние биопрепаратов Стернифаг и Триходермин на деструкцию растительных остатков, выяснила, что через 11 месяцев закладки опыта разложение соломы составило 94-97% относительно исходной массы. При этом использование Стернифага в дозе 80 г/га способствовало увеличению количества подвижных фосфатов на 7,0 мг/кг.

Обработка соломы микробиологическим препаратом Трихофит при норме 3 л/га перед её запашкой повышает биогенность почвы и ускоряет процесс разложения соломы. Также выявлено, что наибольший эффект от обработки соломы препаратом проявляется в условиях достаточной влагообеспеченности почвы (Тарасов С.А., Шершнева О.М., 2014). При достаточном количестве атмосферных осадков и положительных температур в осенний и весенний периоды создаются благоприятные условия для действия почвенных сапрофитов. В таких условиях биопрепараты активизируются и ускоряют процесс разложения соломы в 4,8 раза относительно засушливого периода (Бирюков Е.В., 2008).

В.И. Лазарев с соавторами (2014), изучая влияние обработки микробиологическими препаратами Гуапсин и Трихофит на степень деструкции пшеничной соломы, установили, что наибольшая эффективность действия препаратов проявлялась в условиях высокой влагообеспеченности почвы. Максимальная скорость разложения растительных остатков отмечена на вариантах, обработанных препаратом Трихофит, содержащим микромицет *Trichoderma lignorum*.

В результате многолетних исследований Н.В. Перфильевым и др. (2015) установлено, что различные системы основной обработки почвы приводят к дифференциации пахотного слоя по почвенной микрофлоре, вследствие особенностей распределения растительных остатков. Минимальная обработка почвы способствует заселению микроорганизмами верхних слоёв почвы (Мельникова Н.А., Нечаева Е.Х., 2015).

Н.И. Васильченко (2014) указывал, что в состав севооборота необходимо включать многолетние бобовые травы для обогащения почв

биологическим азотом и органическим веществом. За 3 года выращивания люцерны в почве накапливается 3-4 ц/га азота. Дополнительно в почву поступают пожнивные и корневые массы, что увеличивает резерв почвенной органики. При этом В.М. Новиков (2015) установил, что отвальная обработка почвы на глубину 20-22 см с использованием в качестве удобрения соломы и пожнивных корневых остатков увеличивает эффективность возделывания гречихи в два раза. Аналогичные результаты получены и в исследованиях С.К. Мингалёва (2015): запашка соломы и сидерата на глубину 22-23 см способствует достоверной прибавке урожайности пшеницы относительно контроля.

В исследованиях А.В. Кислова с соавторами (2015), Л.Г. Мордалёва и др. (2016) отмечалось, что безотвальная система обработки сохраняет на поверхности почвы основную массу растительных остатков. Отвальная обработка способствует лучшей минерализации органических остатков за счёт полной заделки их в почву. Основным способ обработки почвы оказывает существенное влияние на скорость разложения растительных остатков.

В.М. Бойков и др. (2016) отмечали, что орудия, применяемые для проведения основной обработки почвы, различно распределяют растительные остатки по глубине пахотного слоя. Они установили, что вспашка почвы высокоскоростным плугом ПБС (ПШУ) обеспечивает 85-92% заделки растительных и пожнивных остатков в пахотном слое (0-30 см). При этом растительные остатки располагались в почве глубже 8 см, что способствовало активному прохождению процессов разложения.

Н.А. Пегова (2013) установила, что при мелкой зяблевой обработке наблюдается снижение содержания углерода с 0,106 до 0,94%, при этом уменьшается концентрация гумуса в сравнении с отвальной обработкой. Отвальная обработка почвы чернозёма выщелоченного обеспечивает максимальные значения содержания основных элементов питания в растениях озимой пшеницы (Фурсова А.Ю., Есаулко А.Н., 2015).

В исследованиях В.И. Турусова с соавторами (2012) отмечено, что при отвальной обработке почвы на глубину 20-25 см трансформация растительных остатков склонялась в сторону гумификации, тогда как при более глубокой обработке почвы наблюдалось разложение гумусовых веществ за счёт особенностей заделки растительных остатков и изменения аэрации.

Т.М. Серая и др. (2015), изучая влияние заправки побочной продукции и минеральных удобрений на продуктивность сельскохозяйственных культур, установили, что использование фосфорных и калийных удобрений с учётом содержания их в соломе обеспечивает продуктивность звена севооборота на уровне полных доз удобрений.

Таким образом, проведённый анализ научной литературы показал, что в настоящее время проблема стабилизации гумусового состояния пахотных почв стоит наиболее остро. Процесс трансформации растительных остатков в почве зависит от множества факторов. Это делает невозможным составление универсальных рекомендаций по расширенному воспроизводству плодородия почв для всех природно-климатических зон. В связи с этим необходимо проведение индивидуальных исследований и разработки алгоритма стабилизации гумусового состояния для каждого региона.

2 Природные условия и методика проведения исследований

2.1 Агроклиматические условия места проведения исследований

Исследования по стабилизации гумусового состояния чернозёма выщелоченного выполняли на стационарах кафедры почвоведения и агрохимии и кафедры земледелия, которые входят в состав опытного поля ГАУ Северного Зауралья, расположенного вблизи д. Утешевой, Тюменского района в 2013-2016 гг.

Климат северной лесостепи континентальный, тёплый, умеренно увлажнённый. Сумма положительных температур воздуха за период с температурой выше 10°C составляет 1700-1900°C. Зима холодная, умеренно снежная, её продолжительность 5 месяцев. Высота снежного покрова около 40 см. Продолжительность безморозного периода составляет 100-120 суток. Средняя температура воздуха достигает в июле 17,3-20,0°C, в январе – 16,7-20,3°C. Гидротермический коэффициент равен 1,4, что обуславливает периодически промывной тип водного режима. Среднегодовое количество осадков варьирует от 370 до 400 мм, из которых 145-210 мм выпадают за летний период с июня по август (Иваненко А.С., Кулясова О.А., 2008).

2013 год. В первой и третьей декаде мая температура воздуха поднялась на 1,3 и 6,1°C относительно среднемноголетних значений и составила 10,1 и 18,3°C соответственно (рис. 1). Температура воздуха во второй декаде мая была на уровне среднемноголетних значений. Количество выпавших осадков в мае в 1,6 раза превысило климатическую норму, достигая 62 мм, однако повышенная температура в этом месяце способствовала усиленному физическому испарению (рис. 2).

Температура воздуха в июне поднялась до 17,0-24,2°C, что на 20-28% выше среднемноголетних значений. В июне выпало 34 мм осадков, что почти в 2 раза меньше климатической нормы для данной территории (Приложение А).

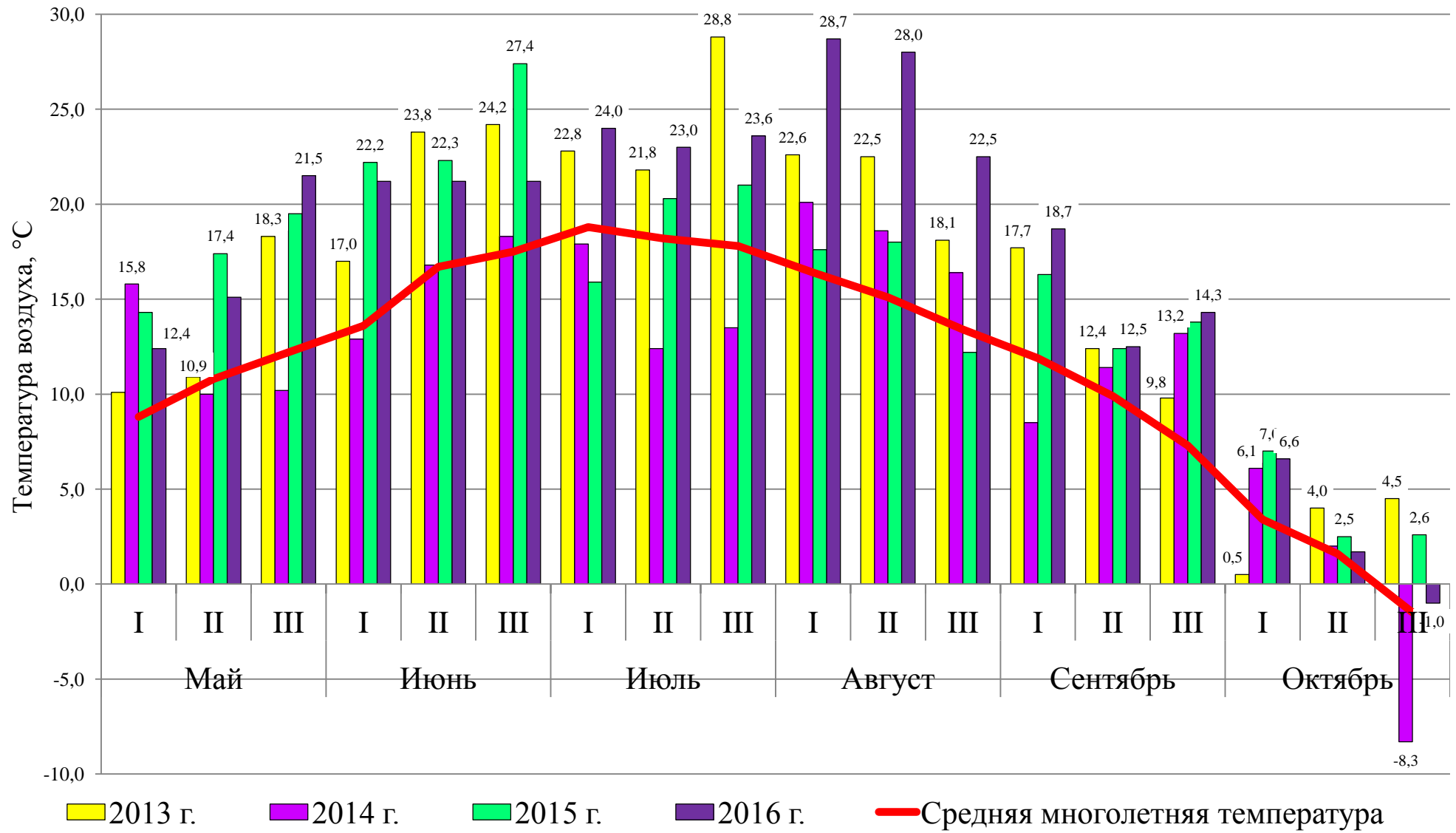


Рисунок 1 – Температура воздуха, °C

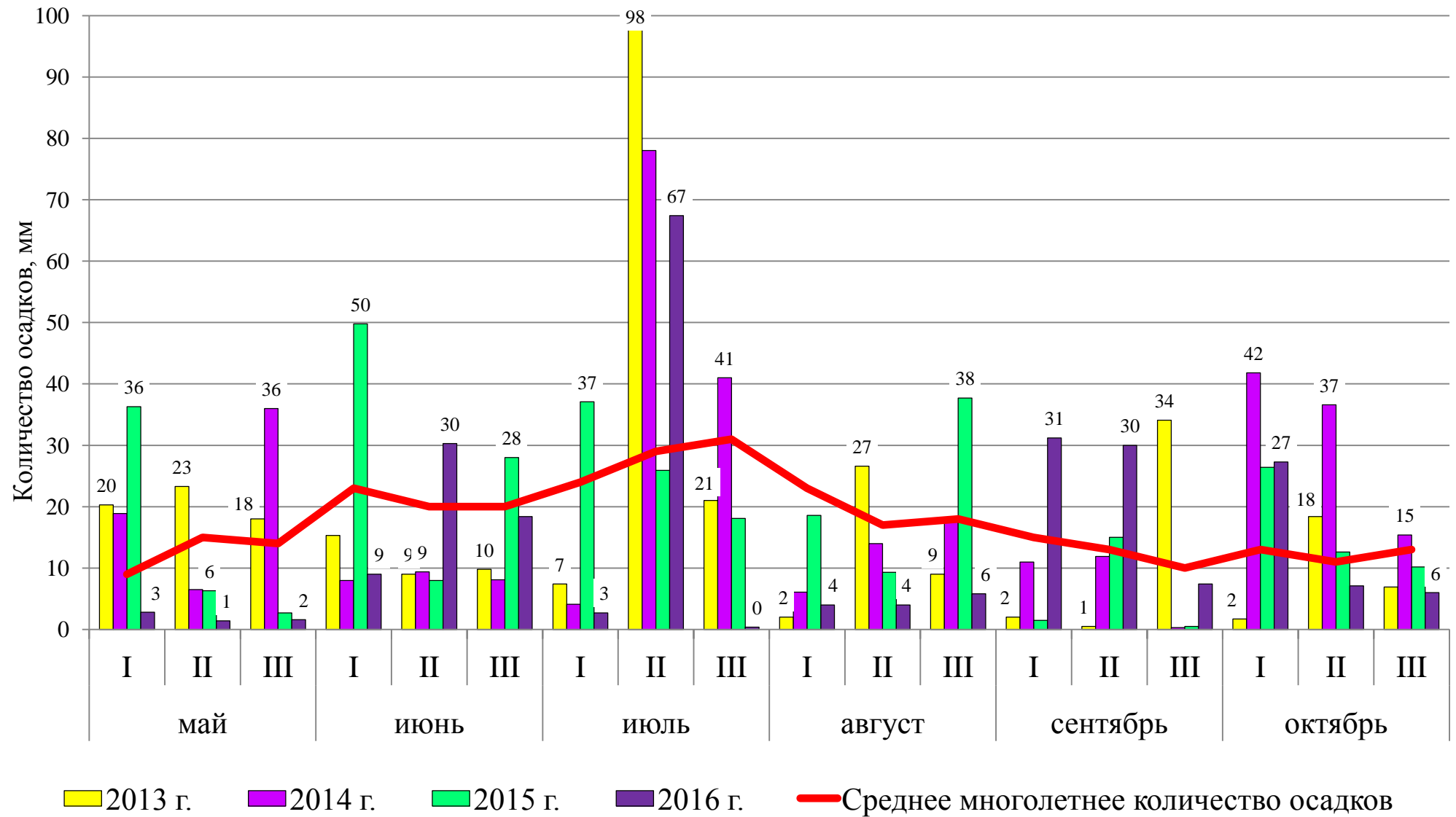


Рисунок 2 – Количество осадков, мм

В июле температура воздуха достигала 21,8-28,8°C (на 3,6-11,0°C выше среднемноголетних значений). В этом месяце осадки выпадали неравномерно. В первой и третьей декадах июля был дефицит осадков, который усугублялся высокой температурой. В середине месяца прошли сильные дожди, интенсивностью более чем в 3 раза относительно среднемноголетних значений. Высокая температура во вторую декаду усилила десукцию и привела к ухудшению водообеспеченности растений.

Среднемесячная температура воздуха в августе достигала 21,1°C, что на 30% выше нормы. Характер распределения осадков в августе был неравномерным, но ниже климатических значений. В первой и второй декаде осадков выпало 2 и 9 мм, что меньше нормы на 21 и 9 мм соответственно. Во второй декаде количество выпавших осадков на 10 мм превысило среднемноголетние значения.

В сентябре температура воздуха постепенно опускалась с 17,7 до 9,8°C, но на 2,5-5,8°C была выше нормы. В первой и второй декаде сентября наблюдалась почвенная засуха, в третьей декаде прошли обильные дожди, в 3,5 раза превышающие климатическую норму.

В первой декаде октября температура воздуха опустилась до 0,5°C при норме 3,4°C. Во второй и третьей декадах температура воздуха в 3 раза превысила среднемноголетние значения и составила 4,0 и 4,5°C соответственно. Характер распределения осадков в течение месяца был неравномерным. В первой декаде октября осадков выпало 2 мм, что составило 5% от нормы, во второй декаде 18 мм – 50%, в третьей декаде 7 мм – 19%.

2014 год. Среднемесячная температура воздуха в апреле достигла 6,5°C, что в 1,5 раза превышало среднемноголетние значения. Распределение осадков в течение месяца был неравномерным. В первой декаде месяца осадков выпало в 2 раза больше нормы, которые были представлены в виде снега с дождём. В середине месяца был дефицит осадков, тогда как в третьей декаде прошли обильные дожди, которые в 4 раза превысили среднемноголетние значения – 43 мм.

Средняя температура мая была 12,0°C (на 1,4°C выше среднемноголетних значений). В мае выпало 61 мм осадков, что в 1,5 раза превышает норму.

Температура в июне была равна среднемноголетним значениям и достигла 16°C. В первой декаде июня температура была ниже средних многолетних значений на 0,7°C. Осадков в июне выпало 40% от нормы – 26 мм, их распределение в течение месяца было равномерным.

В середине вегетационного периода (июль) температура воздуха была 14,6°C, что на 3,7°C ниже среднемноголетних значений. За месяц выпало 123 мм осадков, при норме 84 мм. Основное количество осадков выпало во второй и третьей декадах и составило 78 и 41 мм, что выше среднемноголетних значений на 63 и 24% соответственно.

В августе наблюдалось плавное снижение температуры воздуха с 20,1 до 16,4°C (ниже нормы на 3,0-3,7°C). Первая декада характеризовалась отсутствием осадков. Во второй и третьей декаде августа количество выпавших осадков достигло 32 мм, что практически соответствовало средним многолетним значениям.

Первая декада сентября была прохладной, температура воздуха составила 8,5°C (на 29% ниже нормы). Температура воздуха во второй и третьей декадах была выше среднемноголетних значений на 3,5 и 3,0°C соответственно: 11,4 и 13,2°C. За месяц выпало 23 мм осадков при норме 38 мм.

В первой и второй декадах октября температура воздуха была 6,1 и 2,0 °C соответственно, что выше среднемноголетних значений на 2,7 и 0,4°C. В третьей декаде температура воздуха опустилась ниже нуля, достигнув -8,3°C, что в 5,5 раз ниже нормы. Количество выпавших осадков в виде снега превышало средние многолетние значения на 60%.

2015 год. Воздух в апреле прогрелся до 10°C (в 2 раза выше нормы). В течение месяца выпало 18 мм осадков, что соответствовало среднемноголетним значениям.

Среднемесячная температура мая была выше на $6,5^{\circ}\text{C}$ относительно среднемноголетних значений и составила $17,1^{\circ}\text{C}$. Распределение осадков в течение месяца было неравномерное. В первой декаде выпало 36 мм осадков, что в 4 раза выше нормы. Во второй и третьей декадах был дефицит дождей.

В июне наблюдалась атмосферная засуха, воздух прогрелся до $27,4^{\circ}\text{C}$, что на 36% выше нормы. В первой и третьей декадах прошли обильные дожди, интенсивность которых в 1,5 раза превысила среднемноголетние значения. Во второй декаде июня отмечен дефицит осадков, что при высокой температуре воздуха ухудшило водообеспеченность растений.

Первая декада июля была холоднее среднемноголетних значений на $2,9^{\circ}\text{C}$ – $15,9^{\circ}\text{C}$. Температура воздуха во второй и третьей декадах месяца была теплее относительно среднемноголетних значений на $2,1$ и $3,2^{\circ}\text{C}$ соответственно: $20,3$ и $21,0^{\circ}\text{C}$. В течение месяца шли дожди, их количество соответствовало среднемноголетним значениям – 81 мм.

В августе было тепло, средняя температура воздуха была $15,9^{\circ}\text{C}$, что соответствовало норме. За месяц выпало 66 мм осадков при норме 58 мм. Основное количество дождей прошло в первой и второй декадах августа, что составило 56 мм. В середине месяца выпало 9 мм осадков, что в 2 раза меньше относительно среднемноголетних значений.

Сентябрь был теплее нормы. Температура воздуха в первой декаде была $16,3^{\circ}\text{C}$ при норме $11,9^{\circ}\text{C}$, во второй декаде – $12,4^{\circ}\text{C}$, в третьей декаде – $13,8^{\circ}\text{C}$. В первой и третьей декадах сентября количество выпавших осадков составило 10 и 5% от нормы и составило 2 и 1 мм соответственно. Во второй декаде осадков выпало 15 мм.

Температура воздуха в октябре превысила среднемноголетние значения в два раза и варьировала в пределах $2,6-7,0^{\circ}\text{C}$. В первой и второй декадах осадков выпало на 51 и 13% выше нормы и составило 26 и 13 мм. В третьей декаде выпало осадков 10 мм, что на 3 мм меньше нормы.

2016 год. Апрель был теплым, воздух прогрелся до $15,4^{\circ}\text{C}$, что более чем в 4 раза выше нормы. В течение месяца прошли кратковременные дожди,

их количество практически соответствовало среднегодовым значениям и составило 27 мм.

Среднемесячная температура воздуха в мае достигла 16,3°C при норме 10,6°C. В период посева сельскохозяйственных культур наблюдался дефицит влаги, что препятствовало дружному появлению всходов.

В июне было жарко, в течение месяца температура воздуха держалась на уровне 21,2°C, что на 3,7-7,6°C выше нормы. В течение месяца дожди шли с разной интенсивностью. В первой декаде июня наблюдался дефицит воды, осадков выпало почти в 3 раза меньше нормы. Во второй декаде месяца выпало 30 мм осадков, на 33% выше среднегодовым значений. Количество выпавших осадков в третьей декаде месяца на 8% было меньше нормы (18 мм).

В июле было жарко, температура воздуха в течение месяца держалась от 23,0 до 24,0°C, что на 22% выше среднегодовым значений. Характер распределения осадков в течение месяца был неравномерным. В первой и третьей декадах был дефицит влаги, что, в свою очередь, негативно отразилось на скорости разложения растительных остатков. Во второй декаде наблюдалась атмосферная засуха, интенсивность осадков в 2 раза превысила среднегодовым значения (67 мм). Однако под действием высоких температур воздуха растения испытывали ухудшение водоснабжения.

Средняя температура воздуха в августе достигла 26,4°C, что в два раза превысило среднегодовым данные. Осадков выпало 14 мм, что ниже нормы на 76%. В сентябре температура воздуха варьировала от 12,5 до 18,7°C, что ниже среднегодовым значений на 2,6-6,8°C. Основное количество осадков выпало в первой половине сентября – 61 мм, что в два раза выше нормы.

Таким образом, метеорологические условия вегетационных периодов 2013-2015 гг. характеризовались как умеренно-увлажнённые и тёплые. В эти годы была достигнута максимальная планируемая урожайность зерновых культур – 5,0 т/га. В 2016 году осадки выпадали преимущественно в первой половине вегетации, когда температура была незначительно выше среднегодовым значений. Во вторую половину вегетации установилась

жаркая и сухая погода, что благоприятно отразилось на урожайности зерновых культур.

2.2 Характеристика почвы опытного поля ГАУ Северного Зауралья

Опытное поле ГАУ Северного Зауралья, расположено на территории учебно-опытного хозяйства университета, вблизи д. Утёшевой. Рельеф – слабоволнистая равнина с блюдцеобразными понижениями. Почвообразующие породы представлены карбонатными покровными суглинками (Каретин Л.Н., 1982).



Почва опытного поля – чернозём выщелоченный, маломощный, тяжелосуглинистый, пылевато-иловатый, на карбонатном покровном суглинке.

$A_{\text{пах}}$ – 0-20 см. Темно-серый, почти чёрный, уплотнённый, свежий, тяжелосуглинистый, глыбистокомковатый. Встречаются корни, песчинки на агрегатах. Переход в следующий горизонт постепенный.

A – 21-28 см. Темно-серый, зернисто-комковатой структуры, плотный, свежий, тяжелосуглинистый, глыбистокомковатый. Встречаются корни, песчинки на агрегатах. Переход постепенный.

AB_1 – 29-36 см. Темно-серый, бурый, уплотнён, свежий, тяжелосуглинистый. Структура зернисто-комковато-ореховатая. Встречается много корней, песчинки на агрегатах. Переход неровный, языковатый.

B_2 – 37-90 см. Светло-бурый, плотный сверху, книзу плотность уменьшается, свежий, среднесуглинистый. Структура ореховатая. Встречаются корни и отпечатки корней, в верхней половине галька и песчинки. Переход по структуре и плотности постепенный. Не вскипает.

B_k – 91-116 см. Неоднородной окраски: светло-бурые языки, идущие из верхнего горизонта, чередуются с жёлто-палевыми и палево-серыми

языками, поднимающимися из нижнего горизонта. Он тонкопористый, слегка уплотнён, свежий, структура не выражена, среднесуглинистый. Встречаются корни, редкая галька. Вскипает от HCl, линия вскипания неровная, языковатая. Карбонаты вверху в виде журавчиков и псевдомицелия, книзу – трубочки и псевдомицелий. Переход ясный.

Содержание глины в профиле почвы варьировало от 36,2 до 49,7%, в пахотном слое её содержание составило 36,2-46,8%, что соответствовало тяжелосуглинистой разновидности чернозёма выщелоченного (табл. 1).

Таблица 1 – Гранулометрический состав чернозёма выщелоченного
опытного поля ГАУ Северного Зауралья

Глубина отбора образца, см	Размер гранулометрических элементов, мм и их содержание, %						
	1-0,25	0,25-0,05	0,05-0,01	0,01-0,005	0,005-0,001	<0,001	<0,01
0-10	5,5	22,6	25,1	4,3	10,1	32,4	46,8
10-20	6,1	24,6	24,0	5,0	11,6	28,7	45,3
20-30	6,5	33,4	23,9	7,0	7,5	21,7	36,2
30-35	5,2	28,5	21,3	6,5	10,9	27,6	45,0
35-40	4,6	33,5	15,4	3,4	9,2	33,9	46,5
40-45	5,4	42,7	4,4	5,3	3,3	38,9	47,5
45-50	5,2	45,5	4,4	6,1	3,8	35,0	44,9
50-60	5,8	47,0	5,8	5,9	4,1	31,4	41,4
70-80	4,0	43,3	3,0	5,1	5,6	39,0	49,7
80-90	3,1	41,5	8,0	6,8	6,4	34,2	47,4
90-100	3,1	43,4	8,8	7,6	6,6	30,5	44,7
Данные Д.И. Ерёмина и В.В. Рзаевой, 2012 г.							

Содержание крупного и среднего песка (1-0,25 мм) в метровом слое чернозёма выщелоченного не превышало 6,1-6,5%. На долю фракций мелкого песка в верхней части профиля (0-40 см) приходилось 22,6-33,5%, с глубиной отмечалось увеличение до 41,5-47,0%, что обуславливало хорошую водопроницаемость и аэрацию метрового профиля чернозёма

Характер вертикального распределения гумуса резко убывающий, что характерно для пахотных чернозёмов Западной Сибири. Содержание гумуса в пахотном слое (0-30 см) варьировало от 7,65 до 9,05 % (табл. 2). Глубже – снижалось с 4,41 до 0,72-0,54 %. Запасы гумуса в метровом слое достигали 435-440 т/га.

Слой почвы, см	Содержание гумуса, %	Валовое содержание азота, %	Валовое содержание фосфора, %	Сумма обменных оснований	Гидролитическая кислотность	Степень насыщенности основаниями, %
				мг-экв./100г почвы		
0-10	9,05	0,44	0,18	34,0	3,5	91
10-20	9,00	0,45	0,18	31,9	3,5	90
20-30	7,65	0,43	0,16	31,4	3,8	89
30-40	4,41	0,21	0,11	26,3	2,4	92
40-50	2,00	0,18	0,10	22,2	2,5	90
50-60	1,57	Не опред.	Не опред.	18,5	2,1	90
60-70	1,17	Не опред.	Не опред.	18,4	2,1	90
70-80	1,24	Не опред.	Не опред.	19,5	2,3	89
80-90	0,72	Не опред.	Не опред.	20,2	1,0	95
90-100	0,54	Не опред.	Не опред.	23,2	1,0	96

Данные Д.И. Ерёмкина и В.В. Рзаевой, 2012 г.

Валовое содержание азота в пахотном слое достигало 0,43-0,44%, в слое 30-50 см – 0,18-0,21%. Запасы валового азота в слое 0-50 см составляли 19-20 т/га. Отношение углерода к азоту (C:N) в слое 0-30 см достигало 10,3-11,9. Слой 30-40 см характеризовался более высоким отношением – 12,2, что соответствовало низкой обогащённости азотом. Это связано с постоянным запахиванием соломы зерновых культур на опытном поле и обогащением растительными остатками, содержащими незначительное количество азота. С глубиной показатель C:N резко снижался, достигая 6,4, что объясняется особенностями перераспределения водорастворимых азотсодержащих соединений и отсутствием достаточного количества органических остатков в подпахотном слое.

Содержание валового фосфора в пахотном слое достигали 0,16-0,18%, в более глубоких слоях (30-50 см) данный показатель резко снижался до 0,10-0,11%. Общие запасы данного элемента питания в слое 0-50 см варьировали от 8,0 до 8,5 т/га.

Чернозём выщелоченный опытного поля ГАУ Северного Зауралья характеризовался высокой суммой обменных оснований, достигающей в пахотном слое 31,4-34,0 мг-экв./100 г почвы, что характерно для чернозёмных почв лесостепной зоны Зауралья. С увеличением глубины (50-70 см) этот показатель постепенно снижался до минимальных значений, достигая 18,5 мг-экв./100 г почвы. Минимум приходился на безгумусовый бескарбонатный горизонт (B_2). По мере приближения к иллювиально-карбонатному горизонту (B_k) величина суммы обменных оснований возрастала до 23,2 мг-экв./100 г почвы.

Гидролитическая кислотность в пахотном горизонте варьировала от 3,5 до 3,8 мг-экв./100 г почвы. С глубиной данный показатель уменьшался, достигая минимума в слое 80-100 см. Высокое содержание катионов щёлочноземельных металлов в почвенно-поглотительном комплексе и незначительная гидролитическая кислотность благоприятно сказываются на степени насыщенности основаниями.

Плотность сложения пахотного слоя ($1,07-1,25 \text{ г/см}^3$) чёрнозема выщелоченного была оптимальной для выращивания зерновых культур (табл. 3). В подпахотном слое (30-50 см) выявлено увеличение плотности почвы ($1,38-1,40 \text{ г/см}^3$), что обусловлено проявлением плужной подошвы, вызванной длительным использованием чернозёма в пашне (Ерёмин Д.И. и др., 2009). В слое 50-70 см плотность сложения возрастала до $1,45 \text{ г/см}^3$, что может привести к ухудшению условий распространения корневой системы.

Таблица 3 – Почвенно-гидрологические константы чернозёма выщелоченного опытного поля ГАУ Северного Зауралья

Слой почвы, см	Плотность, г/см^3		% от объема почвы				
	Сложения	Твёрдой фазы	МГ	ВЗ	ВРК	НВ	ПВ
0-10	1,07	2,47	10	13	28	40	57
10-20	1,13	2,45	11	14	27	39	54
20-30	1,25	2,55	11	14	29	41	51
30-40	1,40	2,66	12	17	20	29	47
40-50	1,38	2,60	10	14	19	27	47
50-60	1,45	2,61	12	16	19	27	44
60-70	1,45	2,56	11	15	15	22	43
70-80	1,40	2,54	11	14	17	24	45
80-90	1,41	2,65	11	15	17	24	47
90-100	1,48	2,55	11	15	16	23	42
МГ – максимальная гигроскопичность; ВЗ – влажность завядания; ВРК – влажность разрыва капилляров; НВ – наименьшая влагоемкость; ПВ – полная влагоемкость. Данные Д.И. Ерёмина и В.В. Рзаевой, 2012 г.							

Плотность твёрдой фазы чернозёма выщелоченного не отличалась от чернозёмов лесостепной зоны Зауралья (Каретин Л.Н., 1990; Абрамов Н.В., Ерёмин Д.И., 2007). Значения в метровом профиле варьировали в пределах $2,45-2,66 \text{ г/см}^3$ с минимальным значением в гумусовой части профиля чернозёма. Максимальные величины плотности твёрдой фазы приходились на безгумусовые горизонты B_2 и B_k .

В тесной взаимосвязи с гумусовым состоянием и гранулометрическим составом находились гидрологические константы чернозёма выщелоченного. Максимальная гигроскопичность в метровом слое составляла 10-12% от

Глубина, см	Минуты 1-го часа						Часы наблюдений		
	10	20	30	40	50	60	1	2	3
0	2,8	2,1	1,8	1,6	1,5	1,5	1,6	1,4	1,4
30	2,6	2,2	1,8	1,5	1,2	1,2	1,0	1,0	1,1
50	4,0	2,8	2,6	1,6	1,1	1,1	1,2	1,1	1,0
Данные Д.И. Ерёмкина и В.В. Рзаевой, 2012 г.									

Дальнейшее воздействие воды приводит к снижению скорости впитывания до 1,1-1,5 мм/мин, что объясняется процессами набухания частиц, составляющих фракцию физической глины, и частичной дезагрегацией структурных отдельностей, приводящей к заполнению порового пространства мелкозёмом.

Скорость фильтрации в пахотном слое была 1,4-1,6 мм/мин, что вполне достаточно для пропускания воды в период затяжных дождей и снеготаяния без образования переувлажненных слоев и проявления существенного поверхностного стока. В более глубоких слоях коэффициент фильтрации составлял 1,0 мм/мин, что обусловлено тяжёлым гранулометрическим составом. Несмотря, на низкую скорость фильтрации, застоя воды не проявлялось, что обусловлено отличной оструктуренностью и высокой водопрочности почвенных агрегатов.

Таким образом, плодородие чернозёма выщелоченного, на котором расположено опытное поле ГАУ Северного Зауралья, не имеет существенных отличий от чернозёмов лесостепной зоны Зауралья. Морфогенетические признаки и основные свойства типичны для всей зоны.

2.3 Материал и методика проведения исследований

Исследования включали в себя следующие опыты:

Опыт 1. Изучение особенностей разложения соломы зерновых культур на пашне с различным уровнем минерального питания. Варианты предусматривали:

1. Контроль (без удобрений);
2. NPK на 3,0 т/га зерна, (2014 г. $N_{23}P_{110}$; 2015 г. $N_{20}P_{100}$; 2016 г. $N_{80}P_{10}$);
3. NPK на 4,0 т/га зерна, (2014 г. $N_{80}P_{160}$; 2015 г. $N_{35}P_{80}$; 2016 г. $N_{120}P_{40}$);
4. NPK на 5,0 т/га зерна, (2014 г. $N_{125}P_{200}$; 2015 г. $N_{130}P_{70}$; 2016 г. $N_{200}P_{65}$);
5. NPK на 6,0 т/га зерна, (2014 г. $N_{170}P_{255}$; 2015 г. $N_{130}P_{130}$; 2016 г. $N_{250}P_{100}$ кг д.в. на га).

Опыт 2. Влияние агрохимикатов на процесс трансформации измельчённой соломы. Перед заделкой соломы в почву обрабатывали агрохимикатами:

1. Контроль, обработка соломы водой;
2. Раствор мочевины (1%-ный) – диамид угольной кислоты, распространенное азотистое удобрение с массовой долей азота 46%;
3. Натуральный гуминовый препарат «Росток» в концентрации 0,1%, стимулирующий рост и развитие растений, адаптируя их к природным и техногенным воздействиям (Грехова И.В., 2015; Дерябина Ю.М., 2016);
4. Экстракт продуктов жизнедеятельности дождевых червей (Soil improver 1%), содержащий ферменты и биологически активные вещества. «Компостный чай». Находится на стадии разработки и внедрения кафедрой общей биологии ГАУ Северного Зауралья.

Опыт 3. Влияние системы обработки на разложение соломы. Исследования выполняли в зерновом севообороте (однолетние травы – озимая пшеница – яровая пшеница). Ежегодно вносили минеральные удобрения на планируемую урожайность яровой пшеницы 3,5 т/га (2014 г. $N_{42}P_{120}$; 2015 г. $N_{40}P_{80}$; 2016 г. $N_{45}P_{42}$ кг д.в. на га). Схема опыта:

1. Отвальная, на глубину 20-22 см;
2. Безотвальная, на глубину 20-22 см;
3. Нулевая.

Исследования в опыте 1 и 2 выполняли в зерновом севообороте (горохо-овсяная смесь – яровая пшеница – овёс), чередование культур за годы исследований не менялось. Дозу удобрений рассчитывали ежегодно на планируемую урожайность яровой пшеницы методом элементарного баланса. Размеры делянки – 4x25 м (100 м²), учётная площадь – 50 м². Размещение делянок последовательное, в четырёхкратном повторении. Солому зерновых культур измельчали и разбрасывали по вариантам. Учёт массы соломы и отбор её на опыты выполняли при сноповом анализе. Минеральные удобрения вносили в один срок перед посевом.

Обработку почвы (отвальная), проводили после уборки культур на глубину 20-22 см. Весной при наступлении физической спелости почвы боронили в 4 следа. В день посева поле культивировали на глубину 8-10 см.

Предварительно высушенную и нарезанную (длиной не более 5 см) солому, массой 15 г помещали в пакеты из стеклоткани. Образцы размещали на поверхности почвы и заделывали на глубину 10, 20 и 30 см, моделируя её распределение в пахотном слое. Закладку образцов соломы выполняли в третьей декаде сентября, после основной обработки почвы (табл. 5). Перед культивацией (май) образцы с глубины 0-10 см извлекали и опять заделывали после проведения всех агротехнических мероприятий.

Таблица 5 – Схема закладки и извлечения соломы из почвы

Наименование	Периоды экспозиции				
	I	II	III	IV	V
Закладка	Сентябрь	Сентябрь	Сентябрь	Сентябрь	Сентябрь
Извлечение	Октябрь	Май	Июнь	Июль	Сентябрь
Срок экспозиций, месяц	1	8	9	10	12

Максимальная экспозиция длилась 12 месяцев. После извлечения образцов остатки земли аккуратно сметали щёткой, а солому промывали в минимальном количестве холодной воды. Отмытую массу соломы помещали в термостат и сушили до воздушно-сухого состояния при температуре 105°C определяли в ней необходимые показатели: зольность (ГОСТ 26714-85); сухой остаток (ГОСТ 26713-85); органическое вещество (ГОСТ 27980-88); азот (ГОСТ 13496.4-93); фосфор (ГОСТ 26657-85); калий (ГОСТ 30504-97); органическое вещество в почве (ГОСТ 26213-91); баланс гумуса в почве (ГНУ ВНИПТИОУ, 2003); биоэнергетическая оценка почв (Пуртова Л.Н., 2004); статистическая обработка данных (Доспехов Б.А., 1985); расчёт НСР для средних данных за годы исследований (Короневский В.И., 1985).

3 Гумусовое состояние пахотного чернозёма при использовании соломы в качестве органического удобрения

3.1 Содержание и запасы гумуса при систематическом внесении минеральных удобрений и заашке соломы

За годы исследований кафедрой почвоведения и агрохимии (данные 1995-2012 гг. Ерёмина Д.И.) на варианте без внесения минеральных удобрений было запахано в почву 86 т/га растительных остатков (рис. 3). Масса соломы была минимальна относительно других вариантов – 43 т/га, что соответствует количеству пожнивно-корневых остатков. За этот период содержание гумуса в слое 0-40 см уменьшилось с 6,61 до 6,12% от массы почвы (рис. 4), что соответствует потере 22 т/га почвенного органического вещества (табл. 6). Ежегодная убыль составила 1,1 т/га. Данный факт указывает на то, что выращивание зерновых культур на естественном агрофоне и последующая заашка их соломы в почву не обеспечивает стабилизации гумусового состояния пахотных чернозёмов лесостепной зоны Зауралья. Это подтверждается многолетними исследованиями Н.В. Абрамова с соавторами (2007), Д.И. Ерёмина (2016).

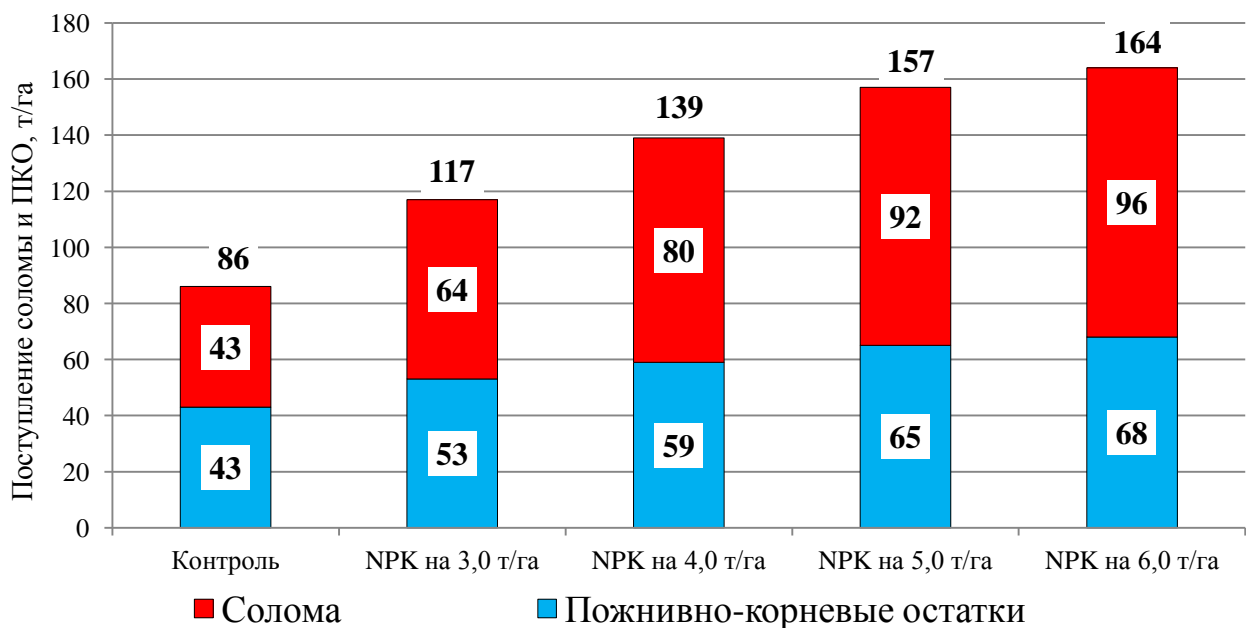


Рисунок 3 – Поступление соломы и пожнивно-корневых остатков в пахотный слой чернозёма выщелоченного при различном уровне минерального питания с 1995 по 2016 гг. (Данные 1995-2012 гг. Д.И. Ерёмина), т/га

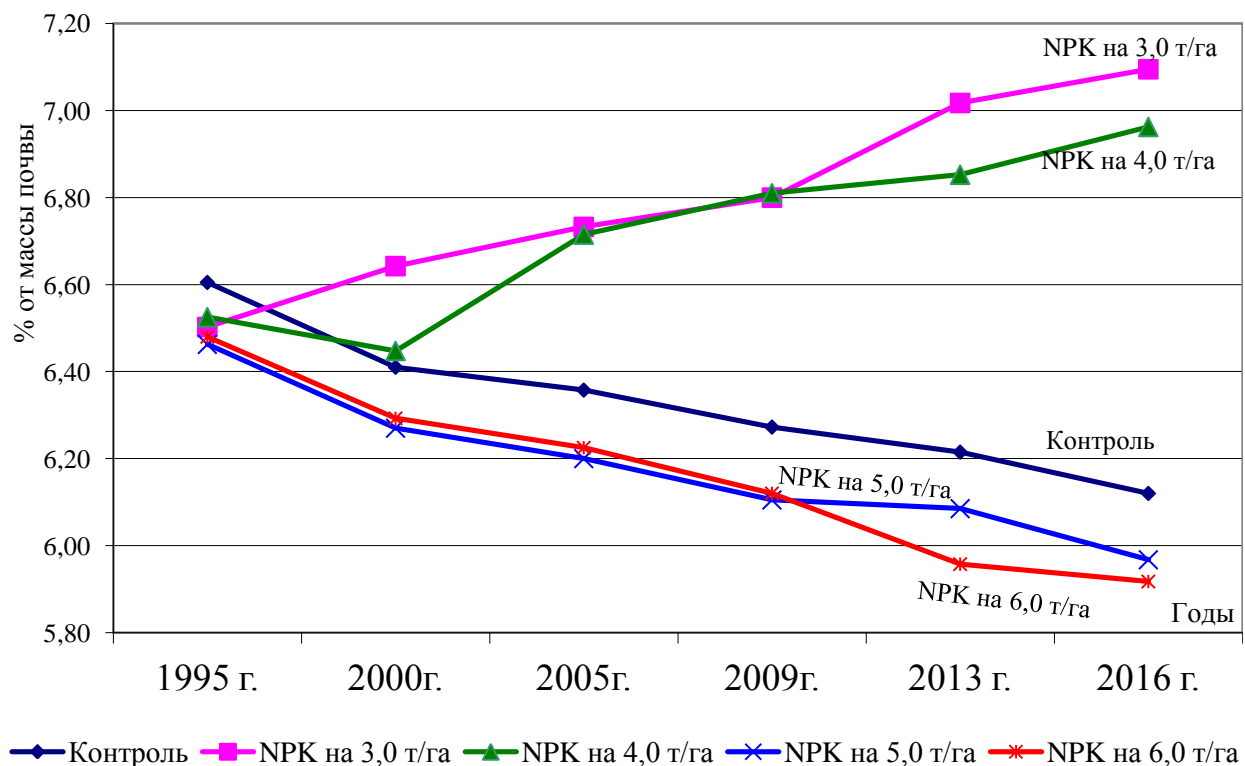


Рисунок 4 – Динамика содержания гумуса в слое 0-40 см пахотного чернозёма выщелоченного при различном уровне минерального питания зерновых культур и зашке соломы, 1995-2016 гг. (Данные 1995-2012 гг. Д.И. Ерёмина), % от массы почвы

Внесение минеральных удобрений на планируемую урожайность зерновых культур 3,0 т/га обеспечило выход побочной продукции массой 64 т/га, что в сочетании с пожнивно-корневыми остатками дало возможность за годы исследований запахать 117 т/га органики. Это соответствует ежегодному внесению 5,3 т/га растительных остатков. Содержание гумуса в слое 0-40 см на этом варианте увеличилось с 6,50 до 7,10%, что соответствует накоплению 29 т/га гумуса за 22 года. Ежегодная прибавка гумуса составила 1,3 т/га. Однако, как показывает анализ, в первые десять лет зашки соломы накопление гумуса идёт с минимальной скоростью, в дальнейшем ежегодное накопление постепенно возрастает, достигая в отдельные годы 2,5 т/га. Этот факт объясняется постепенной сменой состава почвенной микрофлоры (Лазарев А.П. и др., 2014).

Как показали ранее проведенные исследования, вероятность получения урожая 3,0 т/га зерновых культур на чернозёмных почвах лесостепной зоны Зауралья составляет не менее 90% (Абрамов Н.В., Ерёмин Д.И., 2009). Именно эта урожайность должна быть минимальной для обеспечения положительного баланса гумуса за счёт заделки соломы на чернозёмных почвах при существующей системе земледелия.

Таблица 6 – Динамика запасов гумуса в слое 0-40 см пахотного чернозёма при заделке соломы на различном агрофоне, т/га

Варианты	Годы				Изменение, т/га	
	1995	2009	2013	2016	за 22 года	за 1 год
Контроль	319	303	300	295	-24	-1,1
НРК на 3,0 т/га	314	328	339	343	29	1,3
НРК на 4,0 т/га	315	329	331	336	21	1,0
НРК на 5,0 т/га	312	295	294	288	-24	-1,1
НРК на 6,0 т/га	313	296	288	286	-27	-1,2
Данные 1995-2012 г. Д.И.Еремина						

Внесение удобрений на планируемую урожайность зерновых культур 4,0 т/га обеспечивает ежегодное поступление в почву 2,7 т/га пожнивно-корневых остатков (ПКО), что на 11% выше предыдущего варианта. Столь незначительное увеличение массы ПКО на варианте с НРК на 4,0 т/га обусловлено формированием маломощной корневой системы при высоком уровне питания, поэтому основная роль в стабилизации гумусового состояния на удобренных полях отводится соломе.

За 22 года исследований на варианте с планируемой урожайностью было запахано 80 т/га, что в сумме с пожнивно-корневыми остатками составило 139 т/га, то есть 6,3 т/га ежегодно. Содержание гумуса в слое 0-40 см на этом варианте возросло с 6,53 до 6,96%, ежегодная прибавка составила 1,0 т/га. Несмотря на увеличение массы запахиваемых растительных остатков почти на 20% относительно варианта, где вносили удобрения на планируемую урожайность 3,0 т/га, ежегодная прибавка гумуса снизилась на

0,3 т/га. Данный факт обусловлен повышением микробиологической активности почвы и увеличением содержания общего азота в запаханых растительных остатках, что стимулирует процесс их минерализации (Ерёмин Д.И. и др., 2015). Эта особенность доказывает, что внесение минеральных удобрений на планируемую урожайность 4,0 т/га обеспечит только стабилизацию гумусного состояния пахотных черноземов за счёт заправки соломой. Для устойчивой положительной динамики при использовании этого агрофона требуется уменьшить аэрацию пахотного слоя путём отказа от некоторых механических обработок (Рзаева В.В., Ерёмин Д.И., 2010). Это приведёт к снижению активности аэробной микрофлоры, отвечающей за минерализацию растительных остатков (Перфильев Н.В. и др., 2015).

Наиболее интересными можно считать варианты с максимальной насыщенностью минеральными удобрениями (NPK на 5,0 и 6,0 т/га). За 22 года на них было запахано 157 и 164 т/га растительных остатков, что соответствует 7,1 и 7,5 т/га ежегодно. Столь незначительные различия обусловлены тем, что планируемая урожайность зерновых культур в отдельные годы не была достигнута, вследствие неблагоприятных погодных условий. Несмотря на максимальную массу запахиваемых растительных остатков, превышающую контроль почти в два раза, на этих вариантах отмечалась стабильная отрицательная динамика содержания и запасов гумуса. За 22 года содержание гумуса снизилось с 6,46 до 5,97% – потери почвенного органического вещества уменьшились с 312 до 288 тонн в слое 0-40 см. Ежегодная убыль составила 1,1 т/га. Вариант с планируемой урожайностью зерновых культур 6,0 т/га не имел существенных отличий.

Полученные результаты многолетних исследований указывают на то, что при существующей системе земледелия, систематическое внесение минеральных удобрений на планируемую урожайность зерновых культур выше 4,0 т/га неминуемо приводит к ухудшению гумусового состояния. Причин стабильной дегумификации при заправке соломой несколько: высокая микробиологическая активность на протяжении летне-осеннего периода,

избыточное содержание азота в растительных остатках, а также проявление частичной миграции гумуса вглубь почвенного профиля, отмеченное ранее в научных публикациях (Кленов Б.М., 2000; Ерёмин Д.И., 2012).

Таким образом, заплата соломы зерновых культур, выращенных без минеральных удобрений, не обеспечивает стабилизацию гумусового состояния пахотного чернозема. За 22 года запасы гумуса в пахотном слое уменьшились на 24 т/га, что соответствует потере гумуса 1,1 т/га в год. Систематическое внесение минеральных удобрений на планируемую урожайность 3,0 и 4,0 т/га зерна обеспечило положительную динамику запасов гумуса. С 1995 по 2016 год запасы гумуса увеличились на 29 и 21 т/га соответственно. Внесение высоких доз минеральных удобрений (NPK свыше 4,0 т/га зерна) при существующей системе земледелия приводит к ежегодным потерям 1,1-1,2 т/га гумуса, несмотря на заплску соломы.

3.2 Содержание и запасы гумуса при различных способах основной обработки почвы и заплске соломы

Чернозёмные почвы формируются под травянистой растительностью, а вовлечение их в сельскохозяйственный оборот приводит к смене почвообразовательного процесса. Регулярная механизированная обработка почвы увеличивает её пористость и нарушает баланс кислорода и углекислого газа, что нарушает естественные процессы минерализации и гумификации растительных остатков относительно целины (Рзаева В.В., Ерёмин Д.И., 2010). Трансформация растительных остатков смещается в сторону минерализации, что в итоге приводит к разрушению почвенного органического вещества и истощению гумуса (Ерёмин Д.И., 2014).

Активное использование органических удобрений не восполняет его вынос культурными растениями, так как аграрии их вносят в непосредственной близости от ферм, исходя из чисто экономической выгоды. По этой причине использование соломы зерновых культур в качестве

органического удобрения будет весьма оправданным мероприятием, так как отсутствуют затраты на её транспортировку и переработку.

Как показали исследования кафедры земледелия, за 17 лет на варианте с отвальной обработкой было запахано 93 т/га растительных остатков, половина из них приходилась на солому зерновых культур (рис. 5). Ежегодная запашка соломы и пожнивно-корневых остатков составила 5,5 т/га, при средней урожайности яровой пшеницы и однолетних трав 3,42 и 9,00 т/га соответственно. Средняя масса образовавшейся соломы зерновых культур на варианте с отвальной обработкой была на уровне 4,0 т/га.

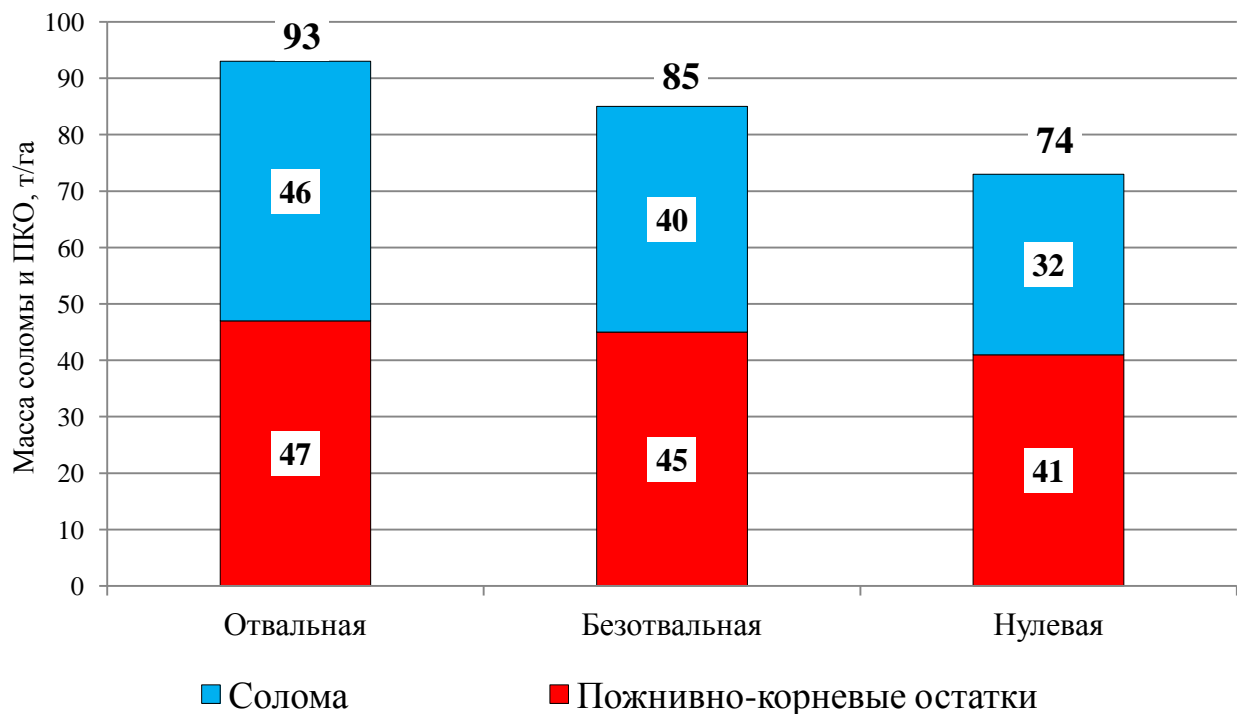


Рисунок 5 – Масса растительных остатков, поступивших в пахотный слой чернозёма выщелоченного при различных системах основной обработки за 2000-2016 гг. (Данные 2000-2012 гг. Н.В. Фисунова), т/га

На варианте с безотвальной обработкой масса растительных остатков за годы проведения опыта была на 8 т/га ниже контроля вследствие формирования меньшей урожайности, которая в среднем была на уровне 3,0 т/га. Снижение массы поступающих растительных остатков произошло за счёт соломы – отклонения массы ПКО были минимальны. Причиной

снижения урожайности было ухудшение водного и теплового режимов пахотного чернозёма при безотвальной обработке (Шахова О.А., Ерёмин Д.И., 2007; Фисунов Н.В., Ерёмин Д.И., 2013), питательный режим мы исключаем, поскольку под яровую пшеницу вносили минеральные удобрения, обеспечивающие получение планируемой урожайности 3,5 тонны зерна с 1 гектара. Проведение безотвальной обработки стойками ПЧН-2,3, как показал детальный анализ распределения соломы по пахотному слою, обеспечивает частичное её проникновение и перемешивание с землей в слое 0-20 см. Однако до 90 % соломы остаётся на поверхности пашни.

Применение нулевой системы обработки (технология No-till) в условиях лесостепной зоны Зауралья приводит к устойчивому уменьшению урожайности зерновых культур и однолетних трав, несмотря на вносимые минеральные удобрения. Причины формирования урожаев ниже планируемых детально рассмотрены в работах кафедры земледелия ГАУ Северного Зауралья (Рзаева В.В., Коноплин М.А., 2008). Поступление растительных остатков на варианте с нулевой системой обработки почвы было минимальным и составило 74 т/га за 17 лет. Ежегодно на этом варианте формировалось 2,9 т/га соломы яровой пшеницы при урожайности не более 2,5 т/га. Масса пожнивно-корневых остатков за годы исследований составила 79,2 т/га, тогда как на варианте с отвальной системой основной обработки почвы на 12 % больше. При нулевой системе основной обработки почвы растительные остатки концентрируются на её поверхности – роль обогащения пахотного слоя органикой принадлежит исключительно корневой системе зерновых культур. Это также подтверждает визуальный осмотр пахотного слоя.

При анализе условий гумусообразования в антропогенно-преобразованном горизонте необходимо выделить некоторые особенности, возникающие при использовании различных систем основной обработки почвы. Ежегодная вспашка способствует равномерному распределению измельчённой соломы по пахотному слою, обеспечивает её тесный контакт с

почвенными агрегатами, а, следовательно, способствует быстрому заселению растительных остатков почвенной микрофлорой. Запашка соломы гарантирует относительно стабильное её увлажнение в период разложения. Распределение соломы в глубоких слоях приводит к формированию ядовитых для растений веществ, вследствие формирования анаэробных условий. Проведённые ранее исследования показали, что в пахотном слое чернозёма выщелоченного в условиях Западной Сибири порозность аэрации в слое 20-30 см не имеет существенных отличий от вышележащих слоев (Рзаева В.В. и Ерёмин Д.И., 2010). Поэтому вероятность возникновения анаэробных условий минимальна даже на луговых почвах, отличающихся повышенной влажностью (Ерёмин Д.И., 2008). Высокая порозность может оказать негативное влияние на процесс трансформации растительных остатков, сместив равновесие в сторону их минерализации, что негативно может сказаться не только на количественной, но и на качественной характеристике гумуса пахотных почв (Ерёмин Д.И., 2016). Для предотвращения этого необходимо или уменьшить пористость, тем самым снизить воздухопроницаемость, или обеспечить почву достаточным количеством растительных остатков, усиленное разложение которых приведёт к уменьшению концентрации кислорода в почвенном воздухе.

Особенность безотвальной и нулевой систем основной обработки почвы состоит в том, что солома и пожнивные остатки остаются на поверхности, где невозможно создать благоприятные условия для их гумификации. Проведение безотвального рыхления даёт возможность беспрепятственному проникновению кислорода в пахотный слой, где растительные остатки представлены только корневой системой зерновых культур. В конечном итоге процесс гумусообразования идёт при дефиците растительных остатков и высокой аэрации, что также негативно влияет на гумификацию.

Перед закладкой опыта содержание гумуса в слое 0-40 см варьировало от 6,90 до 7,09 % (рис. 6). Вариант с отвальной обработкой характеризовался

устойчивой положительной динамикой содержания гумуса. К 2016 году этот показатель достиг максимальных в опыте значений – 7,46%, что соответствовало 360 т/га гумуса (табл. 7).

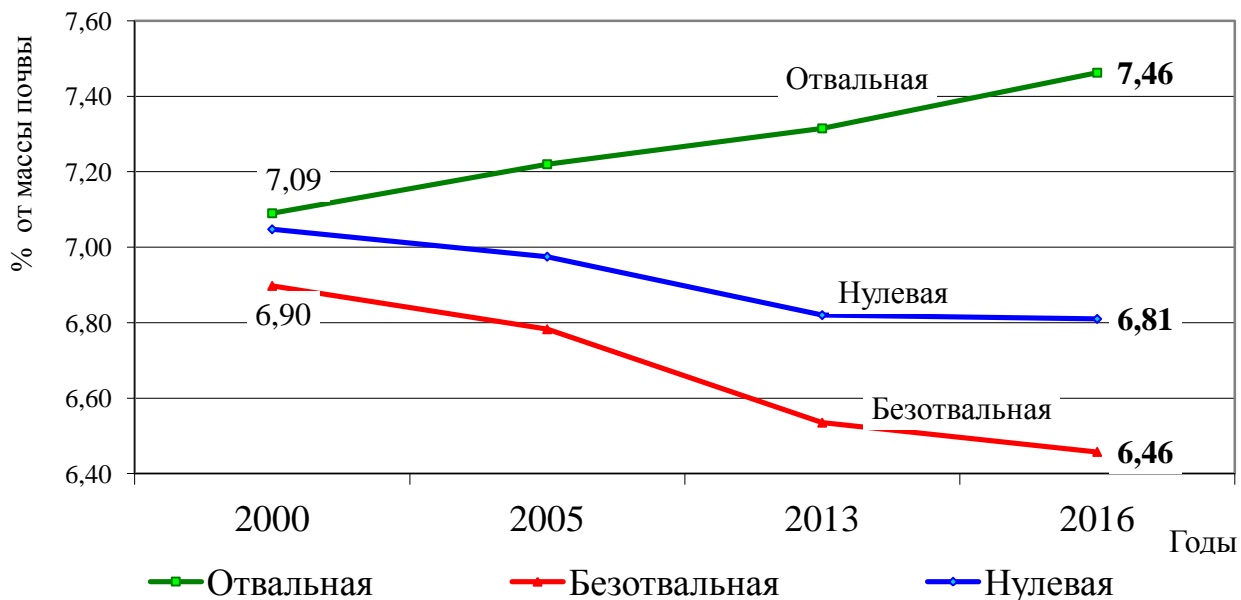


Рисунок 6 – Динамика содержания гумуса в слое 0-40 см при использовании измельчённой соломы на различных системах основной обработки почвы, 2000-2016 гг. (Данные 2000-2012 гг. Н.В. Фисунова), % от массы почвы

За 17 лет было накоплено 18 т/га, то есть ежегодный прирост почвенного органического вещества составил 1,1 т/га. Вариант с безотвальной обработкой до 2013 года характеризовался резким снижением содержания гумуса, однако в последние три года ухудшение было не столь значительным. К 2016 году данный показатель составил 6,46 %, что соответствовало 309 т/га гумуса. За годы исследований было потеряно максимальное количество почвенного органического вещества – 23 т/га, что соответствовало ежегодной потере 1,4 т/га гумуса в год. Столь сильное ухудшение обусловлено дефицитом растительных остатков, что на фоне высокой биологической активности приводит к дополнительной минерализации гумуса. Нулевая система основной обработки почвы характеризуется минимальным рыхлением, следовательно, аэрация пахотного слоя минимальна. Как и в случае с безотвальной обработкой до

2013 года отмечается стабильное снижение содержания гумуса. Однако, в период с 2013 по 2016 гг. этот показатель практически не увеличился. Поэтому можно говорить о некоторой стабилизации гумусового состояния, хоть и при отрицательной динамике. Запасы гумуса к 2016 году достигли 327 т/га в слое 0-40 см. Ежегодная убыль составила 0,8 т/га гумуса.

Таблица 7 – Динамика запасов гумуса в слое 0-40 см при использовании соломы на различных системах основной обработки почвы, т/га

Варианты	Годы				Изменение, т/га	в год
	2000	2005	2013	2016		
Отвальная	342	348	353	360	18	1,1
Безотвальная	333	326	313	309	-23	-1,4
Нулевая	340	336	328	327	-13	-0,8
Данные 2000 и 2005 гг. Н.В. Фисунова						

Таким образом, заправка соломы совместно с внесением минеральных удобрений на планируемую урожайность 3,5 т/га зерна обеспечивает положительный баланс гумуса. Ежегодно в пахотном слое образуется 1,1 т/га гумуса. Отсутствие заделки соломы в почву (безотвальная и нулевая обработка) создаёт благоприятные условия для её минерализации, что приводит к ежегодной потере 1,4 и 0,8 т/га гумуса.

3.3 Коэффициенты минерализации гумуса и гумификации запаханной соломы

При расчёте баланса гумуса использовали коэффициенты минерализации и гумификации органического вещества, которые рассчитываются в процентах или долях, от годового количества поступающего в почву органического вещества.

Проведенный нами анализ существующих методик баланса гумуса показал, что используются усредненные коэффициенты гумификации за

несколько лет, учитывающие цикл разложения растительных остатков, но, ни в коем образе не зависящие от внесения минеральных удобрений.

Коэффициент минерализации – это комплекс процессов, которые приводят к полному разрушению органических остатков и гумусовых веществ до конечных продуктов окисления.

Коэффициент гумификации – это показатель определяющий, какое количество образуется гумуса из растительных остатков.

Общеизвестно, что не все растительные остатки, попавшие в почву, трансформируются в гумус. Как показывают исследования Р.В. Кравченко и М.Т. Куприченкова (2012), не менее 80% растительных остатков минерализуется в первый год. Антропогенное изменение микробиологической активности почвы может усилить минерализацию растительных остатков.

На контроле, где минеральные удобрения не вносили с момента закладки стационара, содержание гумуса в слое 0-30 см варьировало незначительно. В среднем содержание гумуса составило 6,81% от массы почвы (табл. 8).

Таблица 8 – Изменение содержания гумуса в слое 0-30 см пахотного чернозёма при отсутствии растительных остатков на фоне возрастающих доз минеральных удобрений, % от массы почвы

Глубина, см	Контроль		NPK на 3,0 т/га		NPK на 4,0 т/га		NPK на 5,0 т/га		NPK на 6,0 т/га	
	2011 г.	2016 г.	2011 г.	2016 г.	2011 г.	2016 г.	2011 г.	2016 г.	2011 г.	2016 г.
0-10	6,87	6,53	7,50	7,05	7,55	7,10	6,76	6,25	6,50	5,98
10-20	6,75	6,48	7,48	7,11	7,41	6,93	6,71	6,21	6,52	6,00
20-30	6,80	6,53	7,40	7,03	7,42	6,97	6,65	6,18	6,57	6,08
0-30	6,81	6,51	7,46	7,06	7,46	7,00	6,71	6,21	6,53	6,02
Данные 2011 г Д.И. Ерёмкина										

Через 5 лет в результате минерализации по всем слоям содержание гумуса закономерно снизилось. В слое 0-10 см отмечалась максимальная степень снижения – содержание гумуса уменьшилось до 6,53%, разность

составила 0,34%, что соответствовало потере 4 тонн почвенного органического вещества за 5 лет. В слое 10-30 см содержание гумуса уменьшилось до 6,48-6,53%, что соответствует потере почти 7 тонн.

Рассчитанный коэффициент минерализации гумуса на варианте с естественным агрофоном составил 0,9% от валового содержания почвенного органического вещества (табл. 9). Нужно отметить факт усиления процессов минерализации в слое 0-10 см, где соответствующий коэффициент достиг 1,0% от содержания гумуса.

Таблица 9 – Влияние минеральных удобрений на коэффициент минерализации гумуса пахотного чернозёма выщелоченного (2011-2016 гг.), % от содержания гумуса

Слой, см	Контроль	НПК на 3,0 т/га	НПК на 4,0 т/га	НПК на 5,0 т/га	НПК на 6,0 т/га
0-10	1,0	1,2	1,2	1,5	1,6
10-20	0,8	1,0	1,3	1,5	1,6
20-30	0,8	1,0	1,2	1,4	1,5
0-30	0,9	1,1	1,2	1,5	1,6
Данные 2011-2012 гг. Д.И. Ерёмкина					

Внесение минеральных удобрений на планируемую урожайность зерновых культур 3,0 и 4,0 т/га незначительно увеличило микробиологическую активность пахотного слоя (0-30 см) – содержание гумуса уменьшилось на 0,40-0,50% по сравнению с первоначальными значениями. Запасы гумуса уменьшились за пять лет на 5-6 т/га. Как и в случае с контролем, интенсивность минерализации уменьшается с глубиной, о чем свидетельствуют значения рассчитанного коэффициента. В среднем по слою 0-30 см он составляет 1,1-1,2% от валового содержания гумуса.

Систематическое внесение высоких доз минеральных удобрений (НПК на 5,0 и 6,0 т/га зерна) привело к резкому скачку микробиологической активности пахотного слоя чернозёма выщелоченного. Как показали результаты ранее проведённых кафедрой почвоведения и агрохимии

исследований, период с высокой биологической активностью на этих вариантах был намного больше по сравнению с предыдущими вариантами и контролем (Ерёмин Д.И., 2012). Рассчитанный коэффициент минерализации на вариантах с внесением удобрений на урожайность 5,0 и 6,0 т/га зерна составил 1,5 и 1,6% от валового содержания гумуса, что в половину выше значений контроля и варианта с NPK на 3,0 т/га зерна. Высокие дозы минеральных удобрений способствовали увеличению биологической активности в пахотном горизонте.

Таким образом, стандартный коэффициент минерализации почвенного органического вещества на пашне (1,0% от валового содержания) может быть использован при расчётах баланса гумуса на полях лесостепной зоны Зауралья. Внесение азотных удобрений на планируемую урожайность до 4,0 т/га зерна не влияет на коэффициент минерализации. Высокий агрофон (NPK более 5,0 т/га зерна) увеличивает коэффициент минерализации гумуса до 1,5-1,6% от валового содержания органического вещества почвы.

Прямо противоположный процесс минерализации носит название гумификация растительных остатков, который обеспечивает плодородие почв. Как показали результаты наших исследований, коэффициент гумификации запахиваемой соломы на полях с естественным агрофоном составляет 0,10% (рис. 7). Внесение минеральных удобрений на планируемую урожайность 3,0 и 4,0 т/га зерна способствует трансформации растительных остатков в гумус – коэффициент гумификации составил 0,20%, что в 2 раза превысило значения контроля. Это объясняется формированием растительных остатков с оптимальным для гумификации отношением C:N, а так же повышением микробиологической активности почвы в первой половине вегетации. Дальнейшее повышение уровня минерального питания привело к резкому усилению процесса минерализации растительных остатков, что негативно повлияло на коэффициент гумификации. На варианте с максимальным агрофоном он составил 0,06%, что в 1,6 раза меньше контроля. Данный факт обусловлен усилением микробиологической

активности, что подтверждается исследованиями и рассчитанным коэффициентом корреляции, который составляет 0,89 (Приложение Б). Уравнение регрессии показывающий зависимость от доз вносимых азотных удобрений, имеет вид:

$$y = -X^2 \times 13 \times 10^{-6} + X \times 1985 \times 10^{-6} + 0,116724,$$

где y – коэффициент гумификации запахиваемой соломы, %;

X – доза азотных удобрений вносимых на поле, кг д.в./га. Данное уравнение достоверно в диапазоне от 0 до 200 кг д.в./га азотных удобрений.

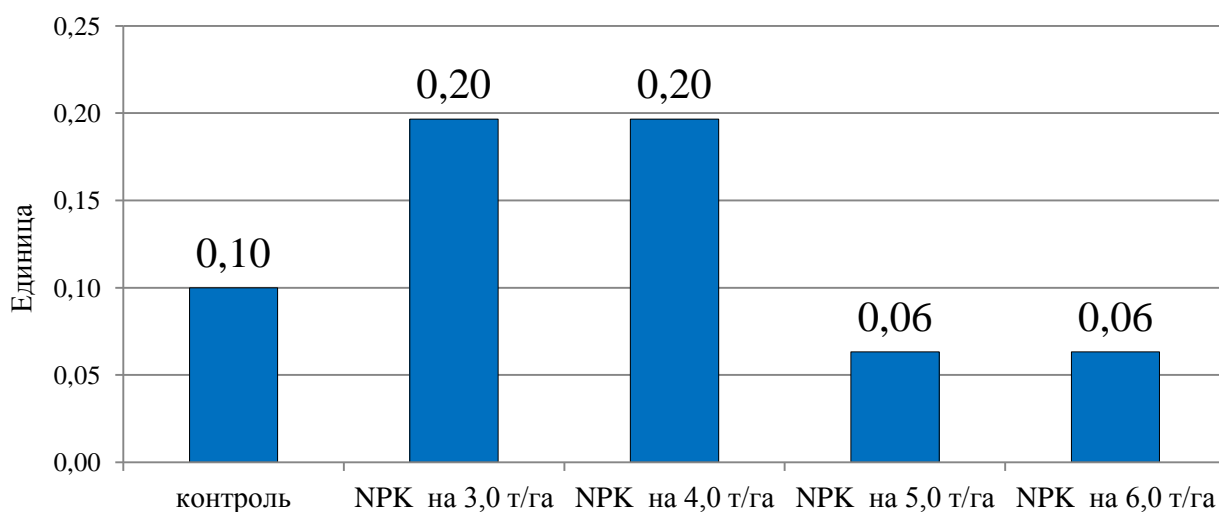


Рисунок 7 – Коэффициенты гумификации запахиваемой соломы, при внесении минеральных удобрений, 2014-2016 гг., ед.

Таким образом, внесение минеральных удобрений на планируемую урожайность 3,0 и 4,0 т/га зерна усиливают процесс трансформации растительных остатков в гумус – коэффициент гумификации возрастает с 0,10 до 0,20 %. Дальнейшее повышение уровня минерального питания уменьшает данный показатель до 0,06 %.

3.4 Баланс гумуса

При расчёте баланса гумуса по методике ВНИПТИОУ (Еськова А.И., 2003) с использованием собственных коэффициентов минерализации и гумификации, мы получили следующие результаты (табл. 10). За 22 года на

варианте, где запахивалась только солома, минерализовалось 11,0 т/га гумуса. В результате гумификации растительных остатков образовалось то же количество гумуса. Внесение минеральных удобрений на планируемую урожайность 3,0 и 4,0 т/га зерна увеличило минерализацию гумуса до 17,0 и 22,9 т/га, что почти в 2 раза выше значений контроля. Внесение минеральных удобрений способствовало повышению урожая зерновых культур и, следовательно, массы растительных остатков запахиваемых в почву (рис. 3, С. 44). Коэффициент гумификации 0,20% (рис. 7, С. 57) обеспечил не только компенсацию минерализованного гумуса, но и положительный баланс в размере 0,3 т/га в год.

Таблица 10 – Расчёт баланса гумуса по методике ВНИПТИОУ с использованием собственных коэффициентов гумификации и минерализации, т/га, 1995-2016 гг.

Показатели	Контроль	NPK на 3,0 т/га	NPK на 4,0 т/га	NPK на 5,0 т/га	NPK на 6,0 т/га
Минерализовалось гумуса, т/га	11,0	17,0	22,9	35,1	39,8
Образовалось гумуса, т/га	11,3	24,4	29,3	14,1	14,8
Баланс, +; -, т/га	0,3	7,4	6,4	-21,0	-25,0
за 1 год, т/га	0,0	0,3	0,3	-1,0	-1,1
Данные 1995-2012 гг. Д.И. Ерёмкина					

Высокий агрофон, обеспечивающий получение планируемой урожайности 5,0 и 6,0 т/га зерна, стимулировал деятельность почвенной микрофлоры, в результате за 22 года минерализовалось 35,1 и 39,8 т/га гумуса, что в 3,2-3,5 раза выше значений контроля. Внесение минеральных удобрений на планируемую урожайность свыше 5,0 т/га зерна привело к снижению образования гумуса в 2 раза относительно предыдущих вариантов. Внесение высоких доз минеральных удобрений обеспечивало накопление большой массы растительных остатков (рис. 3, С. 44). Помимо этого минеральные удобрения стимулировали почвенную микрофлору, которая

минерализовала растительные остатки, в результате чего расходная часть баланса превысила приходную – ежегодные потери составили 1,0-1,1 т/га.

Таким образом, использование полученных коэффициентов гумификации и минерализации в балансовой модели гумусообразования, рассчитанной по методике ВНИПТИОУ, обеспечивает достоверные расчётные данные, приближающиеся к фактическим значениям.

4 Способы регулирования гумусового состояния чернозёма выщелоченного

4.1 Изменение химического состава соломы зерновых культур под действием минеральных удобрений

Ценность растительных остатков определяется их химическим составом. В среднем они содержат 0,59% азота, 0,20% фосфора, 0,76% калия и 36,80 % углерода (Ренёв Е.П., 1999; Ерёмин Д.И., 2003; Масленко М.И., 2007). Излишнее количество азота (C:N менее 20) в запаханных растительных остатках на фоне высокой аэрации пахотного горизонта может увеличить микробиологическую активность почвы, что приведёт к её дегумификации (Кравченко Р.В., 2012). Ранее проведённые исследования показали, что при отношении C:N в растительных остатках более 30 урожайность сельскохозяйственных культур может снизиться вследствие дополнительного поглощения микрофлорой почвенного азота (Новиков С.А. и др., 2014; Русакова И.В., 2016). Влияния других элементов питания на процесс разложения растительных остатков не установлено.

Проведя химический анализ растительных остатков сельскохозяйственных культур, выращенных на опытном поле ГАУ Северного Зауралья, мы установили, что содержание сухого вещества в них не зависит от вида растений. Количество органического вещества варьирует от 79 до 82% от массы (табл. 11). Наиболее важный элемент питания – азот, поэтому ценность растительных остатков определяют по нему. В соломе зерновых культур его содержание достигает 0,5-0,6% от массы. Горох среди всех культур характеризовался максимальным количеством азота в растительных остатках – 1,4% от массы, превышающим в 2-3 раза значения других культур. Содержание фосфора в соломе зерновых культур в 2-3 раза меньше в сравнении с азотом. Его количество варьировало от 0,2 до 0,3% от массы.

Таблица 11 – Химический состав растительных остатков
сельскохозяйственных культур (опытное поле ГАУ Северного Зауралья),
2010-2016 гг.

Культура	Органическое вещество, %	Содержание в воздушно-сухой массе, %					
		N	P	K	Ca	Mg	Зола
Озимая пшеница	81	0,5	0,2	0,9	0,3	0,1	4,9
Озимая рожь	82	0,5	0,3	1,0	0,9	0,1	3,9
Яровая пшеница	82	0,6	0,2	0,7	0,3	0,1	3,5
Ячмень	81	0,5	0,2	1,0	0,3	0,1	4,5
Овес	79	0,6	0,3	1,6	0,4	0,1	6,5
Рапс	81	0,7	0,2	1,0	2,0	0,2	4,8
Горох	82	1,4	0,3	0,5	1,8	0,3	3,9
Данные 2010-2012 гг. Д.И. Ерёмина							

Максимальное количество калия отмечалось в соломе овса – 1,6% от массы. Столь высокое его содержание в соломе зерновых культур объясняется их биологической особенностью (Корникова Н.А., Неверова О.А., 2012).

Кальций и магний не считаются основными элементами питания, однако результаты химического анализа показали, что их содержание в растительных остатках выше, чем фосфора. Содержание кальция в соломе ячменя, овса, озимой и яровой пшеницы составило 0,3-0,4% от массы. Рапс и горох в отличие от зерновых культур накапливают в растительных остатках кальция 2,0 и 1,8% соответственно. В растениях зерновых культур содержание магния составляет 0,1% от массы, тогда как его количество в растительных остатках гороха в 3 раза больше и достигает 0,3% от массы.

Содержание золы в растительных остатках озимой пшеницы, ячменя и рапса составило 4,5-4,9% от массы, что выше значений других сельскохозяйственных культур. Максимальное содержание зольных элементов было в соломе овса.

Таким образом, содержание азота в соломе достигает 0,5-0,6% от массы и не зависит от вида зерновых культур. Содержание фосфора в соломе

зерновых культур в 2-3 раза меньше значений азота и в среднем составляет 0,2%. Максимальное содержание калия содержится в соломе овса 1,6% от массы, что в 2 раза больше в сравнении с яровой пшеницей.

В современных условиях для получения высоких урожаев сельскохозяйственных культур аграрии активно используют минеральные удобрения, однако это меняет концентрацию химических элементов в растительных остатках. Содержание азота в соломе яровой пшеницы, выращенной на естественном агрофоне (без удобрений), составило 0,7% от массы (табл. 12). С увеличением уровня минерального питания содержание азота в соломе достигает 1,2% от массы. Накопление азота в растительных остатках объясняется физиологической незрелостью яровой пшеницы на момент уборки (Иваненко А.С., Иваненко Н.А., 2015).

Таблица 12 – Химический состав соломы яровой пшеницы, выращенной на вариантах с различным агрофоном, 2010-2016 гг.

Варианты	Содержание в воздушно-сухой массе, %					
	N	P	K	Ca	Mg	Зола
Контроль (без удобрений)	0,7	0,2	0,7	0,3	0,1	3,5
НПК на 3,0 т/га	0,9	0,2	0,9	0,3	0,1	3,8
НПК на 4,0 т/га	0,8	0,2	1,1	0,4	0,1	3,8
НПК на 5,0 т/га	1,1	0,2	1,1	0,4	0,2	4,2
НПК на 6,0 т/га	1,2	0,2	1,0	0,3	0,1	4,5
НСР ₀₅	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2
Данные 2010-2012 гг. Д.И. Ерёмина						

Как показали наши расчёты, корреляция между вносимыми дозами азотных удобрений и содержанием азота в соломе очень сильная ($r=0,94$). Это позволило нам провести регрессионный анализ и получить линейное уравнение для диапазона внесения азотных удобрений от 0 до 350 кг д.в./га.

$$y=0,002 \times X + 0,7,$$

где y – содержание азота в соломе, %;

X – доза азотных удобрений, кг д.в./га.

Содержание фосфора в соломе яровой пшеницы не зависит от уровня минерального питания и в среднем по вариантам составило 0,2% от массы. Калий, в отличие от первых двух элементов питания, накапливается преимущественно в соломе и корнях. На контроле, без внесения минеральных удобрений, его содержание в соломе составило не более 0,7% от массы. Внесение удобрений на планируемую урожайность 3,0 т/га зерна увеличило содержание калия на 29% относительно контроля. Дальнейшее повышение уровня минерального питания способствовало увеличению данного показателя до 1,1% от массы.

Корреляционный анализ показал, что содержание калия в соломе яровой пшеницы зависит от дозы азотных удобрений $r=0,98$ (Приложение В). Это позволяет провести анализ квадратичной регрессии, в результате которого было получено уравнение следующего типа:

$$y = -31 \cdot 10^{-6} \times X^2 + 741 \cdot 10^{-6} \times X + 0,685687,$$

где: y – содержание калия в соломе, %;

X – дозы азотных удобрений, кг д.в./га.

Уравнение достоверно при планировании урожайности зерновых культур до 6,0 т/га зерна.

Минеральные удобрения не влияют на содержание щёлочноземельных металлов в соломе яровой пшеницы. Независимо от уровня минерального питания содержание кальция в соломе яровой пшеницы варьировало в пределах 0,3-0,4% от массы, тогда как концентрация магния была минимальной и составила 0,1-0,2% от массы.

С повышением уровня минерального питания содержание золы в соломе увеличивалось. На контроле её содержание составило 3,5% от массы. На вариантах с низким агрофоном (NPK на 3,0 и 4,0 т/га) её содержание было на 0,3% выше значений контроля и составило 3,8% от массы. Максимальное количество золы в соломе отмечалось на вариантах с NPK на 5,0 и 6,0 т/га зерна – 4,2 и 4,5% соответственно.

Химический состав соломы овса несколько отличался от соломы яровой пшеницы, а выращивание его с различными дозами минеральных удобрений имеет свои особенности накопления элементов питания в соломе. Содержание азота в соломе, выращенной на естественном агрофоне (контроль), значительно ниже, чем в яровой пшенице – 0,5% от массы (табл. 13). Внесение минеральных удобрений на планируемую урожайность 3,0 т/га зерна не оказало существенного влияния на содержание азота в соломе, поскольку он был весь израсходован на формирование зерна.

Таблица 13 – Химический состав соломы овса, выращенной на вариантах с различным агрофоном, 2010-2016 гг.

Варианты	Содержание в воздушно-сухой массе, %					
	N	P	K	Ca	Mg	Зола
Контроль (без удобрений)	0,5	0,2	1,5	0,4	0,1	6,8
NPK на 3,0 т/га	0,6	0,2	1,6	0,4	0,1	6,5
NPK на 4,0 т/га	0,7	0,2	1,6	0,4	0,1	6,5
NPK на 5,0 т/га	0,7	0,2	1,6	0,5	0,2	6,2
NPK на 6,0 т/га	0,9	0,2	1,5	0,4	0,1	6,0
НСП ₀₅	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,3
Данные 2010-2012 гг. Д.И. Ерёмина						

Повышение уровня минерального питания, необходимого для получения 4,0 и 5,0 т/га зерна, способствовало накоплению азота до 0,7% от массы, что на 40% выше контроля. Как и в случае с яровой пшеницей, максимальный агрофон (NPK на урожайность 6,0 т/га) повышает содержание азота в соломе почти в два раза.

Выращивание овса на вариантах с различным уровнем минерального питания не повлияло на содержание фосфора в соломе (0,2%), как и в соломе яровой пшеницы. Также минеральные удобрения не повлияли на содержание калия в соломе овса – 1,5-1,6% от массы, что превышает значения яровой пшеницы в два раза.

Внесение минеральных удобрений не влияет на содержание в соломе кальция и магния, оно составляло 0,4-0,5% и 0,1-0,2% от массы

соответственно. Максимальное значение содержания золы в соломе овса отмечалось на контроле – 6,8% от массы. Внесение минеральных удобрений снизило данный показатель до 6,0% от массы на варианте с NPK на 6,0 т/га зерна.

Проведённые исследования химического состава соломы ячменя показали ту же закономерность накопления азота, как и в овсе. Внесение минеральных удобрений не оказало существенного влияния на остальные элементы питания (табл. 14).

Таблица 14 – Химический состав соломы ячменя, выращенного на вариантах с различным агрофоном, 2010-2016 гг.

Варианты	Содержание в воздушно-сухой массе, %					
	N	P	K	Ca	Mg	зола
Контроль (без удобрений)	0,5	0,2	1,0	0,3	0,1	4,5
NPK на 3,0 т/га	0,6	0,2	1,0	0,4	0,1	4,6
NPK на 4,0 т/га	0,7	0,2	1,1	0,4	0,1	4,5
HCP ₀₅	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2
Данные 2010-2012 гг. Ерёмина Д.И.						

Таким образом, выращивание зерновых культур на естественном агрофоне приводит к формированию соломы с низким содержанием азота (0,5-0,7% от массы). Внесение минеральных удобрений увеличивает накопление азота в соломе почти в 2 раза относительно контроля. Установлена высокая корреляция между дозами удобрений и содержанием азота в соломе $r=0,94$. Минеральные удобрения не оказывают существенного влияния на содержание фосфора в соломе зерновых культур. Накопление калия в соломе зерновых культур обусловлено влиянием минеральных удобрений и биологическими особенностями вида. Влияния минеральных удобрений на содержание кальция и магния в растительных остатках не установлено, отклонения были в пределах ошибки опыта.

4.2 Динамика содержания азота, фосфора, калия и углерода при деструкции соломы

Динамика соотношения углерода к азоту в соломе при её разложении. В побочной продукции зерновых культур обычно содержится минимальное количество азота, так как растения по мере созревания аккумулируют его в зерне. Г.Д. Беличиной с соавторами (1988) отмечалось, что отношение углерода к азоту в растительных остатках обычно составляет 1:50 (80) данный факт подтверждается и в исследованиях Д.И. Ерёмкина (2017). В гумусе это отношение составляет, по данным Г.Д. Беличиной и др. (1988) 1:10. Следовательно, процесс трансформации растительных остатков в гумусовые вещества будет сопровождаться изменением химического состава на всех этапах.

В условиях интенсификации сельского хозяйства при активном использовании минеральных удобрений, химический состав отличается от растительных остатков естественных ценозов, что может повлиять на процесс гумификации.

Влияние минеральных удобрений. Содержание азота в соломе яровой пшеницы, выращенной при различном уровне минерального питания, варьирует в широком диапазоне. Его содержание в растительных остатках, выросших на естественном агрофоне и на варианте с внесением NPK 4,0 т/га зерна, составило 0,67 и 0,71% соответственно (табл. 15). На варианте с планируемой урожайностью 3,0 т/га зерна содержание азота в соломе достигло 0,89% от массы, что на 25% больше, чем на контроле. Причиной большего накопления азота в соломе яровой пшеницы, выросшей на варианте с NPK на 3,0 т/га, является особенностью чернозёмных почв Западной Сибири, в которых происходит дополнительное накопление минеральных форм азота во второй половине лета (Агеев В.В. и др., 2008). В это время растения начинают активно поглощать азот и не успевают трансформировать его в пластические вещества зерна (Ерёмин Д.И., 2010; Ерёмин Д.И. и др., 2015).

Таблица 15 – Динамика содержания азота в соломе, расположенной на поверхности почвы при различном уровне минерального питания, %, 2013-2016 гг.

Варианты (фактор А)	Исходное содержание	Периоды экспозиций (фактор В)				
		I	II	III	IV	V
Контроль	0,67	0,63	0,62	0,38	0,27	0,25
НРК на 3,0 т/га	0,89	0,79	0,77	0,51	0,35	0,26
НРК на 4,0 т/га	0,71	0,68	0,67	0,42	0,31	0,26
НРК на 5,0 т/га	1,06	0,68	0,53	0,36	0,23	0,24
НРК на 6,0 т/га	1,18	0,71	0,61	0,42	0,23	0,19
Период экспозиции: I – сентябрь-октябрь; II – сентябрь- май; III – сентябрь-июнь; IV – сентябрь-июль; V – сентябрь-сентябрь. HCP ₀₅ по фактору A=0,04; HCP ₀₅ по фактору B=0,05; HCP ₀₅ по взаимодействию AB=0,07						

Корреляционный анализ показал, что содержание азота в соломе зерновых культур зависит от дозы вносимых удобрений ($r=0,73$). Это позволяет провести регрессионный анализ в результате, которого было получено линейное уравнение:

$$y=0,002397 \times X + 0,686$$

где: y – содержание азота в соломе, %;

X – доза азотных удобрений, кг д.в./га. Уравнение достоверно в диапазоне планируемой урожайности до 6,0 т/га зерновых культур.

Отношение C:N в соломе яровой пшеницы выращенной на естественном агрофоне достигает 70 и является максимальным среди изучаемых вариантов (рис. 8). Необходимо отметить тот факт, что запашка такой соломы может привести к частичному снижению урожайности сельскохозяйственных культур в следующий год по причине дополнительного потребления азота почвенной микрофлорой, участвующей в разложении соломы. Внесение высоких доз минеральных удобрений (НРК на урожайность 5,0 и 6,0 т/га зерна) способствовало дополнительному накоплению азота в вегетативных частях растений, которые достигли максимума 1,06 и 1,18% соответственно.

Отношение C:N в соломе снижается до 43 и 38 соответственно, что более чем в 1,5 раза меньше контроля. Такой диапазон значений между исследуемыми вариантами обусловлен изначально различным содержанием азота в растительных остатках.

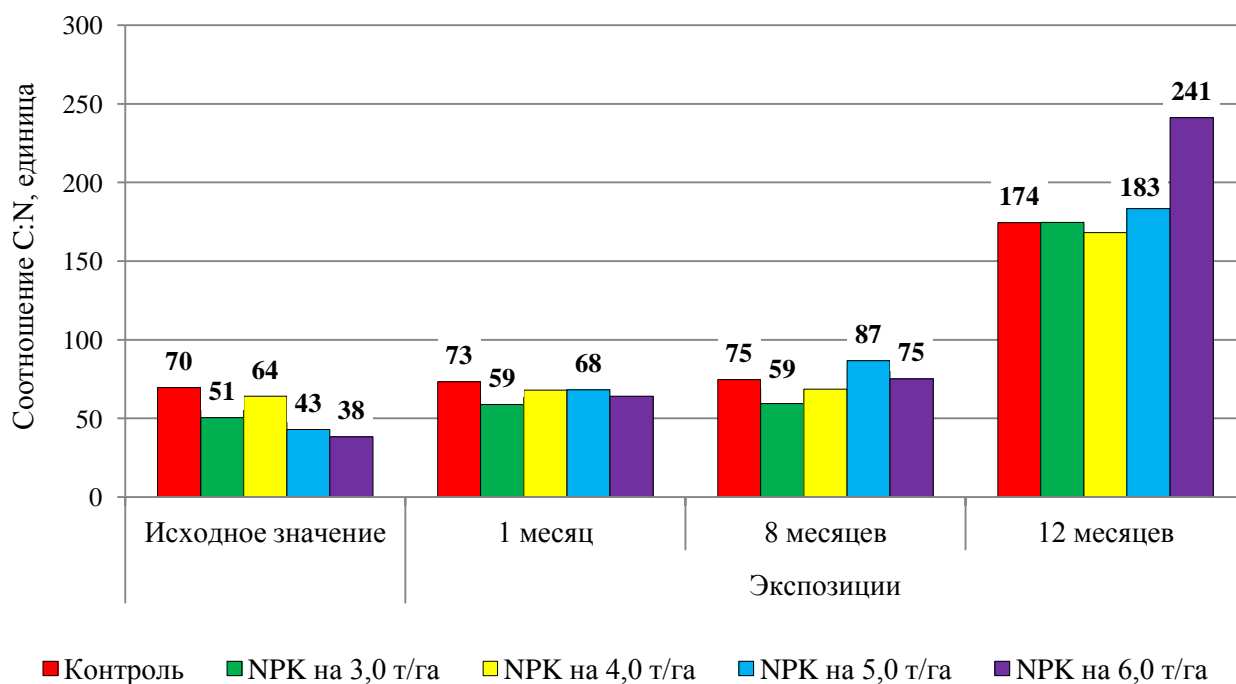


Рисунок 8 – Соотношение углерода к азоту (C:N) в соломе, расположенной на поверхности почвы при различном уровне минерального питания, 2013-2016 гг.

Содержание азота в соломе, расположенной на поверхности почвы в течение одного месяца не уменьшалось относительно исходных значений, и составило 0,67% – отклонения были в пределах ошибки опыта ($НСР_{05}=0,05$). Отсутствие изменений отмечается и на варианте с внесением удобрений на планируемую урожайность 4,0 т/га зерна. Данный факт обусловлен изначально низким содержанием азота в соломе. На варианте с низким агрофоном (NPK на урожайность 3,0 т/га зерна) содержание азота в растительных остатках снизилось на 0,10% относительно исходных значений и составило 0,79% от массы. При этом отношение C:N в соломе увеличилось на 14% относительно исходных значений.

В первый месяц экспозиции на вариантах с NPK на 5,0 и 6,0 т/га зерна содержание азота в соломе, расположенной на поверхности почвы, уменьшилось почти в 3 раза и составило 0,68 и 0,71% соответственно. Отношение C:N в растительных остатках на изучаемых вариантах увеличилось на 25 и 26 относительно исходных значений, что объясняется резким снижением содержания азота при его вымывании из соломы в осенний период. При использовании соломы в качестве органических удобрений на полях с высоким агрофоном необходимо её запахивать. В противном случае существует угроза потери основной части азота из соломы.

На контроле и на вариантах с низким агрофоном (NPK на урожайность 3,0 и 4,0 т/га зерна) содержание азота в соломе яровой пшеницы за период с ноября по май существенно не изменилось ($HCp_{05}=0,05\%$). На вариантах с планируемой урожайностью на 5,0 и 6,0 т/га зерна содержание азота в соломе уменьшилось на 0,15 и 0,10% относительно первой экспозиции, что составило 0,53 и 0,61% соответственно. Незначительное снижение азота в растительных остатках на вариантах с высоким агрофоном (NPK на 5,0 и 6,0 т/га) привело к увеличению отношения C:N на 19 и 11 соответственно при этом содержание углерода в соломе осталось на одном уровне.

К концу июня содержание азота в соломе на контроле уменьшилось в 2,6 раза относительно второй экспозиции и достигло 0,38% от массы. Та же тенденция наблюдалась и на вариантах с использованием минеральной системы удобрений – содержание азота снизилось на 0,17-0,26% относительно второй экспозиции, что составило 0,36-0,51% от массы. Благоприятному прохождению процесса разложения растительных остатков, расположенных на поверхности почвы и, следовательно, высвобождению азота, способствовало состояние её увлажнения. В июне растения яровой пшеницы уже сомкнулись в междурядьях, что препятствовало высыханию соломы под действием солнца и ветра.

В июле содержание азота в соломе, расположенной на варианте с естественным агрофоном (контроль), уменьшилось на 0,11% относительно

четвертой экспозиции и составило 0,27% от массы. На вариантах с планируемой урожайностью на 3,0 и 4,0 т/га зерна содержание азота снизилось до 0,35 и 0,31% соответственно, что больше контроля на 0,08 и 0,04% от массы. Максимальная убыль содержания азота в соломе, расположенной на поверхности почвы, наблюдалась на вариантах с высоким агрофоном (NPK на 5,0 и 6,0 т/га) и достигла 0,23%, что на 80% меньше относительно исходных значений.

В последние 2 месяца экспозиции (август-сентябрь) содержание азота в соломе, расположенной на контроле, не изменялось, отклонения были в пределах ошибки опыта. Та же закономерность наблюдалась и на вариантах с планируемой урожайностью на 4,0-6,0 т/га зерна. Солома, расположенная на варианте с внесением NPK на урожайность 3,0 т/га зерна, продолжала терять азот, содержание которого уменьшилось до 0,26% от массы.

За 12 месяцев экспозиции содержание углерода в соломе, расположенной на поверхности почвы, независимо от изучаемых вариантов, снизилось на 0,7-3,1% относительно исходных значений. При этом отношение C:N в растительных остатках увеличилось в 2-6 раз относительно исходных значений, что объясняется вымыванием азота из соломы.

Проведя корреляционный анализ, установили, что разложение соломы на поверхности почвы зависит от двух факторов: температуры в период разложения и уровня минерального питания. Что подтверждается в исследованиями многих авторов (Трофимов С.Я. и др., 1998; Fierer N., 2005; Davidson E.A., Janssens I.A., 2006; Bauer J., 2008; Prescott C., 2010; Бобкова К.С. и др., 2014; Ларионова А.А. и др., 2017). Температура влияет на скорость высвобождения азота при значениях его содержания в соломе менее 0,71% от массы ($r > 0,9$). При повышении содержания азота в соломе роль температуры в процессе её разложения уменьшается до минимума.

Запашка соломы предусматривает вероятность попадания растительных остатков в разные слои почвы, которые отличаются друг от друга физическими показателями. Еще в 1973 году А.Г. Ермакова и Н.М.

Сулимова отмечали, что на выщелоченном чернозёме наибольшая биологическая активность прослеживается в слое почвы 0-15 см, при этом с глубиной она резко снижается. Это обусловлено нестабильностью по влажности и температуре в разных слоях почвы, что подтверждается в исследованиями О.А. Шаховой (2016).

В первый месяц экспозиции (октябрь) содержание азота в соломе, расположенной на глубине 10 см на вариантах с естественным агрофоном и с различным уровнем минерального питания, уменьшилось на 11-29% относительно исходных значений (табл. 16). Отношение C:N увеличилось на 6-23, что объясняется вымыванием азота из растительных остатков в осенний период (табл. 17).

Таблица 16 – Динамика содержания азота в запаханной соломе при различном уровне минерального питания, %, 2013-2016 гг.

Варианты (фактор А)	Глубина, см	Исходное содержание	Периоды экспозиции (фактор В)				
			I	II	III	IV	V
Контроль	10	0,67	0,57	0,53	0,64	0,81	0,92
	20		0,40	0,35	0,52	0,63	0,49
	30		0,77	0,81	0,79	0,95	0,59
NPK на 3,0 т/га	10	0,89	0,63	0,60	0,58	0,60	0,74
	20		0,58	0,65	0,62	0,34	0,51
	30		0,58	0,65	0,62	0,34	0,51
NPK на 4,0 т/га	10	0,71	0,58	0,62	0,55	0,62	0,75
	20		0,52	0,46	0,53	0,93	0,53
	30		0,76	0,65	0,87	0,85	0,72
NPK на 5,0 т/га	10	1,06	0,88	0,83	0,91	1,08	1,22
	20		0,94	0,61	0,36	0,90	0,74
	30		0,79	0,93	0,91	0,94	0,83
NPK на 6,0 т/га	10	1,18	1,02	0,71	0,95	1,12	1,22
	20		1,21	0,82	1,11	1,10	1,17
	30		0,90	0,87	0,86	1,09	1,00
Период экспозиции: I – сентябрь-октябрь; II – сентябрь- май; III – сентябрь-июнь; IV – сентябрь-июль; V – сентябрь-сентябрь.							
HCP ₀₅ по фактору А=0,05; HCP ₀₅ по фактору В=0,05; HCP ₀₅ по взаимодействию АВ=0,09							

За период с октября по май содержание азота в соломе на контроле и вариантах с NPK на планируемую урожайность 3,0-5,0 т/га зерна, не

изменилось, отклонения были в пределах ошибки опыта. На варианте с максимальным уровнем минерального питания (NPK на урожайность 6,0 т/га) содержание азота уменьшилось на 40% относительно первой экспозиции. Данный скачок выражен резким снижением содержания азота в соломе в 2014 и 2016 годах на 0,29 и 0,57% соответственно (Приложение Г и Д). Это выражено повышением температуры в 2-4 раза относительно средних многолетних значений (Приложение А), что благоприятно повлияло на прогревание почвы в слое 0-10 см и целлюлозоразлагающую микрофлору (Перфильев Н.В. и др., 2015).

Таблица 17 – Соотношение углерода к азоту (C:N) в запаханной соломе при различном уровне минерального питания, ед., 2013-2016 гг.

Варианты	Глубина заделки, см	Исходное значение	Экспозиции		
			I	II	V
Контроль	10	70	81	87	49
	20		117	131	46
	30		60	57	71
NPK на 3,0 т/га	10	51	74	75	60
	20		79	71	43
	30		79	74	84
NPK на 4,0 т/га	10	64	81	75	61
	20		89	100	41
	30		61	68	59
NPK на 5,0 т/га	10	43	53	55	36
	20		50	75	31
	30		60	50	51
NPK на 6,0 т/га	10	39	45	65	34
	20		38	56	18
	30		51	52	39
Период экспозиции: I – сентябрь-октябрь; II – сентябрь-май; V – сентябрь-сентябрь.					

В июне (3 экспозиция) на контроле содержание азота в соломе, заделанной на глубину 10 см, увеличилось на 17% относительно II экспозиции, что составило 0,64% от массы. Это объясняется тем, что работает целлюлозоразлагающая микрофлора, тем самым увеличивается

содержание азота в растительных остатках. Высокие дозы минеральных удобрений (NPK на 5,0 и 6,0 т/га) уже в июне (9 месяцев экспозиции) запускают процесс трансформации растительных остатков. Тогда как на вариантах с естественным и низким агрофоном процесс трансформации соломы начинается в июле (10 месяцев экспозиции).

К 12 месяцам экспозиции на контроле и на вариантах с NPK на планируемую урожайность 3,0 и 4,0 т/га зерна содержание азота в запаханных на глубину 10 см растительных остатках находится в пределах 0,74-0,92% от массы. На вариантах с высокими дозами минеральных удобрений (NPK на 5,0 и 6,0 т/га) содержание азота достигает 1,22% от массы, что является признаком гумификации. Отношение C:N в соломе, расположенной на глубине 10 см, достигает 34-61 единицы.

В соломе, запаханной на глубину 20 см, в первый месяц экспозиции (октябрь) на естественном агрофоне и на варианте с NPK на 3,0 т/га зерна содержание азота снизилось на 35 и 40% относительно исходных значений. При этом отношение C:N в соломе увеличилось на 47 и 28 единиц относительно исходных значений, что объясняется вымыванием азота из растительных остатков в осенний период. На вариантах с NPK на планируемую урожайность 4,0 и 5,0 т/га зерна содержание азота снизилось на 27 и 11% соответственно, что в 2-4 раза меньше в сравнении с контролем. На варианте с максимальным уровнем минерального питания (NPK на 6,0 т/га) содержание азота не изменилось, отклонения были в пределах ошибки опыта.

За период с октября по май содержание азота в соломе, расположенной на глубине 20 см на вариантах с NPK на 4,0-6,0 т/га зерна, уменьшились на 12-35% относительно первой экспозиции, достигая 0,46-0,82% от массы, что обусловлено вымыванием азота и частичной деструкцией клеток соломы. К 9 месяцам экспозиции (июнь) содержание азота в запаханной соломе на вариантах с естественным агрофоном и с NPK на 3,0 и 4,0 т/га зерна достигло 0,52-0,62% от массы.

Через год в запаханной соломе содержание азота, на вариантах с естественным и низким агрофоном (NPK 3,0 и 4,0 т/га), достигло 0,49-0,53% от массы. Содержащийся азот в запаханной соломе на вариантах с NPK на 5,0 и 6,0 т/га зерна на глубине 20 см способствует развитию микроорганизмов, которые ведут к постепенной минерализации питательных веществ.

Более глубокая заплата соломы в почву (30 см) в первый месяц экспозиции на варианте с естественным агрофоном привела к увеличению содержания азота в ней на 13% относительно исходных значений, что составило 0,77% от массы. Отношение C:N в соломе уменьшилось до 60 единиц, вследствие высокой активности целлюлозоразрушающей микрофлоры. Под действием вспашки происходит перемещение активного слоя (0-10 см) на глубину 20-30 см. Исходное содержание азота в соломе на варианте с NPK на 4,0 т/га зерна не оказало существенного влияния на его высвобождение, отклонения были в пределах ошибки опыта. На остальных вариантах снижение содержания азота варьировало от 18 до 26% относительно исходных значений и достигло 0,73-0,90% от массы. Снижение азота обусловлено вымыванием его из растительных остатков в осенний период.

Во второй и третьей экспозиции запаханная солома не изменила свой химический состав вследствие неблагоприятного температурного режима. К 10-му месяцу экспозиции (июль) идёт нарастание микробной биомассы на растительных остатках. К концу года в запаханной на глубину 30 см соломе, содержание азота достигло 0,59-1,00% от массы, что объясняется прохождением процесса минерализации с потерей органического углерода в растительных остатках.

Таким образом, при содержании азота в соломе менее 0,71% от массы скорость его высвобождения на поверхности почвы в течение 8 месяцев экспозиции минимальна. При более высоком содержании азота в соломе потери в осенний период возрастали. Независимо от агрофона содержание

азота в соломе, расположенной на поверхности почвы, за 12 месяцев экспозиции уменьшилось до 0,19-0,26% от массы. С июня содержание азота в растительных остатках повышалось за счёт нарастания на её поверхности микробной биомассы. Отношение углерода к азоту на протяжении 8 месяцев с момента заделки соломы в почву, увеличивалось с 39 до 131, в последующем данный показатель сокращался до 84. При заделке соломы на глубину 30 см на естественном агрофоне C:N достигает 71 и 84 соответственно. С повышением агрофона высвобождение азота в запаханной соломе уменьшилось.

Влияние различной системы обработки почвы. Выращивание яровой пшеницы при различных системах основной обработки почвы не оказывает влияния на исходное содержание азота в соломе, которая достигает 0,69% от массы (рис. 9), при этом отношение углерода к азоту составляет 68 единиц (рис. 10). В соломе, расположенной на поверхности почвы вариантов с отвальной и безотвальной обработкой в первый месяц экспозиции (октябрь) содержание азота снизилось на 12 и 16% относительно исходных значений, что составило 0,61 и 0,58% от массы.

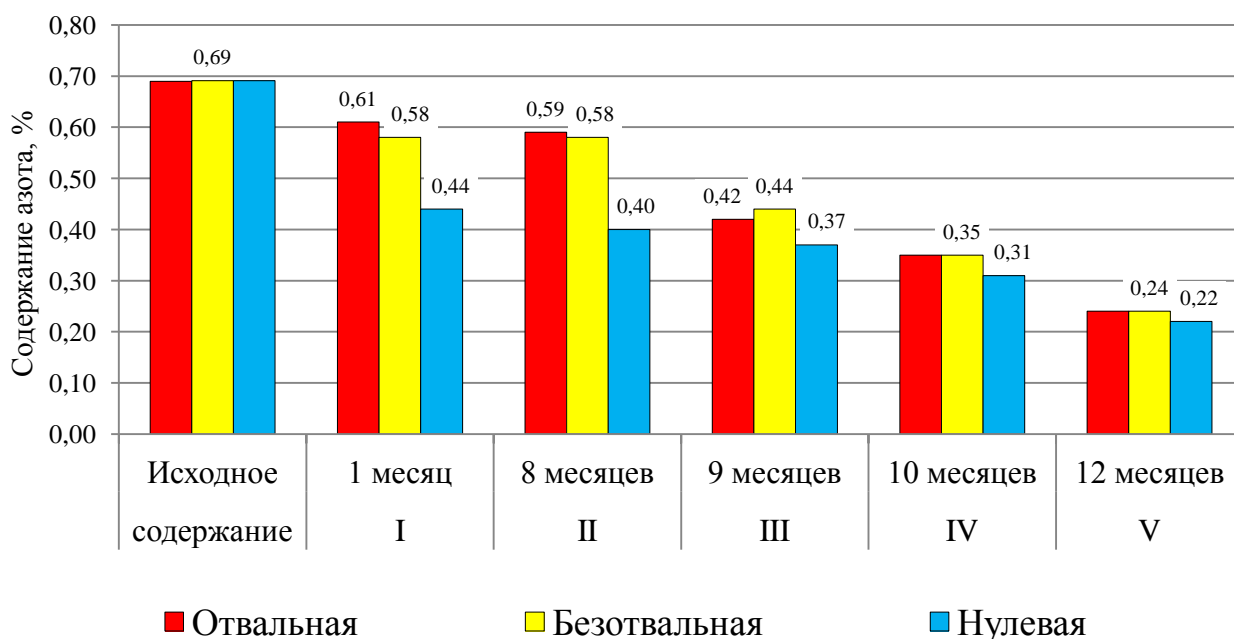


Рисунок 9 – Динамика содержания азота в соломе, расположенной на поверхности почвы при различных системах основной обработки, %, 2013-2016 гг.

На варианте с нулевой обработкой почвы содержание азота в соломе, расположенной на её поверхности, уменьшилось на 23% относительно исходных значений (0,44%), что в 2 раза превышает значения варианта с отвальной обработкой почвы. Отношение углерода к азоту в соломе на вариантах с отвальной и безотвальной обработкой почвы увеличилось на 8 и 12 единиц, тогда как на варианте с нулевой обработкой почвы – на 39 единиц, что в 1,5 раза больше относительно исходных значений. Данное повышение отношения C:N в соломе объясняется вымыванием азота в осенний период.

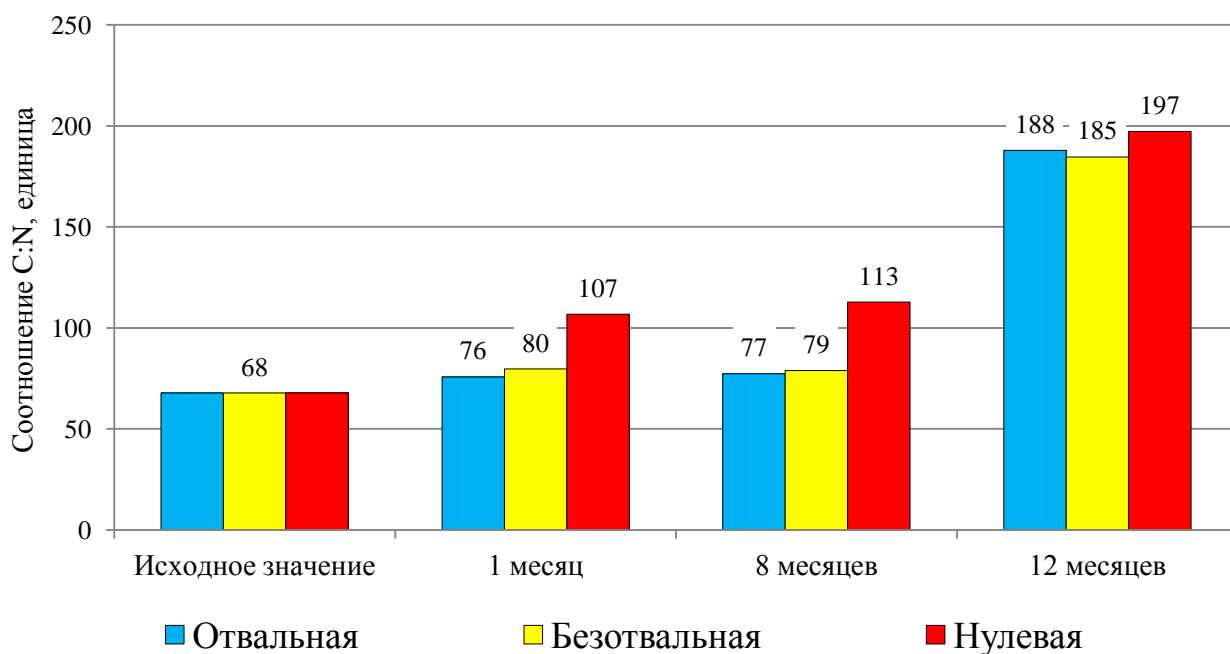


Рисунок 10 – Соотношение углерода к азоту в соломе, расположенной на поверхности почвы при различных системах основной обработки, ед., 2013-2016 гг.

За период с октября по май содержание азота в соломе, расположенной на поверхности почвы в вариантах с отвальной и безотвальной обработками, не изменилось, отклонения в пределах ошибки опыта. Так же отмечалось незначительное снижение содержания азота в соломе, расположенной на варианте с нулевой обработкой почвы (0,04%).

В течение летнего периода идёт постепенное снижение содержания азота в растительных остатках, расположенных на поверхности почвы с различной системой основной её обработки. Независимо от системы обработки почвы содержание азота в соломе за 12 месяцев экспозиции достигло 0,22-0,24% от массы, при этом отношение C:N в ней увеличилось более чем в 2 раза относительно исходных значений. Это говорит о том, что процессы гумификации и минерализации отсутствовали из-за неблагоприятных условий, а азот вымывался из соломы осадками.

Различная система основной обработки почвы по разному распределяет растительные остатки в почвенном профиле, поэтому процесс её трансформации в различных слоях почвы может отличаться друг от друга. Запашка соломы на глубину 10 см в первый месяц экспозиции на варианте с отвальной обработкой почвы снизила содержание азота в ней на 16% относительно исходных значений и составила 0,58% от массы (табл. 18).

Таблица 18 – Динамика содержания азота в соломе, заделанной в почву при различных системах основной её обработки, %, 2013-2016 гг.

Варианты (фактор А)	Глубина заделки, см	Исходное содержание	Период экспозиции (фактор В)				
			I	II	III	IV	V
Отвальная	10	0,69	0,58	0,47	0,53	0,59	0,92
	20		0,47	0,52	0,63	0,50	0,38
	30		0,46	0,39	0,50	0,56	0,60
Безотвальная	10	0,69	0,72	0,80	0,48	0,65	0,68
	20		0,79	0,90	0,46	0,51	0,64
	30		0,69	0,78	0,61	0,50	0,30
Нулевая	10	0,69	0,94	0,81	0,46	0,63	0,45
	20		0,62	0,69	0,38	0,53	0,46
	30		0,64	0,76	0,54	0,47	0,26
Период экспозиции: I – сентябрь-октябрь; II – сентябрь- май; III – сентябрь-июнь; IV – сентябрь-июль; V – сентябрь-сентябрь							
HCP ₀₅ по фактору A=0,03; HCP ₀₅ по фактору B=0,03; HCP ₀₅ по взаимодействию AB=0,05							

На варианте с нулевой обработкой почвы содержание азота в соломе, наоборот, увеличилось на 27% относительно исходных значений, достигнув 0,94% от массы. При этом отношение C:N в растительных остатках

уменьшилось на 18 единиц относительно исходных значений (табл. 19). Это объясняется тем, что в слое 0-10 см накапливается целлюлозоразлагающая микрофлора, которая при появлении растительных остатков резко набирает биомассу. Данный факт подтверждается исследованиями Т.И. Иванова с соавторами (2008). Содержание азота в соломе, закопанной на глубину 10 см на варианте с безотвальной обработкой почвы не изменилось, отклонения в пределах ошибки опыта.

Таблица 19 – Соотношение углерода к азоту (C:N) в соломе, заделанной в почву при различных системах основной обработки, ед., 2013-2016 гг.

Варианты	Глубина заделки, см	Исходное значение	Экспозиции		
			I	II	V
Отвальная	10	67	80	97	48
	20		98	92	118
	30		101	119	73
Безотвальная	10	67	65	58	67
	20		57	51	71
	30		66	60	149
Нулевая	10	67	49	58	100
	20		77	65	95
	30		73	61	172
Период экспозиции: I – сентябрь-октябрь; II – сентябрь-май; V – сентябрь-сентябрь.					

К четвертому периоду экспозиции (июль) содержание азота в соломе, закопанной на глубину 10 см на вариантах с различной системой основной обработки почвы, достигло значений 0,59-0,65% от массы. К концу года (август-сентябрь) содержание азота в соломе, запаханной на варианте с отвальной обработкой почвы, увеличилось на 36% относительно июля, что составило 0,92% от массы. Отношение C:N в соломе уменьшилось на 19 относительно исходных значений, что обусловлено прохождением процесса трансформации растительных остатков.

К концу года содержание азота в соломе, закопанной на глубину 10 см на варианте с нулевой обработкой почвы, уменьшилось на 29% относительно

четвёртой экспозиции и составило 0,45% от массы, отношение C:N в растительных остатках увеличилось в 1,5 раза относительно исходных значений, что выражено процессом минерализации растительных остатков. На варианте с безотвальной обработкой почвы содержание азота в соломе в последние 2 месяца экспозиции не изменилось, отклонения были в пределах ошибки опыта ($HCp_{05}=0,03\%$).

Содержание азота в соломе, запаханной на глубину 20 см, в первый месяц экспозиции уменьшилось на 32% относительно исходных значений. На варианте с нулевой обработкой почвы содержание азота в соломе в этот период уменьшилось на 10% относительно исходных значений. Данный факт объясняется ежегодной нулевой обработкой почвы, что приводит к снижению биологической активности целлюлозоразлагающей микрофлоры (Владыкина Н.И., 2014). Отношение C:N в соломе на вариантах с отвальной и нулевой обработкой увеличилось на 21 и 10 единиц соответственно, что объясняется вымыванием азота в осенний период года. На варианте с безотвальной обработкой почвы содержание азота увеличилось на 13%, при этом отношение углерода к азоту снизилось на 10 единиц относительно исходных значений. Это обусловлено нарастанием биомассы микрофлоры на растительных остатках.

К маю на всех исследуемых вариантах содержание азота в соломе увеличилось на 10-12% относительно первой экспозиции. Отношение C:N в растительных остатках увеличилось на 6-12, что объясняется прохождением процесса трансформации растительных остатков. К концу года содержание азота в соломе, закопанной на глубину 20 см на вариантах с отвальной и нулевой обработкой почвы достигло 0,38 и 0,46% соответственно. При этом отношение углерода к азоту в соломе увеличилось относительно второй экспозиции на 26 и 30 единиц, что указывает о прохождении процесса минерализации. На варианте с безотвальной обработкой почвы отношение C:N в соломе увеличилось на 20, что соответствует очень низкой обогащённости растительных остатков азотом.

В первый месяц экспозиции содержание азота в запаханной на глубину 30 см соломе, уменьшилось с 0,69 до 0,46% от массы, отношение C:N достигло 101. Меньший эффект был на варианте с нулевой обработкой почвы – убыль азота составила 7% относительно исходных значений, тогда как на варианте с отвальной обработкой почвы содержание азота в растительных остатках не изменилось. Через 8 месяцев экспозиции содержание азота в соломе уменьшилось до 0,39% от массы. При этом отношение C:N в соломе увеличивалось в 2 раза относительно исходных значений, что обусловлено частичным вымыванием азота из растительных остатков и поглощением его почвенной микрофлорой. На варианте с безотвальной и нулевой обработкой почвы содержание азота в закопанной соломе увеличилось на 12 и 14% относительно первого месяца экспозиции и составило 0,78 и 0,76% соответственно.

К концу года содержание азота в соломе, запаханной на глубину 30 см, увеличилось до 0,60% от массы. Отношение C:N в соломе уменьшилось в 1,6 раза относительно 2 экспозиции, что объясняется трансформацией растительных остатков. На вариантах с безотвальной и нулевой обработкой почвы содержание азота в соломе составило 0,30 и 0,26% соответственно, что в 2 раза меньше значений варианта с отвальной обработкой почвы. Отношение C:N в растительных остатках увеличилось в 2,5 и 2,8 раза соответственно относительно второй экспозиции, что обусловлено прохождением процесса минерализации растительных остатков.

Таким образом, высвобождение азота из соломы, расположенной на поверхности, не зависит от системы отвальной и безотвальной обработки почвы. При нулевой обработке содержание азота в соломе уже в осенний период уменьшилось на 28% в сравнении с отвальной обработкой. Отношение углерода к азоту возросло с 68 до 197. Запашка способствует увеличению содержания азота в соломе с 0,67 до 0,94% от массы в осенний период. Отношение углерода к азоту в соломе через 12 месяцев экспозиции

на варианте с отвальной обработкой почвы меньше в сравнении с безотвальной и нулевой.

Влияние агрохимикатов. Солома зерновых культур изначально бедна азотом и содержит большое количество лигнина, который трудно поддаётся разрушению почвенной микрофлорой (Кормилицына О.В. и др., 2006). Учитывая тот факт, что почвы Сибири относятся к холодным, проблема гумификации запахиваемой соломы зерновых культур увеличивается многократно, поэтому необходимо изучить возможности ускорения процесса трансформации растительных остатков. Один из путей – применение агрохимикатов.

В качестве контроля были взяты образцы соломы, которые были обработаны водой. Исходное содержание азота в соломе, расположенной на поверхности чернозёма выщелоченного, независимо от исследуемого варианта составило 0,69% от массы (рис. 11).

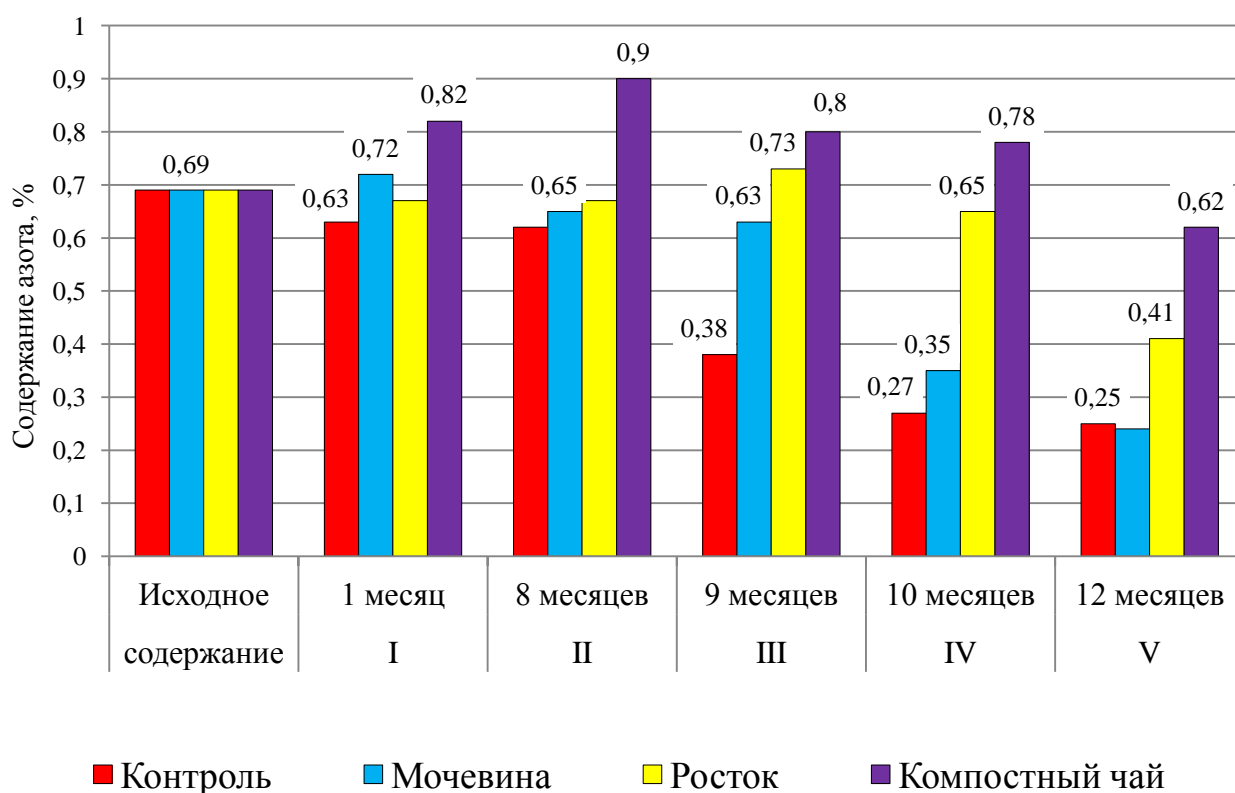


Рисунок 11 – Влияние агрохимикатов на динамику содержания азота в соломе, расположенной на поверхности почвы, %, 2013-2016 гг.

В первый месяц экспозиции содержание азота в контрольном образце соломы, расположенной на поверхности почвы, уменьшилось с 0,69 до 0,63% – потери составили 9% от исходного содержания. Обработка соломы Ростком в первый месяц экспозиции не оказала влияния на динамику содержания азота в ней ($НСР_{05}=0,04\%$), тогда как обработка соломы растворами мочевины и Компостного чая привела к увеличению содержания азота в ней на 4 и 16% соответственно, что составило 0,72 и 0,82% от массы. При этом отношение С:N в соломе уменьшилось на 4 и 9 относительно исходных значений, что составило 63 и 56 соответственно (рис. 12). Это объясняется стимулированием роста и развития микробной биомассы на растительных остатках.

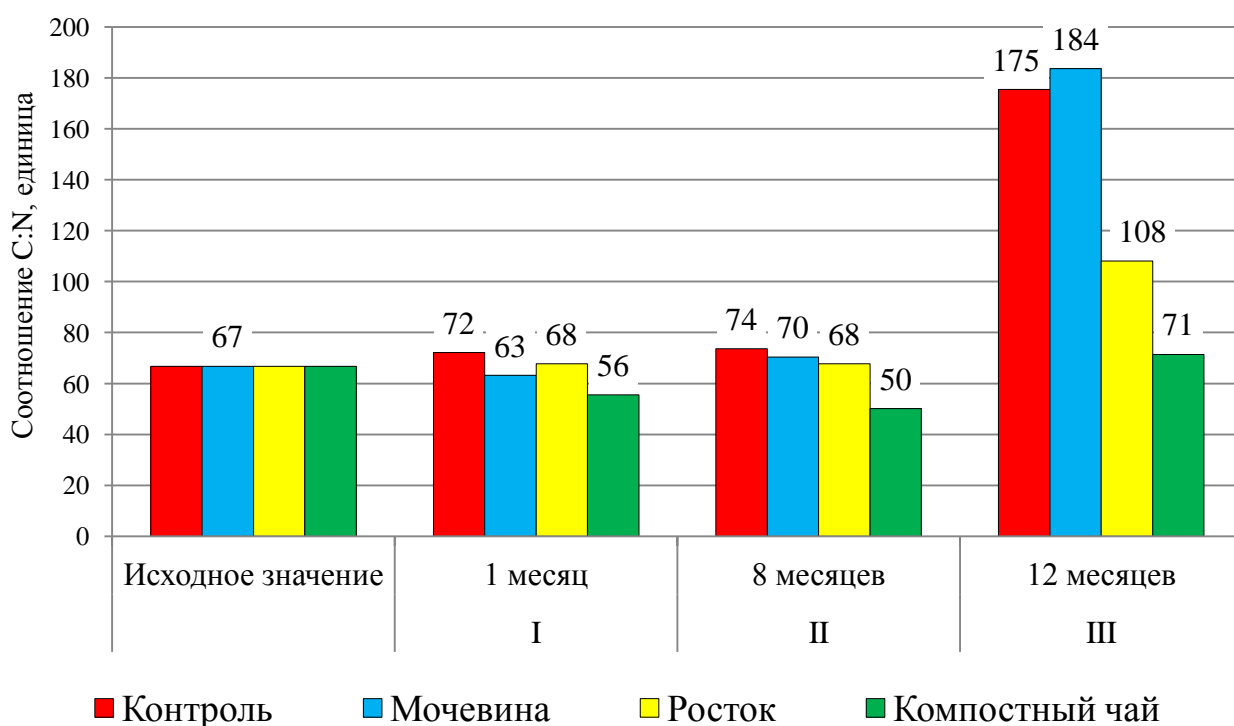


Рисунок 12 – Влияние обработки агрохимикатами на соотношение углерода к азоту в соломе, расположенной на поверхности почвы, ед., 2013-2016 гг.

К весне содержание азота в соломе, обработанной водой и мочевиной, достигло 0,62-0,67% от массы. Росток не оказал влияния на динамику содержания азота в соломе, тогда как Компостный чай способствовал увеличению азота в растительных остатках на 8% относительно первой

экспозиции. К июлю солома, обработанная водой и мочевиной, способствовала высвобождению азота. Меньший эффект прослеживался с соломой, обработанной Ростком: убыль составила 0,08% относительно июля. Обработка соломы Компостным чаем не оказала влияния на высвобождение азота в июле, отклонения были в пределах ошибки опыта ($НСР_{05}=0,03\%$).

Независимо от изучаемых вариантов наблюдалось уменьшение содержания азота из соломы, расположенной на поверхности почвы, что объясняется вымыванием его осадками. К концу года содержание азота в растительных остатках, обработанных водой и мочевиной, достигло 0,25 и 0,24% соответственно. Установлено положительное влияние растворов Ростка и Компостного чая на динамику содержания азота, находящегося в соломе. Выявлено, что в течение 12 месяцев экспозиции в соломе, обработанной Ростком и Компостным чаем, азота оставалось более чем в 2 раза больше в сравнении с контролем – 0,41 и 0,62% соответственно. Обработка растворами Ростка и Компостного чая уменьшают непродуктивные потери азота из растительных остатков, расположенных на поверхности почвы, путём вовлечения их в микробную биомассу. Тем самым делая их ценным сырьём для процесса гумусообразования в будущем.

Запашка на глубину 10 см обработанной водой, мочевиной и Ростком соломы привела к уменьшению содержания азота на 13-17% относительно исходных значений в первый месяц экспозиции (табл. 20). Отношение C:N в этих растительных остатках увеличилось на 9-13 единиц в сравнении с исходными данными (табл. 21). Это объясняется вымыванием азота из соломы в осенний период года. Обработка соломы Компостным чаем, привела к увеличению содержания азота в ней на 7% относительно исходных значений. Это объясняется тем, что ферменты, входящие в состав Компостного чая, облегчают процесс питания почвенной микрофлоры, тем самым стимулируя её нарастание.

Таблица 20 – Влияние агрохимикатов на динамику содержания азота в запаханной соломе, %, 2013-2016 гг.

Варианты (фактор А)	Глубина, см	Исходное содержание	Период экспозиции (фактор В)				
			I	II	III	IV	V
Контроль	10	0,69	0,57	0,53	0,64	0,81	0,92
	20		0,40	0,35	0,52	0,63	0,49
	30		0,37	0,29	0,51	0,57	0,56
Мочевина	10	0,69	0,57	0,48	0,42	0,45	0,50
	20		0,59	0,37	0,37	0,37	0,33
	30		0,61	0,32	0,33	0,32	0,32
Росток	10	0,69	0,60	0,62	0,61	0,70	0,76
	20		0,67	0,67	0,57	0,64	0,72
	30		0,66	0,66	0,58	0,66	0,70
Компостный чай	10	0,69	0,74	0,82	0,88	0,93	1,09
	20		0,82	0,91	0,92	1,10	1,09
	30		0,72	0,90	1,00	1,14	1,14
Период экспозиции: I – сентябрь-октябрь; II – сентябрь- май; III – сентябрь-июнь; IV – сентябрь-июль; V – сентябрь-сентябрь							
HCP ₀₅ по фактору A=0,03; HCP ₀₅ по фактору B=0,04; HCP ₀₅ по взаимодействию AB=0,04							

В соломе, обработанной мочевиной и запаханной на глубину 10 см, на протяжении июня происходило уменьшение содержания азота. В последние 3 месяца экспозиции (июль-сентябрь) содержание азота в ней увеличилось с 0,42 до 0,50% от массы. Та же динамика содержания азота прослеживалась и на варианте с соломой, обработанной Ростком, что достигло 0,76% от массы. Лидером по увеличению содержания азота стал вариант с соломой обработанной раствором Компостного чая, что доказывает преимущество ферментативного перед химическими препаратами в условиях лесостепной зоны Зауралья.

Запашка соломы на глубину 20 см оказала больший эффект на динамику содержания азота в ней. В соломе, обработанной раствором воды (контроль) и мочевины, в осеннее-весенний период (1-2 экспозиция) содержание азота уменьшилось на 49 и 46% относительно исходных значений, что составило 0,35 и 0,37% соответственно. При этом отношение C:N в соломе увеличилось на 19 и 28 единиц относительно исходных значений, что обусловлено вымыванием азота из неё. Обработка

растительных остатков Ростком не оказала влияния на динамику азота – отклонения были в пределах ошибки опыта. Обработка соломы Компостным чаем способствовала увеличению в ней азота, достигнув за 12 месяцев экспозиции 1,09% от массы, что в 1,6 раза больше относительно исходных значений. Компостный чай способствует увеличению микроорганизмов, накапливая аммонийные формы азота.

Таблица 21 – Влияние агрохимикатов на соотношение углерода к азоту в запаханной соломе, ед., 2013-2016 гг.

Варианты	Глубина заделки, см	Исходное значение	Экспозиция		
			I	II	V
Контроль	10	67	80	86	48
	20		113	131	89
	30		122	158	79
Мочевина	10	67	80	95	86
	20		78	122	131
	30		74	140	134
Росток	10	67	76	73	56
	20		68	68	61
	30		68	68	62
Компостный чай	10	67	62	55	40
	20		55	50	40
	30		63	51	38
Период экспозиции: I – сентябрь-октябрь; II – сентябрь-май; V – сентябрь-сентябрь.					

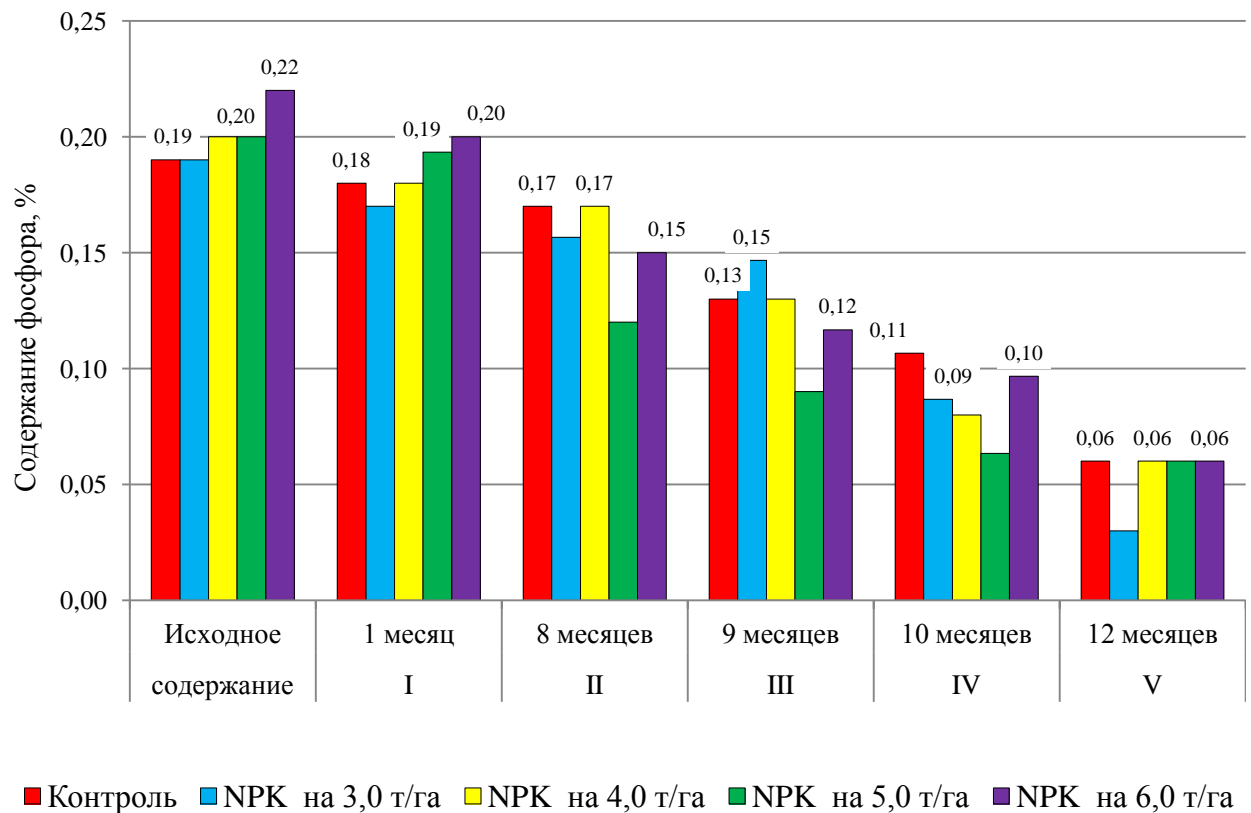
В слое почвы 20-30 см снижается биологическая активность в сравнении со слоем 0-20 см, что подтверждается в исследованиях Н.И. Владыкиной (2014). Обработка растительных остатков Компостным чаем простимулировала микрофлору, что обуславливает повышение содержания азота в соломе независимо от глубины её заделки, достигая 1,09-1,14% от массы. На вариантах с обработанной Ростком соломой освоение микрофлорой наблюдалось через 10 месяцев экспозиции. В исследованиях О.С. Безугловой (2001) и В.В. Тихонова с соавторами (2010) было установлено, что обработка гуминовыми препаратами увеличивает

микробиологическую активность почвы, данный факт отмечается и другими учеными (Mosley R., 1998; Безуглова О.С. и др., 2015). В вариантах с обработкой соломы водой и мочевиной происходило вымывание азота из неё на протяжении всего года.

Таким образом, обработка Ростком и Компостным чаем соломы, оставшейся на поверхности почвы, сохраняет отношение углерода к азоту на одном уровне – 71. При обработке мочевиной этот показатель возрастает почти в 3 раза, достигая 184. Обработка запахиваемой соломы Компостным чаем способствовала увеличению содержания азота в ней с 0,69 до 0,82% от массы в осенний период, тогда как остальные препараты не оказали достоверного влияния.

Динамика содержания фосфора в соломе при её разложении. В процессе развития растений содержание фосфорных соединений накапливается в его тканях. К концу вегетационного периода резко падает содержание фосфора в стеблях и листьях, что связано с его оттоком из вегетативных органов и реутилизацией их в зерно (Корникова Н.А., Неверова О.А., 2012). В отличие от азота и калия доступный для растений фосфор появляется в почве только при разложении растительных остатков.

Влияние минеральных удобрений. Возделывание яровой пшеницы при различном уровне минерального питания не оказало существенного влияния на содержание фосфора в её соломе: 0,19-0,22% от массы (рис. 13). Расположив солому на поверхности пахотного чернозёма на вариантах с естественным агрофоном и с NPK на планируемую урожайность 5 т/га, содержание фосфора в растительных остатках в первый месяц экспозиции не изменилось, отклонения были в пределах ошибки опыта. На вариантах с внесением минеральных удобрений на планируемую урожайность 3,0-4,0 и 6,0 т/га зерна содержание фосфора в соломе уменьшилось на 11% относительно исходных значений.



■ Контроль ■ NPK на 3,0 т/га ■ NPK на 4,0 т/га ■ NPK на 5,0 т/га ■ NPK на 6,0 т/га

Рисунок 13 – Динамика содержания фосфора в соломе, расположенной на поверхности почвы при различном уровне минерального питания, %, 2013-2016 гг.

К весне (II экспозиция) содержание фосфора в соломе, расположенной на поверхности почвы, на контроле не изменилось, как и на вариантах с внесением минеральных удобрений на планируемую урожайность 3,0 и 4,0 т/га зерна. На вариантах с высоким агрофоном содержание фосфора уменьшилось на 37 и 25% относительно исходных значений, достигнув 0,12 и 0,15% соответственно. К пятому периоду экспозиции содержание фосфора в соломе, расположенной на поверхности почвы, достигло 0,03-0,06% от массы. Максимальная убыль фосфора из растительных остатков отмечалась на варианте с внесением минеральных удобрений на запланированную урожайность 3,0 т/га зерна.

Высвобождение фосфора из запаханной соломы на глубину 10-20 см в первый месяц экспозиции на варианте без использования минеральных удобрений было минимальным. Отклонения относительно исходных

значений составили 0,02-0,03% от массы (табл. 22). Запашка соломы (0-30 см) на вариантах с возрастающими дозами минеральных удобрений не оказала влияния на высвобождение фосфора из неё в сравнении с контролем, отклонения были в пределах ошибки опыта.

Таблица 22 – Динамика содержания фосфора в запаханной соломе при различном уровне минерального питания, %, 2013-2016 гг.

Варианты (фактор А)	Глубина заделки, см	Исходное содержание	Период экспозиции (фактор В)				
			I	II	III	IV	V
Контроль	10	0,19	0,16	0,12	0,10	0,06	0,06
	20		0,17	0,14	0,11	0,07	0,03
	30		0,18	0,18	0,15	0,10	0,05
NPK на 3,0 т/га	10	0,19	0,16	0,09	0,08	0,05	0,04
	20		0,17	0,14	0,10	0,05	0,03
	30		0,18	0,17	0,15	0,10	0,05
NPK на 4,0 т/га	10	0,20	0,16	0,14	0,07	0,04	0,04
	20		0,17	0,16	0,11	0,04	0,03
	30		0,18	0,18	0,14	0,08	0,05
NPK на 5,0 т/га	10	0,20	0,17	0,14	0,09	0,06	0,03
	20		0,17	0,15	0,10	0,06	0,03
	30		0,19	0,19	0,13	0,08	0,05
NPK на 6,0 т/га	10	0,22	0,18	0,12	0,08	0,07	0,06
	20		0,19	0,15	0,10	0,07	0,05
	30		0,20	0,20	0,14	0,06	0,04
Период экспозиции: I – сентябрь-октябрь; II – сентябрь- май; III – сентябрь-июнь; IV – сентябрь-июль; V – сентябрь-сентябрь HCP ₀₅ по фактору A=0,01; HCP ₀₅ по фактору B=0,01; HCP ₀₅ по взаимодействию AB=0,02							

За период с ноября по май на всех исследуемых вариантах наблюдалось высвобождение фосфора из запаханной соломы на глубину 10-20 см, отклонения достигали 0,07% относительно I экспозиции. Более глубокая запашка соломы в почву не оказала влияния на высвобождение фосфора из неё. Это объясняется тем, что весной почва в верхних слоях быстрее прогревается, активизируя почвенную микрофлору.

К июню содержание фосфора в запаханной соломе (10-30 см) на контроле и с внесением минеральных удобрений на планируемую

урожайность 3,0 т/га зерна уменьшилось на 0,02-0,04% относительно II экспозиции. Дальнейшее повышение уровня минерального питания в 2-3 раза увеличило скорость высвобождения фосфора из соломы относительно контроля.

К июлю в запаханной соломе (10-20 см) на контроле содержание фосфора уменьшилось в 1,6 раза относительно III экспозиции, что достигло 0,06-0,07% от массы. Запашка соломы на глубину 10-20 см на вариантах с планируемой урожайностью от 3,0 до 6,0 т/га зерна не оказала влияния на высвобождение фосфора в сравнении с контролем, отклонения в пределах НСР. Содержание фосфора в запаханной соломе на глубину 30 см на контроле и с внесением минеральных удобрений на планируемую урожайность от 3,0 до 5,0 т/га зерна достигло 0,08-0,10% от массы. Вариант с внесением максимальных доз минеральных удобрений способствовал высвобождению фосфора из растительных остатков, что в 1,6 раза превышало контроль.

В августе и сентябре высвобождение фосфора из запаханной соломы на глубину 10 см прекратилось, отклонения были в пределах ошибки опыта. Более глубокая запашка соломы способствовала уменьшению фосфора, достигнув значений 0,03-0,05% от массы.

Таким образом, содержание фосфора в запаханных растительных остатках к июню достигала минимальных значений – 0,07% от массы. Запашка соломы не оказывала влияния на скорость высвобождения фосфора. Из соломы, находящейся на поверхности почвы, фосфор высвобождался медленнее, достигая минимального значения в июле.

Влияние различной системы обработки почвы. Выращивание яровой пшеницы при различных способах основной обработки почвы не влияет на накопление фосфора в растительных остатках и составляет 0,19% от массы (рис. 14). Содержание фосфора в соломе, за период с сентября по май на варианте с отвальной обработкой почвы не изменялось, отклонения были в пределах ошибки опыта. На варианте с безотвальной и нулевой обработками

почвы за период с сентября по октябрь содержание фосфора в соломе снизилось на 0,02% относительно исходных значений и составило 0,17% от массы. С октября по май содержание фосфора в растительных остатках не изменилось, как и на варианте с отвальной обработкой почвы отклонения были в пределах ошибки опыта. Это объясняется тем, что растительные остатки в осенний и весенний период находятся под прямыми солнечными лучами и сильными ветрами, что способствует их быстрому пересыханию.

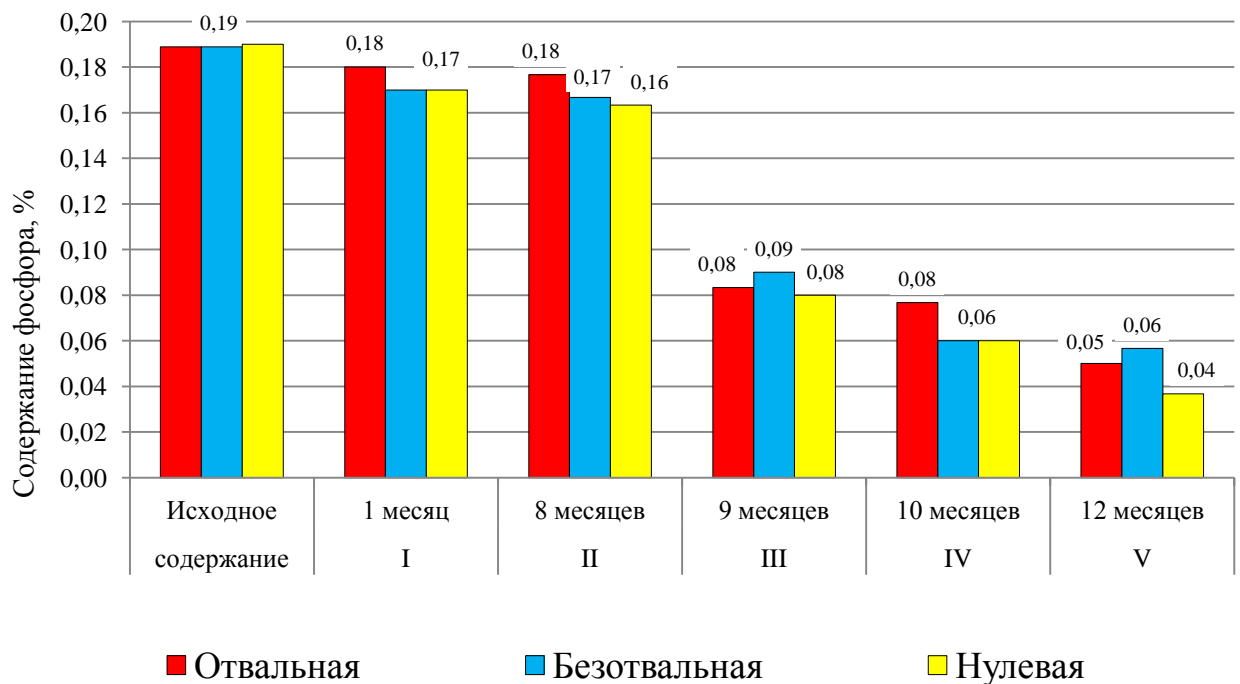


Рисунок 14 – Динамика содержания фосфора в соломе, расположенной на поверхности почвы при различных системах основной обработки, %, 2013-2016 гг.

Независимо от способа основной обработки почвы, снижение содержания фосфора из соломы, расположенной на её поверхности, начинается с июня, достигая 0,08-0,09% от массы, что в 2 раза меньше относительно исходных значений. Такой резкий скачок обусловлен тем, что растения яровой пшеницы к этому периоду уже сомкнулись в междурядьях, создав более благоприятные условия для деструкции растительных остатков.

Содержание фосфора в соломе, расположенной на варианте с отвальной обработкой почвы, в июле не изменилось. На вариантах с

К июню содержание фосфора в соломе, заделанной на глубину 10 и 20 см на всех вариантах, уменьшилось на 0,05-0,07% относительно второй экспозиции и составило 0,09-0,11% от массы (табл. 23). В более глубоких слоях процесс высвобождения фосфора из соломы был затруднён, что объясняется неблагоприятным температурным режимом.

[illegible]

К июлю содержание фосфора в соломе, заделанной на глубину до 20 см, уменьшилось на 0,03-0,04% относительно предыдущей экспозиции, тогда как в соломе, заделанной на глубину 30 см, содержание фосфора уменьшилось почти в 2 раза относительно третьей экспозиции и достигло 0,07-0,09% от массы.

За 12 месяцев экспозиции содержание фосфора в растительных остатках, запаханных на варианте с отвальной обработкой почвы, уменьшилось на 0,13-0,16% относительно исходных значений, из которых 15-19% приходились на последние два месяца экспозиции (август-сентябрь). На варианте с безотвальной обработкой почвы высвобождение фосфора из соломы, заделанной на глубину 10 см, прекратилось, отклонения были в пределах ошибки опыта. Более глубокая её заделка в почву увеличила скорость высвобождения фосфора из соломы: убыль составила 0,03-0,04% относительно четвёртой экспозиции. На варианте с нулевой обработкой почвы глубина заделки соломы не отразилась на скорости высвобождения фосфора из неё – убыль в последние 2 месяца экспозиции составила 0,02-0,03% от массы, что за 12 месяцев экспозиции достигло 0,03-0,05%.

Таким образом, различные системы основной обработки почвы не оказывали влияния на скорость высвобождения фосфора из соломы, расположенной на поверхности почвы и в пахотном горизонте. Минимальное содержание фосфора в соломе через 12 месяцев экспозиции достигло 0,03-0,06% от массы.

Влияние агрохимикатов. Обработка соломы водой и мочевиной не оказала влияния на высвобождения из неё фосфора в осенний период, отклонения были в пределах ошибки опыта $НСР_{05}=0,01$ (рис. 15). Обработка соломы Ростком и Компостным чаем способствовала высвобождению фосфора: содержание его в первый месяц экспозиции уменьшилось на 22 и 17% соответственно. Содержание фосфора в соломе, обработанной водой, за период с октября по май, уменьшилось на 28% относительно первой экспозиции, что составило 0,13% от массы. Обработка соломы мочевиной,

Ростком и Компостным чаем не оказала влияния на высвобождение фосфора из растительных остатков. К июню содержание фосфора в соломе, обработанной водой и расположенной на поверхности почвы, уменьшилось до 0,10% от массы. Обработка соломы мочевиной ускорила выход фосфора из неё – убыль составила 0,06% относительно второй экспозиции, что в 2 раза превышало контроль. Содержание фосфора в соломе, обработанной Ростком и Компостным чаем, не отличалось от контроля.

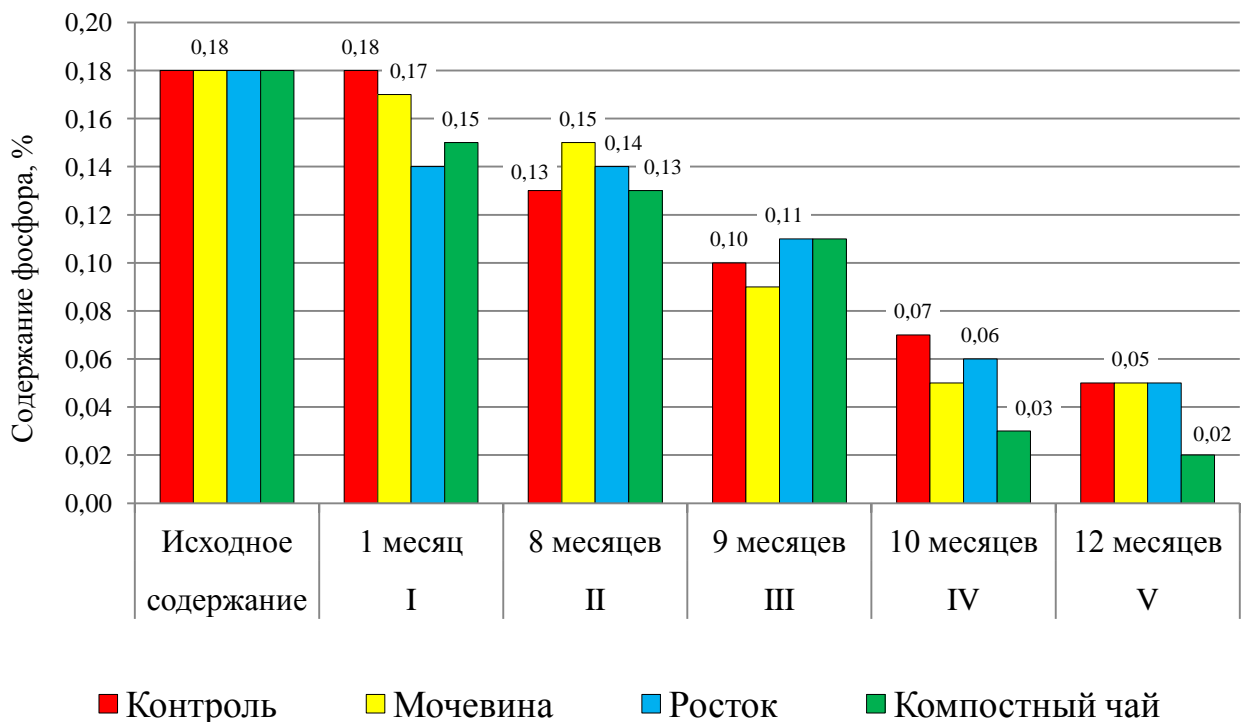


Рисунок 15 – Влияние агрохимикатов на динамику содержания фосфора в соломе, расположенной на поверхности почвы, %, 2013-2016 гг.

К июлю на контроле в растительных остатках, расположенных на поверхности почвы, содержание фосфора уменьшилось на 30% относительно июня. Обработка соломы мочевиной и Ростком не имела преимуществ друг перед другом – убыль составила 44 и 45% относительно третьей экспозиции. Максимальные значения убыли фосфора из соломы были получены при её обработке Компостным чаем: 73% относительно июня, что в 2-3 раза превышало значения остальных вариантов.

При заправке соломы в почву создаются благоприятные условия для действия препаратов, ускоряющих деструкцию растительных остатков. Обработанная водой солома, запаханная на глубину 10 и 30 см не оказала существенного влияния на высвобождение фосфора в осенний период, отклонения были в пределах ошибки опыта (табл. 24). Более глубокая её заправка способствовала переходу фосфора из соломы в почву. За первый месяц экспозиции содержание фосфора в соломе уменьшилось на 11% относительно исходных значений.

Таблица 24 – Влияние агрохимикатов на динамику содержания фосфора в
запаханной соломе, %, 2013-2016 гг.

[illegible]

Содержание фосфора в соломе, обработанной мочевиной и запаханной на глубину 10-30 см, уменьшилось в осенний период на 28% относительно контроля. Обработка соломы гуминовым препаратом Росток способствовала равномерному снижению содержания фосфора из неё: убыль составила 22% относительно исходных значений. Запашка соломы, обработанной Компостным чаем на глубину 10 и 20 см не оказала влияния на темпы высвобождения фосфора из неё. Более глубокая её запашка благоприятно повлияла на высвобождение фосфора: убыль составила 22% относительно исходных значений, что в 2 раза больше контроля.

К весне содержание фосфора в соломе, запаханной на глубину 20 см, взятой за контроль, уменьшилось на 20% относительно первой экспозиции. Отклонения содержания фосфора в соломе, запаханной на глубину 10 и 30 см, были в пределах ошибки опыта, как и на вариантах с обработкой Ростком и мочевиной. Содержание фосфора в соломе, обработанной мочевиной и расположенной на глубине 20 см, уменьшилось на 0,03% от массы, что соответствовало контролю. Обработка соломы Компостным чаем и запашке её на глубину 10-30 см, за период с октября по май никак не повлияла на содержание фосфора.

К июню запашка обработанной водой соломы, на глубину 10 см способствовала снижению фосфора на 33% относительно второй экспозиции. Несколько меньшие значения были получены в образцах соломы, расположенных на глубине 20 и 30 см: убыль составила 25 и 26% соответственно. Запашка соломы, обработанной мочевиной, на глубину 10 и 30 см способствовала процессу перехода фосфора из растительных остатков в почву, снижение составило 25% относительно предыдущей экспозиции. В соломе, расположенной на глубине 20 см, высвобождения фосфора из неё не наблюдалось. Однако его значения на 25-50% меньше в сравнении с другими вариантами.

К июню обработка соломы Ростком и Компостным чаем, не повлияла на высвобождение фосфора. Запашка растительных остатков на глубину 20 и

30 см, наоборот, привела к постепенному высвобождению фосфора, содержание которого уменьшилось до 0,08-0,12% от массы.

К июлю на контроле количество фосфора в растительных остатках, уменьшилось на 27-40% относительно июня. В соломе, обработанной мочевиной и запаханной на глубину 10 см, продолжалось высвобождение фосфора из растительных остатков: убыль составила 0,03% относительно июня, а в образцах, расположенных на глубине 20 и 30 см, высвобождение фосфора прекратилось. Обработка соломы Ростком и Компостным чаем не имела преимуществ перед контролем.

За 12 месяцев экспозиции содержание фосфора в соломе на контроле уменьшилось на 73-78% относительно исходных значений. Обработка соломы агрохимикатами не имела преимуществ перед контролем, поскольку его конечное содержание было на одном уровне. Если под действием Ростка и мочевины в последние 2 месяца экспозиции высвобождение фосфора в соломе остановилось, то обработка соломы ферментативным препаратом позволила снизить содержание фосфора в соломе на 0,10% относительно июля, что более чем в 3 раза превысило значения остальных вариантов. Это объясняется тем, что обработка соломы Компостным чаем оказывала пролонгированное действие на высвобождение из неё фосфора.

Таким образом, обработка соломы изучаемыми агрохимикатами с первого месяца экспозиции оказывала положительное влияние на высвобождение фосфора из соломы, расположенной на поверхности почвы и в пахотном горизонте. Содержание фосфора за 12 месяцев экспозиции достигало 0,02-0,05% от массы. Максимальная скорость высвобождения фосфора из запаханной на глубину 20 и 30 см соломы проходила с сентября по июнь следующего года. Обработка соломы Компостным чаем оказывала пролонгированное действие на высвобождение из неё фосфора.

Динамика содержания калия в соломе при её разложении. Калий преимущественно накапливается в вегетативных частях растений, поэтому при выращивании зерновых культур он вывозится с товарной продукцией в

минимальном количестве, оставаясь в соломе. Как показали исследования, в соломе зерновых культур содержание калия достигает 1,6% от массы, поэтому на полях с низкой обеспеченностью калия целесообразно запахивать растительные остатки.

Влияние минеральных удобрений. Исходное содержание калия в соломе, выращенной на варианте с естественным агрофоном, составляло 0,70% от массы (рис. 16). В соломе, выросшей на вариантах с низким агрофоном (NPK на урожайность 3,0 и 4,0 т/га), увеличивала содержание калия на 25% относительно контроля и составляла 0,93 и 0,90% соответственно. На вариантах с высоким уровнем минерального питания содержание калия в соломе достигало 1,10 и 1,07% от массы, что на 36% больше относительно контроля, поэтому на полях с низким и средним содержанием подвижного калия солому необходимо запахивать.

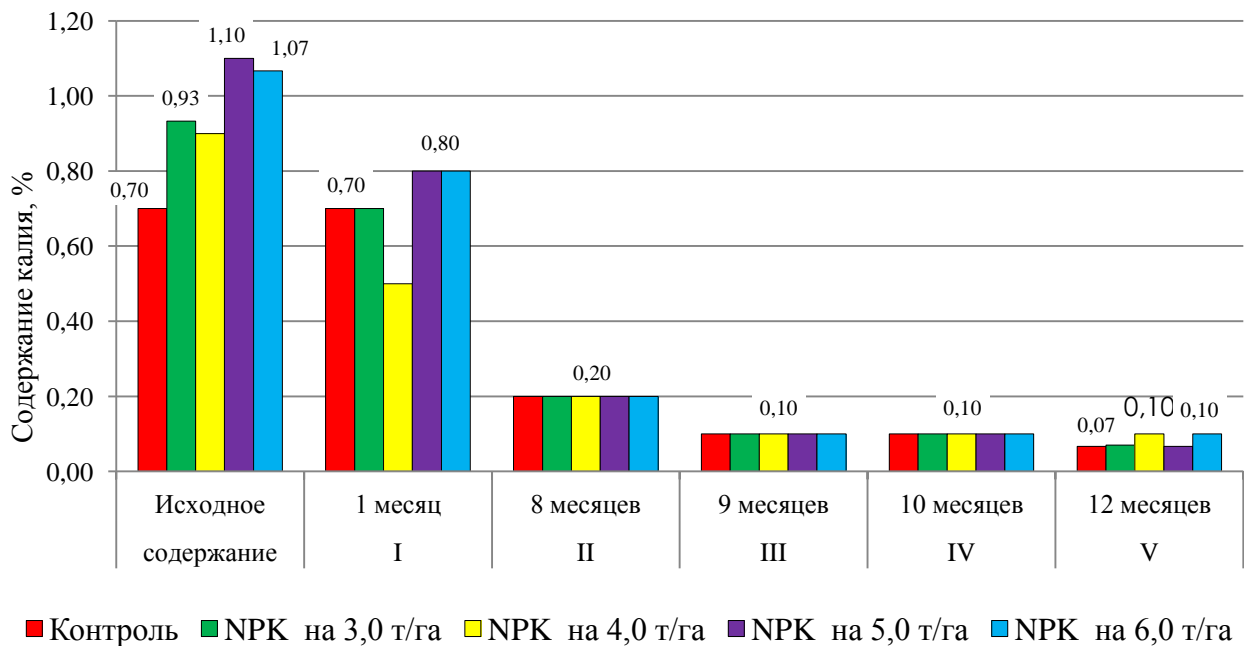


Рисунок 16 – Содержание калия в соломе, расположенной на поверхности почвы при различном уровне минерального питания, %, 2013-2016 гг.

Содержание калия в соломе контроля, расположенной на поверхности почвы, в первый месяц экспозиции не изменилось. На вариантах с NPK на планируемую урожайность 3,0; 5,0 и 6,0 т/га зерна калий в соломе

Запашка соломы в почву ускорила высвобождение из неё калия. Динамика высвобождения калия из соломы, запаханной на глубину 10 см на контроле и с NPK на планируемую урожайность 3,0 и 4,0 т/га зерна, не отличалась от варианта расположенного на поверхности почвы (табл. 25). На вариантах с максимальным уровнем минерального питания (NPK на урожайность 5,0 и 6,0 т/га) содержание калия в соломе в первый месяц экспозиции уменьшилось почти в 2 раза относительно исходных значений, что составило 0,60% от массы.

Таблица 25 – Содержание калия в запаханной соломе при различном уровне минерального питания, %, 2013-2016 гг.

[illegible]

Запашка соломы на глубину 20 см способствовала снижению содержания калия на контроле, достигнув 0,50% от массы, как и на вариантах с NPK на планируемую урожайность 3,0 и 4,0 т/га зерна. На вариантах с максимальным агрофоном содержание калия уменьшилось в 3,5 раза относительно исходных значений, что составило 0,30% от массы.

Осенью на контроле содержание калия в соломе, запаханной на глубину 30 см, уменьшилось на 43% относительно исходных значений. Максимальная убыль содержания калия в соломе наблюдались на вариантах с NPK на 3,0 и 4,0 т/га зерна, достигнув 0,20% от массы, что в 4,5 раза меньше относительно исходных значений. Чуть меньший эффект отмечен на вариантах с максимальным агрофоном: убыль достигла 0,50% от массы, что в 2 раза меньше относительно исходных значений.

К маю (II экспозиция), независимо от исследуемого варианта и глубины запашки растительных остатков содержание калия достигло 0,20% от массы. Далее в течение лета наблюдалось незначительное снижение содержания калия в соломе и к концу всего периода экспозиции его значения варьировали от 0,07 до 0,13% от массы.

Таким образом, к маю содержание калия в соломе, используемой в качестве органического удобрения, уменьшилось с 0,70-1,10% до минимальных значений 0,20-0,10% от массы. Минеральные удобрения и расположение соломы в почве не оказывали влияния на процесс высвобождения калия.

Влияние различной системы обработки почвы. В результате проведённых исследований на стационаре ГАУ Северного Зауралья обнаружено, что различные системы основной обработки почвы не оказывали влияния на накопление калия в растительных остатках яровой пшеницы (0,67%). В соломе, расположенной на поверхности почвы изучаемых вариантов, в 1-й месяц экспозиции (сентябрь-октябрь) содержание калия уменьшилось в 2,5 раза относительно исходных значений и составило 0,40% от массы (рис. 17). За период с октября по май содержание

калия в соломе снизилось в 2 раза относительно I-й экспозиции, достигая 0,17-0,20% от массы.

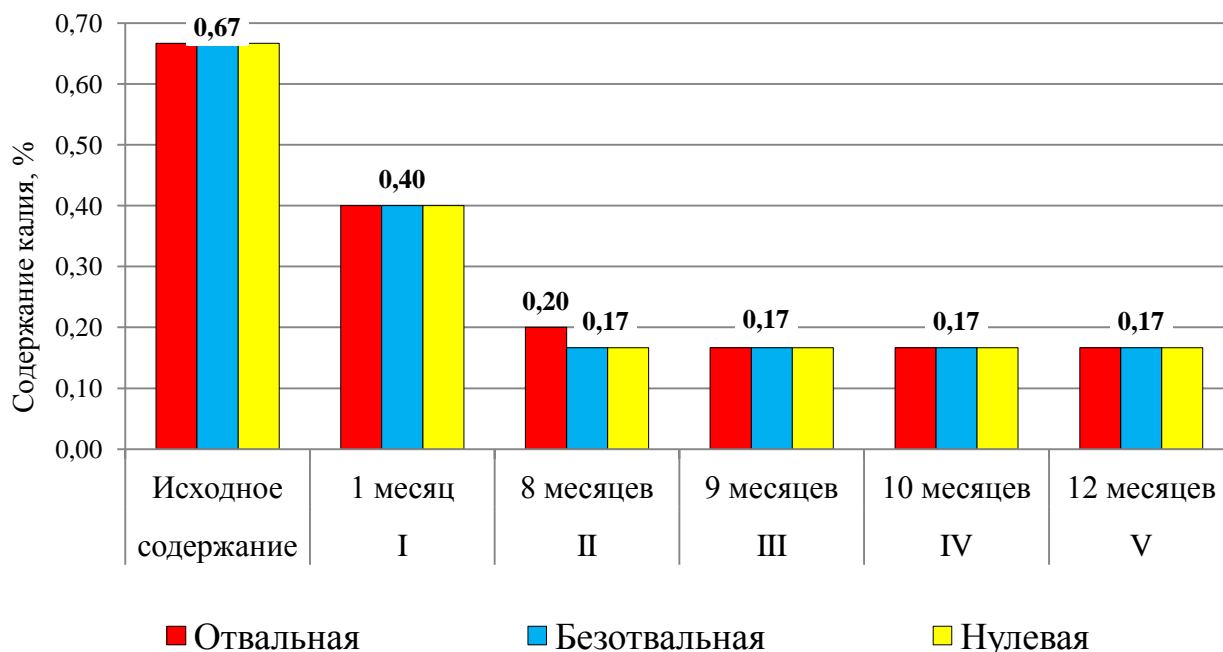


Рисунок 17 – Содержание калия в соломе, расположенной на поверхности почвы, при различных системах основной обработки, %, 2013-2016 гг.

К июню на варианте с отвальной обработкой почвы содержание калия в соломе уменьшилось на 15% относительно II экспозиции. На вариантах с безотвальной и нулевой обработками почвы содержание калия в растительных остатках не изменилось. Аналогичная тенденция наблюдалась до конца срока исследований.

При запашке соломы на глубину 10-30 см на вариантах с отвальной и нулевой обработками почвы в первый месяц экспозиции уменьшилось содержание калия в ней на 11-15% относительно исходных значений (табл. 26). На варианте с безотвальной обработкой почвы содержание калия в растительных остатках, запаханных на глубину 10 и 20 см, уменьшилось на 6% относительно исходных значений, что в два раза меньше чем, на варианте с отвальной обработкой почвы. Более глубокая её запашка (30 см) не повлияла на динамику содержания калия.

Таблица 26 – Динамика содержания калия в соломе, заделанной в почву, при различных системах основной её обработки, %, 2013-2016 гг.

Варианты (фактор А)	Глубина заделки, см	Исходное содержание	Периоды экспозиций (фактор В)				
			I	II	III	IV	V
Отвальная	10	0,67	0,57	0,53	0,30	0,10	0,10
	20		0,60	0,53	0,27	0,10	0,10
	30		0,57	0,50	0,30	0,10	0,10
Безотвальная	10	0,67	0,63	0,57	0,33	0,10	0,10
	20		0,63	0,60	0,23	0,10	0,10
	30		0,67	0,57	0,27	0,10	0,10
Нулевая	10	0,67	0,60	0,50	0,27	0,10	0,10
	20		0,57	0,50	0,20	0,10	0,10
	30		0,57	0,47	0,23	0,10	0,10
Период экспозиции: I – сентябрь-октябрь; II – сентябрь- май; III – сентябрь-июнь; IV – сентябрь-июль; V – сентябрь-сентябрь <i>HCP₀₅ по фактору A=0,02; HCP₀₅ по фактору B=0,02; HCP₀₅ по взаимодействию AB=0,03</i>							

За период с сентября по май на варианте с отвальной обработкой почвы содержание калия в соломе, запаханной на глубину 10-30 см, уменьшилось на 21-25% в сравнении с исходным содержанием, из которых 6-11% приходились на II экспозицию. Содержание калия в соломе, заделанной на варианте с безотвальной обработкой почвы на глубину 10 и 20 см, уменьшилось на 0,06 и 0,07% относительно первой экспозиции. Заделка её на глубину 20 см не оказала существенного влияния. Калий в соломе, заделанной на варианте с нулевой обработкой почвы, уменьшился на 0,07-0,10% относительно 1-й экспозиции.

Содержание калия в запаханной на глубину 10-30 см соломе за период с сентября по июнь уменьшилось на 55-60% относительно исходных значений, из которых 30-39% приходились на июнь. Вариант с безотвальной обработкой почвы в июне отличался активностью высвобождения калия из растительных остатков, находящихся на разной глубине. К июню в соломе, заделанной на глубину 10 см, содержание калия уменьшилось на 42% относительно II экспозиции, достигнув 0,33% от массы. Более глубокая её заделка (20-30 см) увеличила скорость высвобождения калия из соломы –

убыль составила 62 и 53% соответственно, что почти в 1,5 раза больше варианта с отвальной обработкой почвы. К III экспозиции на варианте с нулевой обработкой почвы содержание калия в соломе, заделанной на глубину 10-30 см, уменьшилось в 1,9-2,5 раза относительно II экспозиции, достигнув 0,20-0,27% от массы.

К концу июля независимо от исследуемого варианта, содержание калия в соломе, заделанной в почву, достигло своего минимума и составило 0,10% от массы. В последние два месяца экспозиции (август-сентябрь) изменений в динамике содержания калия не отмечено.

Таким образом, высвобождение калия из соломы, расположенной на поверхности почвы с различной системой основной её обработки, происходит в осенний и весенний периоды года. При заделке соломы в почву период, требующийся на высвобождение калия из соломы, увеличивается и длится с сентября по июль, далее его высвобождение прекращается, достигая своего минимума – 0,10% от массы.

Влияние агрохимикатов. Исследования на стационаре ГАУ Северного Зауралья по влиянию обработки агрохимикатами на динамику высвобождения питательных веществ из соломы яровой пшеницы показали существенные отличия в сравнении с контролем. Исходное содержание калия в соломе, расположенной на поверхности чернозёма выщелоченного, во всех исследуемых образцах было одинаковым и составило 0,67% от массы (рис. 18). Обработка соломы водой не оказала влияния на высвобождение калия в осенний период (сентябрь-октябрь), но обработка соломы агрохимикатами способствовала высвобождению калия: убыль составила 25-30% в сравнении с исходными данными. К концу II экспозиции на варианте с соломой обработанной водой, содержание калия уменьшилось на 15% относительно исходных значений. Обработка соломы агрохимикатами не оказала существенного влияния на высвобождение калия, отклонения были в пределах ошибки опыта. К июню содержание калия на контроле уменьшился в 1,5 раза относительно второй экспозиции. Обработка соломы мочевиной

снизила содержание калия в ней на 15% относительно предыдущей экспозиции, что более чем в 2 раза меньше в сравнении с контролем. Росток и Компостный чай способствовали выведению калия из соломы: убыль составила 21 и 30% относительно второй экспозиции.

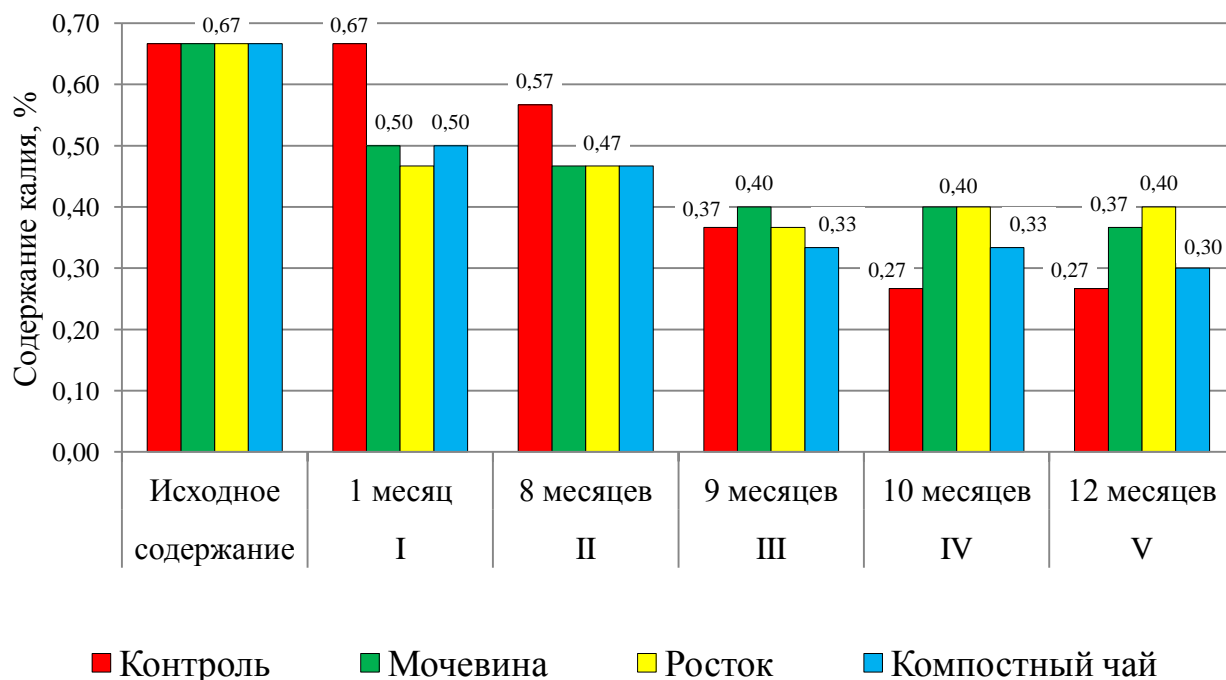


Рисунок 18 – Влияние агрохимикатов на содержания калия в соломе, расположенной на поверхности почвы, %, 2013-2016 гг.

Содержание калия в соломе, расположенной на поверхности почвы, к концу 12 месяцев экспозиции достигло 0,27-0,40% от массы. Минимальное значение содержания калия отмечено на контроле (0,27%). При этом обработка соломы препаратами не повлияла на скорость высвобождения из неё калия.

Запашка, обработанной водой соломы на глубину 10 см уже в первый месяц экспозиции снизила в ней содержание калия на 25% относительно исходных значений (табл. 27). Аналогично сработали Росток и Компостный чай. Обработка соломы ферментативным препаратом Компостного чая на 55% снизила содержание калия в ней относительно исходных значений. Запашка соломы, обработанной растворами агрохимикатов, на глубину 20 и 30 см не оказала влияния на процесс высвобождения калия из неё: убыль

достигла 55% относительно исходных значений. Ко второму периоду экспозиции содержание калия в соломе, запаханной на глубину 10-30 см, достигло 0,20-0,30% от массы и в течение летнего периода наблюдалось постепенное его высвобождение.

Таблица 27 – Влияние агрохимикатов на содержания калия в запаханной соломе, %, 2013-2016 гг.

Варианты (фактор А)	Глубина заделки, см	Исходное содержание	Периоды экспозиций (фактор В)				
			I	II	III	IV	V
Контроль	10	0,67	0,50	0,20	0,20	0,20	0,10
	20		0,30	0,20	0,20	0,20	0,10
	30		0,30	0,20	0,10	0,10	0,10
Мочевина	10	0,67	0,50	0,20	0,20	0,20	0,10
	20		0,30	0,20	0,20	0,10	0,20
	30		0,30	0,23	0,10	0,13	0,10
Росток	10	0,67	0,50	0,20	0,20	0,20	0,20
	20		0,30	0,30	0,10	0,10	0,10
	30		0,30	0,20	0,17	0,10	0,10
Компостный чай	10	0,67	0,30	0,30	0,30	0,30	0,27
	20		0,30	0,20	0,20	0,20	0,10
	30		0,30	0,23	0,20	0,23	0,20
Период экспозиции: I – сентябрь-октябрь; II – сентябрь- май; III – сентябрь-июнь; IV – сентябрь-июль; V – сентябрь-сентябрь.							
HCP ₀₅ по фактору A=0,03; HCP ₀₅ по фактору B=0,02; HCP ₀₅ по взаимодействию AB=0,04							

В последние 2 месяца экспозиции (август-сентябрь) содержание калия в соломе независимо от исследуемого варианта достигло 0,10-0,27% от массы. За 12 месяцев экспозиции заплата обработанной соломы Ростком и Компостным чаем, на глубину 10 см уменьшила количество калия в ней на 70 и 60% относительно исходных значений, что более чем в 2 раза больше в сравнении с контролем.

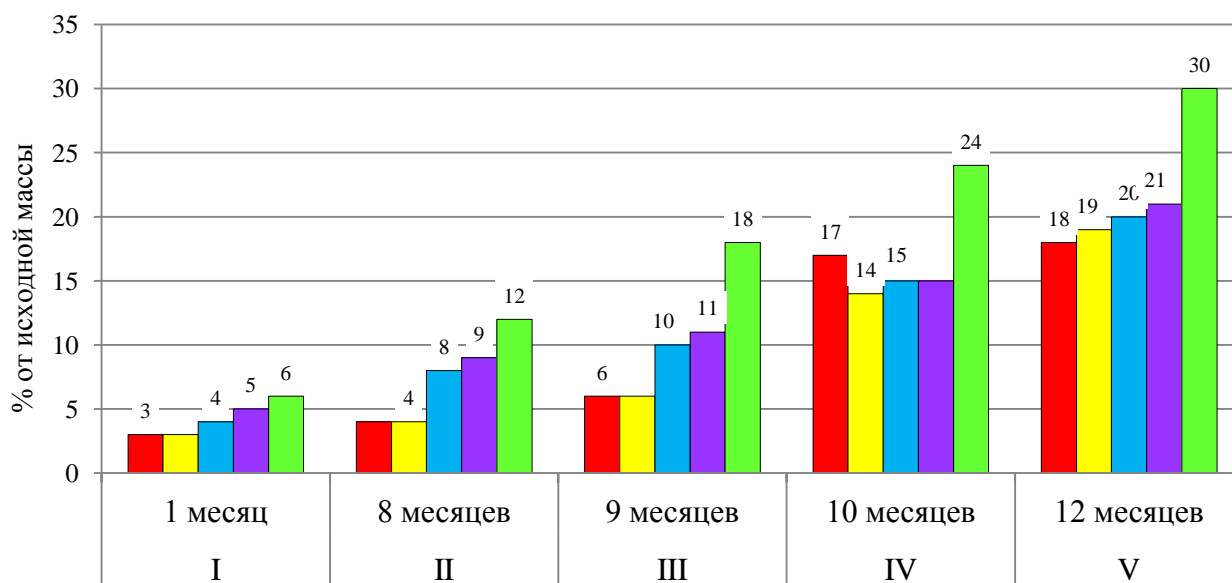
Таким образом, обработка соломы Ростком Компостным чаем способствует увеличению скорости выхода калия из неё. Содержание калия за первый месяц экспозиции уменьшается с 0,67 до 0,30% от массы. В более поздние сроки эффект от обработки соломы агрохимикатами снижется.

4.3 Влияние факторов на разложение соломы, используемой в качестве органических удобрений

Влияние минеральных удобрений. Для получения высоких урожаев сельскохозяйственных культур, аграрии активно используют минеральные удобрения. Те дозы органических удобрений, которые вносят в настоящее время, не обеспечивают восстановление запасов гумуса. Это приводит к ухудшению гумусового состояния пахотных почв и, следовательно, к снижению их плодородия (Ерёмин Д.И. и др., 2014). Менее затратным и доступным способом восполнения органического вещества почвы является заплата соломы зерновых культур (Климова Е.В., 2008). Совместная заплата соломы с минеральными удобрениями ускоряет процессы минерализации и высвобождения питательных веществ из неё (Майсямова Д.Р., Лазарев А.П., 2008).

Убыль массы соломы, расположенной на поверхности почвы контроля и на вариантах с планируемой урожайностью 3,0-5,0 т/га зерна, в первый месяц экспозиции составила 3-4% относительно исходных значений (рис. 19). На варианте с максимальным агрофоном (NPK на 6,0 т/га) убыль массы соломы в 2 раза превысила значения контроля и составила 6% относительно исходных данных. За зимний период на контроле и варианте с планируемой урожайностью 3,0 т/га зерна солома не разлагалась. На вариантах с NPK на 4,0 и 5,0 т/га зерна убыль массы соломы за период с сентября по май составила 8 и 9% относительно исходного уровня. Максимальные значения были получены на варианте с планируемой урожайностью на 6,0 т/га зерна – убыль составила 12% от массы. В июне убыль массы соломы, расположенной на поверхности почвы на контроле и вариантах с планируемой урожайностью на 3,0-5,0 т/га зерна, составила 2% относительно второй экспозиции. На варианте с NPK на 6,0 т/га зерна скорость разложения соломы была выше контроля в 3 раза и составила 6% относительно второй экспозиции. Столь низкая скорость разложения растительных остатков объясняется тем, что они быстро пересыхают, так как расположены на

поверхности почвы под прямыми солнечными лучами, а растения яровой пшеницы ещё не сомкнулись в междурядьях.



■ Контроль ■ NPK на 3,0 т/га ■ NPK на 4,0 т/га ■ NPK на 5,0 т/га ■ NPK на 6,0 т/га

Рисунок 19 – Убыль массы соломы, расположенной на поверхности почвы, при различном уровне минерального питания, % от исходной массы, 2013-2016 гг.

В июле скорость разложения растительных остатков, расположенных на контроле, увеличилась в 3 раза в сравнении с предыдущей экспозицией. Убыль составила 17% относительно исходных значений. На вариантах с NPK на 3,0-5,0 т/га зерна за 10 месяцев экспозиции масса соломы уменьшилась на 14-15% относительно исходных данных, что на 2-3% меньше в сравнении с контролем. Убыль массы растительных остатков на варианте с планируемой урожайностью 6,0 т/га зерна составила 24% относительно исходных значений, из которых 6% приходилось на июль, что почти в 2 раза меньше по сравнению с контролем.

Солома, расположенная на контроле, в последние 2 месяца экспозиции не разлагалась. Независимо от дозы внесения минеральных удобрений в последние два месяца экспозиции масса растительных остатков уменьшилась на 5-6% в сравнении с четвертой экспозицией, уменьшение составило 19-30%

относительно исходных данных. Максимальные значения убыли массы соломы за весь период исследований были получены на варианте с высоким уровнем минерального питания, что в 1,6 раза больше контроля.

Запашка растительных остатков в первый месяц экспозиции увеличила скорость её деструкции. В осенний период масса запаханной соломы на варианте без использования минеральных удобрений уменьшилась на 11% относительно исходной величины, что в 3,5 раза больше значений при разложении соломы на поверхности почвы (табл. 28). Этот факт объясняется тесным контактом с почвой, что способствует быстрому росту колоний микроорганизмов на поверхности запаханной соломы.

Таблица 28 – Убыль массы запаханной соломы при различном уровне минерального питания (0-30 см), % от исходной массы, 2013-2016 гг.

Варианты (фактор А)	Периоды экспозиций (фактор В)				
	I	II	III	IV	V
Контроль	11	23	28	31	38
НПК на 3,0 т/га	13	21	29	31	39
НПК на 4,0 т/га	14	22	27	31	39
НПК на 5,0 т/га	15	24	29	31	41
НПК на 6,0 т/га	16	26	31	37	43
Период экспозиции: I – сентябрь-октябрь; II – сентябрь-май; III – сентябрь-июнь; IV – сентябрь-июль; V – сентябрь-сентябрь HCP ₀₅ по фактору A=1; HCP ₀₅ по фактору B=2; HCP ₀₅ по взаимодействию AB=3					

В пахотном горизонте в осенний период создались относительно благоприятные условия для роста и развития микрофлоры, тогда как на поверхности температура варьирует в широком диапазоне. На варианте с внесением минеральных удобрений на 3,0 т/га зерна убыль массы соломы незначительно увеличилась относительно контроля. Дальнейшее повышение уровня минерального питания способствовало разложению запаханной соломы в 1,5 раза относительно контроля. Это обусловлено тем, что содержание азота в запаханной соломе на вариантах с применением удобрений выше в сравнении с контролем (табл. 16, С. 71). Это оказывает

стимулирующее действие на развитие микрофлоры. Было установлено, что на вариантах с внесением минеральных удобрений на планируемую урожайность от 4,0 до 6,0 т/га зерна усиливается скорость разложения соломы на глубине 30 см, где отклонения относительно вышележащих слоев составили 3-5% от массы (Приложение Е).

На контроле за осеннее-весенний период (II экспозиция) убыль составила 23% от массы, из которых 12% приходится на ноябрь-май. Данный факт показывает, что процессы разложения соломы в неблагоприятный период года в почве продолжаются. Это подтверждается исследованиями G.F. Wells (2009). На вариантах, где вносили минеральные удобрения на планируемую урожайность от 3,0 до 5,0 т/га зерна, отклонения в период с ноябрь-май были существенно выше – на 2-3% в сравнении с контролем. На варианте с максимальной насыщенностью минеральными удобрениями отклонения были в пределах ошибки опыта ($НСР_{05}=1$). Причиной этого было то, что легкоразрушающиеся органические вещества были израсходованы микрофлорой в первый месяц экспозиции.

К июню масса запаханной соломы на изучаемых вариантах уменьшилась на 5-8% относительно предыдущей экспозиции. Убыль массы достигла 27-31%. Это объясняется высокой температурой и малым количеством выпавших осадков в годы исследований, что неблагоприятно отразилось на минерализации растительных остатков. На варианте с максимальной насыщенностью минеральными удобрениями солома, запаханная на глубину 30 см, разлагалась по сравнению с другими вариантами быстрее.

Корреляционный анализ показал, что убыль массы соломы зависит от содержания в ней азота ($r=0,76$). Это позволяет провести регрессионный анализ, в результате которого было получено линейное уравнение:

$$y=8,112 \times X + 32,99,$$

где: y – убыль массы соломы, %;

X – содержание азота в растительных остатках, кг д.в./га. Уравнение достоверно в диапазоне планируемой урожайности до 6,0 т/га зерновых культур.

К IV периоду экспозиции разложение соломы на контроле и на вариантах с планируемой урожайностью до 5,0 т/га зерна достигло одного уровня: убыль составила 31% от массы. Внесение минеральных удобрений на планируемую урожайность 6,0 т/га зерна усилило деструкцию растительных остатков в 1,6 раза в сравнении с контролем. Внесение минеральных удобрений на планируемую урожайность до 5,0 т/га зерна не оказало такого стимулирующего действия, как доза рассчитанная на 6,0 т/га зерна.

За 12 месяцев экспозиции на контроле и вариантах с планируемой урожайностью на 3,0-4,0 т/га зерна масса запаханной соломы уменьшилась на 38-39% от массы, из которых 7-8% приходились на период с августа по сентябрь. Максимальная насыщенность минеральными удобрениями (NPK на 5,0 и 6,0 т/га) способствовала ускорению минерализации запаханных растительных остатков: убыль составила 41 и 43% соответственно.

Таким образом, скорость разложения соломы на естественном агрофоне и при внесении минеральных удобрений на планируемую урожайность до 4,0 т/га зерна составляла: на поверхности почвы 18-20%; запаханной – 38-39% за 12 месяцев экспозиции. На высоком агрофоне (NPK на 5,0 и 6,0 т/га зерна) скорость разложения соломы увеличивалась до 30 и 43% соответственно. Установлена тесная корреляция между скоростью разложения соломы и содержанием азота в растительных остатках $r=0,76$. Регрессионное уравнение, достоверное в диапазоне планируемой урожайности до 6,0 т/га зерна, имеют вид: $y=8,112 \times X + 32,99$, где: y – убыль массы соломы, %; X – содержание азота в растительных остатках, %.

Влияние различных систем основной обработки почвы. При переходе на безотвальную технологию обработки почвы аграрии столкнулись с проблемой заделки соломы. Для трансформации

растительных остатков в гумусовые вещества большое значение оказывает её влажность и условия аэрации (Фисунов Н.В., Ерёмин Д.И., 2013).

Масса соломы, расположенной на поверхности вариантов с различными системами основной обработки почвы, в первый месяц экспозиции уменьшилась на 3-4% относительно исходных значений (рис. 20). В зимне-весенний период разложение соломы на варианте с отвальной обработкой почвы не происходило, отклонения были в пределах ошибки опыта ($НСР_{05}=1$). Разложение соломы на вариантах с безотвальной и нулевой обработкой почвы продолжалось: убыль составила 3 и 2% соответственно. Это объясняется тем, что на вариантах без оборота пласта в верхнем слое почвы сосредоточена целлюлозоразлагающая микрофлора, которая сразу же включается в процесс разложения соломы, расположенной на ее поверхности. При вспашке эта микрофлора перемещается вглубь пахотного горизонта (Лазарев А.П., 2014).

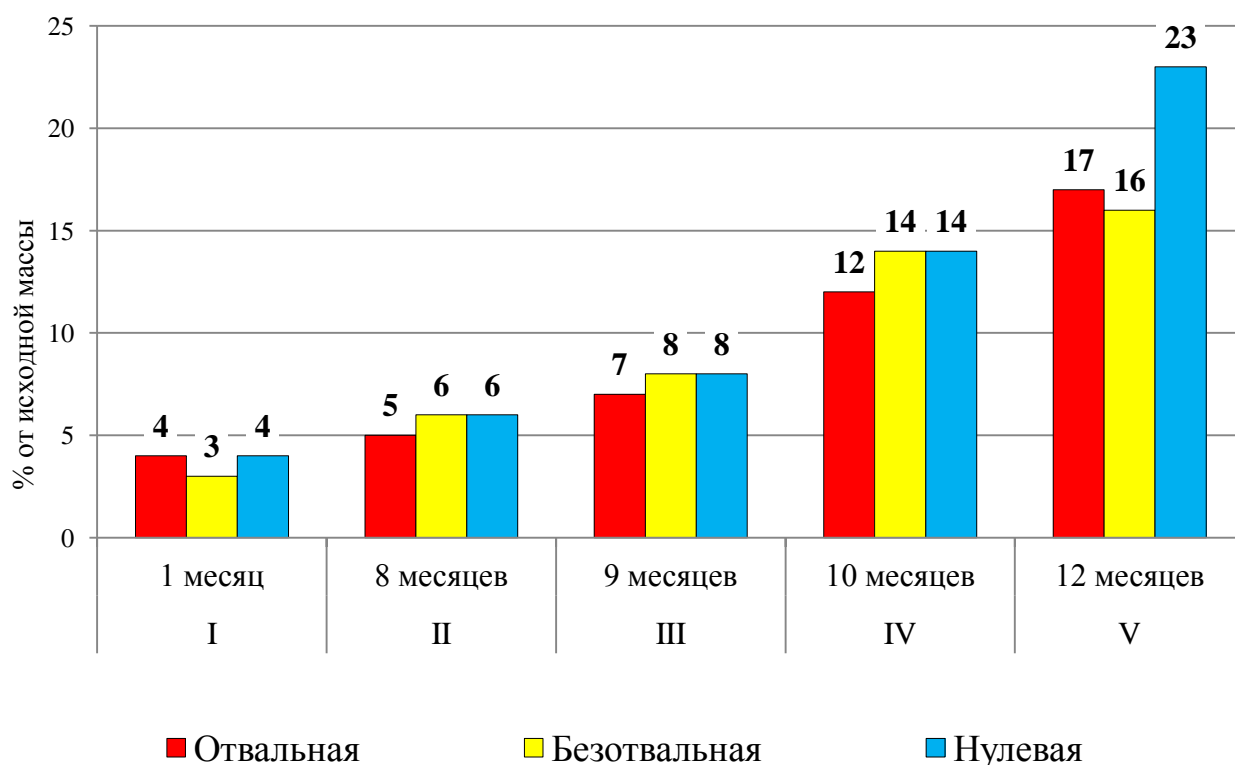


Рисунок 20 – Убыль массы соломы, расположенной на поверхности почвы с различной системой основной обработки, % от исходной массы, 2013-2016 гг.

К июню масса соломы уменьшилась на 7-8% от исходных значений. В начале вегетационного периода солома, расположенная на поверхности почвы, быстро пересыхает под действием прямых солнечных лучей и ветра, что негативно влияет на процесс её разложения.

За 10 месяцев экспозиции масса соломы уменьшилась на 12-14% относительно исходных значений, из которых 5-6% приходились на июль. Увеличение скорости разложения соломы объясняется тем, что в июле выпадало большое количество осадков, а раскутившаяся яровая пшеница препятствовала её быстрому пересыханию, создавая благоприятные условия для целлюлозоразлагающей микрофлоры.

В последние два месяца экспозиции (август-сентябрь) скорость разложения соломы, расположенной на вариантах с отвальной и безотвальной обработкой почвы, стала снижаться: убыль составила 5 и 2% соответственно. Масса соломы, расположенной на поверхности при нулевой обработке почвы, уменьшилась на 9% относительно четвёртой экспозиции. Биологическая активность поверхностного слоя на варианте с безотвальной обработкой почвы не отличалась от варианта с отвальной обработкой по причине частичного перемешивания слоёв при основной обработке.

Запашка соломы способствовала увеличению скорости её разложения. В первый месяц экспозиции (октябрь) убыль массы соломы на глубине 10-30 см составила 14-16% от исходных значений (табл. 29). Разложение соломы, заделанной на варианте с безотвальной обработкой почвы, протекало с меньшей скоростью: убыль варьировала от 12 до 14 % от исходной массы. На варианте с нулевой обработкой почвы скорость разложения соломы, закопанной на глубину 10 см, была максимальной. Её масса за месяц уменьшилась на 17%. Более глубокая заделка соломы в почву уменьшила скорость её разложения. Это объясняется тем, что при отсутствии оборота пласта целлюлозоразлагающие микроорганизмы аккумулируются в верхней части пахотного горизонта, который обладает хорошей аэрацией (Майсямова Д.Р., Лазарев А.П., 2008; Владыкина Н.И., 2014).

Таблица 29 – Деструкция растительных остатков в пахотном горизонте при различных системах основной обработки, % от исходной массы, 2013-2016гг.

Вариант (фактор А)	Глубина заделки, см	Период экспозиции (фактор В)				
		I	II	III	IV	V
Отвальная	10	15	21	26	31	39
	20	14	22	27	33	42
	30	16	21	29	38	42
Безотвальная	10	12	21	28	33	40
	20	12	20	27	33	42
	30	14	22	30	37	42
Нулевая	10	17	23	27	30	47
	20	16	27	29	34	45
	30	15	21	26	33	50
Период экспозиции: I – сентябрь-октябрь; II – сентябрь-май; III – сентябрь-июнь; IV – сентябрь-июль; V – сентябрь-сентябрь HCP ₀₅ по фактору A=1; HCP ₀₅ по фактору B=1; HCP ₀₅ по взаимодействию AB=2						

Запаханная солома за восемь месяцев экспозиции уменьшилась на 21-22%, из которых 5-8% приходились на период с ноября по май. На варианте с безотвальной обработкой почвы глубина заделки соломы не повлияла на скорость её разложения: убыль составила 8-9% от массы. Вариант с нулевой обработкой почвы за период с ноября по май характеризовался неравномерной скоростью разложения соломы, заделанной на разной глубине пахотного слоя. Масса соломы на глубине 10 и 30 см уменьшилась на 23 и 21% соответственно от исходных значений, из которых 6% приходились на период с ноября по май. Заделка соломы в почву на глубину 20 см способствовала увеличению скорости её разложения до 11% относительно остальных вариантов.

В июне масса соломы, запаханной на глубину 10 и 20 см на варианте с отвальной обработкой почвы, уменьшилась на 5% относительно второй экспозиции. Более глубокая запашка соломы оказала положительное влияние на процесс её разложения: убыль составила 8% от массы. Скорость разложения соломы, заделанной на варианте с безотвальной обработкой почвы, незначительно отличалась от варианта с отвальной обработкой.

Нулевая обработка почвы негативно повлияла на деструкцию растительных остатков на глубине 30 см.

В июле убыль массы соломы, расположенной на глубине 10 и 20 см на варианте с отвальной обработкой почвы, составила 5 и 6% соответственно, тогда как на глубине 30 см её убыль достигла 9%. На варианте с безотвальной обработкой почвы наблюдалась та же тенденция скорости разложения соломы яровой пшеницы. Убыль массы соломы, заделанной на глубину 10 см, на варианте с нулевой обработкой почвы составила 3% от массы, с увеличением глубины данный показатель увеличился в два раза.

За весь период исследований масса соломы, заделанной в почву на глубину 10-30 см на вариантах с отвальной и безотвальной обработкой почвы, уменьшилась на 39-42% от исходных значений, из которых 4-9% приходились на август-сентябрь. Минимальная убыль массы соломы за август-сентябрь была на глубине 30 см, отклонения не превышали 5% от массы. Это объясняется тем, что на варианте с безотвальной обработкой почвы происходило частичное перемешивание микробной биомассы, и микроорганизмы одинаково влияли на разложение растительных остатков.

На варианте с нулевой обработкой почвы за 12 месяцев экспозиции масса соломы уменьшилась на 45-50% от массы, что на 6-8% превысило значения на других вариантах. В последние два месяца экспозиции (август-сентябрь) масса соломы, заделанная на глубину 10 и 30 см, уменьшилась на 17%, что более чем в 2 раза превысило значения остальных вариантов. Заделка соломы на глубину 20 см снизила скорость её разложения до 11%, но всё же оставалась на достаточно высоком уровне относительно других вариантов обработки почвы. Это объясняется тем, что при нулевой обработке складывается благоприятный режим увлажнения (Ерёмин Д.И., Шахова О.А., 2010).

Таким образом, солома, расположенная на поверхности варианта с нулевой обработкой, подвержена более сильному разрушению относительно отвальной и безотвальной обработки. За 12 месяцев экспозиции убыль

составила 23% от массы, тогда как на вариантах с отвальной и безотвальной обработкой почвы – 17 и 16% соответственно. Солома, на поверхности пашни минерализуется с мая по сентябрь. Запашка усиливает её минерализацию: в среднем по слоям убыль за 12 месяцев экспозиции составила 39-42% от массы. Процесс разложения соломы при безотвальном рыхлении не отличался от вспашки. Минерализация соломы в пахотном горизонте на нулевой обработке выше относительно вспашки: убыль за 12 месяцев экспозиции достигала 50% от массы. Разложение запаханных растительных остатков начинается в осенний период: убыль за первый месяц экспозиции достигает 12-17% от массы.

Возможности изменения скорости разложения соломы. В последнее время аграрии заинтересовались препаратами, позволяющими ускорить трансформацию соломы зерновых культур, так как обработка соломы биопрепаратами перед запашкой стимулирует почвенную микрофлору. В результате происходит ускорение разложения растительных остатков, часть из которых трансформируется в гумусовые вещества (Орлова О.В., 2015; Русакова И.В., 2016).

Масса соломы, расположенной на поверхности почвы, за первый месяц экспозиции уменьшилась на 3% относительно исходных значений (рис. 21). Запашка соломы в почву увеличила скорость её разложения. Масса соломы, заделанной в почву на глубину 10 и 20 см, в первый месяц уменьшилась на 9 и 8% соответственно. Более глубокая её запашка способствовала усилению процесса трансформации – убыль массы составила 11% относительно исходных значений. За период с сентября по май масса соломы, расположенной на поверхности почвы, уменьшилась на 5% относительно исходных значений, из которых 2% приходились на вторую экспозицию. Процесс трансформации соломы запаханной на глубину 10-20 см не останавливался даже в холодный период с ноября по май: убыль её массы в это время составила 12 и 15% соответственно. Масса соломы, закопанной на глубину 30 см, уменьшилась в два раза относительно первой экспозиции –

убыль составила 23%. Это объясняется тем, что почва в слое 20-30 см за весенний период не успела прогреться.

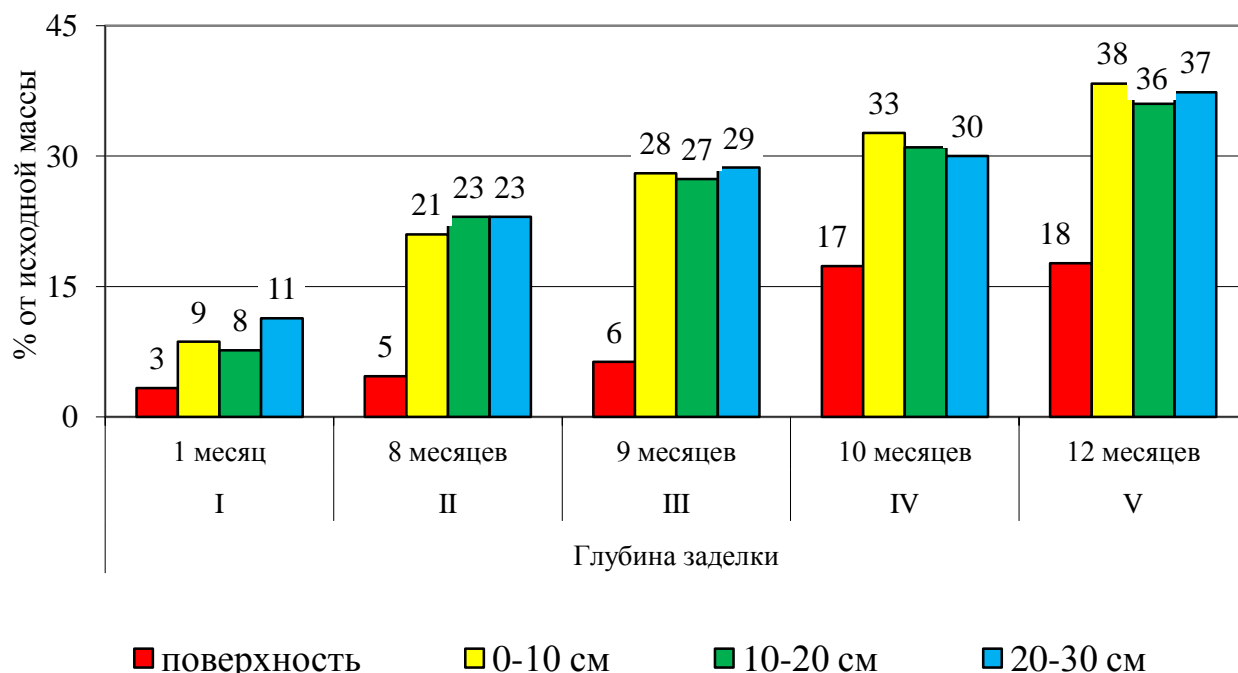


Рисунок 21 – Динамика разложения соломы в пахотном слое чернозёма выщелоченного, % от исходной массы, 2013-2016 гг.

В июне разложение соломы, расположенной на поверхности почвы, отсутствовало, тогда, как запаханная солома уменьшила свою массу на 4-7% относительно первой экспозиции. Это объясняется дефицитом воды и быстрым пересыханием образцов, расположенных на поверхности почвы.

В июле скорость разложения соломы, расположенной на поверхности почвы, увеличилась в три раза: убыль составила 17% относительно исходных значений. В соломе, расположенной в пахотном слое, с глубиной наблюдалось плавное снижение скорости разложения – убыль варьировала в пределах 30-33 % от исходных значений.

В последние два месяца экспозиции (август и сентябрь) разложение соломы, расположенной на поверхности почвы, остановилось. За период исследований разложение соломы в пахотном слое составило 36-38% относительно исходных значений, из которых 5-7% приходились на последние два месяца экспозиции.

Обработка соломы агрохимикатами существенно не повлияла на скорость её разложения в осенний период (рис. 22). Солома, обработанная Компостным чаем, ускорила разложение соломы в три раза относительно контроля. Это объясняется тем, что активность почвенной биоты при низких температурах снижается, и они перестают вырабатывать ферменты, способствующие разложению растительных остатков.

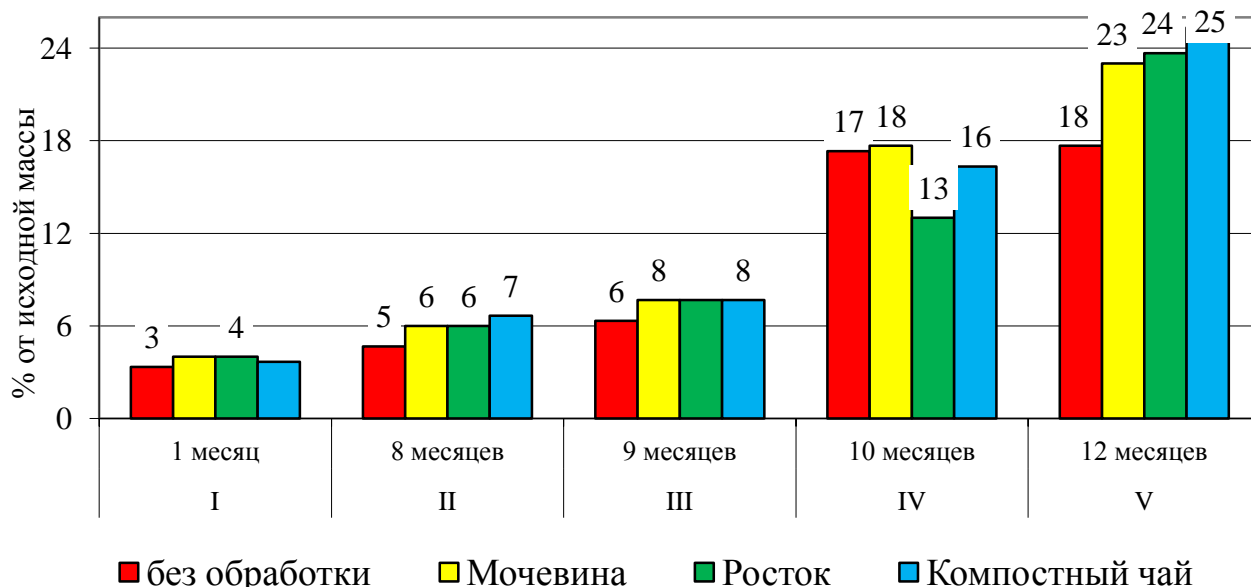


Рисунок 22 – Влияние агрохимикатов на скорость разложения соломы, расположенной на поверхности почвы, % от исходной массы, 2013-2016 гг.

Обработка соломы Компостным чаем, наоборот, простимулировала её разложение, ведь в своем составе он содержит разнообразное количество ферментов. Меньший эффект оказала обработка соломы мочевиной и Ростком – убыль составила 2%, что в два раза превышает контрольный образец. Скорость разложения соломы, расположенной на поверхности почвы, не зависела от варианта опыта: убыль составила 6-8% относительно исходных значений.

За 10 месяцев экспозиции масса соломы, обработанная мочевиной, уменьшилась на 18% относительно исходных значений, из которых больше половины (10%) приходилось на июль. За этот же период, масса соломы, обработанная Ростком и Компостным чаем, уменьшилась на 13-16%

относительно исходных значений, из которых 5 и 8% соответственно приходились на последний месяц экспозиции.

За все годы исследований обработка соломы Ростком и Компостным чаем оказала пролонгированное действие на её разложение, убыль составила 24 и 26% относительно исходных значений, из которых 11 и 9% соответственно приходились на последние два месяца экспозиции (август-сентябрь). На варианте с соломой обработанной мочевиной, наблюдалось снижение скорости разложения: убыль составила 23% от исходных значений, из которых 5% приходились на последние два месяца экспозиции.

Проведённые исследования показали, что солома разлагается практически одинаково независимо от глубины заделки, поэтому мы объединили данные по слоям, выделив пахотный горизонт. В первый месяц экспозиции (октябрь) разложение соломы, обработанной агрохимикатами, проходило на одном уровне: убыль составила 11-12% от исходных значений (рис. 23).

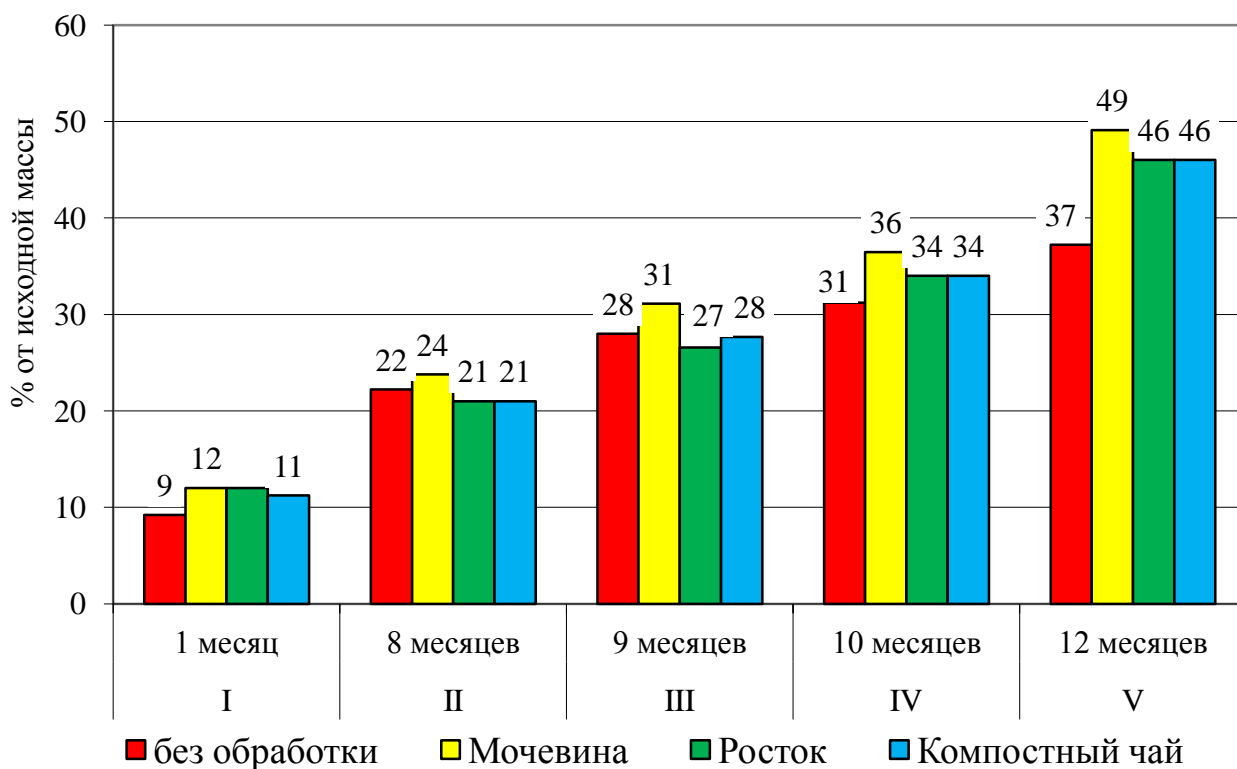


Рисунок 23 – Влияние агрохимикатов на скорость разложения соломы в пахотном слое, % от исходной массы, 2013-2016 гг.

Убыль массы соломы, обработанной мочевиной, за 8 месяцев экспозиции составила 24%, из которых 12% приходились на период с ноября по май. Скорость разложения растительных остатков на вариантах с обработанной Ростком и Компостным чаем соломой, уменьшилась относительно контрольного образца: убыль составила 21% от исходных значений, из которых 9 и 10% соответственно приходились на период с ноября по май. В исследованиях G.F. Wells (2009) отмечалось, что деструкция растительных остатков возможна и при температуре до -5°C .

В июне скорость разложения соломы независимо от варианта опыта была на одном уровне: убыль составила 6-7% относительно второй экспозиции. Это объясняется дефицитом осадков в первой половине лета, что привело к снижению скорости разложения растительных остатков.

За 10 месяцев экспозиции масса соломы, обработанной 1%-ым раствором мочевины, уменьшилась на 36% от исходных значений, из которых 5% приходились на июль. Обработка соломы Ростком и Компостным чаем уменьшила её массу на 34% от исходных значений, из которых 7 и 6% приходились на последний месяц.

За весь период исследований масса соломы, обработанной агрохимикатами, уменьшилась на 46-49% относительно исходных значений, из которых 12-13% приходились на последние два месяца экспозиции.

Таким образом, обработка соломы изучаемыми агрохимикатами оказывает положительное влияние на её разложение как на поверхности почвы, так и в пахотном горизонте. Эффект от их применения составил 5-7 и 9-12% соответственно.

5 Питательный режим чернозёма выщелоченного при внесении минеральных удобрений и заделки соломы

Нитратный азот в почве обладает высокой подвижностью, поскольку анионы не поглощаются почвенно-поглощательным комплексом. Поэтому в зоне достаточного увлажнения нитраты активно мигрируют по почвенному профилю тем самым оказывая влияние на микробиологическую активность в течение вегетационного периода. Это обусловлено тем, что нитратный азот находится в почвенном растворе.

В наших исследованиях установлено, что внесение минеральных удобрений на планируемую урожайность от 3,0 до 6,0 т/га зерна оказывало существенное влияние на динамику нитратного азота в слое почвы 0-40 см (табл. 30). Обеспеченность нитратным азотом яровой пшеницы перед посевом характеризовалась как очень низкая. Его содержание по вариантам варьировало от 3,9 до 4,1 мг/кг почвы.

Таблица 30 – Динамика содержания нитратного азота в слое 0-40 см при
использовании минеральных удобрений и запашке соломы, мг/кг,
2013-2016 гг.

Варианты	Дозы азотных удобрений, кг д.в./га	Фазы развития яровой пшеницы				После пере-зимовки
		Перед посевом	Кущение	Цветение	Перед уборкой	
Контроль	0	3,9	10,6	3,1	1,2	2,4
NPК на 3,0 т/га	41	3,9	21,5	5,9	2,1	3,3
NPК на 4,0 т/га	78	3,9	38,2	9,7	2,8	3,8
NPК на 5,0 т/га	152	3,9	46,5	13,7	6,4	4,0
NPК на 6,0 т/га	183	4,1	55,4	18,5	7,6	4,6
НСР ₀₅	-	0,2	1,6	0,5	0,2	0,2

К моменту кущения на контроле содержание нитратного азота достигало 10,6 мг/кг, что соответствовало средней обеспеченности зерновых культур. Увеличение содержания нитратного азота на удобренных вариантах обусловлено увеличением биологической активности почвы (Сорокин И.Б. и др., 2004; Сорокин И.Б., и др. 2007; Куприченко М.Т.,

Менькина Е.А., 2012). Внесение минеральных удобрений на 3,0 т/га зерна способствовало увеличению содержания нитратного азота до 21,5 мг/кг, что соответствовало его запасам в количестве 86 кг/га. В результате нитрификации в пахотном слое образовалось 31 кг/га нитратов, что на 55% выше естественного фона. Повышение доз минеральных удобрений на планируемую урожайность 4,0 т/га дополнительно стимулировало почвенную микрофлору. Эффект от удобрений возрос на 26% относительно предыдущего варианта. Дальнейшее увеличение уровня минерального питания не оказывало дополнительного стимулирующего действия.

В фазу цветения яровой пшеницы содержание доступного для растений азота в почве уменьшилось в 3-4 раза по всем вариантам. Содержание нитратного азота на контроле составило 3,1 мг/кг почвы, что соответствовало очень низкой обеспеченности. На вариантах с внесением NPK на 3,0 и 4,0 т/га зерна обеспеченность нитратным азотом была низкой, что соответствовало 5,9 и 9,7 мг/кг почвы соответственно. Содержание нитратного азота на варианте с внесением минеральных удобрений на планируемую урожайность 5,0 т/га зерна составило 13,7 мг/кг почвы, что соответствовало средней обеспеченности. На варианте с максимальным уровнем минерального питания расход нитратного азота составил 67%, что достигло 18,5 мг/кг почвы.

Перед уборкой яровой пшеницы запасы нитратного азота на контроле и варианте с NPK на 3,0 и 4,0 т/га зерна составили 1,2-2,8 мг/кг, что соответствовало очень низкой обеспеченности растений. На вариантах с NPK на 5,0 и 6,0 т/га зерна содержание нитратного азота в 3 раза превышало другие агрофоны, что указывало на неостребованность данного элемента питания. После перезимовки из оставшегося азота в почве было потеряно 37 и 39% соответственно.

Обеспеченность нитратным азотом перед посевом зерновых культур на вариантах с различными системами обработки почвы характеризовалась, как

очень низкая – содержание в слое 0-40 см варьировало от 2,1 до 4,2 мг/кг (табл. 31). К фазе кущения яровой пшеницы содержание нитратного азота на варианте с отвальной обработкой почвы характеризовалась как высокая. При безотвальной и нулевой системе основной обработки почвы содержание нитратного азота составило 17,4 и 15,6 мг/кг.

Таблица 31 – Динамика содержания нитратного азота в слое 0-40 см при различном способе основной обработки почвы, мг/кг, 2013-2016 гг.

Варианты	Дозы азотных удобрений, кг д.в./га	Фазы развития яровой пшеницы				После перезимовки
		Перед посевом	Кущение	Цветение	Перед уборкой	
Отвальная	42	4,2	22,1	6,3	2,8	2,1
Безотвальная	40	2,4	17,4	5,1	3,8	2,1
Нулевая	45	2,1	15,6	4,2	4,2	2,5
НСР ₀₅	-	0,2	0,8	0,3	0,2	0,1

К моменту цветения яровой пшеницы содержание азота уменьшилось в 3 раза независимо от системы обработки почвы, что обусловлено потреблением его зерновым фитоценозом. Перед уборкой обеспеченность нитратным азотом растений характеризовалась, как очень низкая.

Обеспеченность фосфором растений играет важную роль на протяжении всего жизненного цикла, а особенно на первоначальном этапе их роста и развития. В наших исследованиях перед посевом содержание подвижного фосфора на контроле и с NPK на 3,0-6,0 т/га зерна, было 74-80 мг/кг почвы, что соответствовало низкой обеспеченностью растений (табл. 32). В период кущения яровой пшеницы содержание подвижного фосфора на естественном агрофоне уменьшилось на 2 мг/кг. Внесение минеральных удобрений оказало положительное влияние, на варианте с NPK на 3,0 т/га зерна содержание подвижных форм фосфора увеличилось на 4 мг/кг почвы, что являлось средней обеспеченностью зерновых культур. На вариантах с внесением минеральных удобрений на планируемую урожайность 4,0-6,0 т/га зерна содержание подвижных форм фосфора в слое 0-40 см увеличилось в

1,3-2,9 раза, что соответствовало повышенной и высокой обеспеченностью яровой пшеницы.

Таблица 32 – Динамика содержания подвижного фосфора (P_2O_5) и калия (K_2O) в слое 0-40 см при внесении минеральных удобрений, мг/кг, 2014-2016 гг.

Варианты	Фазы развития яровой пшеницы							
	Перед посевом		Кущение		Цветение		Перед уборкой	
	P_2O_5	K_2O	P_2O_5	K_2O	P_2O_5	K_2O	P_2O_5	K_2O
Контроль	74	152	72	170	62	137	46	125
НРК на 3,0 т/га	80	144	84	171	63	141	53	134
НРК на 4,0 т/га	77	166	137	155	106	155	73	147
НРК на 5,0 т/га	78	156	182	156	131	146	101	138
НРК на 6,0 т/га	78	151	226	165	158	139	110	127
НСР ₀₅	4	6	7	8	5	8	4	7

В период цветения и созревания яровой пшеницы на всех вариантах происходило постепенное снижение подвижного фосфора в почве. К моменту уборки яровой пшеницы на контроле и с НРК на 3,0 т/га зерна, содержание подвижного фосфора составило 46 и 53 мг/кг почвы соответственно, что на 38 и 34% меньше относительно предпосевного периода. Содержание подвижных форм фосфора на варианте с НРК на 4,0 т/га зерна к моменту уборки достигло средней обеспеченности зерновых культур. На вариантах с максимальной насыщенностью минеральными удобрениями (НРК на 5,0 и 6,0 т/га зерна) обеспеченность подвижных форм фосфора была повышенной и составила 101 и 110 мг/кг почвы соответственно.

Содержание обменного калия на изучаемых вариантах опыта перед посевом варьировало от 144 до 166 мг/кг почвы, что соответствовало повышенной обеспеченности. К фазе кущения его содержание возрастало на 8,5-15,8 %, что обусловлено изменением влажности почвы и переходом калия из необменных форм (Назарюк В.М., Нечаева Т.В., 2007). В течение вегетации содержание постепенно снижалось и к моменту уборки достигало

125-147 мг/кг почвы, что соответствовало средней и повышенной обеспеченности обменным калием.

При различных системах основной обработки почвы перед посевом яровой пшеницы содержание подвижного фосфора варьировало от 82 до 88 мг/кг почвы, что соответствовало средней обеспеченности (табл. 33). К фазе кущения яровой пшеницы содержание подвижного фосфора при отвальной и безотвальной обработке увеличилось на 12 и 10% соответственно. Повышение подвижного фосфора в почве обусловлено запашкой минеральных удобрений на планируемую урожайность 3,5 т/га зерна. При нулевой системе обработки почвы содержание данного элемента питания снизилось на 5%. К моменту цветения на всех изучаемых вариантах идёт стабильное снижение подвижного фосфора и к моменту уборки достигало 68-73 мг/кг почвы, что соответствует средней обеспеченности.

Таблица 33 – Динамика содержания подвижного фосфора (P_2O_5) и калия (K_2O) в слое 0-40 см при различных способах основной обработки почвы, мг/кг, 2014-2016 гг.

Варианты	Фазы развития яровой пшеницы							
	Перед посевом		Кущение		Цветение		Перед уборкой	
	P_2O_5	K_2O	P_2O_5	K_2O	P_2O_5	K_2O	P_2O_5	K_2O
Отвальная	82	157	93	184	77	145	68	174
Безотвальная	88	164	98	175	88	164	73	168
Нулевая	82	138	78	177	74	153	70	160
НСР ₀₅	5	8	6	10	5	8	4	9

Перед посевом содержание обменного калия на вариантах с различной системой основной обработки почвы варьировало от 138 до 164 мг/кг, что соответствовало средней и повышенной обеспеченности зерновых культур. К моменту уборки яровой пшеницы содержание обменного калия в почве достигало 160-174 мг/кг почвы, что соответствовало повышенной обеспеченности.

Таким образом, на варианте, где минеральные удобрения не вносили, содержание нитратного азота в слое 0-40 см от посева до фазы кущения зерновых культур увеличивалось в 2,7 раза за счёт повышения микробиологической активности. Внесение минеральных удобрений стимулировало почвенную микрофлору, тем самым дополнительно увеличивало содержание нитратного азота в течение вегетации зерновых культур. Содержание нитратов на удобренных вариантах в течение вегетации яровой пшеницы варьировало в пределах от 7,6 до 55,4 мг/кг почвы. Отвальная система обработки почвы активизировало почвенную микрофлору, тем самым увеличивало содержание нитратного азота в пахотном чернозёме. Обеспеченность и динамика содержания подвижных форм фосфора и калия зависело от доз вносимых удобрений.

6 Биоэнергетическая и экономическая оценка запашки измельчённой соломы на чернозёме выщелоченном

Сохранение почвенных энергетических запасов считается одним из основных направлений агрономического почвоведения (Л.Н. Пуртова, 1997). Почва – не только средство производства, но и накопитель энергии Солнца, заключённой в её органическом веществе (Л.Н. Пуртова, 2004). Всё сельскохозяйственное производство должно предусматривать накопление в верхних слоях почвы органического вещества, так как запасы энергии – один из показателей при качественной её оценке (В.К. Козин, 1990).

Еще в 1974 году В.Р. Волобуевым изучалось энергетическое состояние почвообразовательного процесса, которое взаимосвязано с процессом разложения растительных остатков в почвенном профиле, как и в исследованиях Е.А. Runge (1973) и В.И. Савича (1986). В.А. Ковда (1974), изучая гумусовое состояние почв земного шара, рассчитал, что запасы почвенного органического вещества составляют $2,2 \times 10^{12}$ тонн, что соответствует 12×10^{18} ккал.

Расчёт запаса энергии в гумусе проводили согласно методике Д.С. Орлова и Л.Н. Гришиной (1981) по формуле:

$$Q_{\Gamma} = 891,7 \times C_{\text{орг}} \times H \times d,$$

где: Q_{Γ} – запасы энергии в гумусе, млн ккал/га;

$C_{\text{орг}}$ – содержание органического углерода в почве, %;

H – мощность пахотного слоя, м;

d – плотность сложения почвы, г/см³;

891,7 – показатель перерасчета в млн ккал/га.

Наши расчёты показали, что на варианте без использования агрохимикатов исходные запасы энергии составили 1859 млн ккал/га (табл. 34). За 22 года этот показатель снизился на 5% относительно исходных значений, что привело к дефициту энергии из-за недостатка органического вещества. Необходимо восполнение энергии органического вещества в

количестве 3,8 млн ккал в год. Внесение минеральных удобрений на планируемую урожайность 3,0 и 4,0 т/га зерна способствовало приросту энергии органического вещества пахотного чернозёма на 13 и 10% относительно 1995 года, что составило 12,2 и 9,6 млн ккал/га в год соответственно.

Таблица 34 – Динамика энергии органического вещества чернозёма выщелоченного при внесении минеральных удобрений, млн ккал/га

Варианты	Исходные запасы энергии (1995 г.)	Конечные запасы энергии (2016 г.)	Отклонение ±	
			за 22 года	за 1 год
Контроль	1859	1775	– 84	– 3,8
НПК на 3,0 т/га	1827	2096	+ 269	+ 12,2
НПК на 4,0 т/га	1838	2049	+ 211	+ 9,6
НПК на 5,0 т/га	1821	1781	– 39	– 1,8
НПК на 6,0 т/га	1821	1720	– 100	– 4,6
Данные за 1995 год Д.И.Ерёмина				

Увеличение уровня минерального питания приводит к снижению энергии, заключенной в органическом веществе, несмотря на существенное увеличение массы запахиваемой соломы (рис. 3, С. 44). Причина этого заключена в непродуктивном расходе энергии в виде выделяющегося углекислого газа.

Таким образом, возделывание зерновых культур без внесения минеральных удобрений приводит к постепенному ухудшению биоэнергетического потенциала пахотного чернозёма. Ежегодная убыль энергии составляет 3,8 млн ккал/га в год. Внесение минеральных удобрений на 3,0 и 4,0 т/га зерна при отвальной системе обработке почвы накапливает 12,2 и 9,6 млн ккал/га в год в почвенном органическом веществе. Дальнейшее повышение уровня минерального питания негативно влияет на биоэнергетическое состояние органического вещества пахотных чернозёмов. Ежегодное снижение энергии достигает 4,6 млн ккал/га.

Экономическую эффективность заделки соломы зерновых культур рассчитывали по количеству питательных веществ, которые становятся доступными для растений в процессе её разложения. Как показали наши исследования запасы азота, фосфора и калия в соломе выращенной на естественном агрофоне составили 26, 7 и 27 кг/га соответственно (табл. 35). Выход соломы зерновых культур находится в прямой зависимости от урожая зерна, следовательно на вариантах с планируемой урожайностью до 6,0 т/га зерна запасы NPK в почве достигают 200 кг/га. Так же было установлено, что с увеличением уровня минерального питания содержание питательных веществ в соломе возрастает.

Таблица 35 – Экономический эффект заделки соломы яровой пшеницы, выращенной при различном уровне минерального питания, 2013-2016 гг.

Варианты	Выход соломы, т/га	Запасы питательных веществ в соломе, кг/га			Стоимость питательных веществ содержащихся в соломе, руб			Общий экономический эффект, руб/га
		Азот	Фосфор	Калий	Азот	Фосфор	Калий	
Контроль (без удобрений)	3,9	26	7	27	1150	289	819	2258
NPK на 3,0 т/га	4,6	41	9	41	1801	341	1228	3370
NPK на 4,0 т/га	5,4	38	11	49	1687	421	1458	3566
NPK на 5,0 т/га	6,6	70	13	73	3078	515	2178	5771
NPK на 6,0 т/га	6,2	73	14	66	3219	532	1990	5741
Примечание: стоимость 1 кг д. в. азота – 44 руб; фосфора – 39 руб; калия – 30 руб.								

Расчёт общего экономического эффекта заделки соломы по питательным веществам показал, что их стоимость на контроле составляла 2258 руб/га из которых 51% приходился на азот. Заделка соломы на вариантах с внесением минеральных удобрений на планируемую урожайность 3,0 и 4,0 т/га зерна может дать экономию в следующем году на 3370 и 3566 руб/га соответственно. Дальнейшее повышение уровня минерального питания способствовало резкому увеличению содержания питательных веществ в соломе и выхода побочной продукции, что

положительно сказывалось на общем экономическом эффекте от запахивания соломы. На вариантах с высоким уровнем минерального питания (NPK на 5,0 и 6,0 т/га зерна) он достигал 5771 и 5741 руб/га соответственно, что в 2,5 раза больше относительно контроля.

Запашка соломы на естественном агрофоне, при хозяйственном выносе 4 кг азота 1 ц зерна яровой пшеницы, даст возможную прибавку в 1,7 т/га зерна, с учётом цены реализации 6500 руб/т экономическая эффективность составит 11176 руб/га (рис. 24). При внесении минеральных удобрений на планируемую урожайность 3,0 т/га зерна выход побочной продукции увеличивается в результате чего прибавка урожая может составить 2,3 т/га зерна, что на 26% больше относительно варианта без использования минеральных удобрений. Экономическая эффективность от запашки соломы с NPK на 4,0 т/га зерна, составит 5,5% относительно контроля.

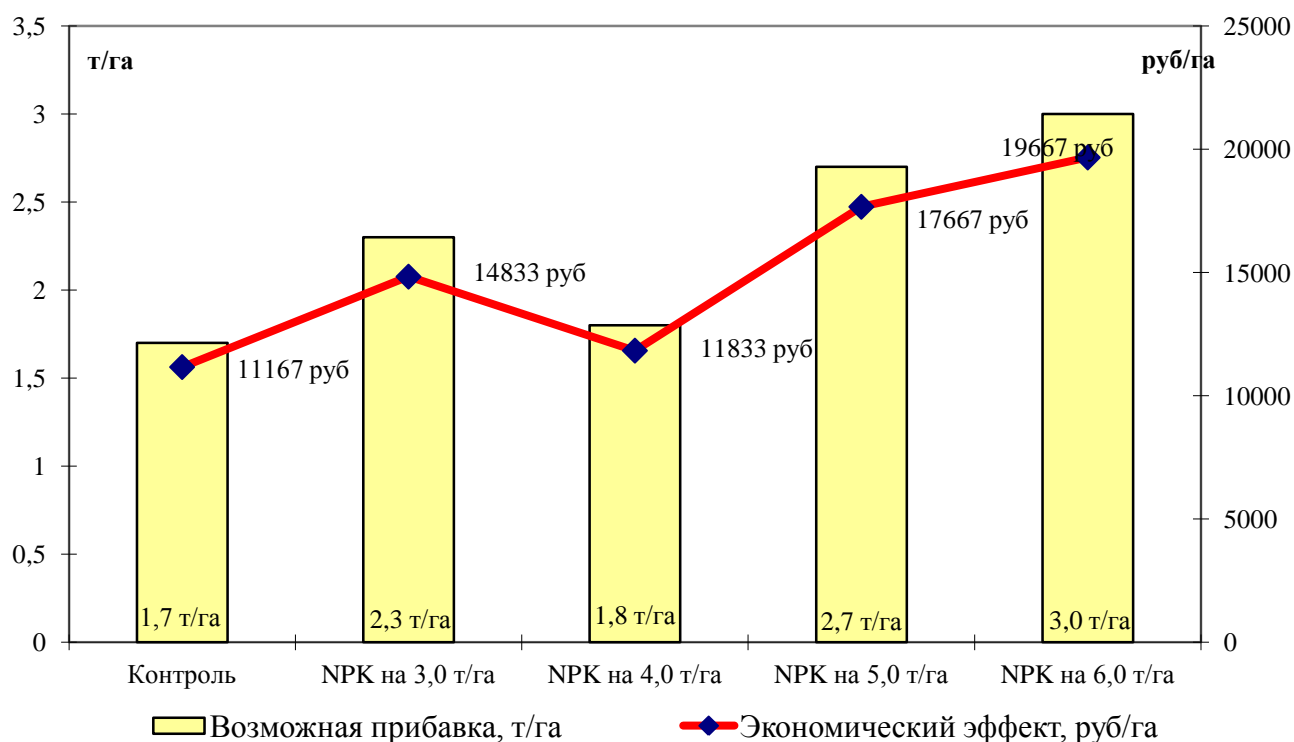


Рисунок 24 – Возможная прибавка урожая яровой пшеницы (т/га) и её экономический эффект (руб/га) получаемые за счёт азота в запахиваемой соломе

На вариантах с максимальным агрофоном (NPK на 5,0 и 6,0 т/га зерна) экономическая эффективность от заделки соломы составляет 17667 и 19667 руб/га, что в 1,6 и 1,8 раза выше относительно контроля.

Таким образом, заделка соломы зерновых культур, особенно на полях где вносились минеральные удобрения, может снизить затраты при выращивании следующей культуры за счет экономии средств выделяемых на минеральные удобрения. При заделке соломы яровой пшеницы экономическая эффективность составляла 11167 руб/га с увеличением уровня минерального питания прибыль увеличивалась в 1,8 раза.

Выводы

1. Запашка соломы зерновых культур, выращенных без минеральных удобрений, не обеспечивало стабилизацию гумусового состояния пахотного чернозема. Ежегодные потери в пахотном горизонте достигали 1,1 т/га гумуса. Систематическое внесение минеральных удобрений на планируемую урожайность 3,0 и 4,0 т/га зерна обеспечивало положительный баланс гумуса. С 1995 по 2016 годы запасы гумуса увеличились на 29 и 21 т/га соответственно. Запашка соломы на фоне внесения высоких доз минеральных удобрений (NPK свыше 4,0 т/га зерна), приводит к ежегодным потерям 1,1-1,2 т/га гумуса. Отсутствие заделки соломы в почву (безотвальная и нулевая обработка) создаёт благоприятные условия для её минерализации, что приводит к ежегодной потере 1,4 и 0,8 т/га гумуса соответственно.

2. Внесение азотных удобрений на планируемую урожайность до 4,0 т/га зерна не влияет на коэффициенты минерализации (1,0% от валового содержания) и гумификации (0,20) растительных остатков. Более высокие дозы азотных удобрений увеличивают коэффициент минерализации гумуса до 1,5-1,6% и уменьшают коэффициент гумификации до 0,06.

3. Внесение минеральных удобрений увеличивало накопление азота в соломе зерновых культур с 0,5 до 1,2% от массы. Установлена высокая корреляционная связь между дозами удобрений и содержанием азота в соломе ($r=0,94$). Уравнение регрессии соответствует следующему типу $y=0,002 \times X + 0,7$, где y – содержание азота в соломе, %; X – доза азотных удобрений, кг д.в./га. Содержание фосфора в соломе зерновых культур, выращенных на вариантах с различным агрофоном, не изменяется. Накопление калия в соломе зерновых культур обусловлено влиянием минеральных удобрений и биологическими особенностями вида.

4. Лучшие условия для высвобождения азота из соломы создаются при его содержании более 0,71% и запашке на глубину 20-30 см. Отношение

углерода к азоту в запаханной соломе увеличивается до 39-84, тогда как на поверхности – 168-241.

5. Высвобождение фосфора и калия из соломы не зависит от системы основной обработки, глубины заделки и агрохимикатов. К июлю следующего года высвобождалось до 90% фосфора и калия находящихся в соломе.

6. Скорость разложения соломы на естественном агрофоне и при внесении минеральных удобрений на планируемую урожайность до 4,0 т/га зерна составляло: на поверхности почвы 18-20%; запаханной – 38-39% за 12 месяцев экспозиции. На высоком агрофоне (NPK на 5,0 и 6,0 т/га зерна) скорость разложения соломы увеличивалась до 30 и 43% соответственно. Установлена тесная корреляционная зависимость между скоростью разложения соломы и содержанием азота в растительных остатках ($r=0,76$).

7. Солома, расположенная на поверхности варианта с нулевой обработкой разрушается на 6-7% быстрее в сравнении с отвальной и безотвальной обработки почвы. При запашке соломы процесс её трансформации начинается в осенний период – за первый месяц экспозиции убыль массы составляет 12-17% от массы.

8. Обработка соломы Ростком и Компостным чаем оказывает положительное влияние на её разложение. Эффект от их применения составлял 5-12% соответственно. Благоприятное отношение углерода к азоту (62 и 38) складывалось только при запашке соломы на глубину 20-30 см, тогда как на поверхности C:N достигает 108.

9. В период от посева до кушения содержание нитратного азота увеличивалось в 2,7 раза за счёт повышения микробиологической активности. Внесение минеральных удобрений оказывало стимулирующее действие на почвенную микрофлору и повышало содержание нитратов до 55,4 мг/кг в фазу кушения, что в 5 раз больше естественного агрофона. Отвальная система обработки способствовала увеличению содержания нитратного азота на 21 и 29% соответственно относительно безотвальной и нулевой обработки почвы.

10. Возделывание зерновых культур без внесения минеральных удобрений ухудшало биоэнергетический потенциал пахотного чернозёма. Ежегодная убыль энергии составляла 3,8 млн ккал/га в год. Внесение минеральных удобрений на 3,0 и 4,0 т/га зерна при отвальной системе обработке почвы накапливало 12,2 и 9,6 млн ккал/га в год в почвенном органическом веществе. Дальнейшее повышение уровня минерального питания негативно влияло на биоэнергетическое состояние органического вещества пахотных чернозёмов. Ежегодное снижение энергии достигало 4,6 млн ккал/га.

11. Запашка соломы зерновых культур способствовала снижению затрат на выращивание следующей в севообороте культуры в севообороте за счет экономии средств выделяемых на минеральные удобрения. Экономическая эффективность запашки соломы достигала 11167 руб/га.

Предложения производству

Для стабилизации гумусового состояния чернозёма выщелоченного в лесостепной зоне Зауралья необходима заплата соломы и внесение минеральных удобрений на планируемую урожайность зерновых культур не более 4,0 т/га. Для ускорения процесса разложения соломы необходимо обработать её 1%-ым раствором Компостного чая или Ростка с нормой 400 мл препарата на 400 л/га воды.

Список используемой литературы

1. Абрамов Н.В. Агрофизические свойства старопахотных выщелоченных черноземов Tobол-Ишимского междуречья Зауральского плато / Н.В. Абрамов, Д.И. Ерёмин // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2007. – №2. – С. 8-12.
2. Абрамов Н. В. Состав гумуса выщелоченного чернозема Tobол-Ишимского междуречья в естественном состоянии и в условиях длительной распашки / Н.В. Абрамов, Д.И. Ерёмин, С.В. Абрамова // Вестник Красноярского ГАУ. – № 4. – 2007. – С. 52-57.
3. Абрамов Н.В. Проблемы получения максимально возможной урожайности яровой пшеницы в условиях Северного Зауралья / Н.В. Абрамов, Д.И. Ерёмин // Аграрный вестник Урала. – 2009. – №1. – С. 31-37.
4. Абрамов Н.В. Производительность агроэкосистем и состояние плодородия почв в Западной Сибири / Н.В. Абрамов. – Тюмень: ГАУСЗ. 2013, – 254 с.
5. Агеев В.В. Программирование урожаев сельскохозяйственных культур / В.В. Агеев, А.Н. Есаулко, Ю.И. Гречишкина, О.Ю. Лобанкова, В.И. Радченко, Л.С. Коростылев. – Ставрополь: Ставпресс, 2008. – 168 с.
6. Бабьева И.П. Биология почв / И.П. Бабьева, Г.М. Зенова. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1983. – 248 с.
7. Бахарев А.А. Эффективность использования мясных пород скота в условиях Северного Зауралья / А.А. Бахарев // Достижения науки и техники АПК. – 2012. – №11. – С. 43-45.
8. Безлер Н.В. Запашка соломы ячменя и продуктивность культур в зернопаропропашном севообороте / Н.В. Безлер, И.В. Черепухина // Земледелие. – 2013. – №4. – С. 11-13.
9. Безлер Н.В. Солома ячменя как органическое удобрение в зернопропашном севообороте / Н.В. Безлер, И.В. Черепухина // Сахарная свекла. – 2012. – №6. – С. 24-27.

10. Безуглова О.С. Гумусное состояние почв юга России / О.С. Безуглова. – Ростов-на-Дону, 2001. – 228 с.

11. Безуглова О.С. Урбопочвоведение: учебник / О.С. Безуглова, С.Н. Горбов, И.В. Морозов, Г.В. Невидомская. Ростов-на-Дону: Южного федерального университета, 2012. – 264 с.

12. Безуглова О.С. Влияние гуминового удобрения на структуру и микробиологическую активность чернозема южного под различными культурами / О.С. Безуглова, В.А. Лыхманов, А.В. Горцов, Е.А. Полиенко // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2015. – Т. 17. – №6. – С. 164-168.

13. Белкина Р.И. Роль удобрений и азотной подкормки в повышении качества зерна пшеницы / Р.И. Белкина, М.И. Масленко // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2012. – № 2. – С. 35-38.

14. Белицина Г.Д. Почвоведение. Учеб. Для ун-тов. / Г.Д. Белицина, В.Д. Васильевская, Л.А. Гришина, Т.И. Евдокимова, Н.Г. Зборищук, В.В. Иванов, Ф.И. Левин. – М.: Высш. Шк., 1988. – 400 с.

15. Бирюков Е.В. Возможности применения биопрепарата Триходермин в качестве микробиологического удобрения в условиях Тамбовской области / Е.В. Бирюков // Вопросы современной науки и практики. – 2008. – №1 (11). – С. 84-91.

16. Бобкова К.С. Динамика содержания углерода органического вещества в среднетаежных ельниках на автоморфных почвах / К.С. Бобкова, А.В. Машика, А.В. Смагин. – СПб.: Наука. 2014. – 270 с.

17. Богатырёва Е.Н. Динамика минерализации соломы в дерново-подзолистых почвах / Е.Н. Богатырёва, Т.М. Серая, О.М. Бирюкова, Е.Г. Мезенцева, Р.Н. Бирюков // Вестник национальной академии наук Беларуси. – 2013. – №3. – С. 71-76.

18. Богатырёва Е.В. Влияние биопрепаратов на темпы разложения солоmistых остатков озимой пшеницы и продуктивность чернозёма

обыкновенного в зоне неустойчивого увлажнения / Е.В. Богатырёва // Земледелие. – 2015. – №8. – С. 34-35.

19. Бойков В.М. Результаты исследований заделки стерни в пахотный слой при различных способах основной обработки почвы / В.М. Бойков, С.В. Старцев, О.Н. Чурляева // Аграрный научный журнал. – 2016. – №7. – С. 43-45.

20. Богатырёва Е.В. Использование соломоразлагающих биопрепаратов в зоне неустойчивого разложения Ставропольского края / А.Е. Богатырёва // Земледелие. – 2013. – №8. – С. 14-16.

21. Борисенков М.Ф. Действие ферментов на солому злаков / М.Ф. Борисенков, А.А. Шубаков, А.П. Корманов // Химия растительного сырья. – 2011. – №4. – С. 19-23.

22. Буренок В.П. Плодородие и влагообеспеченность почвы при почвозащитных системах земледелия / В.П. Буренок, Л.А. Язева, Т.П. Кукшенева // Земледелие. – 2011. – №4. – С.39-40.

23. Васильев А.В. Обеспечение экологической безопасности в условиях городского округа Тольятти: учебное пособие / А.В. Васильев. – Самара: Самарского научного центра РАН. 2012. – 201 с.

24. Васильченко Н.И. Агрогенная трансформация азота в почвах Северного Казахстана / Н.И. Васильченко // Вестник Алтайского аграрного университета. – 2014. – №6 (116). – С. 67-71.

25. Верзилин В.В. Биология почв среднерусского чернозёма (диагностика и пути решения) / В.В. Верзилин, С.И. Коржов, Н.И. Придворев. – Воронеж, 2005. – 247 с.

26. Владыкина Н.И. Активность целлюлозоразлагающих микроорганизмов дерново-подзолистой почвы в севообороте / Н.И. Владыкина // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2014. – №6(43). – С. 32-36.

27. Волобуев В.Р. Введение в энергетику почвообразования / В.Р. Волобуев. – М.: Наука, 1974. – 121 с.

28. Воробьев С.А. Роль многолетних трав в повышении плодородия дерново-подзолистой почвы / С.А. Воробьев. – Докл. ТГСХ, – 1972. – Вып. 180, ч. 1.

29. Габбасова И.М. Изменение эродированных почв во времени в зависимости от их сельскохозяйственного использования в южном Предуралье / И.М. Габбасова, Р.Р. Сулейманов, И.К. Хабиров, М.А. Комиссаров, М. Фрюауф, П. Либельт, Т.Т. Гарипов, Л.В. Сидорова, Ф.Х. Хазиев // Почвоведение. – 2016. – №10. – С. 1277-1283.

30. Гогмачадзе Г.Д. Агроэкологический мониторинг почв и земельных ресурсов Российской Федерации / Г.Д. Гогмачадзе: под. общ. ред. Д.М. Хомякова. – М.: Моск. ун-та, 2010. – 592 с.

31. Грехова И.В. Групповой состав органического вещества торфов низинных месторождений / И.В. Грехова // Аграрный вестник Урала. – 2012. – №6. – С. – 14-16.

32. Грехова И.В. Гуминовый препарат из низинного торфа / И.В. Грехова // Теоретическая и прикладная экология. – 2015. – №1. – С. 87-90.

33. Громаков А.А. Эффективность сочетаний соломы с минеральными удобрениями на чернозёме обыкновенном Ростовской области / А.А. Громаков, А.И. Журавлёв // Вестник Донского государственного аграрного университета. – 2012. – №2. – С. 40-43.

34. Гусев М.В. Микробиология: учебник для студ. биол. специальностей вузов / М.В. Гусев, Л.А. Минеева. М.: Академия, 2003. – 464 с.

35. Девятова Т.А. Изучение физических и водно-физических свойств почвы при внесении соломы // Т.А. Девятова, А.К. Свиридов, Я.В. Шумилова // Вестник Воронежского государственного университета. – 2010. – №2. – С. 50-51.

36. Дедов А.В. Приёмы биологизации и воспроизводство плодородия чернозёмов / А.В. Дедов, М.А. Несмеянова, Н.Н. Хрюкин // Земледелие. – 2012. – №6. – С. 4-6.

37. Дедов А.А. Влияние приёмов биологизации на скорость разложения растительных остатков сельскохозяйственных культур / А.А. Дедов, В.И. Воронин, А.В. Дедов, М.А. Несмеянова // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2015. – №4-2 (47). – С. 42-47.

38. Дерябина Ю.М. Анализ состава и структурных особенностей коммерческого гуминового препарата «Росток» / Ю.М. Дерябина, И.В. Грехова, В.Д. Тихова // В сборнике: Аналитика Сибири и Дальнего Востока. Материалы X Всероссийской научной конференции международным участием. – 2016. – С. 127.

39. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) / Б.А. Доспехов. М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.

40. Елихин И.В. Ультрагумат как альтернатива азотным удобрениям при запашке соломы / И.В. Елихин // Проблемы механизации агрохимического обеспечения сельского хозяйства. – 2013. – №5. – С. 130-134.

41. Ерёмин Д.И. Продуктивность зернового с занятым паром севооборота в северной лесостепи Тюменской области: автореф. дисс. ... канд. с.-х. наук: 06.01.04 / Ерёмин Дмитрий Иванович. – Тюмень, 2003. – 18 с.

42. Ерёмин Д.И. Биологическая активность и нитратный режим выщелоченных чернозёмов и луговых почв Тобол-Ишимского междуречья / Д.И. Ерёмин, С.В. Абрамов // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. – 2008. – № 1. – С. 67-72.

43. Ерёмин Д.И. Особенности динамики структурно-агрегатного состояния и плотности сложения выщелоченного чернозема в северной лесостепи Тюменской области / Д.И. Ерёмин // Аграрный вестник Урала. – 2008. – №3. – С. 62-64.

44. Ерёмин Д.И. Окислительно-восстановительный потенциал луговых почв Тобол-Ишимского междуречья / Д.И. Ерёмин // Вестник Красноярского ГАУ. – 2008. – №2. – С. 65-67.

45. Ерёмин Д.И. Физические свойства выщелоченных чернозёмов Северного Зауралья в условиях длительного сельскохозяйственного использования / Д.И. Ерёмин, Д.В. Ерёмина, Ж.А. Фисунова // Аграрный вестник Урала. – 2009. – №4. – С. 60-65.

46. Ерёмин Д.И. Агрогенные изменения водно-физических свойств черноземов выщелоченных восточной окраины Зауральского Плато / Д.И. Ерёмин // Известия Санкт-Петербургского аграрного университета. – 2010. – № 18. – С. 72-76.

47. Ерёмин Д.И. Динамика влажности чернозёма выщелоченного при различных системах обработки под яровую пшеницу в условиях Северного Зауралья / Д.И. Ерёмин, О.А. Шахова // Аграрный вестник Урала. – 2010. – №1. – С. 38-40.

48. Еремин Д.И. Гумусное состояние чернозема выщелоченного при длительном использовании минеральной системы удобрений под зерновые культуры в Северном Зауралье / Д.И. Еремин // Аграрный Вестник Урала. – 2010. – №8(74). – С. 35-37.

49. Еремин Д.И. Агрогенная трансформация чернозема выщелоченного Северного Зауралья: автореф. дис. ... доктора биол. наук: 03.02.13 / Ерёмин Дмитрий Иванович. – Тюмень, 2012. – 34 с.

50. Ерёмин Д.И. Изменение качественного состава гумуса чернозема выщелоченного под действием возрастающих доз минеральных удобрений // Сиб. Вестник с-х науки. – 2012. – № 6. – С. 20-26.

51. Ерёмин Д.И. Стабилизация гумусного состояния пахотных черноземов лесостепной зоны Зауралья / Д.И. Ерёмин // Земледелие. – 2014. – №1. – С. 29-31.

52. Ерёмин Д.И. Состояние старопахотных чернозёмов лесостепной зоны Зауралья / Д.И. Ерёмин, Д.В. Ерёмина, М.Г. Уфимцева // Аграрная наука. – 2014. – №6. – С. 8-10.

53. Ерёмин Д. И. Залежь как средство восстановления содержания и запасов гумуса старопахотных черноземов лесостепной зоны Северного Зауралья / Д. И. Ерёмин // Плодородие. – 2014. – № 1 (76). – С. 24-26.

54. Ерёмин Д.И. Влияние уровня минерального питания на скорость разложения соломы яровой пшеницы в лесостепной зоне Зауралья / Д.И. Ерёмин, А.А. Ахтямова // Агропродовольственная политика России. – 2015. – №2. – С. 68-71.

55. Ерёмин Д.И. Скорость разложения соломы яровой пшеницы при различных системах основной обработки почвы в лесостепной зоне Зауралья / Д.И. Ерёмин, А.А. Ахтямова // Вестник Государственного аграрного университета Северного Зауралья. – 2015. – №1 (28). – С. 16-20.

56. Ерёмин Д.И. Возможности ускорения разложения соломы яровой пшеницы в условиях лесостепной зоны Зауралья / Д.И. Ерёмин. А.А. Ахтямова // Агропродовольственная политика России. – 2015. – №4. – С. 35-38.

57. Ерёмин Д.И. Агроэкологическая характеристика микромицетов, обитающих в почве / Д.И. Ерёмин, О.Н. Попова // Вестник Государственного аграрного университета Северного Зауралья. – 2016. – №1(32). – С. 12-18.

58. Ерёмин Д.И. Бактериальная микрофлора и её роль в почвообразовательном процессе (Аналитический обзор) / Д.И. Ерёмин, О.Н. Попова // Вестник Государственного аграрного университета Северного Зауралья. – 2016. – №2 (33). – С. 12-19.

59. Ерёмин Д.И. Изменение содержания и качества гумуса при сельскохозяйственном использовании чернозема выщелоченного лесостепной зоны Зауралья / Д.И. Еремин // Почвоведение. – 2016. – №5. – С. 584-592.

60. Ерёмин Д.И. Химический состав растительных остатков сельскохозяйственных культур, выращенных на различном агрофоне в лесостепной зоне Зауралья / Д.И. Ерёмин, А.А. Ахтямова // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. – 2017. №2(125). С. 32-38.

61. Ерёмина Д.В. Агроэкономическая оценка планируемой урожайности яровой пшеницы в Тюменской области // Молодой ученый. – 2016. – №12. – С. 1068-1071.

62. Ерёмина Р.Ф. Нормы минерального питания и извести при удобрении сахарной свеклы соломой озимой пшеницы / Р.Ф. Ерёмина, Н.А. Чуян, Г.М. Брескина // Сахарная свекла. – 2010. – №6. – С. 23-26.

63. Ермакова А.Г. Биологическая активность выщелоченного чернозема Зауралья / А.Г. Ермакова, Н.М. Сулимова // Черноземные почвы лесостепи Зауралья. – 1973. – Том 14. – С. 157-164.

64. Еськова А.И. Методы анализов органических удобрений (под общей редакцией А.И. Еськова) – М.: Россельхозакадемия – ГНУ ВНИПТИОУ, 2003. – 552 с.

65. Заболотских В.В. Концептуальные и технологические подходы к восстановлению устойчивости и плодородия почв / В.В. Заболотских // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2014. – Т. 16. – №1-7. – С. 18.

66. Завалин А.А. Влияние минеральных удобрений и биопрепаратов на урожайность и качество зерна синего люпина / А.А. Завалин, П.Н. Калабашкин // Достижения науки и техники АПК. – 2015. – Т. 29. – №10. – С. 19-23.

67. Захарова И.А. Изменение гумусного состояния чернозёмных почв в результате сельскохозяйственного использования / И.А. Захарова, Х.С. Юмашев, И.В. Грехова // АПК России. – 2016. – Т.23. – №4. – С. 785-791.

68. Зеленов А.В. Солома как органическое удобрение при возделывании сорго на зерно в Нижнем Поволжье / А.В. Зеленов, Е.В.

Семинченко, В.В. Тупицина // Научно-агрономический журнал. – 2016. – Т. 1. – №2-1 (99). – С. 6-9.

69. Иваненко А.С. Агроклиматические условия Тюменской области: учебное пособие / А.С. Иваненко, О.А. Кулясова. – Тюмень: ТГСХА, 2008. – 206 с.

70. Иваненко А.С. Оптимально сочетать посевы яровых и озимых зерновых культур в Зауралье / А.С. Иваненко, Н.А. Иваненко // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – №2. – С. 741.

71. Иванов В.Д. Потери элементов питания растений и гумуса от эрозии почв на пашне в Воронежской области / В.Д. Иванов, В.И. Воронин, Е.В. Кузнецова // Агрохимия. – 2001. – №12. – С. 5-12.

72. Иванова Т.И. Численность микроорганизмов и уровни микробиологической активности мерзлотных антропогенно-трансформированных палевых почв Якутии / Т.И. Иванова, Н.П. Кузьмина, А.П. Чевычелов // Почвоведение. – 2008. – №11. – С. 1371-1380.

73. Ивенин В.В. Биологические отходы сельскохозяйственного производства в качестве органического удобрения / В.В. Ивенин, Е.В. Михалёв, А.В. Ивенин // Земледелие. – 2011. – №8. – С. 18-20.

74. Ирмулатов Б.Р. Агроэкологическая оценка влияния мульчи из соломы на агроценоз яровой пшеницы в условиях северо-востока Казахстана / Б.Р. Ирмулатов, А.К. Сарбасов // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2012. – №6. – С. 108-114.

75. Каретин Л.Н. Черноземные и луговые почвы Тобол-Ишимского междуречья / Л.Н. Каретин. – Новосибирск: Наука, 1982. – 296 с.

76. Каретин Л.Н. Почвы Тюменской области / Каретин Л.Н. – Новосибирск: Наука, 1990. – 285 с.

77. Кислов А.В. Способы обработки почвы и посевов яровой мягкой пшеницы в степной зоне Южного Урала / А.В. Кислов, И.В. Васильев, П.А. Анюшкин // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2015. – №3 (53). – С. 25-27.

78. Кленов Б.М. Устойчивость гумуса автоморфных почв Западной Сибири / Б.М. Кленов. – Новосибирск: СО РАН, 2000. – 176 с.

79. Климова Е.В. Эффективность местных ресурсов в биологизации земледелия / Е.В. Климова // Экологическая безопасность в АПК. – 2008. – №4. – С. 960.

80. Коваленко Н.А. Рекомендации по возделыванию основных сельскохозяйственных культур, сохранению и повышению плодородия почв северо-восточной лесостепной зоны республики Башкортостан на основе адаптивно-ландшафтного земледелия: монография / Н.А. Коваленко, Р.Ш. Афзалов, В.Н. Незнанов, И.И. Габитов, М.М. Хайбуллин, И.К. Хабиров, Р.Р. Исмагилов, И.М. Габбасова, Ф.Я. Багаутдинов, Р.А. Акбиров, Р.А. Миндибаев, В.С. Сергеев, Р.Р. Гайфуллин, С.Г. Мударисов, И.Г. Асылбаев, Р.К. Кадиков, З.С. Рахимов; под общ. ред. И.К. Хабиров. – Уфа: Башкирский государственный аграрный университет, 2013. – 217 с.

81. Ковда В.А. Биомасса и гумусовая оболочка суши / В.А. Ковда // Биосфера и ее ресурсы. – 1974. – С. 135-150.

82. Козин В.К. Запас энергии в гумусе как критерий для бонитировки почв // Почвоведение. – 1990. – №3. – С. 153-155.

83. Комаревцева Л.Г. Использование соломы в качестве удобрения на дерново-подзолистых почвах / Л.Г. Комаревцева // Вестник АПК Верхневолжья. – 2008. – №1. – С. 14-18.

84. Комиссаров И.Д. Сравнительная характеристика химической природы и молекулярного строения гумусовых кислот торфов среднего Поволжья / И.Д. Комиссаров, М.П. Сартаков // Аграрный вестник Урала. – 2012. – №11-1 (103). – С. 10-12.

85. Корельская Т.А. Особенности накопления и миграции биофильных элементов в почвах селитебного ландшафта г. Архангельска / Т.А. Корельская, Л.Ф. Попова, Е.Н. Наквасина // Вестник Северного (Арктического) Федерального университета. Серия: Естественные науки. – 2011. – №4. – С. 11-18.

86. Кормильцына О.В. Почвоведение / О.В. Кормильцына, О.В. Мартыненко, В.Н. Кармиков, Е.Д. Сабо, В.В. Бондаренко. – Москва, 2006. – 306 с.

87. Корниасова Н.А. Оценка накопления общего азота, фосфора и калия в различных частях растений овса при инокуляции почвенными микроорганизмами породного отвала / Н.А. Корниасова, О.А. Неверова // Оренбургского государственного аграрного университета. – 2012. – №6 (38). – С. 191-193.

88. Короневский В.И. К методике статистической обработки данных многолетних полевых опытов/ В.И. Короневский // Земледелие. – 1985. – №11. – С. 56-57.

89. Корчагин А.А. Влияние длительного применения систем удобрений на содержание и качество гумуса серых лесных почв Владимирского ополья / А.А. Корчагин, Л.И. Ильин, В.В. Окорков, И.Ю. Винокуров // Достижения науки и техники АПК. – 2013. – №9. – С. 26-28.

90. Котченко С.Г. Динамика плодородия пахотных почв Тюменской области / С.Г. Котченко, А.Я. Воронин // Достижения науки и техники АПК. – 2016. – Т. 30. – №7. – С. 41-43.

91. Кравченко Р.В. Растительные остатки и плодородие почв / Р.В. Кравченко, М.Т. Куприченков // Научный журнал КубГАУ. – 2012. – №79(05). – С. 392-401.

92. Кукишева А.А. Влияние длительного применения органических и минеральных удобрений на микрофлору дерново-подзолистой почвы Томской области / А.А. Кукишева // Вестник Новосибирского государственного аграрного университета. – 2008. – №7. – С. 22-25.

93. Кулаков В.А. Влияние удобрений на продуктивность долголетних пастбищ и плодородие почвы / В.А. Кулаков, М.Ф. Щербаков // Земледелие. – 2011. – №3. – С. 22-24.

94. Куликова А.Х. Последствие органических удобрений на свойства почвы и урожайность яровой пшеницы в Среднем Поволжье / А.Х. Куликова, Г.В. Сайдяшева // Агрохимия. – 2014. – №5. – С. 38-46.

95. Куликова А.Х. Повышение эффективности применения соломы как удобрения при возделывании ячменя / А.Х. Куликова, К.Ч. Хисамова // Аграрный научный журнал. – 2015. – №4. – С. 13-17.

96. Куприченко М.Т. Модель восстановления плодородия эродированных почв / М.Т. Куприченко, Е.А. Менькина // Достижения науки и техники АПК. – 2012. – №7. – С. 8-11.

97. Кутькина Н.В. Изменение основных параметров плодородия чернозёма обыкновенного предгорной степи при разном землепользовании / Н.В. Кутькина, И.Г. Еремина // Достижения науки и техники АПК. – 2013. – №6. – С. 47-50.

98. Лазарев А.П. Скорость разложения послеуборочных остатков полевых культур в чернозёмах за осенне-весенний и годовой период / А.П. Лазарев, Д.Р. Майсямова // Почвоведение. – 2006. – №6. – С. 751-757.

99. Лазарев А.П. Экологические аспекты использования чернозёмов Западной Сибири: монография / А.П. Лазарев, А.А. Ваймер, Л.Н. Скипин. Тюмень, 2014. – 362 с.

100. Лазарев В.И. Разложение пшеничной соломы под влиянием микробиологических препаратов Гуапсин и Трихофит / В.И. Лазарев, А.Я. Айдиев, С.А. Тарасов // Земледелие. – 2014. – №8. – С. 20-22.

101. Ларионова А.А. Влияние температуры и влажности на минерализацию и гумификацию листовного опада в модельном инкубационном эксперименте / А.А. Ларионова, А.Н. Мальцева, В.О. Лопес де Гереню, А.К. Квиткина, С.С. Быховец, Б.Н. Золотарева, В.Н. Кудеяров // Почвоведение. – 2017. – №4. – С. 438-448.

102. Лебедева Т.Б. Использование соломы для улучшения гумусного состояния почв / Т.Б. Лебедева, М.В. Арефьева, А.Н. Арефьев // Нива Поволжья. – 2008. – № 1. – С. 12-16.

103. Лыков А.М. Органическое вещество пахотных почв Нечерноземья / А.М. Лыков, А.И. Еськов, М.Н. Новиков. – М.: Россельхозакадемия. ГНУ ВНИПТИОУ, 2004. – 630 с.

104. Максютков Н.А. Плодородие почв и основные приёмы его сохранения и повышения / Н.А. Максютков, В.М. Жданов // Земледелие. – 2011. – №8. – С. 22-23.

105. Матюк Н.С. Экологические функции гумуса в оптимизации плодородия дерново-подзолистой почвы / Н.С. Матюк, М.А. Мазиров, Г.Д. Гогмачадзе, Д.М. Кашеева // АгроЭкоИнфо. – 2014. – №2. – С.12.

106. Майсямова Д.Р. Влияние соломы на численность микроорганизмов чернозёма обыкновенного при минимальной обработке / Д.Р. Майсямова, А.П. Лазарев // Аграрный вестник Урала. – 2008. – №6. – С. 33-35.

107. Масленко М.И. Продуктивность и качество зерна сортов яровой пшеницы в лесостепной зоне: дисс. ... к.с.-х. наук: 06.01.09 / Масленко Максим Иванович. – Тюмень, 2007. –

108. Масютенко Н.П. Трансформация органического вещества в черноземных почвах ЦЧР и системы его воспроизводства / Н.П. Масютенко. – Москва: Россельхозакадемия, 2012. – 150 с.

109. Мельникова Н.А. Влияние различных способов обработки на биологическую активность почвы при возделывании яровой пшеницы в условиях лесостепи Заволжья / Н.А. Мельникова, Е.Х. Нечаева // Эпоха науки. – 2015. – №4. – С. 125.

110. Мирахмедов Ф.Ш. Влияние удобрения соломой на баланс гумуса в почве и урожайность / Ф.Ш. Мирахмедов, А.Д. Рахимов, Г.Д. Мехмонова, Б.М. Халилова // Современные тенденции развития науки и технологий. – 2016. – №5-1. – С. 71-73.

111. Мингалёв С.К. Солома и сидерат как удобрение и способы их заделки / С.К. Мингалёв // Аграрный вестник Урала. – 2015. – №6 (136). – С. 10-13.

112. Моисеенко А.А. Солома – важнейший источник пополнения почвы органическим веществом / А.А. Моисеенко, Л.А. Негода // В сборнике: Пути повышения ресурсного потенциала сельскохозяйственного производства Дальнего Востока. – 2007. – С. 359-366.

113. Мордалёва Л.Г. Влияние способов основной обработки почвы на целлюлозоразрушающую активность чернозёма выщелоченного в посевах подсолнечника / Л.Г. Мордалёва, А.О. Стрельникова, Р.Ю. Цыбульникова // В сборнике: Энтузиасты аграрной науки. – 2016. – С. 134-137.

114. Надежкин С.Н. Влияние соломы и сидерата на микробиологическую активность почвы и урожайность сельскохозяйственных культур / С.Н. Надежкин, Н.М. Нурмухаметов // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. – 2005. – №6. – С. 3-7.

115. Назаренко О.Г. Использование соломы в качестве удобрения / О.Г. Назаренко, Т.Г. Пашковская, В.И. Продан, Е.А. Чеботникова. – Ростов-на-Дону, 2011. – 11 с.

116. Назарюк В.М. Калийное состояние эродированных почв Западной Сибири / В.М. Назарюк, Т.В. Нечаева // Земледелие. – 2007. – №1. – С. 16-17.

117. Немцев С.Н. Влияние органических удобрений на накопление пожнивно-корневых остатков и урожайность озимой пшеницы / С.Н. Немцов, С.Н. Никитин, А.В. Орлов // Земледелие. – 2011. – №4. – С. 38-39.

118. Никитин В.В. Влияние севооборотов, способов обработки, удобрений на содержание гумуса в почве // В.В. Никитин, С.И. Тютюнов, А.Н. Воронин, В.Д. Соловиченко, Е.В. Навольнева // Земледелие. – 2015. – №7. – С. 26-28.

119. Никитин С.Н. Изменение содержания гумуса в почве за ротацию севооборота при использовании удобрений / С.Н. Никитин // Достижения науки и техники АПК. – 2015. – Т. 29. – №10. – С. 13-15.

120. Никончик П.И. Что даёт заплата соломы. И даёт ли? / П.И. Никончик, А.Ч. Скируха // Земледелие и защита растений. – 2012. – №4 (84). – С. 3-5.

121. Новиков В.М. Комплексное влияние элементов технологии на плодородие почвы и эффективность возделывания гречихи / В.М. Новиков // Зернобобовые и крупяные культуры. – 2015. – №3 (15). – С. 55-60.

122. Новиков С.А. Использование соломы и стоков животноводческих комплексов при возделывании зерновых культур / С.А. Новиков, В.А. Шевченко, А.М. Соловьев, И.П. Фирсов // Плодородие. – 2014. – №5. – С. 32-34.

123. Орлов Д.С. Практикум по химии гумуса / Д.С. Орлов, Л.А. Гришина. – М.: МГУ, 1981. – 287 с.

124. Орлова О.В. Состав и функционирование микробного сообщества при разложении соломы злаковых культур в дерново-подзолистой почве / О.В. Орлова, Е.Е. Андронов, Н.И. Воробьёв, А.Ю. Колодяжный, Ю.П. Москолевская, Н.В. Патыка, О.В. Свиридова // Сельскохозяйственная биология. – 2015. – Том 50. – №3, – С. 305-314.

125. Пегова Н.А. Органическое вещество пахотной дерновоподзолистой легкосуглинистой почвы в зависимости от системы обработки почвы и фона удобрения / Н.А. Пегова // Достижения науки и техники АПК. – 2013. – №9. – С. 22-26.

126. Перфильев Н.В. Система основной обработки и формирование ассоциаций микроорганизмов в тёмно-серой лесной почве / Н.В. Перфильев, О.А. Вьюшина, Д.Р. Майсямова // Достижения науки и техники АПК. – 2015. – Т. 29. – №10. – С. 16-18.

127. Понаморёва В.В. Гумус и почвообразование / В.В. Понаморёва. – М.: Наука, 1980. – 220 с.

128. Пуртова Л.Н. Гумус и энергетические запасы почв природных и антропогенных ландшафтов (Современное состояние и рациональное

использование почв лесных и водо-земельных ресурсов Дальнего Востока России) / Л.Н. Пуртова. – Владивосток: ДВО РАН, 1997. – 234 с.

129. Пуртова Л.Н. Оценка эколого-энергетического состояния почв равнинных территорий Юга Дальнего Востока России / Л.Н. Пуртова. – Владивосток: Дальневосточный университет, 2004. – 59 с.

130. Ренёв Е.П. Продуктивность зернового с занятым паром севооборота при использовании органических удобрений в подтаёжной зоне Тюменской области: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. 06.01.01 / Ренёв Евгений Петрович. – Тюмень, 1999. 23 с.

131. Рзаева В.В. Водный режим почвы и влагообеспеченность сельскохозяйственных культур в зернопаровом и зерновом с занятым паром севооборотах при различных системах обработки почвы / В.В. Рзаева, М.А. Коноплин // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2008. – №4. – С. 11-19.

132. Рзаева В.В. Изменение агрофизических свойств чернозема выщелоченного при длительном использовании различных систем основной обработки и минеральных удобрений в Северном Зауралье / В.В. Рзаева, Д.И. Ерёмин // Вестник Красноярского ГАУ. – 2010. – № 3. – С. 60-66.

133. Рзаева В.В. Динамика плотности сложения и общей порозности чернозёма выщелоченного при длительном сельскохозяйственном использовании в Северном Зауралье / В.В. Рзаева, Д.И. Ерёмин // Аграрный вестник Урала. – 2010. – №4. – С. 62-65.

134. Русакова И.В. Влияние биопрепарата Баркон на процесс гумификации соломы / И.В. Русакова // Агрохимия. – 2011. – №1. – С. 48-55.

135. Русакова И.В. Использование биопрепарата Баркон для инокулирования соломы, применяемой в качестве удобрения / И.В. Русакова, Н.И. Воробьёв // Достижения науки и техники АПК. – 2011. – №8. – С. 25-28.

136. Русакова И.В. Изучение эффективности инокуляции соломы ячменя микробиологическими препаратами / И.В. Русакова, В.В. Московский

// Международный научно-исследовательский журнал. – 2015. – №6-2 (37). – С. 58-61.

137. Русакова И.В. Влияние микробных препаратов и минерального азота на разложение соломы / И.В. Русакова // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2016. – №3-1. – С. 107-111.

138. Русакова И.В. Микробная деградация соломы под влиянием биопрепарата багс и приёмы повышения эффективности его применения на разных типах почв / И.В. Русакова, В.В. Осковский // Агрохимия. – 2016. – №8. – С. 56-61.

139. Савич В.И. Термодинамика, трансформация соединений ионов в почве / В.И. Савич // Итоги науки и техники. Почвоведение и агрохимия. – 1986. – Т. 2. – С. 70-80.

140. Семёнов В.М. Проблема углерода в устойчивом земледелии: агрохимические аспекты / В.М. Семёнов, Т.Н. Лебедева // Агрохимия. – 2015. – №11. – С. 3-12.

141. Семенов В.М. Почвенное органическое вещества / В.М. Семенов, Б.М. Когут. – М.: Геос, 2015. – 233 с.

142. Серая Т.М. Высвобождение элементов питания при заделке соломы в дерново-подзолистые почвы в зависимости от её видового состава и удобрения азотом / Т.М. Серая, Е.Н. Богатырёва, О.М. Бирюкова, Е.Г. Мезенцева // Агрохимия. – 2013. – №3. – С. 52-59.

143. Серая Т.М. Влияние заделки побочной продукции и минеральных удобрений на продуктивность звена севооборота и агрохимические показатели дерново-подзолистой супесчаной почвы / Т.М. Серая, Е.Н. Богатырёва, Т.М. Кирдун, О.М. Бирюкова, Ю.А. Белявская, М.М. Торчило // Агрохимия. – 2015. – №11. – С. 30-36.

144. Скипин Л.Н. Параметры жизнедеятельности клубеньковых бактерий при изменении эдафических факторов / Л.Н. Скипин, В.С. Петухов, Н.В. Перфильев, Н.В. Храмцов // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. – 2014. – №6. – С. 103-108.

145. Скируха А.Ч. Комплексное влияние систем удобрений, использования соломы и пожнивных культур на изменение содержания гумуса в почве зернового севооборота в условиях Беларуси / А.Ч. Скируха / Зерновое хозяйство России. – 2013. – №2. – С. 47-51.

146. Смолин Н.В. Влияние средств химизации и соломы на баланс гумаса в зерновом севообороте на чернозёме выщелоченном / Н.В. Смолин // Агрохимия. – 1998. – №1. – С. 21-27.

147. Сорокин И.Б. Применение соломы зерновых культур на удобрение в Томской области: рекомендации / И.Б. Сорокин, Э.В. Титова, Л.В. Касимова, А.В. Кравец, Н.А. Щедрухина, Н.Н. Терещенко. – Томск: ГНУ СибНИИТ СО РАН, 2004. – 10 с.

148. Сорокин И.Б. Влияние органических удобрений растительного происхождения на свойства серой оподзоленной почвы / И.Б. Сорокин, Э.В. Титова, М.С. Калиниченко // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2007. – №6. – С. 5-11.

149. Сорочкин Ю.П. Сидеральный пар и солома – элементы биологизации земледелия в условиях северо-восточной части ЦЧР / Ю.П. Сорочкин, З.Я. Брюхова // Земледелие. – 2011. – №3. – С. 20-21.

150. Стекольников К.Е. Влияние длительного применения удобрений и мелиоранта на содержание гумуса в чернозёме выщелоченном / К.Е. Стекольников, О.М. Кольцова // Земледелие. – 2012. – №6. – С. 7-10.

151. Суприн С.В. Влияние антропогенных факторов на плодородие почвы, урожайность и качество корнеплодов сахарной свеклы. дис. ... к.с.-х. наук. 06.01.01 / Суприн С.В. – Москва, 2008. – 192 с.

152. Тарасов С.А. Использование микробиологических препаратов для ускорения деструкции соломы / С.А. Тарасов, О.М. Шершнева // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2014. – №6. – С. 41-45.

153. Таркалсов Д.Д. Последствия отчуждения соломы при возделывании пшеницы и ячменя: обзор литературы / Д.Д. Таркалсов, Б. Браун, Г. Кок, Д.Л. Бьорнберг // Питание растений. – 2013. – №2. – С. 2-5.

154. Тихонов В.В. Действие гуминовых кислот на рост бактерий / В.В. Тихонов, А.В. Якушев, Ю.А. Завгородная, Б.А. Бызов, В.В. Демин // Почвоведение. – 2010. – №3. – С. 333-341.

155. Трипольская Л.Н. Гумусное состояние пахотной дерново-подзолистой почвы в условиях применения различных видов зелёных удобрений / Л.Н. Трипольская, Д.К. Романовская, А. Шлепетене // Почвоведение. – 2008. – №8. – С. 997-1005.

156. Трофимов С.Я. Разложение органического вещества органогенных горизонтов лесных почв в лабораторных условиях / С.Я. Трофимов, П. Ботнер, М.М. Куту // Почвоведение. – 1998. – №12. – С. 1480-1488.

157. Турусов В.И. Обработка чернозёмов: опыт и тенденции развития / В.И. Турусов, А.М. Новичихин // Земледелие. – 2012. – №4. – С. 7-9.

158. Турусов В.И. Ферментативная активность чернозёма обыкновенного в различных севооборотах при разных способах обработки почвы / В.И. Турусов, В.М. Гармашов, Т.И. Дьячкова // Агрохимия. – 2012. – №9. – С. 21-25.

159. Тюрин И.В. Органическое вещество почвы и его роль в плодородии / И.В. Тюрин. – Москва. 1965.

160. Унканжинов Г.Д. Баланс биофильных элементов и гумуса на пашне республики Калмыкия / Г.Д. Унканжинов, Л.А. Болдырева // Плодородие. – 2016. – №3(90). – С. 18-19.

161. Фисунов Н.В. Влияние обработки почвы и способа посева на водопотребление озимой пшеницы в Зауралье / Н.В. Фисунов, Д.И. Ерёмин // Земледелие. – 2013. – №3. – С. 24-25.

162. Фурсова А.Ю. Влияния систем удобрения, способов и приёмов обработки чернозёма выщелоченного на химический состав растений озимой

пшеницы / А.Ю. Фурсова, А.Н. Есаулко // Вестник АПК Ставрополя. – 2015. – №2 (18). – С. 182-186.

163. Харченко А.Г. Новый ключ к восстановлению плодородия почвы возвращение к истокам, разложение пожнивных остатков: какой препарат выгоднее / Харченко А.Г. // Вестник МАНЭБ. – 2015. – Том 20. – №2. – С. 90-101.

164. Хобракова Л.Ц. Численность, биомасса и сезонная динамика беспозвоночных животных чиевой степи западного Забайкалья / Л.Ц. Хобраков, И.Н. Лаврентьева, С.Н. Данилов, В.И. Убугунова, Л.Л. Убугунов // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В.Р. Филлипова. – 2010. – №2. – С. 112-122.

165. Чекмарёв П.А. Мониторинг плодородия пахотных почв Центрально-Чернозёмных областей России / П.А. Чекмарёв, С.В. Лукин // Агрохимия. – 2013. – №4. – С. 11-12.

166. Чуян Н.А. Способы и приёмы повышения эффективности растительных остатков как органических удобрений на чернозёмах лесостепи ЦЧЗ / Н.А. Чуян, Р.Ф. Ерёмина // Сборник докладов Всероссийской научно-практической конференции. – 2007. – С. 492-495.

167. Шарков И.Н. Плодородие чернозёма выщелоченного и урожайность яровой пшеницы при многолетнем удалении соломы с поля в лесостепи Западной Сибири / И.Н. Шарков, С.А. Колбин, А.С. Прозоров, Л.М. Самохвалов // Агрохимия. – 2016. – №11. – С. 12-18.

168. Шахова О.А. Особенности минерального питания яровой пшеницы в условиях внедрения ресурсосберегающих технологий в лесостепной зоне Северного Зауралья / О.А. Шахова, Д.И. Ерёмин // Вестник Красноярского ГАУ. – 2007. – №1. – С. 149-152.

169. Шахова О.А. Влияние агрохимикатов на микробиологическую активность чернозёма выщелоченного в Северной лесостепи Тюменской области / О.А. Шахова // Вестник Государственного аграрного университета Северного Зауралья. – 2016. – №2 (33). – С. 102-109.

170. Шафран С.А. Динамика плодородия почв Нечернозёмой зоны и её резервы / С.А. Шафран // Агрохимия. – 2016. – №8. – С. 3-10.

171. Шевелёва О.М. Характеристика крупного рогатого скота французских мясных пород по племенным и продуктивным качествам / О.М. Шевелёва, А.А. Бахарев, Т.П. Криницина // Аграрный вестник Урала. – 2012. – №8 (100). – С. 37-40.

172. Шершнева О.М. Использование микробиологических препаратов для ускорения деструкции соломы / О.М. Шершнева, С.А. Тарасов // Вестник Курской Государственной сельскохозяйственной академии. – 2014. – №6. – С. 41-45.

173. Шимко А.Е. Влияние гуминового препарата ВЮ-Дон на целлюлозную активность и гумусное состояние чернозёма обыкновенного карбонатного при внесении соломы / А.Е. Шимко, О.С. Безуглова, Е.А. Полиенко, О.Ю. Куцерубова // В сборнике: Научное обеспечение Агропромышленного комплекса на современном этапе. Материалы Международной научно практической конференции. – 2015. – С. 195-200.

174. Щербаков А.В. Аэробное целлюлозолитическое сообщество ассоциантов сфагнового мха *Shagnum fallax* как основа в процессах деструкции пожнивных остатков / А.В. Щербаков, И.В. Русакова, О.В. Орлова, Н.И. Воробьёв, О.В. Свиридова, Е.Н. Щербакова, В.К. Чеботарь // Сельскохозяйственная биология. – 2014. – № 1. – С. 54-62.

175. Щербина П. Новые агротехнологии с применением соломенной мульчи – осознанная необходимость / П. Щербина // Защита растений. – 2008. – №5. – С. 1-3.

176. Юскин А.А. Влияние систем земледелия на химический состав соломы зерновых культур / А.А. Юскин, В.И. Макаров // Вестник Ижевской Государственной сельскохозяйственной академии. – 2009. – № 1(18). – С. 76-79.

177. Юшкевич Л.В. Применение соломы и эффективность систем обработки почвы в земледелии Западной Сибири / Л.В. Юшкевич, В.Г. Холмов, В.Л. Ершов, Е.В. Штро // Земледелие. – 2012. – №3 (28). – С. 47-52.

178. Юшкевич Л.В. Применение соломы и эффективность обработки почвы в засушливом земледелии Западной Сибири / Л.В. Юшкевич, В.Л. Ершов // Вестник Омского государственного аграрного университета. – 2013. – №4 (12). – С. 18-22.

179. Abro S. Influence of microbial inoculants on soil response to properties with and without straw under different temperature regimes / S. Abro, X. Tian, D. Youle, Y. Ba, M. Li, F. Wu // African Journal of Microbiology Research. – 2011. – V. 4 (19). – P. 3054-3061.

180. Baldock J.A. Composition and cycling of organic carbon in soil / J.A. Baldock, P. Marschner, Z. Rengel // Nutrient cycling in terrestrial ecosystems. Springer Berlin Heidelberg. – 2007.

181. Bauer J. Temperature response of wheat decomposition is more complex than the common approaches of most multi-pool models / J. Bauer, M.U.F. Kirshbaum, L. Weihermuller, J.A. Huisman, Herbst, M.N. Vereecken // Soil Biol. Biochem. – 2008. – V. 40. – P/ 2780-2786.

182. Baumann K. Residue chemistry and microbial community structure during decomposition of eucalypt, wheat and vetch residues / K. Baumann, P. Marschner, R.J. Smernic, S.A. Baldok // Soil Biol. Biochem. – 2009. – №41 (9). – P. 1966-1975.

183. Coppens F. Soil moisture, carbon and nitrogen dynamics following in incorporation and surface application of labeled crop residues in soil columns / F. Coppens, P. Garnier, S. De Gryze, R. Merckx, S. Recous // European Journal of Soil Science. – 2006. – №57 (6). – P. 894-905.

184. Davidson E.A. Temperature sensitivity of soil carbon decomposition and feedbacks to climate change / E.A. Davidson, I.A. Janssens // Nature. – 2006. – V. 440. – P/ 165-173.

185. Fierer N. Litter quality and the temperature sensitivity of decomposition / N. Fierer, J.M. Craine, K. McLauchlan, J.P. Schimel // *Ecology*. – 2005. – V. 86. – P. 320-326.

186. Gaiind S. Chemical and biological properties of wheat soil in response to paddy straw in corporation and its Biodegradation by fungal inoculants / S. Gaiind, L. Nain // *Biodegradation*. – 2007. – V. 18 (4). – P. 495-503.

187. Lal R. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security / R. Lal // *Science*. – 2004. – V. 304. – P. 1623-1627.

188. Mosley R. The effects of humates on remediation of hydrocarbon and salt contaminated soils / R. Mosley // *Proc. of the 5-th International Petroleum Environmental Cnference, Albuquerque, New Mexico, October 20 th-23 rd.* – 1998.

189. Nicolardot B. A microcosm experiment to evaluate the influence of soil microbial communities / B. Nicolardot, L. Bouziri, F. Bastian, L. Ranjard // *Soil Biol. Biochem.* – 2007. – №39 (7). – P. 1631-1644.

190. Prescott C. Litter decomposition: what controls it and how can we alter it to sequester more carbon in forest soils / C. Prescott // *Biogeochemistry*. – 2010. – V. 101. – P. 133-149.

191. Runge E.A. Soil development sequences and energy models // *Soil Science*. – 1973/ Vol. 115. – №3. – P. 183-193.

192. Wells G.F. Ammoniaoxidizing communities in a higey aerated full-scale activated sludge bioreactor betaproteobacterial dynamics and low relative abundance of Crenarchaea / G.F. Wells, H.D. Park, C.-H. et al. Yeung // *Appl. Environ. Microbiol.* – 2009. – №9. – P. 11.

Приложения

Приложение А

Среднедекадная температура воздуха и количество выпавших осадков за годы исследований, 2013-2016 гг..

Месяцы	Апрель			Май			Июнь			Июль			Август			Сентябрь			Октябрь		
Декады	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
Температура воздуха, °С																					
2013 г.	-	-	-	10,1	10,9	18,3	17,0	23,8	24,2	22,8	21,8	28,8	22,6	22,5	18,1	17,7	12,4	9,8	0,5	4,0	4,5
2014 г.	2,9	9,8	6,9	15,8	10,0	10,2	12,9	16,8	18,3	17,9	12,4	13,5	20,1	18,6	16,4	8,5	11,4	13,2	6,1	2,0	-8,3
2015 г.	8,1	10	10,9	14,3	17,4	19,5	22,2	22,3	27,4	15,9	20,3	21,0	17,6	18,0	12,2	16,3	12,4	13,8	7,0	2,5	2,6
2016 г.	8,7	15,4	12,3	12,4	15,1	21,5	21,2	21,2	21,2	24,0	23,0	23,6	28,7	28,0	22,5	18,7	12,5	14,3	6,6	1,7	-1,0
Средняя многолетняя	-0,5	4	6,3	8,8	10,8	12,2	13,6	16,7	17,5	18,8	18,2	17,8	16,4	15,1	13,4	11,9	9,9	7,3	3,4	1,6	-1,5
Осадки, мм																					
2013 г.	-	-	-	20,3	23,3	18	15,3	9,0	9,8	7,4	98,3	21,0	2,0	26,6	9,0	2,0	0,5	34,1	1,7	18,4	6,9
2014 г.	11,6	0,0	43,3	18,9	6,5	36,0	8,0	9,4	8,1	4,1	78,0	41,0	6,1	14,0	18,0	11,0	11,9	0,3	41,8	36,6	15,4
2015 г.	2,8	4,1	11,5	36,3	6,3	2,7	49,8	8,0	28,0	37,1	25,9	18,1	18,6	9,3	37,7	1,5	15,0	0,5	26,4	12,6	10,2
2016 г.	6,6	4,9	15,1	2,8	1,4	1,6	9,0	30,3	18,4	2,7	67,4	0,4	4,0	4,0	5,8	31,2	30,0	7,4	27,3	7,1	6,0
Среднемноголетние	5,0	8,0	10,0	9,0	15,0	14,0	23,0	20,0	20,0	24,0	29,0	31,0	23,0	17,0	18,0	15,0	13,0	10,0	13,0	11,0	13,0

Алгоритм расчета регрессионного уравнения коэффициента гумификации
запахиваемой соломы

$$\hat{y} = ax^2 + bx + c$$

Исходные данные

Варианты	Контроль	НПК на 3,0 т/га	НПК на 4,0 т/га	НПК на 5,0 т/га	НПК на 6,0 т/га
i	1	2	3	4	5
x_i	0	41	78	152	183
y_i	0,10	0,20	0,20	0,06	0,06

Вспомогательные величины

i	x_i	y_i	x_i^2	x_i^3	x_i^4	$x_i y_i$	$x_i^2 y_i$
1	0	0,10	0	0	0	0,0	0,00
2	41	0,20	1681	68921	2825761	8,2	336,20
3	78	0,20	6084	474552	37015056	15,6	1216,80
4	152	0,06	23104	3511808	533794816	9,12	1386,24
5	183	0,06	33489	6128487	1121513121	10,98	2009,34
Σ	454	0,62	64358	10183768	1695148754	43,9	4948,58

Находим коэффициенты a, b и c

Уравнение квадратичной регрессии $\hat{y} = a * x^2 + b * x + c$

Из системы уравнений следует:

$$a \sum x_i^2 + b \sum x_i + nc = \sum y_i; \quad 64358a + 454b + 5c = 0,62;$$

$$a \sum x_i^3 + b \sum x_i^2 + c \sum x_i = \sum x_i y_i; \quad 10183768a + 64358b + 454c = 43,9$$

$$a \sum x_i^4 + b \sum x_i^3 + c \sum x_i^2 = \sum x_i^2 y_i; \quad 1695148754a + 10183768b + 64358c = 4948,58$$

Решение системных уравнений методом Крамера:

$$\Delta = \begin{vmatrix} 64358 & 454 & 5 \\ 10183768 & 64358 & 454 \\ 1695148754 & 10183768 & 64358 \end{vmatrix} = -6080728587516;$$

$$\Delta a = \begin{vmatrix} 0,62 & 454 & 5 \\ 43,9 & 64358 & 454 \\ 4948,58 & 10183768 & 64358 \end{vmatrix} = 81704803,32 \quad a = \frac{\Delta a}{\Delta} = \frac{81704803,32}{-6080728587516} \approx 0;$$

$$\Delta b = \begin{vmatrix} 64358 & 0,62 & 5 \\ 10183768 & 43,9 & 454 \\ 1695148754 & 4948,58 & 64358 \end{vmatrix} = -12069573450,119995$$

$$b = \frac{\Delta b}{\Delta} = \frac{-12069573450,12}{-6080728587516} \approx 0,001985;$$

$$\Delta c = \begin{array}{ccc} 64358 & 454 & 0,62 \\ 10183768 & 64358 & 43,9 \\ 1695148754 & 10183768 & 4948,58 \end{array} = -709764621994,8125$$

$$c = \frac{\Delta c}{\Delta} = \frac{-709764621994,8125}{-6080728587516} \approx 0,116724;$$

Искомое уравнение квадратичной регрессии имеет вид:

$$\hat{y} = -0,000013 \cdot x^2 + 0,001985x + 0,116724$$

Для оценки значимости и параметров регрессии и корреляции сначала:

– находим у средний: $\bar{y} = \frac{1}{n} \sum y_i = \frac{0,62}{5} = 0,124;$

– составим таблицу вспомогательных величин, где $\varepsilon_i = y_i - \hat{y}_i$, $\Delta \varepsilon_i = \varepsilon_i - \varepsilon_{i-1}$, $A_i = \frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i}$:

i	x_i	y_i	\hat{y}_i	$\hat{y}_i - \bar{y}$	$(\hat{y}_i - \bar{y})^2$	ε_i	ε_i^2	A_i	$\Delta \varepsilon_i$	$(\Delta \varepsilon_i)^2$
1	0	0,10	0,116724	-0,024	0,000576	-0,016724	0,00028	0,167236	–	–
2	41	0,20	0,175517	0,076	0,005776	0,024483	0,000599	0,122415	0,041207	0,001698
3	78	0,20	0,189796	0,076	0,005776	0,010204	0,000104	0,051019	-0,014279	0,000204
4	152	0,06	0,107986	-0,064	0,004096	-0,47986	0,002303	0,799762	-0,05819	0,003386
5	183	0,06	0,029977	-0,064	0,004096	0,030023	0,000901	0,500377	0,078008	0,006085
Σ	–	–	–	–	–	–	0,004187	1,640809	–	0,011373

Индекс корреляции:

$$R = \sqrt{1 - \frac{\sum (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum (y_i - \bar{y})^2}} = \sqrt{1 - \frac{0,004187}{0,02032}} \approx 0,891031;$$

Индекс детерминации:

$$R^2 = 0,891031^2 \approx 0,793937;$$

Средняя ошибка аппроксимации:

$$\bar{A} = \frac{1}{n} \sum \frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i} * 100\% = \frac{1,640809}{5} * 100\% \approx 32,816182\%.$$

F-критерии Фишера:

– критический (табличный) $F_{\text{tabl}} = F(\alpha; k_1; k_2) = F(0,05; 2; 2) \approx 19;$

– фактический $F_{\text{fakt}} = \frac{R^2}{1-R^2} * \frac{k_2}{k_1} = \frac{0,793937}{1-0,793937} * \frac{2}{2} \approx 3,852884;$

Так как $k_1 = m = 2$, $k_2 = n - m - 1 = 5 - 2 - 1 = 2$ и $\alpha = 0,05$,

Где m – это число параметров при переменных уравнениях регрессии.

Критерии Дарбина-Уотсона

– критические (табличные) $d_L =$, $d_U =$

– фактический $d = \frac{\sum (\varepsilon_i - \varepsilon_{i-1})^2}{\sum \varepsilon_i^2} = \frac{0,011373}{0,004187} \approx 2,716182.$

Алгоритм расчета регрессионного уравнения

$$\hat{y} = ax^2 + bx + c$$

Исходные данные

Варианты	Контроль	НПК на 3,0 т/га	НПК на 4,0 т/га	НПК на 5,0 т/га	НПК на 6,0 т/га
i	1	2	3	4	5
x_i	0	41	78	152	183
y_i	0,7	0,9	1,1	1,1	1,0

Вспомогательные величины

i	x_i	y_i	x_i^2	x_i^3	x_i^4	$x_i y_i$	$x_i^2 y_i$
1	0	0,7	0	0	0	0,0	0,00
2	41	0,9	1681	68921	2825761	36,9	1512,9
3	78	1,1	6084	474552	37015056	85,8	6692,4
4	152	1,1	23104	3511808	533794816	167,2	25414,4
5	183	1,0	33489	6128487	1121513121	183,0	33489,0
Σ	454	4,8	64358	10183768	1695148754	472,9	67108,7

Находим коэффициенты а, b и с

Уравнение квадратичной регрессии $\hat{y} = a * x^2 + b * x + c$

Из системы уравнений следует:

$$a \sum x_i^2 + b \sum x_i + nc = \sum y_i; \quad 64358a + 454b + 5c = 4,8;$$

$$a \sum x_i^3 + b \sum x_i^2 + c \sum x_i = \sum x_i y_i; \quad 10183768a + 64358b + 454c = 472,9$$

$$a \sum x_i^4 + b \sum x_i^3 + c \sum x_i^2 = \sum x_i^2 y_i; \quad 1695148754a + 10183768b + 64358c = 67108,7$$

Решение системных уравнений методом Крамера:

$$\Delta = \begin{vmatrix} 64358 & 454 & 5 \\ 10183768 & 64358 & 454 \\ 1695148754 & 10183768 & 64358 \end{vmatrix} = -6080728587516;$$

$$\Delta a = \begin{vmatrix} 4,8 & 454 & 5 \\ 472,9 & 64358 & 454 \\ 67108,7 & 10183768 & 64358 \end{vmatrix} = 188247050,999992$$

$$a = \frac{\Delta a}{\Delta} = \frac{188247050,999992}{-6080728587516} \approx -0,000031;$$

$$\Delta b = \begin{vmatrix} 64358 & 4,8 & 5 \\ 10183768 & 472,9 & 454 \\ 1695148754 & 67108,7 & 64358 \end{vmatrix} = -45055742812,201164$$

$$b = \frac{\Delta b}{\Delta} = \frac{-45055742812,201164}{-6080728587516} \approx 0,00741;$$

$$\Delta c = \begin{array}{ccc} 64358 & 454 & 4,8 \\ 10183768 & 64358 & 472,9 \\ 1695148754 & 10183768 & 67108,7 \end{array} = -4169478738319$$

$$c = \frac{\Delta c}{\Delta} = \frac{-4169478738319}{-6080728587516} \approx 0,685687;$$

Искомое уравнение квадратичной регрессии имеет вид:

$$\hat{y} = -0,000031 \cdot x^2 + 0,00741 + 0,685687$$

Для оценки значимости и параметров регрессии и корреляции сначала:

– находим у средний: $\bar{y} = \frac{1}{n} \sum y_i = \frac{4,8}{5} = 0,96;$

– составим таблицу вспомогательных величин, где $\varepsilon_i = y_i - \hat{y}_i$, $\Delta \varepsilon_i = \varepsilon_i - \varepsilon_{i-1}$, $A_i = \frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i}$:

i	x_i	y_i	\hat{y}_i	$\hat{y}_i - \bar{y}$	$(\hat{y}_i - \bar{y})^2$	ε_i	ε_i^2	A_i	$\Delta \varepsilon_i$	$(\Delta \varepsilon_i)^2$
1	0	0,10	0,116724	-0,024	0,000576	-0,016724	0,00028	0,167236	–	–
2	41	0,20	0,175517	0,076	0,005776	0,024483	0,000599	0,122415	0,041207	0,001698
3	78	0,20	0,189796	0,076	0,005776	0,010204	0,000104	0,051019	-0,014279	0,000204
4	152	0,06	0,107986	-0,064	0,004096	-0,47986	0,002303	0,799762	-0,05819	0,003386
5	183	0,06	0,029977	-0,064	0,004096	0,030023	0,000901	0,500377	0,078008	0,006085
Σ	–	–	–	–		–	0,004187	1,640809	–	0,011373

Индекс корреляции:

$$R = \sqrt{1 - \frac{\sum (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum (y_i - \bar{y})^2}} = \sqrt{1 - \frac{0,002252}{0,112}} \approx 0,989894;$$

Индекс детерминации:

$$R^2 = 0,989894^2 \approx 0,979891;$$

Средняя ошибка аппроксимации:

$$\bar{A} = \frac{1}{n} \sum \frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i} * 100\% = \frac{0,092411}{5} * 100\% \approx 1,848225\%.$$

F-критерии Фишера:

– критический (табличный) $F_{\text{tabl}} = F(\alpha; k_1; k_2) = F(0,05; 2; 2) \approx 19;$

– фактический $F_{\text{fakt}} = \frac{R^2}{1-R^2} * \frac{k_2}{k_1} = \frac{0,979891}{1-0,979891} * \frac{2}{2} \approx 48,728908;$

Так как $k_1 = m = 2$, $k_2 = n - m - 1 = 5 - 2 - 1 = 2$ и $\alpha = 0,05$,

Где m – это число параметров при переменных уравнениях регрессии.

Критерии Дарбина-Уотсона

– критические (табличные) $d_L =, d_U =$

– фактический $d = \frac{\sum (\varepsilon_i - \varepsilon_{i-1})^2}{\sum \varepsilon_i^2} = \frac{0,007067}{0,002252} \approx 3,137706.$

Приложение Г

Содержание азота в соломе, расположенной на вариантах с различным
уровнем минерального питания, %, 2014 г

Варианты (фактор А)	Глубина заделки, см	Исходное	Период экспозиции (фактор В)				
			I	II	III	IV	V
Контроль	На поверхности	0,69	0,65	0,62	0,33	0,30	0,27
	10	0,59	0,52	0,42	0,57	0,60	0,95
	20	0,69	0,45	0,48	0,53	0,65	0,51
	30	0,69	0,74	0,84	0,72	0,68	0,50
NPK на 3,0 т/га	На поверхности	0,69	0,62	0,62	0,35	0,28	0,28
	10	0,59	0,59	0,46	0,54	0,71	0,77
	20	0,69	0,52	0,80	0,48	0,27	0,74
	30	0,69	0,70	0,90	0,69	0,64	0,61
NPK на 4,0 т/га	На поверхности	0,52	0,50	0,48	0,28	0,40	0,30
	10	0,42	0,40	0,29	0,40	0,57	0,61
	20	0,52	0,47	0,65	0,39	0,68	1,00
	30	0,52	0,77	0,95	0,67	0,65	0,88
NPK на 5,0 т/га	На поверхности	0,99	0,58	0,41	0,20	0,20	0,20
	10	0,89	0,90	0,84	1,25	1,34	1,56
	20	0,99	0,82	0,88	0,34	0,84	1,05
	30	0,99	0,64	0,54	0,42	0,84	1,12
NPK на 6,0 т/га	На поверхности	1,26	0,70	0,55	0,20	0,20	0,20
	10	1,26	1,04	0,75	1,03	1,42	1,64
	20	1,26	1,04	0,76	1,07	1,18	1,25
	30	1,26	0,75	0,76	0,47	1,02	1,21

Период экспозиции: I – сентябрь-октябрь; II – сентябрь- май; III – сентябрь-июнь; IV – сентябрь-июль; V – сентябрь-сентябрь
HCP₀₅ по фактору A=0,06; HCP₀₅ по фактору B=0,03; HCP₀₅ по взаимодействию AB=0,08

Варианты (фактор А)	Глубина заделки, см	Исходное содержание	Периоды экспозиций (фактор В)				
			I	II	III	IV	V
Контроль	На поверхности	0,86	0,78	0,77	0,41	0,30	0,27
	10	0,86	0,68	0,77	0,76	1,22	0,74
	20	0,86	0,43	0,36	0,66	0,81	0,63
	30	0,86	0,73	0,9	0,68	0,56	0,68
NPK на 3,0 т/га	На поверхности	1,35	1,12	1,10	0,60	0,51	0,31
	10	1,35	0,50	0,72	0,61	0,57	0,49
	20	1,35	0,81	0,78	0,93	0,52	0,54
	30	1,35	0,89	0,53	0,74	0,77	0,6
NPK на 4,0 т/га	На поверхности	0,96	0,90	0,92	0,51	0,34	0,28
	10	0,96	0,69	1,07	0,57	0,63	0,56
	20	0,96	0,66	0,44	0,72	1,26	0,36
	30	0,96	0,86	0,27	0,36	0,76	0,41
NPK на 5,0 т/га	На поверхности	1,61	0,90	0,65	0,48	0,30	0,24
	10	1,61	1,01	1,09	0,67	1,13	0,89
	20	1,61	1,12	0,69	0,55	1,37	0,85
	30	1,61	1,07	1,51	1,18	0,81	0,78
NPK на 6,0 т/га	На поверхности	1,35	0,74	0,61	0,51	0,21	0,21
	10	1,35	1,24	0,67	0,81	1,05	0,84
	20	1,35	1,83	1,00	1,34	1,26	1,34
	30	1,35	1,24	1,13	0,92	1,38	0,89
Период экспозиции: I – сентябрь-октябрь; II – сентябрь- май; III – сентябрь-июнь; IV – сентябрь-июль; V – сентябрь-сентябрь HCP ₀₅ по фактору A=0,04; HCP ₀₅ по фактору B=0,06; HCP ₀₅ по взаимодействию AB=0,08							

АКТ

внедрения результатов законченных научных исследований

1. Наименование внедрённого мероприятия: *«Запашка измельчённой соломы».*

2. Каким научно-исследовательским учреждением (высшим учебным заведением) мероприятие предложено к внедрению: *Федеральное государственное бюджетное общеобразовательное учреждение высшего образования «Государственный аграрный университет Северного Зауралья», Агротехнологический институт, кафедра почвоведения и агрохимии.*

3. Кем принято решение о внедрении мероприятия: *Е.Е. Тащлановой, главным агрономом ООО «Сибиря» и Н.В. Абрамовым, зав. кафедрой почвоведения и агрохимии, А.А. Ахтямовой, соискателем кафедры почвоведения и агрохимии в октябре 2016 г.*

4. Наименование хозяйства и его адрес, где произведено внедрение: *ООО «Сибиря» Тюменская область, Голышмановский район, д. Боровлянка, ул. 60 лет Октября 8.*

5. Год и объём внедрения (по плану и фактический): *мероприятие было внедрено в 2017 г. на площади 3080 га.*

6. Экономический эффект от внедрения *составил 1250 руб./га.*

7. Акт составлен *«15» октября 2017 г.*

8. Ответственные за внедрение: *Е.Е. Тащланова, гл. агроном ООО «Сибиря»*

Генеральный директор предприятия:

Астафьев
Ф.И.О.

