

Федеральное государственное образовательное учреждение
высшего образования «Ульяновский государственный аграрный университет
имени П.А. Столыпина»

На правах рукописи

Антонова Светлана Александровна

**ОПТИМИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ УДОБРЕНИЯ ПРОСА
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СОЛОМЫ НА ЧЕРНОЗЁМЕ ТИПИЧНОМ
В УСЛОВИЯХ ЛЕСОСТЕПИ СРЕДНЕГО ПОВОЛЖЬЯ**

Специальность 06.01.04. – Агрохимия

диссертация на соискание ученой степени
кандидата сельскохозяйственных наук

Научный руководитель:
доктор сельскохозяйственных наук,
профессор Куликова А.Х.

Ульяновск – 2018

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
1 Солома в системе удобрения культур (обзор литературных сведений).....	9
1.1 Удобрительная ценность соломы и особенности ее применения	9
1.2 Удобрение проса	18
2 Условия и методика проведения исследований	27
2.1 Почвенно-климатическая характеристика опытного поля	27
2.1.1 Агроклиматические условия лесостепи Среднего Поволжья	27
2.1.2 Характеристика почвенного покрова.....	31
2.2 Схема опыта и ее обоснование	33
2.3 Технология возделывания проса	34
2.4 Методики наблюдений, учетов и анализов.....	35
3 Влияние систем удобрения на свойства чернозёма типичного и состояние посевов проса	38
3.1 Плотность почвы	38
3.2 Содержание продуктивной влаги.....	43
3.3 Микробиологическая активность почвы	47
3.4 Ферментативная активность почвы	52
3.5 Агрохимические показатели.....	62
3.5.1 Содержание минерального азота	64
3.5.2 Содержание доступного фосфора в почве.....	74
3.5.3 Содержание доступного калия.....	82
4 Влияние соломы на фотосинтетическую деятельность посевов проса	89
4.1 Ассимиляционная поверхность листьев	89
4.2 Динамика накопления сухого вещества.....	94
4.3 Чистая продуктивность фотосинтеза	100
5 Урожайность и качество продукции проса при использовании соломы на удобрение.....	105
5.1 Урожайность проса	105
5.2 Структура урожая.....	110

5.3 Влияние удобрений на общий вынос питательных веществ с урожаем ...	113
5.4 Экологическая оценка зерна проса	117
6 Баланс элементов питания при возделывании проса в чернозёме типичном .	120
6.1 Баланс азота.....	120
6.2 Баланс фосфора	125
6.3 Баланс калия	127
7 Экономическая оценка технологий возделывания проса при использовании соломы, биопрепарата и минеральных удобрений.....	131
Заключение	134
Предложение производству.....	137
Список используемой литературы	138
Приложения	168

Введение

Актуальность проблемы. Просо по вкусовым качествам и пищевым достоинствам занимает одно из первых мест среди крупяных культур и, не случайно, площади его посевов составляют в нашей стране 1 млн. га, в том числе Ульяновской области более 2 тыс. га и продолжают расширяться. Однако урожайность культуры далека от своих потенциальных возможностей и в среднем не превышает 1,0 т/га, в связи с чем, её повышение и получение продукции высокого качества в условиях снижающегося плодородия почв возможно только на основе применения научно-обоснованной системы удобрения в конкретных почвенно-климатических условиях. При этом особую актуальность приобретает изучение эффективности применения соломы в технологии возделывания проса, которое хорошо отзывается на внесение органических удобрений. Солома на 85 % состоит из органического вещества, ценного для повышения плодородия почвы. Целлюлоза, пентозаны, гемицеллюлоза и лигнин (до 80 %) являются углеродистым энергетическим материалом для почвенных микроорганизмов. Кроме того, длительное разложение соломы в почве не загрязняет её высокими концентрациями нитратного азота, что целесообразно с экологической точки зрения. В отличие от других органических удобрений, солома своё положительное действие проявляет не сразу. Одним из способов ускорить разложение её в почве и увеличить высвобождение элементов питания в доступной для растений форме является использование совместно с соломой препаратов, активизирующих деятельность почвенных микроорганизмов. Однако любое перспективное направление требует научного обоснования. В связи с этим представленная диссертационная работа посвящена изучению влияния соломы, биопрепарата и минеральных удобрений (NPK) на плодородие чернозёма типичного и продуктивность проса в условиях лесостепи Среднего Поволжья.

Исследования являются составной частью плана научной работы ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный аграрный университет им. П.А. Столыпина» (рег. № АААА–А16–116.041.110.183–9).

Цель и задачи исследования. Целью исследования являлось изучение эффективности систем удобрения проса с использованием соломы на чернозёме типичном в условиях лесостепи Среднего Поволжья.

Задачи исследования:

- установить влияние соломы, минеральных удобрений и биопрепарата Байкал ЭМ-1 и их сочетаний на свойства чернозёма типичного (плотность почвы, содержание продуктивной влаги, агрохимические показатели, микробиологическая и ферментативная активность);
- изучить влияние соломы, биопрепарата, минеральных удобрений и их сочетаний на формирование посевов проса;
- оценить влияние соломы, элементов питания (в том числе дополнительной дозы азота к соломе) и биопрепарата Байкал ЭМ-1 на формирование урожайности и качества продукции проса;
- определить баланс элементов питания в чернозёме типичном при использовании в технологии возделывания проса соломы, биопрепарата и минеральных удобрений;
- дать экологическую и экономическую оценку технологии возделывания проса с использованием соломы, дополнительной дозы азота, биопрепарата Байкал ЭМ-1 и минеральных удобрений.

Научная новизна. Впервые в условиях лесостепи Среднего Поволжья проведены комплексные исследования по изучению эффективности применения соломы совместно с дополнительной дозой азота, биопрепаратом Байкал ЭМ-1 и их сочетаний с минеральными удобрениями в технологии возделывания проса. Установлено, что использование соломы совместно с азотной добавкой и биопрепаратом Байкал ЭМ-1 способствует активизации жизнедеятельности почвенной микрофлоры и улучшению обеспеченности растений элементами питания. Внесение их на фоне минеральных удобрений ($N_{129}P_{34}K_{54}$) положительно отражается на урожайности и качестве зерна проса. Экономически обоснована эффективность их применения в технологии возделывания проса.

Защищаемые положения:

– применение соломы в качестве удобрения, биопрепарата Байкал ЭМ-1 и азотной добавки к соломе (10 кг/т соломы) способствует улучшению агрофизического состояния почвы, её водного и питательного режимов. При этом содержание доступных форм элементов питания ко времени посева культуры увеличивалось: азота до 14 мг/кг, фосфора до 30 мг/кг, калия до 54 мг/кг;

– при поступлении в почву соломы, азотной добавки, биопрепарата Байкал ЭМ-1 на фоне минеральных удобрений происходит интенсивный прирост надземной биомассы проса, которая была выше контроля на 1,8 т/га, продуктивность фотосинтеза (ЧПФ) в 1,6 раз;

– урожайность проса при использовании соломы совместно с биопрепаратом Байкал ЭМ-1 и дополнительным азотом (10 кг N на 1 т соломы озимой пшеницы) составила 2,97 т/га превысив контроль на 12 %, на фоне минеральных удобрений – 3,87 т/га (на 46 %);

– применение соломы предшественника, биопрепарата Байкал ЭМ-1 и азотной добавки в дозе 10 кг N/т соломы в технологии возделывания проса экономически эффективно.

Достоверность полученных результатов подтверждается большим количеством экспериментального материала, проведением полевых опытов и лабораторных анализов в строгом соответствии с методическими требованиями и ГОСТами, математической обработкой данных и положительными результатами при использовании данной системы удобрения в хозяйствах Ульяновской области.

Практическая значимость и реализация результатов исследований. Полученные результаты исследований позволяют рекомендовать использование соломы зерновых культур совместно с биопрепаратом Байкал ЭМ-1 в технологии возделывания проса на чернозёме типичном лесостепи Среднего Поволжья.

Применение соломы в сочетании с биопрепаратом способствует увеличению урожайности проса на 9 %, на фоне $N_{129}P_{34}K_{54}$ – 41 % при более низких экономических затратах. Результаты исследований применяются в

ООО «Приволжское» Старомайнского района на площади 180 га и рекомендованы для использования в хозяйствах Ульяновской области и других регионах Среднего Поволжья, а также в учебном процессе ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ им. П.А. Столыпина при преподавании дисциплин: агрохимия, использование нетрадиционных ресурсов в качестве удобрения сельскохозяйственных культур, системы удобрения.

Личный вклад соискателя. Соискателем совместно с научным руководителем разработана программа исследований, лично проведены полевые и лабораторные эксперименты, сделаны анализ и обобщение полученных результатов, а так же выводы и рекомендации производству. Вклад соискателя в диссертационную работу составляет более 85 %.

Апробация работы и публикации. Основные результаты исследований по теме диссертации докладывались и обсуждались на внутривузовских научных конференциях Ульяновского ГАУ им. П.А. Столыпина, на Международной научно-практической конференции «Микроэлементы и регуляторы роста в питании растений: теоретические и практические аспекты» (Ульяновск, 2014 г.); на IV Международной научно-практической конференции «Молодежь и наука XXI века» (Ульяновск, 2014 г.); на молодежной межрегиональной научно-практической конференции «Экологические проблемы и пути их решения: естественнонаучные и социокультурные аспекты» (Нижний Новгород, 2014 г.); на Международной научно-практической конференции «Экологическое образование для устойчивого развития: теория и педагогическая реальность» (Нижний Новгород, 2015 г.); на Всероссийской научно-практической конференции, посвящённой 75-летию со дня рождения доктора сельскохозяйственных наук, профессора, заслуженного агронома РФ К.И. Карповича (Ульяновск, 2016 г.); на Международной научно-практической конференции «Агрохимикаты в XXI веке: теория и практика применения» (Нижний Новгород, 2017 г.).

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 9 работ, в том числе 2 статьи в изданиях, рекомендованных ВАК РФ.

Структура и объем диссертации. Диссертация изложена на 167 страницах компьютерного текста, состоит из введения, 7 глав, выводов и предложений производству, включает 20 таблиц, 23 рисунка, 11 таблиц в приложении. Библиографический список включает 261 источников использованной литературы, в том числе 22 – иностранных авторов.

Благодарности. Автор выражает искреннюю признательность и благодарность научному руководителю, доктору с.-х. наук, профессору Куликовой Алевтине Христофоровне за всестороннюю поддержку и помощь при выполнении работы; кандидату с.-х. наук, доценту Яшину Е.А. и всему коллективу кафедры почвоведения, агрохимии и агроэкологии.

1 Солома в системе удобрения культур (обзор литературных сведений)

1.1 Удобрительная ценность соломы и особенности ее применения

В современных условиях развитие сельского хозяйства невозможно без продуманной деятельности человека, которая очень важна в системе экологических факторов, обеспечивающих развитие почвенного плодородия и повышения эффективности почв.

В процессе использования почвенного покрова в сельскохозяйственном производстве происходит нарушение естественного хода почвообразования, что сопровождается снижением ежегодного поступления массы растительного опада. Данный факт характеризует причины уменьшения количества и мощности плодородного слоя сельскохозяйственных угодий.

Изучая проблему восстановления плодородия почвы, Н.А. Чуян, О.Г. Чуян, Г.М. Брескина (2013) подчеркивают его взаимосвязь с оптимизацией агрофизических свойств корнеобитаемого слоя. Комплексное применение соломы и полного минерального удобрения увеличивает содержание агрономически ценной фракции агрегатов (до 75–80 %), а также водоустойчивость структуры пахотного слоя черноземных почв, способствуя улучшению его строения. Использование соломы в качестве органического удобрения способствует уменьшению объемной массы и увеличению количества водопрочных агрегатов, коэффициенту структурности, снижению эродируемой фракции почвы.

Формирование благоприятных физических свойств пахотного слоя обязано соломе, оказывающей разрыхляющее действие, улучшая тем самым воздушный режим почвы (Колупаева Я.А., 2004).

Являясь органическим веществом, побочная продукция в процессе разложения выделяет тепло, улучшая тепловые свойства почвы; обогащает приземный слой воздуха углекислым газом, используемым растением в процессе фотосинтеза (Зеленев А.В., Семинченко Е.В., Тупицина В.В., 2016).

Наиболее целесообразно возвращать солому непосредственно в почву в качестве удобрения и энергетического материала для развития процессов почвообразования. Как установлено многими исследователями, 1 т соломы эквивалентна 3 т подстилочного навоза и систематическое её использование на фоне минимализации основной обработки почвы направлено на стабилизацию содержания гумуса в почве (Колсанов Г.В., 2005; Чекалин С.Г, Фартушина М.М., 2014).

Другим из признанных приёмов улучшения состояния почв является использование в севооборотах и в качестве сидератов бобовых трав. Занимаясь вопросами перехода сельскохозяйственных производителей от традиционной системы земледелия на биологическую основу, которая включает в себя не только ослабление антропогенной нагрузки на агроэкосистему, но и обеспечивает максимум условий для полноценного использования её собственного биопотенциала, ученые Н.М. Мудрых, И.А. Самофалова (2017) говорят о том, что основным источником стабилизации содержания гумуса в почве является солома зерновых культур, а источником его расширенного воспроизводства – посеvy многолетних трав на выводном поле севооборота.

В зависимости от климатических и почвенных условий биологический выход нетоварной части урожая зерновых культур значительно варьирует в зависимости от вида, сорта и урожайности культуры: от 1,0–1,5 до 6–7 т/га. Выход соломы в среднем учитывается по показателям произведенного урожая зерна на соответствующий коэффициент, который для озимой ржи равен 1,6–2,0; яровой пшеницы и овса – 1,3–1,5, ячменя – 1,2. На полях сельскохозяйственных предприятий ежегодно накапливается 400–500 тыс. тонн соломы (Хисамова К.Ч., Яшин Е.А., Куликова А.Х., 2016).

В опытах, проведенных С.Н. Надежкиным, Н.М. Нурмухаметовым (2005), установлено, что химический состав соломы характерен высоким содержанием безазотистых веществ, низким – азота и минеральными элементами. В среднем в сухом веществе соломы злаковых культур содержится 0,5 % азота, 0,25 –

фосфора, 0,8 – калия и 35–40 % углерода. Имеется также некоторое количество кальция, магния, серы и микроэлементов (бор, медь, молибден, цинк, кобальт).

При изучении влияния минеральных удобрений и известкования на химический состав сельскохозяйственных культур Ю.Н. Трубников (2011) отмечает влияние удобрений на варианте NPK по 90 кг/га на концентрацию азота в соломе пшеницы при увеличении их дозы с 0,79 до 0,98 % и фосфора до 0,37 %, тогда как его содержание на контрольном варианте находилось на уровне 0,18 %. Концентрация азота в соломе льна-долгунца возрастала с 0,58 до 0,68 %, фосфора – с 0,18 до 0,26 %.

В соломе до 90 % массы составляет клетчатка, пронизанная лигнином, который не растворим даже в крепких кислотах (Привалова Е.А., 2010; Ghaffar S.H., Fan M., 2013).

По заключению Р.М. Нуртдинова и др. (2011) солома трудно разлагается. Последнее обусловлено строением клетчатки – многочленного полимера глюкозы, скрученного в фибриллу (веревку), покрытой воском и пектином, которые снижают скорость разложения соломы в сотни раз.

К положительным качествам соломы относится высокое содержание органического вещества, созданного непосредственно на месте потребления (Чекмарев П.А., Обущенко С.В., Троц Н.М., 2013).

Возделывание и запашка нетоварных частей урожая зерновых на удобрение позволяет компенсировать часть традиционных органических удобрений. В процессе разработки системы использования соломы в качестве органического удобрения по сравнению с навозом по данным Г.В. Колсанова, А.Х. Куликовой и др. (2010) побочная продукция является более экологически чистой, в 3,4 раза больше содержит органического вещества и имеет затраты на внесение в почву ниже до 7 раз.

Ценность соломы, как удобрения, обусловлена, прежде всего, высоким содержанием моно- и полисахаридов, декстрина, белков, лигнина, подвергающимся при поступлении в почву микробиологической трансформации. При этом органические вещества соломы становятся участниками всех этапов

процесса гумификации и служат основой для формирования различных гумусовых веществ (Русакова И.В., Воробьев Н.И., 2011).

Перспективы использования соломенного субстрата при выращивании вешенки обыкновенной в зимне-весенний период в условиях защищённого грунта были отмечены С.А. Вдовенко (2013), использующий солому пшеничную, ячменную и гороховую. Анализ урожайности вешенки обыкновенной определил перспективность использования соломы гороховой, способствующей увеличению общей урожайности гриба I-й волны плодоношения до 3,4 кг/м², а II-й волны – до 1,1–1,2 кг/м².

По мнению А.В. Дедова, Т.А. Кузнецовой, М.А. Несмеяновой (2014) в соломе зернобобовых культур азота содержится в 2–3 раза больше, чем у злаковых, что благоприятно для питания микроорганизмов.

В.В. Лапа (2008) рекомендует на дерново-подзолистых почвах, преобладающих в Республике Беларусь, внесение азотных удобрений в дозе 10 – 15 кг азота на 1 тонну соломы для повышения её эффективности. К лучшим удобрениям, по мнению ученого, относятся аммиачная селитра, сульфат аммония, КАС-30.

Запашка одной тонны соломы в сочетании с минеральным азотом по своему действию равноценна 3,5–4,0 т/га соломистого навоза (Lou Yunsheng, Yang Yua, 1994; Максименко О.Д., 2006).

В естественных условиях большая часть органических веществ соломы минерализуется до конечных продуктов, в частности до углекислого газа (СО₂) и воды (Н₂О). Установлено, что только 10–20 % побочной продукции преобразуется в гумус, что замедляет процесс его накопления в почве (Волошин Е.И., 2008).

Согласно Н.А. Воронковой, Н.Ф. Балабановой (2013), растительные остатки нетоварной части урожая минерализуются и гумифицируются непосредственно при участии почвенной биоты.

Почвенные микроорганизмы являются главными агентами, активно расщепляющими нерастворимую минеральную часть почвы (мусковиты, апатиты, слюды, фосфориты и трифосфаты), переводя фосфор и калий в форму, легко

усваиваемую растениями вблизи от корневой системы, что улучшает минеральный режим питания (Varinderpal-Singh, N.S. Dhillon, B.S., 2006; Шайхутдинов Ф.Ш. и др., 2013).

При изучении вопросов сохранения плодородия сельскохозяйственных угодий П.А. Постников (2011) подчеркивает важную роль высокой биологической активности почвы. Наиболее интенсивное разложение льняной ткани автор отметил в зернопаросидеральном севообороте, при заашке сидератов и соломы.

Применение соломы пшеницы, обработанной различными способами, влияет на численность физиологических групп микроорганизмов в почвоподобном субстрате при выращивании культуры редиса. При минерализации соломы пшеницы физико-химическим способом по методу Ю.А. Куденко и Р.А. Павленко (Сысоева О.В. и др., 2013) было отмечено увеличение количества бактерий, усваивающих минеральный азот и целлюлозоразлагающих бактерий. Одновременно О.В. Сысоева и коллеги (2013) зафиксировали уменьшение количества аммонифицирующих, денитрифицирующих, фитопатогенных микроорганизмов и бактерий-анаэробов в почвоподобном субстрате по сравнению с вариантами с применением сухой пшеничной соломы без обработки и замоченной соломы, выдержанной в термостате при температуре 50 °С. Ученые также отмечают положительный эффект от применения минерализованной пшеничной соломы в связи с прибавкой массы корнеплодов редиса.

Совместное применение соломы и минеральных удобрений способствовало увеличению активности азотфиксации в почве, что подтверждает современное представление о положительном их влиянии (исследуемых компонентов) на микробиологическую активность пахотного слоя (Привало К.И. и др., 2012; Зеленев А.В., Семинченко Е.В., Тупицина В.В., 2016).

В первый год использования соломы в качестве органического удобрения ухудшается пищевой режим культурных растений в результате биологического закрепления минерального азота в плазме размножающихся микроорганизмов (Колсанов Г.В., 2005; Брескина Г.М. и др., 2009; Матюк Н.С. и др., 2013).

Затрудняет деструкцию соломы микроорганизмами широкое соотношение в соломе C/N, которое, по мнению Томских ученых, достигает 100 : 1. По исследованиям И.Б. Сорокина и др. (2004) благоприятное соотношение для активного размножения целлюлозолитической микрофлоры C/N – 10-20 : 1.

Ряд авторов предлагает применение микробиологических препаратов, влияющих на степень разложения пшеничной соломы. В опытах С.А. Тарасова, О.М. Шершневой (2014) обработку проводили препаратами Гуапсин, Трихофит, Азолен. Гуапсин представляет собой водную суспензию бактерий *Pseudomonas aurefaciens* со штаммами В-111 и В-306, продукты их метаболизма и стартовые дозы НРК. Трихофит – микробиологический препарат, изготавливаемый на основе грибов рода *Trichoderma lignorum* и водной суспензии бактерии *Pseudomonas aurefaciens* (штамм В-111). Азолен – жидкое микробиологическое удобрение – концентрат свободноживущих азотфиксирующих почвенных бактерий *Azotobacter vinelandii* ИБ 4. Ученые отмечают высокую целлюлозоразлагающую активность бактериального препарата Гуапсин в условиях пониженной влагообеспеченности, что положительно отразилось на результатах деструкции соломы. При проведении процедуры обработки в пасмурные дни или в поздние вечерние часы складывались оптимальные условия для повышения биогенности почвы и ускорения степени разложения соломы. Наибольшая соломоразлагающая эффективность препарата Трихофит проявлялся в условиях достаточной влагообеспеченности почвы.

Наблюдения А.Б. Тиранова, Л.В. Тирановой (2011) подтверждают данные о влиянии количества выпавших осадков и температурного режима на микробиологическую активность почвы.

Имеются работы, в которых показана эффективность препарата эффективных микроорганизмов «Байкал ЭМ-1». По многолетним данным Н.Д. Кумсковой, Д.Ю. Гарашук (2011) он способен улучшать структуру и микробиологическую активность деградированных почв.

В Среднем Поволжье действие данного препарата на посевах ячменя изучали К.Ч. Хисамова, Е.А. Яшин, А.Х. Куликова, используя его для повышения

скорости разложения соломы яровой пшеницы. Применение биологического препарата Байкал ЭМ-1 совместно с соломой способствовало увеличению площади листьев растений ячменя в 1,1–1,3 раза относительно контроля, что положительно отразилось на продуктивности возделываемой культуры. Авторы, используя в своих исследованиях солому с биопрепаратом, отмечают положительные тенденции развития процессов активизации почвенной микрофлоры, способствующей переводу макроэлементов в прикорневой зоне в доступную для растений форму, что улучшает их рост на начальных и последующих этапах развития (Хисамова К.Ч., Яшин Е.А., Куликова А.Х., 2016).

В процессе изучения влияния биопрепаратов Микофил, Мизорин и Агрофил на урожайность и качество зерна яровой пшеницы сорта Землячка, Н.И. Крончевым, С.Н. Сергатенко, М.В. Валяйкиной (2011) отмечены изменения в микронаселении почвы в связи с увеличением численности азотобактера, аммонифицирующих бактерий, симбиотических почвенных грибов, анаэробных азотфиксаторов и олигонитрофилов. Особый интерес авторы проявили к бактериальному удобрению Агрофил, агробактерии которого способны растворять труднодоступные для растений минеральные соединения почвы (фосфаты), выделять ростстимулирующие вещества (природные аналоги ауксинов и гетероауксинов) и витамины, тем самым ускоряя созревание урожая, повышая содержание аммиачного и нитратного азота в почве.

Применение различных бактериальных удобрений является дополнительным резервом питания растений азотом и фосфором (Завалин А.А., 2011).

В процессе изучения влияния ЭМ-удобрений на посевах раннего картофеля в зоне Центрального Черноземья, ряд ученых, в частности В.А. Семькин, Э.В. Засорина, М.В. Стародубцева (2012), пришли к выводу о рентабельности биологических средств в целях повышения урожайности.

К негативным свойствам соломы относят ее ингибирующее действие, проявляющееся в задержке развития культуры, под которую она вносилась в качестве удобрения (Русакова И.В., Воробьев Н.И., 2011), что связано с

выделением токсических веществ при её разложении (Стейнфорт А.Р., 1983), увеличение засоренности полей (Зеленев А.В., Иванцова Е.А., 2011).

Как отмечает С.В. Авраменко (2015), химический состав побочной продукции содержит ряд производных фенола, которые осуществляют токсическое воздействие на растения, проявляющееся в задержке роста корней, нарушении обмена веществ, хлорозе. В процессе разложения соломы формируется ряд органических кислот, в частности муравьиная, уксусная, молочная, масляная, щавелевая, янтарная, валериановая, также отрицательно влияющих на развитие корневой системы возделываемых культур. На образование вредных соединений влияют условия, в которых происходит разложение нетоварной части урожая. В анаэробных условиях накапливается наибольшее количество негативно влияющих веществ, в аэробных – токсические соединения разлагаются намного быстрее.

Одним из важных факторов эффективного использования биопрепаратов, в частности «Байкал ЭМ-1» – ускорение процесса минерализации соломы, без таких дискомфортных явлений, как неприятный гнилостный запах. По данным В.И. Голова, Я.О. Тимофеевой (2005) скорость разложения соломы возрастает в 1,5–2 раза, по сравнению с естественным процессом компостирования.

Эффективным приемом устранения фитотоксичности соломы является инокулирование соломы биопрепаратом Баркон, что способствует регулированию состава и численности микробного комплекса, конструированию почвенных фитомикробных систем в направлении ускорения разложения фитомассы, обеспечении воспроизводства почвенного плодородия, высокой и устойчивой продуктивности растений при минимальных ресурсо- и энергозатратах (Русакова И.В., Воробьев Н.И., 2011).

Использование гумата калия в дозе 1,2 л/га ускоряет разложение соломы и снижает накопление токсичных веществ (Лапа В.В., 2008)

В условиях Оренбургской области для сокращения потерь большого количества влаги используют соломенную мульчу на поле, где возделывали яровую пшеницу. Полученные результаты Ф.Г. Бакирова, А.В. Коряковского

(2012) подтвердили предположения о том, что препарат Байкал ЭМ-1 снижает аллелопатическое действие соломы. При этом мульча оказывала положительное влияние на сохранность и выживаемость растений выращиваемой культуры, по сравнению с вариантами без мульчи и без препарата: по мелкому рыхлению – на 5,6 %, по нулевому фону – на 6,3 %, а по сравнению с вариантами с мульчей на 9,3 и 9,0 % соответственно.

Однако ряд исследователей, изучая процессы деструкции соломы, придерживаются другого мнения, говоря об образующихся физиологически активных веществах в малых концентрациях, способных положительно влиять на рост и развитие растений. Низкомолекулярные углеводы, сформированные в период деструкции целлюлозы, являются наиболее выгодным в энергетическом плане субстратом для азотобактера (Сорокин И.Б. и др., 2004).

Для обеспечения положительного баланса гумуса в почве необходимо регулярно вносить органические удобрения, являющиеся основным источником пополнения запасов органического вещества и элементов питания (Назаров В.А., 2008; Куприченков М.Т., Менькина Е.А., 2012).

При низком исходном уровне плодородия почвы процессы разложения поступающих растительных остатков направлены в сторону гумификации (Назаров В.А., 2005; Pohl M., Mumme J., Neeg K., 2012; Балаев А.Д., Гаврилюк М.В., Недбаев В.Н., 2015).

Результаты производственного опыта, проведенного М.Т. Куприченковым по использованию соломы на удобрение на южном черноземе показали, что при запашке соломы зерновых колосовых культур произошло повышение содержания гумуса с 3,55 до 4,07 %. Улучшая плодородие почвы, были созданы благоприятные условия для получения урожая зерна кукурузы, сборы которого превысили контрольный вариант на 5 – 8 ц/га (Плаксина А.В., 2010).

По многолетним данным Г.М. Брескиной, Н.А. Чуян, Р.Ф. Ереминой (2009), при разных способах возделывания культур (бессменно и в севооборотах различной специализации), использование пожнивного сидерата совместно с соломой при длительном использовании усиливает процессы гумосонакопления.

Положительную роль при использовании соломы в качестве удобрения в обогащении дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы элементами питания и повышении содержания гумуса отмечает Л.Г. Комаревцева (2008). Автор отмечает благоприятное действие нетоварной части озимой ржи в сочетании с навозом на снижение количества тяжёлых металлов на полях картофеля, льна, капусты в условиях Ярославской области по сравнению с вариантами внесения одних минеральных удобрений. Известкование почвы способствовало большей эффективности вносимых минеральных удобрений на фоне соломы и получению экологически безазотной продукции.

Таким образом, использование соломы зерновых культур в качестве органического удобрения представляет широкий интерес среди российских и зарубежных ученых. Профессиональный подход к внедрению нетоварной части урожая на удобрение будет способствовать снижению интенсивности минерализации органического вещества и изменять направленность биохимических процессов его трансформации в сторону гумусонакопления, что обеспечит повышение почвенного плодородия и эффективности почв.

1.2 Удобрение проса

Просо обыкновенное еще в древние времена имело широкое распространение в Азии и Европе, начиная от берегов Тихого океана до Бискайского залива. Первобытные родовые племена, проживавшие на данной территории, возделывали мицзы (Китай), *meline* (Греция), *miliun* (латинское), *uni*, *vrihibheda*, *anus* (санскритское), просо (древнеславянское) (Клыков В.В., 2012).

Наиболее древнее возделывание проса обыкновенного отмечается в Китае за 2700 лет до н. э. при императоре Шень-нуне. В Индии и Пакистане с древних времен в культуре известны сорго (джовар), пеннисетум (баджра), коракан (раги), просо южное (кутки), щетинистое и обыкновенное. В странах Африки с давних времен получили распространение тропические виды просовых растений: сорго, пеннисетум, копакан и тэфф (Стрижова Ф.М. и др., 2006).

Просо обыкновенное было обнаружено в слоях неолитической эпохи на территории Швейцарии, Италии, Венгрии, Австрии, Румынии, Германии, Польши, Дании. Находки проса обыкновенного были также обнаружены в слоях железного века на территории Чехии (Rajput S.G., Santra D.K., Schnable J., 2016).

Во Франции в археологических раскопках встречается просо щетинистое. В США просо обыкновенное было завезено русскими переселенцами и имеет небольшое распространение (Nabiyaremye C., Matanguihan J.B., Murphy K.M. и др., 2017).

В России с древних времен в культуре были известны 2 вида проса: *Panicum miliaceum* L. и *Setaria italica* (L.). Первый из них всегда был наиболее распространенным, особенно в засушливых степных районах страны, второй – в древности культивировался на территории Армении и Грузии (Uradhyaya H.D., Sharma S., Gowda C.L. и др., 2011).

Просо является теплолюбивым растением, в связи с чем, посев семян культуры в Ульяновской области производят во второй половине мая при устойчивых температурах 18–20 °С (Колмаков Ю.В., Зелова Л.А., Игнатьева Е.Ю. и др., 2014).

Пониженная требовательность проса к влаге проявляется уже в начале развития растений. Для прорастания проса требуется воды в количестве 25 % от массы семян, в то время как для семян кукурузы её требуется 45 %, пшеницы – 55 %, ячменя – 48 %, овса – 65 % (Reed R.I., Sanderson M.A., 1994; Чекалин С.Г., 2012).

По мнению И.Г. Цыганкова, В.И. Цыганкова, М.Ю. Цыганковой (2006) просо в севооборотах необходимо размещать по наиболее влагообеспеченным предшественникам.

Культура хорошо развивается при поздних сроках сева, в связи с чем зерно сеют в условиях Среднего Поволжья во второй половине мая. При таких сроках посева просо полностью обеспечивается теплом, влагой, хорошо усваивает осадки второй половины лета (Доценко П.В., 2009).

Одним из главных недостатков проса является то, что оно среди всех возделываемых культур сильнее угнетается сорняками и поэтому нуждается в подборе хороших предшественников (Коконов С.И., Дюкин Р.Ф., 2013).

Просо произрастает на самых различных землях, в частности на черноземах, каштановых, подзолистых, солонцеватых, солонцовых и луго-болотных почвах. Растение предпочитает хорошо аэрируемые, структурные, с содержанием легко растворимых питательных веществ участки (Голопятов М.Т., Костикова Н.О., 2007).

Эффективность возделывания проса в засушливых условиях Поволжья можно значительно повысить путем более глубокой адаптации посевов к рельефу и погодным условиям, а также благодаря применению удобрений (Беспалова Н.С., Жабин М.А., 2007).

В условиях Саратовской области наиболее экономически выгодным является применение соломы в комплексе с минеральными удобрениями. Уровень рентабельности при этом составил в сухие годы до 36 %, а во влажные до 138 %. Прибавка урожая проса в варианте с соломой и азотным удобрением ниже, чем при внесении минеральных удобрений, но на 0,6–1,5 и 1,2–2,1 ц/га выше, чем от последствий 60 и 40 т навоза соответственно (Медведев И.Ф., Михайлин Н.В., Брель С.В. и др., 2012).

Просо хорошо отзывается на внесение азотных и серных удобрений. В условиях опытного поля Оренбургского государственного аграрного университета применение азота в норме N_{30} и N_{60} обеспечило прибавку урожая 3,6 ц/га. Однако на фоне N_{90} прибавка урожая снизилась до 1,7 ц/га. На варианте с использованием серы в норме 30 кг/га была получена максимальная прибавка урожая 5,5 ц/га. При увеличении нормы S_{60} и S_{90} прибавка зерна уменьшилась до 5,0–5,1 ц/га (Кравченко В.Н., Тукабаева А.И., 2011).

Внесение азотных удобрений и двукратное опрыскивание посевов проса Саратовское 10 раствором гумата калия-натрия с микроэлементами позволило К.В. Корсакову, Н.И. Стрижкову, В.В. Пронько (2013) получить прибавку урожая 5,0 ц/га.

В процессе вегетации просо нуждается в разном количестве питательных веществ: до фазы кущения культура употребляет минимальное их количество, причем более всего азота, затем в убывающем порядке калия и фосфора. В период стеблевания, вымётывания метёлок и цветения растение употребляет наибольшее количество питательных веществ, кроме фосфора, максимальное потребление которого падает на налив зерна.

Просо обеспечивает наибольшую урожайность при внесении удобрений под предшествующие культуры севооборота (Елисеев В.И., Макарова О.Г., Суровцева И.С. и др., 2015). Наибольшему ее повышению в условиях Оренбургской области способствует доза $N_{40}P_{60}K_{20}$. Совместное внесение азота и фосфора в дозе $N_{40}P_{60}$ обеспечивает прибавку урожайности проса 4,8 ц с 1 га.

Вынос азота, фосфора, калия из почвы растениями проса зависит от фона питания и уровня урожайности. По данным В.И. Елисеева (2016) наибольшая величина выноса питательных веществ из почвы в краткосрочных опытах составляла: азота 70,8; фосфора 27,6; калия 103,1 кг на 1 га, в стационарном опыте: азота 39,0; фосфора 19,3; калия 52,9 кг на 1 га.

Азот является решающим фактором формирования урожая и основой удобрений. Он входит в состав таких важных органических веществ как белки, нуклеопротеиды, хлорофилл, алкалоиды, фосфатиды. Важнейшую роль в обмене веществ в растительных организмах играют нуклеиновые кислоты, являющиеся носителями наследственной информации. Азот входит в состав ферментов, катализирующих жизненно важные процессы, происходящие в растительных организмах (Набиев А.А. и др., 2017).

Условия азотного питания оказывают большое влияние на рост и развитие растений; особенно сильно сказывается недостаток азота на развитие листьев, содержание хлорофилла и интенсивность фотосинтеза, а также ухудшается формирование и развитие репродуктивных органов, и налив зерна (Кононов А.С., Шкотова О.Н., 2012).

По мнению Д.Н. Прянишникова усвояемый азот почвы является на земле главным ограничивающим фактором жизни (Ермохин Ю.И., 2008).

Содержание азота в почвах зависит от содержания органического вещества. Как правило, чем выше содержание гумуса, тем больше в почве количество N (Нестерова Л.Б., Брыкина И.Г., 2004).

При недостаточном азотном питании образуются фитоценозы с недостаточной оптической плотностью, неполно поглощающие приходящий свет, а в ряде случаев и со сниженной активностью фотосинтетического аппарата (Кононов А.С., 2009).

Недостаток азотного питания в фазы «трубкование – вымётывание метёлки» отрицательно сказывается на дальнейшем росте проса, проявляющегося в формировании тонких и слабо ветвящихся стеблях, преждевременно желтеющих листьях, что влечет за собой торможение процесса образования и развития репродуктивных органов, а также созревание зерна (Полторецкий С.П., 2014).

В фазу «налив – созревание зерна» снижается потребность проса в азоте. Повышенное обеспечение культуры азотным питанием в данный период усиливает развитие вегетативной массы, что тормозит формирование генеративных частей и задерживает созревание зерна (Брунори А., Корренти А., Фарнети А. и др., 2012).

Азотные минеральные удобрения заметно ускоряют темпы роста и нарастания зеленой массы (Кальяскарова А.Е., 2012).

При сбалансированном азотном питании повышается уровень содержания белка в зерне проса, что положительно сказывается на качестве урожая (Жданов В.М., Скороходов В.Ю., Кафтан Ю.В. и др., 2014).

В начальный период развития просо особенно чувствительно к недостатку фосфора. До 60 % его расходуется во время разрастания вегетативной массы и формирования метёлки. Наибольшее количество фосфора усваивается в последний период вегетации, когда формируется зерно и в нем накапливается белок (протеин), в состав которого входит фосфор. Таким образом, фосфорное питание необходимо в течение всего развития культуры (Посыпанов Г.С., Долгодворов В.Е., Жеруков Б.Х. и др., 2007; Zemnukhova L.A., Panasenko A.E., Fedorishcheva G.A., Maiorov V.Y., 2014).

Просо в условиях Оренбургской области при засухе в большей степени отзывалось на одностороннее внесение фосфора, прибавки урожая зерна от которого составляли 6–45 % в зависимости от доз, с наилучшими показателями на фоне P_{90} (Ряховский А.В., Варавва В.Н., 2007).

Между дозами фосфорных удобрений и содержанием доступного фосфора в почве существует прямая пропорциональная зависимость. При этом фосфорные удобрения, внесенные в сочетании с азотными, также повышают концентрацию доступного фосфора в почве (Белоголовцев В.П., Имашев И.Г., 2016).

Фосфорное питание на светло-каштановой почве Саратовского Заволжья способствовало не только увеличению урожая проса, но и изменению его химического состава (Имашев И.Г., Белоголовцев В.П., 2014).

Наибольшая потребность в фосфоре отмечена Ефимовой Н.Н., Марущак А.Н. (2014) в период налива зерна (восковая спелость), причем наиболее активные процессы наблюдались на варианте $N_{90}P_{60}$ (0,39 мг/100 г почвы или 6,3 кг/га). На вариантах без внесения удобрений распределение запасов фосфора по фазам вегетации было практически равномерным, с незначительной разницей в 1–2 кг/га.

Калий относится к числу важнейших в питании растений химических элементов. Вынос его с урожаем всегда больше, чем фосфора, а часто и азота (Лукин С.В., Васенев И.И., Цыгуткин А.С., 2010).

Значение калия в функционировании антропогенных и естественных экосистем показано в ряде работ (Минеев В.Г., 1999; Прокошев В.В., Дерюгин И.П., 2000; Якименко В.Н., 2003; Середина В.П., 2013).

Отмечается роль калия в повышении продуктивности культур и качества продукции, усилении эффекта от других средств химизации, улучшении фитосанитарного состояния агроэкосистем, снижении поступления радионуклидов в растения (Якименко В.Н., Малюга А.А., 2014).

При калийном голодании в значительной степени замедляется рост растений, желтеют, буреют и отмирают края нижних листьев. В первую очередь страдают старые листовые пластины, которые становятся куполообразными,

волнистыми, с краевым подпалом (Абдукаримов А.Г., Турсынбаев Н.А., Калымбекова Г.Т., 2015).

При полноценном и своевременном калийном питании просо легче переносит кратковременные засухи, в связи с более усиленной способностью удерживать воду (Максютов Н.А., Жданов В.М., 2016).

Калий способствует увеличению размеров метёлки, количеству зерен и повышению продуктивности. Наиболее положительный результат в условия лесостепи был получен при внесении калийных удобрений в дозе 60 кг/га д.в., что обеспечило получение зерна в количестве 1073 штук, его массы – 8,2 г и формирование большого числа веточек второго порядка – 86,8 штук. Увеличение дозы до 90 кг/га д.в. способствовали росту только линейных элементов архитектоники и ветвлению метёлки без увеличения числа и массы зёрен.

Удобрение в дозе K_{60} на фоне N_{60} способствует формированию хорошо разветвленной метелки проса (15,5 и 79,0 шт. веточек I и II порядка), с достаточно большим количеством зерен (987 шт.) и их массой (7,4 г) и на 2,2 % увеличенную массу 1000 зерен, которая составила 7,4 г против фона N_{60} (Глиева О.В., 2015).

Калийные удобрения способствуют повышению уровня аминокислот на 8,3 % к контролю без удобрений (Сороко В.И., Пироговская Г.В., Маркевич Д.В., 2011).

В процессе применения удобрений наибольший эффект получался при внесении их прямо в рядки перед посевом или в междурядья при широкорядном способе посева. На 3–5 % с 1 га повышают урожайность проса фосфорные удобрения, на 3–7 % азотные и фосфорные, а на 5–10 % полные удобрения (Сенникова А.Е., Кандауров Ю.И., 2016).

Следует также отметить, что просо хорошо отзывается на последствие навоза и зелёного удобрения (Максютов Н.А., Жданов В.М., 2016).

В процессе вегетационного периода просо нуждается в подкормке. Минеральные удобрения рекомендуют вносить перед выметыванием метелки (Сенникова А.Е., Кандауров Ю.И., 2016).

Последствие органических удобрений приводит к увеличению содержания суммы критических аминокислот на 1,24 г/кг зерна, или 21,8 % (Сороко В.И., Пироговская Г.В., Маркевич Д.В., 2011).

Внесение органических (навоз) и органо-минеральных (солома + азот) удобрений дает небольшую прибавку урожая проса. При этом прибавка урожая проса в варианте с соломой и азотным удобрением была ниже, чем при внесении минеральных удобрений, но на 1,5 и 2,1 ц/га выше, чем от последствия 60 и 40 т навоза соответственно. Наиболее экономически выгодным оказалось использование соломы в комплексе с минеральными удобрениями на склоновых черноземах Поволжья (Медведев И.Ф., Михайлин Н.В., Брель С.В. и др., 2012).

По мнению Сергеевой И.И. (2007) всё большую актуальность приобретает использование экологически безопасных микробиологических препаратов, получаемых путем симбиотической или ассоциативной азотфиксации, позволяющих уменьшить себестоимость продукции при одновременном увеличении урожайности с условием сохранения плодородия почвы и окружающей среды.

В опыте Е.В. Агафонова, В.В. Клыкова (2013) использовались бактериальные препараты с ассоциативными микроорганизмами – Азоризин 6 и Азоризин 8, изготовленные во Всероссийском институте сельскохозяйственной микробиологии. Среди бактериальных препаратов наиболее эффективным во все годы был препарат со штаммом азотфиксирующих микроорганизмов Азоризин 6. При обработке семян данным препаратом урожайность проса повышалась в среднем за 2010–2012 гг. на 12,7 %. Несколько меньшее влияние на урожайность оказали бактерии штамма Азоризин 8.

На дерново-подзолистой супесчаной почве, расположенной на экспериментальной базе им. Суворова Узденского района Минской области, изучали влияние минеральных и органических удобрений в сочетании с регулятором роста «феномелан» и регулятором роста растений «гидрогумат» на урожайность и качество проса Галинка и Белорусское. Учёные Сороко В.И., Пироговская Г.В., Маркевич Д.В. (2011) зафиксировали снижение негативного

действия погодных условий и увеличение урожайности проса на 3,8 ц/га при одновременном улучшении качества зерна при использовании комплексных удобрений с регулятором роста «феномелан».

Применение карбамида с регулятором роста растений «гидрогумат» при возделывании проса в первой ротации севооборота при органо-минеральной системе удобрения обеспечило повышение урожая зерна на 1,7–1,4 ц/га, содержание протеина на 0,2–0,4 %. При этом сумма критических и незаменимых аминокислот в зерне повышалась на 0,18 и 0,30–0,61 г/кг.

Под влиянием азота, фосфора и калия значительно изменялось анатомическое строение листа: почти в 2 раза увеличивалась палисадная паренхима, что обуславливало повышение фотосинтетической деятельности растения (Бельченко С.А., Мальцев В.Ф., Сорокин А.Е., 2007).

Таким образом, по отношению к почвенному плодородию просо требует относительно больших запасов в почве легко усвояемых растениями питательных веществ. При этом применение удобрений приводит к улучшению структуры и плотности фитоценозов и активности фотосинтезирующего аппарата, что определяет быстрый рост фотосинтетической продуктивности и урожая культуры.

Анализ литературных сведений показал, что исследования по применению соломы в качестве органического удобрения на посевах проса остаются актуальными в связи с малоизученностью вопроса, которое имеет важное народно-хозяйственное значение.

В условиях Ульяновской области вопросы использования соломы и биопрепаратов на удобрение проса и внедрения их в производство практически не изучены, что и определило направление наших исследований.

2 Условия и методика проведения исследований

2.1 Почвенно-климатическая характеристика опытного поля

2.1.1 Агроклиматические условия лесостепи Среднего Поволжья

С агроклиматическими условиями связаны условия роста и развития сельскохозяйственных культур, характер мелиоративных и агротехнических мероприятий.

Ульяновская область расположена в Среднем Поволжье между $52^{\circ}30'$ – $54^{\circ}53'$ северной широты и $45^{\circ}55'$ – $55^{\circ}15'$ восточной долготы по Гринвичу. Климат лесостепной зоны умеренно-континентальный, проявляющийся в резких колебаниях температуры и относительной влажности воздуха, неравномерным распределении осадков в течение года, наличии выраженных засушливо-суховейных явлениях. Местности свойственна высокая облачность, преобладающая на протяжении 256 дней. По данным Приволжской гидрометеорологической службы среднегодовая температура воздуха составляет $+4^{\circ}\text{C}$ при средней температуре самого теплого месяца (июль) $+20,3^{\circ}\text{C}$ и самого холодного месяца (январь) $-14,3^{\circ}\text{C}$. Продолжительность безморозного периода составляет 130 – 150 дней, периода со среднесуточной температурой воздуха $+10^{\circ}\text{C}$ и более – 142 дня. Сумма среднесуточных температур выше 10°C составляет 2360 – 2420 $^{\circ}\text{C}$ (Немцев С.Н., Галиакберов А.Г., Шарипова Р.Б., 2010).

Первые заморозки отмечаются 19 сентября, а средняя дата последнего – 14 мая. Продолжительность периода с устойчивым снежным покровом 138 – 140 дней. Средняя высота снежного покрова: в декабре – 12 – 15 см, в феврале – 30 – 39 см. Устойчивое промерзание почвы отмечается в конце первой – второй декадах ноября, а полное оттаивание – в конце второй и третьей декадах апреля. Глубина промерзания почвы составляет: средняя – 90 – 95 см, наибольшая – 140 – 142 см.

Среднегодовое количество осадков составляет 380 – 520 мм. Интенсивность

осадков по месяцам теплого периода крайне неравномерна. За период с температурами выше 10 °С осадков выпадает меньше 225 мм, в том числе в мае и июне – 80 – 90 мм, но в отдельные засушливые годы меньше 30 мм. Гидротермический коэффициент равен 0,95.

Большое влияние на формирование урожая сельскохозяйственных культур оказывают длительные бездождевые периоды, отсутствие влаги в почве (почвенная засуха), а также атмосферная засуха, обусловленная недостатком влаги в атмосфере, которые очень интенсивными бывают в два года из пяти, а средней интенсивности – практически ежегодно. Число дней в апреле – августе с суховеями средней интенсивности достигает 11,2, с интенсивными – 2,8 и очень интенсивными – 0,5 (Шарипова Р.Б., 2002).

Учёт погодных условий в течение года имеет важное значение для возделываемой культуры. Рост и развитие сельскохозяйственных растений, их продуктивность находятся в прямой зависимости от количества выпавших осадков, их распределения за время вегетации посевов, температуры воздуха, срока и скорости прогревания почвы, суммы положительных температур. При этом проведенные мероприятия в зависимости от метеорологических условий могут не только не дать эффекта, но и оказать в отдельных случаях отрицательное влияние на продуктивность возделываемых культур. Отрицательное влияние на развитие растений оказывает возвращение холодов после теплых периодов в весеннее время. Температура может падать до –4 – –5 °С. Заморозки в основном заканчиваются во второй декаде мая, но в отдельные годы возможны и в первой декаде июня. Первый заморозок осенью в среднем наблюдается в третьей декаде сентября, но в отдельные годы возможен в первой декаде сентября (Салахова Р.Х., Функ Г.В., Шарипова Р.Б., 2013).

Климатических условия Ульяновской области вполне благоприятны для возделывания проса, так как необходимая для него сумма эффективных температур составляет 1850–2200 °С при средней по области 2360–2420 °С.

Влияние микробиологических препаратов на физиологические процессы и на продуктивность проса, в конечном итоге, также зависит от метеоусловий, при

которых они применяются, так как деятельность микроорганизмов тесно связана с изменениями, происходящими в окружающей среде. Однако почва, являясь многофазной, полидисперсной системой, создает даже в экстремальных ситуациях относительно нормальные условия для жизнедеятельности как анаэробных, так и аэробных микроорганизмов.

Погодные условия за годы проведения полевых опытов отличались по температурному режиму, количеству выпавших атмосферных осадков, характеру их распределения в течение вегетации культуры.

Оценка климатических показателей проведена на основе наблюдений метеостанции международного аэропорта «Ульяновск–Восточный», находящейся в непосредственной близости от опытного участка (рисунок 1, приложение 1,2,3).

Вегетационный период 2014 года характеризовался повышенным температурным режимом и недостаточным количеством осадков, в частности, в мае в период посева выпало 18 мм, что составляет 46 % от многолетнего уровня. Среднемесячная температура мая превышала норму на 4,2 °С. В фазу кущение – трубкование количество осадков составило 47 мм, что ниже нормы на 25 %. Период цветения выдался засушливым, так как в июле выпало 5 мм осадков, что на 95 % ниже многолетнего уровня. В конце вегетации отмечалось повышение температуры на 1,9 °С и увеличение количества осадков. Осадков за май – август выпало 118,2 мм (норма 189).

В 2015 году условия увлажнения и температурный режим сложились благоприятно для роста и развития проса. В фазу посев – кущение количество осадков составило 29 мм (74 % от нормы), в фазу трубкование – цветение количество осадков составило 119 мм, что в 2 раза выше многолетних данных. В мае повышение температуры воздуха составило 2,3 °С, в июне – повышение температуры воздуха составило 2,9 °С, в июле и августе – температура воздуха практически соответствовала многолетним данным.

Вегетационный период 2016 г. характеризовался большим количеством осадков и повышенной облачностью. На момент посева осадков выпало 71 мм (182 %), что на 32 мм больше многолетнего значения.

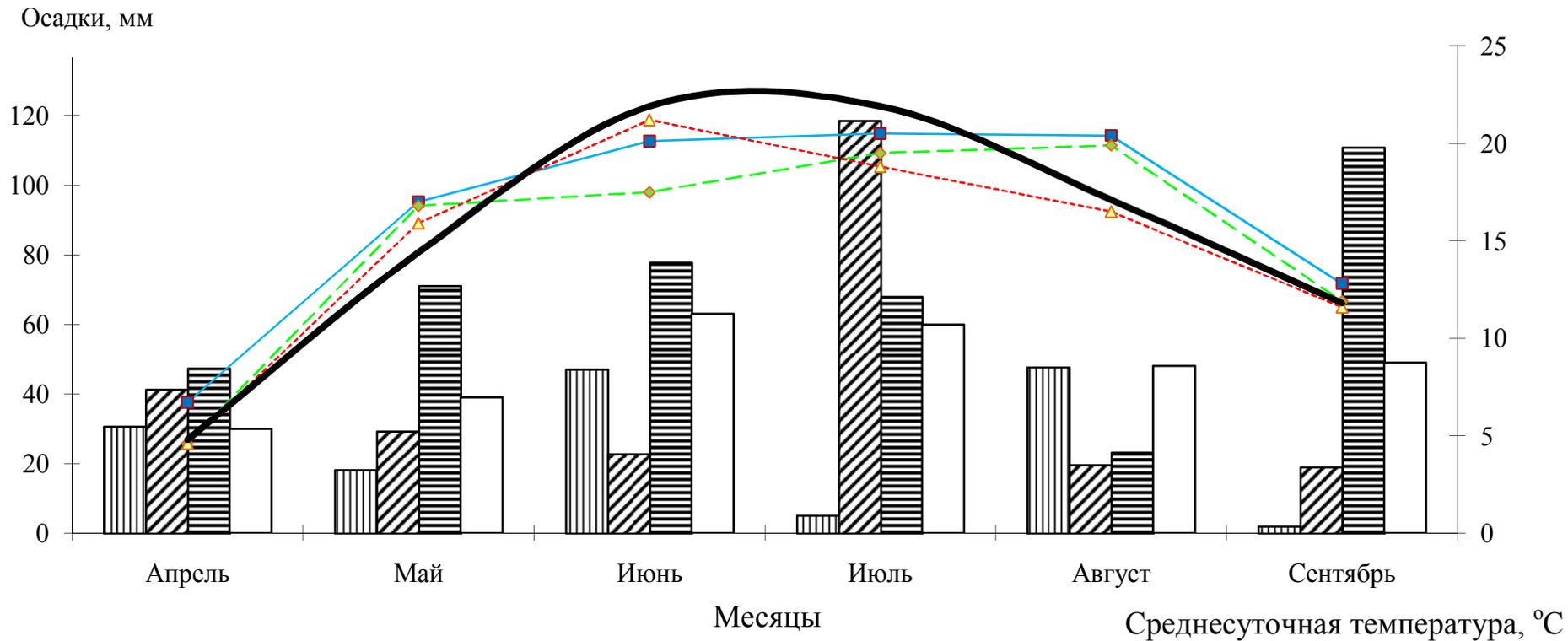


Рисунок 1 – Ход метеорологических элементов за вегетационный период 2014-2016 гг.

▤ - среднемесячные осадки за 2014 год

▨ - среднемесячные осадки за 2015 год

▧ - среднемесячные осадки за 2016 год

□ - среднемноголетние среднемесячные осадки

— среднемесячные осадки за 2014 год

- - - - - среднемесячные осадки за 2015 год

..... среднемесячные осадки за 2016 год

— среднемесячные осадки за 2014 год

- - - - - среднемесячные осадки за 2015 год

..... среднемесячные осадки за 2016 год

— среднемесячные осадки за 2014 год

- - - - - среднемесячные осадки за 2015 год

..... среднемесячные осадки за 2016 год

— среднемесячные осадки за 2014 год

В фазу кущение – трубкование количество осадков составило 78 мм, что выше на 24 % многолетнего уровня. В фазу трубкование – цветение величина осадков составила 68 мм, что выше на 13 % многолетних данных. В фазу молочной спелости количество поступивших осадков составило 23 мм (48 % нормы). При этом температура была выше на 4,8 °С и составила 22,8 °С.

Отмеченные особенности агроклиматических условий, несомненно, оказали влияние на скорость разложения соломы и эффективность биопрепарата, используемого для ускорения этого процесса и, следовательно, на физиологические процессы и продуктивность проса.

Таким образом, контрастность метеорологических условий за годы проведения исследований позволяет выявить различное влияние соломы и минеральных удобрений на агрофизические, химические и биологические свойства почвы при разных погодных условиях. Анализируя результаты наблюдений за погодными условиями, следует отметить, что наиболее благоприятным, с точки зрения разложения соломы, был 2015 год.

2.1.2 Характеристика почвенного покрова

Опытное поле, где проводились исследования, расположено на территории Ульяновского ГАУ им. П.А. Столыпина.

Основными почвообразующими породами являются древнеаллювиальные отложения в виде разнообразных суглинистых осадков. Землепользование по рельефу характеризуется слабоволнистой равниной с высотой над уровнем моря 45–50 м. Линейные блюдцеобразные понижения являются характерной чертой агроландшафта. Расчлененность оврагами, балками слабая. Тем не менее, разнообразие рельефа местности требует регулирования снеготаяния, водозадержания, соответствующего направления обработки почвы, защиты почв от водной эрозии. В почвенно-климатическом отношении опытное поле Ульяновского ГАУ относится к лесостепной зоне.

Почва опытного участка – чернозём типичный среднemocный

среднесуглинистый. Морфологическое строение чернозёма типичного выражается следующими горизонтами:

$$A_{\text{пах}} - A_1 - AB - B - BC - C$$

$A_{\text{пах}}$ 0–28 см. Темно-серый, комковатый, среднесуглинистый, рыхлый от зяблевой вспашки, густо пронизан корнями растений, переход резкий по линии вспашки, не вскипает.

A_1 28–72 см. Темно-серый, зернисто-комковатый, среднесуглинистый, уплотнен, переход постепенный, вскипает с 28 см.

AB 72–91 см. Желтовато-грязно-серый, ореховатый, влажный, среднесуглинистый, уплотнен, корни, переход заметный.

B 91–125 см. Серовато-желто-бурый, ореховато-комковатый, с потеками гумуса, слабо увлажненный, среднесуглинистый, уплотнен, слабые корни, бурно вскипает.

BC 125–161 см. Буровато-желтый, непрочно-крупно-комковатый, легкосуглинистый, гумусовые языки и потеки, бурно вскипает.

$C > 161$ см. Светло-желтый однородный, бесструктурный, слабо увлажнен, легкосуглинистый, уплотнен, бурно вскипает.

Агрохимические показатели пахотного слоя почвы: содержание гумуса на опытном поле 4,7 % (на момент закладки опыта), обеспеченность подвижным фосфором высокая (196 мг/кг), калием очень высокая (206 мг/кг), реакция почвенного раствора близкая к нейтральной (рН 6,3–6,7).

Физическая спелость почвы наступает к 21 апреля (в среднем по годам). Грунтовые воды располагаются на глубине 12–15 метров, водоносный слой – на глубине 35–55 метров, поэтому формирование урожайности сельскохозяйственных культур не подвержено их влиянию.

В целом агрохимические свойства чернозёма типичного учебно-опытного хозяйства Ульяновского ГАУ им. П.А. Столыпина позволяют получать высокий валовой сбор районированных зерновых культур. Однако в отдельные годы

возможно снижение продуктивности вследствие неблагоприятных метеорологических явлений.

2.2 Схема опыта и ее обоснование

Диссертационная работа выполнена на опытном поле кафедры почвоведения, агрохимии и агроэкологии Ульяновской ГАУ им. П.А. Столыпина в 2014 – 2016 гг. Изучение влияния соломы отдельно и в комплексе с минеральными удобрениями и биопрепаратом на свойства почвы, урожайность и качество зерна проса проводилось в пятипольном зерновом сидеральном севообороте: пар сидеральный – озимая пшеница – просо – яровая пшеница – ячмень.

Схема трехфакторного опыта включает 12 вариантов с использованием соломы, минеральных удобрений и биопрепарата:

1. Без удобрений – (контроль) (фактор А);
2. Солома предшественника (фактор В);
3. Солома + 10 кг N/т соломы;
4. Солома + биопрепарат;
5. Солома + 10 кг N/т соломы + биопрепарат;
6. Биопрепарат (фактор С);
7. $N_{129}P_{34}K_{54}$ (фон);
8. $N_{129}P_{34}K_{54}$ + Солома;
9. $N_{129}P_{34}K_{54}$ + Солома + 10 кг N/т соломы;
10. $N_{129}P_{34}K_{54}$ + Солома + биопрепарат;
11. $N_{129}P_{34}K_{54}$ + Солома + 10 кг N/т соломы + биопрепарат;
12. $N_{129}P_{34}K_{54}$ + биопрепарат.

Полевой опыт заложен в четырехкратной повторности, севооборот освоен в 1994 году. Посевная площадь делянки 120 м² (6x20), учетная – 72 м² (4x18), расположение делянок рендомизированное. В качестве органического удобрения

в почву заделывается солома предшествующих культур севооборота. Опыт внесён в Государственный реестр длительных опытов РФ (№122).

2.3 Технология возделывания проса

Просо произрастает на самых различных почвах. В России оно возделывается на черноземах, каштановых, подзолистых, солонцеватых, солонцовых и лугоболотных почвах. При хорошем увлажнении может давать высокие урожаи и на солонцах.

А.А. Шахов (2006) на основании многолетних экспериментальных работ считает просо одной из наиболее устойчивых к засолению зерновой культурой. Лучшие для возделывания проса почвы – хорошо аэрируемые, структурные, с содержанием легко растворимых питательных веществ (черноземные и каштановые почвы, не истощенные длительным возделыванием культур).

Просо почти не реагирует на реакцию почвы. Однако лучшей почвенной средой для проса является нейтральная – $pH_{КС1}$ 6,1–7,4 единиц.

Почвенные условия оказывают влияние и на темпы развития проса, что было доказано вегетационными опытами Краснокутской опытной станции (2009): на почве, взятой из верхнего горизонта А, вымётывание метёлки наступало 12 июля, а на почве из горизонта В и карбонатного горизонта – 23 июля.

Объектом исследования являлся сорт проса Орловское-82. Технология его возделывания основывалась на общепринятых в Ульяновской области агротехнических приемах (Система интенсивного земледелия..., 1990). Основную обработку почвы в опыте ежегодно осуществляли в оптимальные сроки с 25 августа по 15 сентября. Лущение стерни проводили агрегатом BELARUS–1221.2 + БДМ-3×4 на глубину 8–10 см; вспашку – плугом ПЛН-5-35 на глубину 22–25 см. В весенний период при наступлении физической спелости почвы осуществляли закрытие влаги тяжелыми зубовыми боронами БЗТС-1.

Во все годы исследований предшественником проса была озимая пшеница. Солому измельчали с помощью соломоизмельчителя, оборудованного на

комбайне TERRION SP 2010. Разравнивание соломы по полям, как и удаление ее с контрольного варианта, проводили вручную. Заделывали солому в 2 приема: после уборки дискованием БДМ-3×4 на 8–10 см, а затем во второй декаде сентября запахивали ПЛН-4-35 на 22–25 см. Солому обрабатывали биопрепаратом после измельчения, одновременно вносили азотное удобрение в дозе 10 кг/т соломы, затем проводили дискование.

Посев проса осуществляли в оптимальные сроки (третья декада мая) сеялкой ССНП-16 рядовым способом, вслед за культивацией. Норма высева составляла 3,2 млн. всхожих семян на 1 га, на глубину заделки 5–6 см. Посевы прикатывали кольчато-шпоровыми катками ЗККШ-6А. Урожай убирали прямым комбайнированием при достижении полной спелости комбайном TERRION SP 2010. Учет урожая проводили с площади учетной делянки. Урожайность соломы рассчитывали на основе соотношения урожайности зерна к незерновой части урожая, определенной по сноповому анализу.

2.4 Методики наблюдений, учетов и анализов

Организация полевых опытов, проведение наблюдений и лабораторных анализов осуществлялись по общепринятым методикам, изложенным в следующих источниках: Методика полевого опыта (Доспехов Б.А., 2011); Методика и методология научных исследований: теория и практика (Ивойлов А.В., 2013), Оценка эффективности микробных препаратов в земледелии (Завалин А.А., 2000).

Программа исследований включала следующие учеты, наблюдения и анализы:

- фенологические наблюдения по методике государственного сортоиспытания;
- густоту стояния посевов определяли в фазу трех листьев;
- почвенные образцы для агрохимической характеристики отбирали буром Малькова в пахотном слое каждого варианта I и III повторностей в пяти точках по

двум диагоналям делянок. В этих образцах определяли: нитраты – потенциометрическим методом (ГОСТ 26951-86), обменный аммоний – фотометрическим методом (ГОСТ 26489-85), подвижные формы фосфора и калия – по методу Ф.В. Чирикова в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26204-91);

– общая микробиологическая активность почвы определялась по интенсивности разложения целлюлозы (методом льняных полотен);

– активность уреазы изучалась колориметрическим методом А.Ш. Галстяна в модификации Ф.Х. Хазиева на фотоэлектроколориметре КФК-2-УХЛ4.2. Активность инвертазы – методом В.Ф. Купревича. Определение активности фосфатазы проводилось колориметрическим методом Ф.Х. Хазиева на фотоэлектроколориметре КФК-2-УХЛ4.2. (Т.А. Девятова, 2008);

– влажность почвы – термостатно-весовым методом согласно ГОСТ 27548-97;

– плотность сложения почвы – с использованием бура Качинского для отбора образца почвы в ненарушенном сложении (Федоровский Д.В., 1985);

– отбор почвенных образцов для определения агрохимических показателей осуществлялась в 5 этапов: в период посева, в фазу кущения, выметывание метёлки, цветения и перед уборкой;

– площадь листовой поверхности определялась по параметрам листа на 10-и растениях с делянки на четырех повторностях по фазам развития растений;

– содержание сухого вещества определялось отбором пробы измельченных растений. Из каждого образца отбирали навески по 50 г в четырехкратной повторности и высушивались в сушильном шкафу при температуре 105 °С до постоянной массы. Содержание сухого вещества определялось по формуле:

$$X = (A \times 100) / B,$$

где А – масса навески после высушивания, г; В – масса навески до высушивания, г;

– в растительных образцах определяли: содержание общего азота – по Кьельдалю (ГОСТ 13496.4-93), содержание общего фосфора – фотометрическим

методом (ГОСТ 26657–97), содержание общего калия – методом пламенной фотометрии (ГОСТ 30504-97), содержание тяжелых металлов атомно-абсорбционным методом (ГОСТ 30692–2000)

– чистая продуктивность фотосинтеза вычислялась по формуле Кидда, Веста и Бриггса:

$$\text{ЧПФ} = (B_2 - B_1) / ((L_1 + L_2) \times 0,5 \times n),$$

где ЧПФ – чистая продуктивность фотосинтеза; B_1 и B_2 – сухая биомасса пробы урожая в начале и конце учетного периода, г; $(L_1 + L_2) \times 0,5$ – средняя работавшая площадь листьев за этот промежуток времени, m^2 ; n – число дней.

– учет фактической урожайности культур проводили с площади всей делянки в пересчете на 100 % чистоту и 14 % влажность (ГОСТ 27548–97).

Химические анализы проб выполнены в испытательной лаборатории «Ульяновская «ГСХА» (№ РОСС. RU. 0001.513.748) и аккредитованной лаборатории ФГБУ «САС «Ульяновская» (№ RA.RU.510251).

Экономическую оценку эффективности технологии возделывания проса с использованием соломы отдельно и совместно с минеральными удобрениями и биопрепаратом определялась по системе натуральных и стоимостных показателей с использованием нормативов и расценок, принятых для производственных условий Ульяновского ГАУ им. П.А. Столыпина (2016 г.).

Полученные результаты исследований подвергались математической обработке следующими методами: дисперсионный анализ трёхфакторного опыта по изучению двух градаций фактора А (без удобрений и фон NPK), 3 градаций фактора В (без соломы; с применением соломы; с применением соломы совместно с N_{10}) и 2 градаций фактора С (без биопрепарата; с применением биопрепарата) (Yerina A., 2001; Доспехов Б.А., 2011; Litnarovych R., 2011) и корреляционно-регрессионный анализ с использованием электронной таблицы Microsoft Office Excel 2010.

3 Влияние систем удобрения на свойства чернозёма типичного и состояние посевов проса

3.1 Плотность почвы

Плотность является важнейшим показателем плодородия почвы, от неё зависят скважность и аэрация, водный и воздушный режимы, микробиологическая активность почвы и темпы минерализации негумифицированных растительных остатков. Основной причиной снижения урожаев сельскохозяйственных культур при уплотнении почвы является ухудшение условий для формирования мощной корневой системы и активной её деятельности.

Оптимальная величина плотности почвы находится в зависимости от минералогического состава, влажности, вида возделываемых культур и содержания органического вещества. Для нормального развития большинства культур показатель колеблется в довольно узких пределах: для суглинистых и глинистых почв – 1,0–1,3 г/см³, легкосуглинистых – 1,1–1,4 г/см³. При этом установлено, что увеличение или уменьшение плотности почвы от оптимального значения на 0,1–0,3 г/см³ приводит к снижению урожая на 20–40 % (Щитов С.В., Тихончук П.В., Спириданчук Н.В., 2012; Barzegar A.R., Yousefi A., Daryashenas A., 2002).

По мнению Л.М. Бурлаковой, Г.Г. Морковкина, А.А. Куфаева и др. (2003) увеличение плотности выше показателя 1,25 г/см³ вызывает снижение урожайности сельскохозяйственных культур.

Плотность пахотного горизонта почвы в агроценозе в течение вегетационного периода существенно увеличивается. Сразу после проведения основной обработки почвы она наименьшая, а к концу вегетационного периода достигает максимального значения. Уплотнение почвы в пахотном горизонте в течение вегетационного периода связано, прежде всего, с её усадкой под действием собственной массы, под влиянием осадков и в результате работы

сельскохозяйственных машин (Назаров В.А., 2005; Ульянова О.А., Кураченко Н.Л., Борцов В.С., 2009; Черкасов Г.Н. и др., 2011).

Увеличение плотности почвы и снижение при этом её общей порозности может приводить в условиях повышенного увлажнения конца вегетационного периода к недостаточной аэрации корнеобитаемого слоя и развитию анаэробных процессов, губительных для корней и полезной почвенной биоты. В результате возможно снижение урожайности и ухудшение качества зерна (Балабанов С.С., Тимофеева Н.М., Картамышев Н.И., и др., 2013).

Кроме этого, плотность почвы оказывает существенное влияние на её устойчивость к ветровой и водной эрозии (Жидкин А.П., Чендев Ю.Г., 2014).

Использование растительных остатков и соломы как органических удобрений способствует улучшению агрегатного состояния и оструктуренности почвы, в частности на 88,7 % определяет величину плотности почв, на 97,8 % пористость, на 98,5 % водопрочность структуры.

А.В. Зеленев (2011) на посевах проса отметил положительную роль от применения соломы озимой ржи, последствий навоза и донника. Определение плотности почвы перед посевом культуры при внесении биомелиорантов в виде навоза и сидератов под последующие культуры севооборота показало разницу в 4,7 % по сравнению с вариантом, где они не вносились. К уборке проса различия в плотности сложения почвы, где использовалась солома озимой ржи и солома с последствием донника, составили 0,8 %, а соломой и последствием навоза разница увеличилась на 2,3 %.

После применения соломы уменьшается плотность почвы, увеличивается её пористость, коэффициент структурности и количество водопрочных агрегатов.

В литературных источниках указывается на положительное влияние соломы озимых культур на улучшение физических свойств почвы (Волошин Е.И., 2008; Беседин Н.В. и др., 2012; Чуян Н.А., Чуян О.Г., Брескина Г.М., 2013).

В связи с этим в нашей работе был изучен характер изменений, произошедших в плотности сложения пахотного слоя, как интегрального показателя её состояния, под действием соломы, биопрепарата Байкал ЭМ-1 и

минеральных удобрений.

Результаты проведенных исследований показали, что плотность пахотного слоя почвы зависела от систем удобрений, применяемых при возделывании проса (таблица 1).

Таблица 1 – Плотность почвы под посевами проса в зависимости от систем удобрений, г/см³ (2014–2016 гг.)

Вариант	До посева проса				Перед уборкой проса			
	Слой почвы, см							
	0–10	10-20	20-30	0–30	0–10	10-20	20-30	0-30
Без удобрений (контроль) (фактор А)	1,23	1,29	1,32	1,28	1,26	1,33	1,39	1,33
Солома (фактор В)	1,18	1,21	1,33	1,24	1,22	1,28	1,34	1,28
Солома + 10 кг N/ т соломы	1,17	1,20	1,32	1,23	1,20	1,25	1,33	1,26
Солома + биопрепарат	1,14	1,18	1,29	1,20	1,18	1,23	1,32	1,24
Солома + 10 кг N/ т соломы + биопрепарат	1,10	1,14	1,26	1,17	1,15	1,19	1,29	1,21
Биопрепарат (фактор С)	1,18	1,24	1,32	1,25	1,23	1,27	1,34	1,28
N ₁₂₉ P ₃₄ K ₅₄ (фон)	1,21	1,26	1,31	1,26	1,25	1,32	1,37	1,31
N ₁₂₉ P ₃₄ K ₅₄ + солома	1,17	1,20	1,28	1,22	1,20	1,25	1,31	1,25
N ₁₂₉ P ₃₄ K ₅₄ + солома + 10 кг N/ т соломы	1,13	1,17	1,26	1,19	1,18	1,21	1,28	1,22
N ₁₂₉ P ₃₄ K ₅₄ + солома + биопрепарат	1,12	1,16	1,25	1,18	1,16	1,19	1,28	1,21
N ₁₂₉ P ₃₄ K ₅₄ + солома + 10 кг N/ т соломы + биопрепарат	1,09	1,14	1,22	1,15	1,14	1,17	1,25	1,19
N ₁₂₉ P ₃₄ K ₅₄ +биопрепарат	1,19	1,21	1,25	1,22	1,22	1,25	1,31	1,26
НСР ₀₅	В приложениях							

На вариантах с применением соломы наблюдалось установление

благоприятного интервала плотности почвы. Благодаря мощному развитию мочковатой корневой системы, вторичных, придаточных корней просо хорошо росло и развивалось в диапазоне плотности сложения пахотного слоя почвы, равного 1,18–1,33 г/см³.

На варианте с использованием соломы плотность пахотного слоя (0–30 см) перед посевом культуры на протяжении 3 лет находилась в пределах 1,22 – 1,26 г/см³. При этом на контроле она в данный период была выше и находилась в интервале 1,27 – 1,30 г/см³, что подтверждает положительное влияние соломы на разуплотнение почвы.

На вариантах совместного применения соломы с азотным удобрением и совместного внесения соломы с биопрепаратом Байкал ЭМ-1 произошло снижение плотности почвы до 1,20 – 1,24 г/см³ и до 1,19 – 1,21 г/см³ соответственно. Изменение агрофизического показателя обусловлено количеством внесенного сухого вещества, которого измельченная солома содержит до 86 %. Данные С.Н. Немцева, С.Н. Никитина, Г.В. Сайдяшевой (2011) так же подтверждают снижение плотности пахотного слоя при использовании соломы как отдельно, так и на фоне биопрепарата.

Заделка в почву соломы совместно с азотной добавкой и биопрепаратом Байкал ЭМ-1 оказывало большее разуплотняющее действие и составило в исследуемые годы 1,16 – 1,18 г/см³, что связано с работой целлюлозоразлагающих микроорганизмов, осуществляющих разрушение растительных остатков. В процессе жизнедеятельности почвенные микроорганизмы выделяют слизь, которая способствует оструктуриванию и снижению уплотненности почвы. При этом растительные остатки обеспечивают накопление большего объема влаги, сокращение эрозионных процессов и накопление питательных веществ. В работах многих учёных также отмечает положительное влияние соломы на снижение плотности почв (Зотиков В.И. и др., 2010; Зеленев А.В., 2011; Коряковский А.В., Бакиров Ф.Г., 2011; Борисова Е.Е., 2013; Швед И.М., Валеиша Е.Ф., 2015).

При внесении минеральных удобрений почва приобрела более плотное сложение по отношению к вариантам с применением соломы с показателем

1,24 – 1,28 г/см³. Данный факт можно объяснить тем, что минеральные удобрения не оказывают разуплотняющего воздействия на почву, в отличие от растительных остатков.

Уменьшение плотности наблюдалось на вариантах совместного применения минеральных удобрений с использованием соломы, причём данный агрофизический показатель в течение 3 лет варьировал в интервале 1,23 – 1,26 г/см³. Варианты с применением минеральных удобрений совместно с соломой и дополнительной дозой азота (1,18 – 1,19 г/см³) и совместно с соломой и биопрепаратом Байкал ЭМ-1 (1,16 – 1,18 г/см³) по плотности почвы занимали промежуточное положение. Под просом при использовании соломы, азотной добавки и биопрепарата на фоне минеральных удобрений плотность почвы сложилась в интервале 1,14 – 1,16 г/см³, что характеризует применение органо-минеральной системы удобрения с положительной стороны. В работах И.Н. Филимонова, О.Г. Котляровой (2011), Н.В. Долгополовой, А.А. Павлова (2012), так же отмечалось улучшающее действие на агрегатное состояние почвы от применения соломы в комплексе с минеральными удобрениями.

Использование биопрепарата на фоне минеральных удобрений в течение 3 лет исследований приводило к менее значительному снижению плотности до 1,20 – 1,22 г/см³, что говорит об отсутствии в пахотном слое необходимого количества органических веществ, положительно влияющих на оструктурирование почвы.

В период уборки проса за 2014 – 2016 годы наиболее плотным оказался нижний слой почвы (20–30 см): на неудобренном фоне она варьировала в пределах 1,36 – 1,41 г/см³, на фоне соломы 1,32 – 1,36 г/см³, на варианте совместного применения соломы, дополнительной дозы азота и препарата Байкал ЭМ-1 – 1,27 – 1,30 г/см³, на фоне минеральных удобрений – 1,34 – 1,39 г/см³, на варианте совместного применения NPK, соломы, дополнительной дозы азота и препарата Байкал ЭМ-1 – 1,24 – 1,28 г/см³ (приложение 4).

К периоду уборки культуры плотность почвы увеличилась относительно допосевного периода, что связано, прежде всего, с ее усадкой под действием

собственной массы, под влиянием осадков и в результате работы сельскохозяйственных машин.

Таким образом, из всех экспериментальных вариантов наиболее оптимальными по отношению к контролю ($1,33 \text{ г/см}^3$), оказались варианты с применением соломы в сочетании с биопрепаратом Байкал ЭМ-1 и дополнительной дозой азота, а также на одноименном варианте с использованием азотно-фосфорно-калийных удобрений, где показатели плотности пахотного слоя в среднем за 3 года исследований составили 1,21 и 1,19 г/см^3 соответственно.

3.2 Содержание продуктивной влаги

Влага в почве является одним из основных факторов плодородия. Для получения высоких урожаев необходимо обеспечить жизненную потребность растений в воде. В связи с этим одной из основных задач земледелия является создание водного режима почв, соответствующего потребности сельскохозяйственных культур (Кураченко Н.Л., Картавых А.А., Ржевская Н.И., 2014). От влагообеспеченности в большой степени зависит продуктивность зерновых культур (Долгополова Н.В., 2009).

Вода является источником жизни возделываемых культур, обеспечивающая питание и физиологические процессы в них. Снабжение водой и питательными веществами растений происходит через почву (Белик Н.Л., 2002; Andren O., Rajkaj K., Katerer T., 1993).

Влага, передвигаясь в почве, переносит с собой многие растворимые и взвешенные вещества. Для создания 1 г сухого вещества растения расходуют от 200 до 1000 г воды (Вольтере И.А., 2007).

Для вегетационного периода характерны огромные расходы почвенной влаги из корнеобитаемого слоя на испарение и транспирацию, которые обычно не компенсируются выпадающими осадками. В течение лета запасы влаги постепенно убывают, доходя до минимума под яровыми культурами в третьей

декаде июля (Jorgensen L.N., Olesen J.E., 2002; Крымская О.В., Лебедева М.Г., 2011).

В засушливых регионах наибольший урожайный эффект дают черные пары, способные накапливать за счет осадков большее количество продуктивной влаги (Скороходов В.Ю., Гаврилова И.М., Еременко А.Ю., 2008).

Влагоемкость почвы имеет большое значение в создании оптимального водного режима сельскохозяйственных культур. Чем выше влагоемкость почвы, тем большее количество влаги может удерживать почва, тем лучше растения обеспечиваются влагой (Воронкова Н.А., 2009; Tian S.-Z., Ning T.-Y., Wang Y., 2010).

В период до кущения просо ограничивается минимальным количеством влаги. Для прорастания его необходимо от 25 до 34 % воды от веса зерна, пшеница же требует 55 %, овёс – 65 %, ячмень – 50 %, кукуруза – 45 %. Однако при недостаточной влажности почвы в этот период слабые всходы на первичных корешках плохо сопротивляются засухе, частично отмирают, растения дают низкий урожай. При сохранении влаги в пахотном слое хорошо укоренившиеся всходы довольно стойко переносят атмосферную засуху и очень быстро возобновляют рост после первых дождей. В связи с этим при возделывании проса особое значение приобретают агротехнические приемы накопления и сбережения влаги в почве (Крючков А.Г., Елисеев В.И., 2009; Кузнецов А.Ю., 2014).

В лесостепной зоне Среднего Поволжья одним из лимитирующих факторов в создании урожая сельскохозяйственных культур является влага. С содержанием воды в почве связаны скорость выветривания и почвообразования, интенсивность проявления биологических, химических и физико-химических процессов. Степень увлажнения оказывает большое влияние на образование структуры, физико-механические свойства, предопределяет качество обработки почвы и затраты энергии на неё.

Результаты проведенных исследований показали, что процессы влагонакопления находились в прямой зависимости от применения соломы, биопрепарата Байкал ЭМ-1 и минеральных удобрений (таблица 2).

Таблица 2 – Запасы продуктивной влаги на черноземе типичном при
возделывании проса, мм

Вариант	Слой почвы , см	2014 г.		2015 г.		2016 г.		
		перед посево м	перед уборко й	перед посево м	перед уборко й	перед посево м	перед уборко й	
Без удобрений (контроль) (фактор А)	0–30	25	15	37	18	43	16	
	0–100	120	41	135	49	125	42	
Солома предшественника (фактор В)	0–30	29	18	42	21	48	18	
	0–100	125	45	138	53	127	44	
Солома + 10 кг N/ т соломы	0–30	33	21	49	23	52	19	
	0–100	126	44	140	55	129	46	
Солома + биопрепарат	0–30	36	23	50	25	54	21	
	0–100	132	46	143	57	132	47	
Солома + 10 кг N/ т соломы + биопрепарат	0–30	39	25	55	30	56	24	
	0–100	135	50	145	60	133	50	
Биопрепарат (фактор С)	0–30	27	19	47	22	50	18	
	0–100	129	45	132	50	126	43	
N ₁₂₉ P ₃₄ K ₅₄	0–30	30	19	47	27	50	19	
	0–100	128	44	136	50	127	42	
N ₁₂₉ P ₃₄ K ₅₄ + солома	0–30	33	23	49	30	55	22	
	0–100	130	47	139	54	129	46	
N ₁₂₉ P ₃₄ K ₅₄ + солома + 10 кг N/ т соломы	0–30	36	23	49	29	56	24	
	0–100	133	48	140	55	133	45	
N ₁₂₉ P ₃₄ K ₅₄ + солома + биопрепарат	0–30	37	24	51	31	58	25	
	0–100	136	50	149	64	140	54	
N ₁₂₉ P ₃₄ K ₅₄ + солома + 10 кг N/ т соломы + биопрепарат	0–30	38	25	53	33	59	27	
	0–100	140	56	150	65	141	53	
N ₁₂₉ P ₃₄ K ₅₄ +биопрепар ат	0–30	34	20	47	28	57	23	
	0–100	130	45	133	50	128	43	
НСР ₀₅	Фактор А	0–30	4,3	3,5	5,2	3,7	2,5	3,7
		0–100	6,7	5,7	2,7	3,3	6,7	4,6
	Фактор В	0–30	4,8	4,5	6,1	2,0	4,8	0,5
		0–100	0,5	0,5	2,0	2,0	2,0	2,0
	Фактор С	0–30	4,5	2,9	3,2	3,2	2,9	2,9
		0–100	1,8	2,5	4,5	5,0	4,5	4,5

В наших исследованиях в 2014 году запасы продуктивной влаги в метровом слое перед посевом проса изменялись от 120 мм на контроле до 140 мм на

варианте с использованием соломы совместно с азотной добавкой и биопрепаратом Байкал ЭМ-1 на фоне минеральных удобрений. В 2015 году они колебались от 135 мм до 150 мм, в 2016 – от 125 мм до 141 мм на аналогичных вариантах. За годы исследований запас влаги в почве перед посевом оказался максимальным в 2016 году.

Изучаемые в опыте системы удобрения оказывали заметное влияние на запас продуктивной влаги в 0–30 см слое почвы чернозема типичного. При использовании соломы отмечалось увеличение данного показателя, в частности, по сравнению с контролем разница по годам (2014 г., 2015 г., 2016 г.) составила: на варианте с применением соломы – на 4 мм, 5 мм, 5 мм; при совместном применении соломы с азотным удобрением – на 8 мм, 12 мм и 9 мм; при совместном применении соломы с биопрепаратом – на 11 мм, 13 мм и 11 мм; при совместном применении соломы, N и Байкал ЭМ-1 – на 14 мм, 18 мм и 13 мм. Данные показатели свидетельствуют о положительном влиянии соломы, способствующей повышению поглотительной способности почвы, влагоёмкости и улучшению её структуры. Аналогичный результат приводят в своих работах А.В. Зеленов, Е.В. Семинченко, В.В. Тупицина (2016).

На фоне минеральных удобрений наиболее эффективным оказался вариант с совместным применением соломы, дополнительной добавкой азота по 10 кг д.в. N на одну тонну соломы, биопрепарата и минеральными удобрениями, где запас доступной влаги составил от 38 до 59 мм (0–30 см).

За годы исследований к концу вегетации проса применение соломы способствовало большему накоплению продуктивной влаги в слое 0–30 см по отношению к контролю (41–49 мм). В частности, запасы её повышались на вариантах: с использованием соломы до 44–53 мм; соломы и азотной добавки до 44–55 мм; соломы и биопрепарата до 46–57 мм; соломы, N и Байкал ЭМ-1 до 50–60 мм. Аналогичная тенденция отмечалась на фоне внесения минеральных удобрений.

Применение биопрепарата в сочетании с органическим удобрением способствовало более эффективному разложению соломы, что положительно отразилось на структуре и влагоёмкости почвы.

В среднем за 2014–2016 гг. к моменту уборки проса большее количество влаги в слое 0–30 см почвы сохранилось на варианте с использованием соломы в комплексе с азотной добавкой, препаратом Байкал ЭМ-1 на фоне минеральных удобрений, что составило 25–33 мм.

Таким образом, заделка соломы в почву обеспечивала более рациональный расход запасов доступной влаги и способствовала повышению водоудерживающей способности пахотного слоя.

Изучение влияния соломы на агрофизические показатели почвы под посевами почвы позволяет сделать следующие выводы:

– применение соломы в сочетании с биопрепаратом Байкал ЭМ-1 и дополнительной дозой азота, а также на одноименном варианте с использованием азотно-фосфорно-калийных удобрений, приводило к разуплотнению почвы, где показатели плотности пахотного слоя в среднем за 3 года исследований составили 1,21 и 1,19 г/см³ соответственно;

– солома, используемая в качестве органического удобрения, способствовала увеличению влагозапасов в почве пахотного слоя на 4–5 мм, метрового на 2–5 мм.

3.3 Микробиологическая активность почвы

Биологическая активность почвы определяется протекающими в ней биологическими процессами, в которых активную роль играют корневые системы древесных, кустарниковых и травянистых растений, почвенные животные и микроорганизмы. Роль последних особенно велика, так как они принимают самое активное участие в разложении органических остатков, изменении химических свойств и преобразовании минерального состава почвы (Сабо Е.Д., Кормилицына О.В., 2001).

Процесс деструкции органического вещества является важным неотъемлемым звеном мирового биогеохимического круговорота элементов, во многом определяющий плодородие почв.

Целлюлоза является основным компонентом клеточных стенок высших растений, попадающая в почву вместе с растительными остатками (Максименко О.Д., 2006). Процесс разложения клетчатки в почве происходит как в аэробных, так и анаэробных условиях при участии особых групп бактерий и грибов. В ряде современных исследований экспериментально доказано, что их количественное соотношение в почве примерно одинаково (Жуков А.В., 2009). Скорость разложения целлюлозы влияет на скорость разложения органического вещества в почве в целом. Данный показатель можно рассматривать как количественную меру почвенного плодородия, а чистую целлюлозу можно рассматривать как модельный субстрат для разложения, на фоне которого можно определить действие факторов внешней среды и изучить свойства почвы.

В наших исследованиях установлено, что микробиологическая активность почвы, определенная аппликационным методом, в значительной степени различалась в 2014 – 2016 годы в зависимости от погодных условий и применяемой системы удобрений под посевами проса.

Во время нахождения льняной ткани в почве количество выпавших осадков и температурные условия в годы исследований заметно различались (приложения 1,2,3).

В течение вегетации проса в 2014 году степень разложения целлюлозы на контрольном варианте составила 26,1 % и увеличилась при использовании соломы до 28,7 %. Аналогичная тенденция наблюдалась и по варианту с внесением минеральных удобрений как отдельно (31,2 %), так и совместно с соломой (31,6 %) (приложение 5, рисунок 2).

Более заметна дифференциация разложения льняного полотна на вариантах с использованием дополнительной дозы азота в размере 10 кг N на 1 т соломы (30,1 %) и биопрепарата Байкал ЭМ-1 (30,3 %). Последнее можно объяснить тем, что применение соломы совместно с азотным удобрением усиливает процесс

разложения клетчатки, а обработка растительных остатков биопрепаратом, в состав которых входят микроорганизмы целлюлозолитики, является эффективным приемом ускорения деструкции соломы.

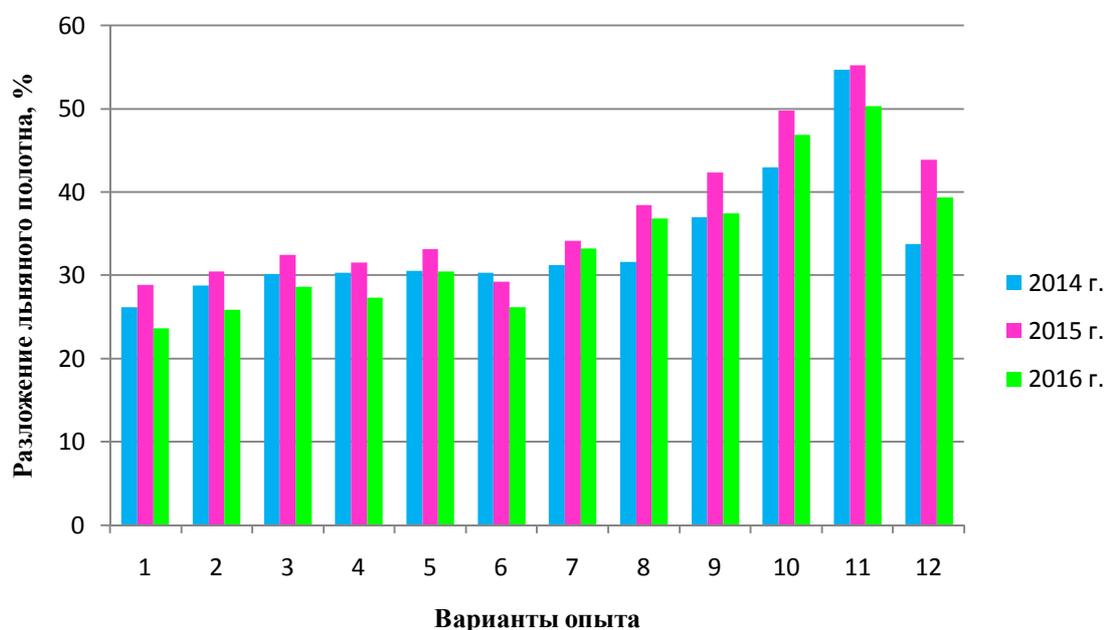


Рисунок 2 – Влияние системы удобрения на разложение льняного полотна под посевами проса, % (2014 – 2016 гг.)

Варианты: 1. Без удобрений (контроль) (фактор А); 2. Солома предшественника (фактор В); 3. Солома + 10 кг N/ т соломы; 4. Солома + биопрепарат (Байкал ЭМ-1); 5. Солома + 10 кг N/т соломы + биопрепарат; 6. Биопрепарат (фактор С); 7. N₁₂₉P₃₄K₅₄ (фон); 8. N₁₂₉P₃₄K₅₄ + солома; 9. N₁₂₉P₃₄K₅₄ + солома + 10 кг N/ т соломы; 10. N₁₂₉P₃₄K₅₄ + солома + биопрепарат; 11. N₁₂₉P₃₄K₅₄+ солома + 10 кг N/ т соломы + биопрепарат; 12. N₁₂₉P₃₄K₅₄+биопрепарат

Применение соломы в совокупности с азотной добавкой в дозе N₁₀ и Байкалом ЭМ-1 способствовало получению более высокого результата, составившего 30,5 %.

Варианты с внесением минеральных удобрений отличались наибольшей степенью разложения льняных полотен: при совместном применении NPK с соломой и азотной добавкой N₁₀ она составила 36,9 %, при совместном применении NPK с соломой и препаратом Байкал ЭМ-1 – 42,9 %, при совместном применении NPK с биологическим удобрением – 33,7 %. Данная закономерность, по нашему мнению, объясняется положительным влиянием минеральных

удобрений на скорость разложения побочной продукции, показатель которой возрастает на 10 – 15 %.

Наблюдения показали, что погодные условия в 2015 году были наиболее благоприятными для разложения льняных полотен. Сумма осадков за май – июнь – июль составила 29,4 – 22,8 – 118,6 мм соответственно, сложились благоприятные условия для активной деятельности почвенных микроорганизмов, что способствовало повышению показателя до 30,4 % по варианту с применением соломы по сравнению с предыдущим годом (28,7 %). Данные согласуются с исследованиями М.И. Подсевалова, А.Л. Тойгильдина, Д.Э. Аюпова (2017), которые утверждают о снижении микробиологической активности вследствие недостаточной влагообеспеченности пахотного слоя.

Дополнительная доза азотного питания N_{10} при применении соломы способствовала увеличению интенсивности разложения льняного полотна до 32,4 % по сравнению с контролем, где она составляла 28,8 % и соломой (30,4 %). Применение биологического удобрения в чистом виде оказалось менее эффективным и эффективность деятельности микроорганизмов снизилась с 31,5 % до 29,2 %.

В 2016 году прослеживалась аналогичная закономерность по идентичным вариантам, в частности, показатель при совместном применении соломы и биоудобрения соответствовал 27,3 %, с применением только Байкал ЭМ-1 – 26,1 %.

Влияние минеральных удобрений сыграло положительную роль на интенсивности разложения целлюлозы. Применение соломы совместно с N_{10} на фоне минеральных удобрений и биопрепаратом на фоне NPK способствовало повышению процента разложения полотна до 42,3 % и 43,8 % соответственно. Наиболее активное течение микробиологических процессов под просом отмечены на варианте совместного применения соломы, биопрепарата и дополнительного азота на фоне минеральных удобрений, что составило 55,2 %. Повышение общей активности микробного сообщества, возможно, было обусловлено достаточным количеством питательных и энергетических веществ, поступивших в почву с

соломой и НРК. В работах многих авторов отмечается благоприятное взаимодействие соломы и азотно-фосфорно-калийных удобрений (Комаревцева Л.Г., 2008; Скорочкин Ю.П., Брюхова З.Я., 2011; Коряковский А.В. 2011), а также соломы, обработанной биопрепаратом с добавлением минеральных удобрений (Лошаков, В.Г., 2012; Тарасов С.А., Шершнева О.М., 2014).

В 2016 году на контрольном варианте процент разложения льняного полотна составил 23,6 %, что по шкале Д.Г. Звягинцева соответствует слабой активности микроорганизмов. Использование соломы в чистом виде увеличивало данный показатель до 25,8 %, тогда как применение соломы, биопрепарата и азотной добавки повысило его до 30,4 %, на фоне минеральных удобрений до 36,8 %. Отдельное применение биопрепарата позволило повысить целлюлозоразлагающую активность почвы до 26,1 %, что в очередной раз доказывает необходимость органического вещества для жизнедеятельности и активной работы почвенной биоты. На варианте с дополнительной дозой азотного удобрения к соломе, разложение льняного полотна увеличилось до 28,6 %, что свидетельствует о создании благоприятных условий для развития микроорганизмов. По нашему мнению, ограниченное количество в почве азота тормозит процессы разложения соломы, в связи с чем, применение соломы необходимо проводить только в сочетании с азотными удобрениями, что активизирует аммонифицирующую и снижает нитрофицирующую способность ризосферы.

На варианте с применением Байкала ЭМ-1 на фоне минеральных удобрений разложение полотна составило 39,2 %, что выше по сравнению с применением НРК в отдельности. Значительное влияние биологического препарата Байкал ЭМ-1 на активность почвы на фоне минеральных удобрений можно объяснить многокомпонентным составом бактериального удобрения, представляющего собой смешанную культуру различных микроорганизмов, которые участвуют в различных почвенных процессах, способствуя снижению численности патогенных грибов, активизации микробиологической деятельности почвы и росту урожайности культур. Такого же мнения придерживаются

исследователи А.А. Новицкий и В.А. Гнитецкий (2012), подчеркивая эффективность и перспективность развития направления биотехнологии.

Наибольший процент разложения льняного полотна был достигнут на вариантах совместного использования соломы, биопрепарата и дополнительного азота на фоне минеральных удобрений – 50,3 %. Вышесказанное обусловлено тем, что на данном варианте были созданы более благоприятные условия для питания, активной жизни и размножения микроорганизмов.

Из вышеизложенного следует, что применение системы удобрений с использованием соломы привело к увеличению активности почвенных микроорганизмов.

Таким образом, применение системы удобрений с использованием соломы привело к повышению активности почвенных микроорганизмов. Наиболее эффективная активность микроорганизмов была на варианте с применением соломы совместно с концентратом ЭМ-1 и N₁₀, и на аналогичном варианте на фоне минеральных удобрений, где превышение показателей относительно контроля составило 5 % и 27,2 % соответственно. Следовательно, при заделке в почву соломы с дополнительной дозой азота и биологическим препаратом создаются наиболее благоприятные условия для работы почвенных микроорганизмов.

3.4 Ферментативная активность почвы

Функциональная роль ферментов как катализаторов материально-энергетического обмена в почве и в почвенных процессах огромна. В почве присутствуют и функционируют системы ферментов, последовательно осуществляющие биохимические реакции, выполняющие материальные и энергетические обмены, в основе которых лежат синтетико-деструктивные реакции. Важная роль ферментов в почве заключается в том, что они осуществляют функциональные связи между компонентами экосистемы (Тах И.П., Агиров А.Х., 2009).

Под действием ферментов органические вещества почвы и остатки биоты распадаются до различных и конечных продуктов минерализации (Щербакова Т.А., 1983).

Ферменты, выполняя ведущую роль в процессах трансформации органических веществ, являются чувствительными индикаторами на воздействие разных факторов почвообразования и на изменение условий функционирования естественных биоценозов (Алексеева А.А., Фомина Н.В., 2014; Swiatek K., Lewandowska M., Swiatek M., 2014).

Ферменты почвенных микроорганизмов в процессе иммобилизации на продолжительное время сохраняют свою активность и принимают участие в синтезе и распаде гумуса, гидролизе органических соединений, остатков высших растений и микроорганизмов, содействуя их переводу в доступное для питания растений состояние (Хазиев Ф.Х., 2005).

Весомое положение в почвенной биологической диагностике занимают ферменты класса гидролаз, в том числе уреазы, инвертазы, фосфатазы. По мнению Коломоец Д.А. (2011) активность гидролаз характеризует интенсивность процессов минерализации органических веществ, в состав которых входят такие важнейшие питательные элементы, как азот и фосфор, что подчеркивает положительную корреляцию между микробиологической активностью почвы и содержанием органического вещества (Девятова Т.А., Крамарева Т.Н., 2008).

Рядом исследователей установлено повышение ферментативной активности почвы под влиянием животноводческих стоков повышенными дозами (Антонова О.И., Горшкова М.С., 2014), установлена зависимость между ферментативной активностью и мобилизацией доступных питательных веществ (Вальков В.Ф., 1986; Ананьева Ю.С., 2012).

На уровень ферментативной активности почв оказывает влияние такой антропогенный фактор, как внесение удобрений под посевы возделываемой культуры. Известно, что при поступлении в почву соломы с компенсирующей дозой минерального азота активизируется протеолитическая система почвы,

фосфорорганические соединения активизируют действие фосфогидролаз (Намжилов Н.Б., Чимитдоржиева Г.Д., Цыбенков Ю.Б., 2003).

Поступление в почву соломы пшеничной без добавления азота способствует существенному увеличению уреазной активности. При этом с добавлением азота показатели возрастают в 1,5 и более раза. Наименьшую активность ферментов наблюдали при инкубации почвы без внесения органических удобрений (Сергеев В.С., 2010).

Динамика инвертазной активности определяется в первую очередь содержанием сахаров и инвертазы в самом органическом субстрате. При разложении соломы злаковых культур и гороха отмечалось увеличение активности инвертазы (Кравченко Р.В., Куприченков М.Т., 2012).

Поступившие в почву солома и стебли сельскохозяйственных культур существенно повышают активность ферментов, которые чувствительно реагируют на изменение биохимической обстановки почвы и поддерживают высокий уровень активности на протяжении 3 – 4 лет (Нарушева Е.А., 2012).

Для выявления особенностей азотного обмена нами был изучен фермент уреазы, с действием которого связаны процессы гидролиза и превращения в доступную форму азота мочевины. Последняя в значительных количествах может образоваться в почвах при заделке растительных остатков в качестве промежуточных продуктов метаболизма азоторганических соединений, особенно азотистых оснований нуклеиновых кислот (Тах И.П., Агиров А.Х., 2009).

Наблюдения за распадом льняной ткани (таблица 3), проведенные в 2014 – 2016 гг. под посевами проса, показали неоднозначное влияние минеральных удобрений, соломы и биологического препарата на активность почвенных микроорганизмов.

Наши исследования показали, что активность уреазы под посевами проса в зависимости от вносимых удобрений неодинакова и характеризуется по шкале Д.Г. Звягинцева (1978), как низкая и средняя (таблица 4). Минимальная активность уреазы отмечена на контрольном варианте, что объясняется недостаточным поступлением органического вещества в почву, которое является

в том числе и источником фермента (Вяль Ю.А., Шиленков А.В., 2008). При использовании соломы показатели изучаемого фермента постепенно повышались с начала вегетации до фазы цветения с 3,4 до 8,4 мг NH₃/10 г почвы за 24 часа, что может быть обусловлено с интенсивной микробиологической деятельностью, усиливающейся к августу месяцу.

Таблица 3 – Динамика активности уреазы в чернозёме типичном (2014-2016 гг.), мг NH₃/10 г почвы за 24 часа

Вариант	Посев	Куще- ние	Вымё- ты- вание	Цвете- ние	Налив зерна	Уборка	Среднее значе- ние	
1. Без удобрений (контроль) (фактор А)	3,2	4,6	5,3	7,0	4,3	3,5	4,7	
2. Солома предшественника (фактор В)	3,4	5,6	6,2	7,6	8,4	4,7	6,0	
3. Солома + 10 кг N/ т соломы	4,6	6,3	6,8	8,9	10,7	7,8	7,5	
4. Солома + биопрепарат (Байкал ЭМ-1)	4,8	5,9	6,9	9,5	12,5	13,2	8,8	
5. Солома + 10 кг N/т соломы + биопрепарат	5,2	6,3	6,5	10,1	13,7	13,0	9,1	
6. Биопрепарат (фактор С)	4,6	5,7	6,3	8,8	11,4	10,3	7,9	
7. N ₁₂₉ P ₃₄ K ₅₄ (фон)	5,7	6,5	7,0	12,4	10,0	8,7	8,4	
8. N ₁₂₉ P ₃₄ K ₅₄ + солома	5,6	4,9	7,6	12,9	13,7	8,9	9,0	
9. N ₁₂₉ P ₃₄ K ₅₄ + солома + 10 кгN/ т соломы	5,5	7,2	7,5	12,8	13,4	9,1	9,3	
10. N ₁₂₉ P ₃₄ K ₅₄ + солома + биопрепарат	5,9	7,7	8,1	13,6	14,5	12,5	10,4	
11. N ₁₂₉ P ₃₄ K ₅₄ + солома + 10 кг N/ т соломы + биопрепарат	6,6	7,8	8,4	14,6	17,3	14,2	11,5	
12. N ₁₂₉ P ₃₄ K ₅₄ +биопрепарат	5,6	5,0	7,3	12,5	12,9	10,3	8,9	
НСР ₀₅	Фактор А	0,17	1,7	0,3	0,7	5,6	5,1	–
	Фактор В	0,9	1,1	0,6	5,4	5,9	6,6	–
	Фактор С	0,6	1,3	0,7	5,7	4,2	2,3	–

Применение биопрепарата Байкал ЭМ-1 совместно с соломой способствовало повышению уреазной активности во все фазы развития культуры, в то время как солома в отдельности в этом отношении значительно уступала.

Аналогичная тенденция просматривалась на варианте с применением дополнительной дозы азота N_{10} совместно с соломой, где активность изучаемого фермента наблюдалась на уровне 4,6 – 10,7 мг $NH_3/10$ г почвы за 24 часа.

Таблица 4 – Шкала для оценки обогащенности почв ферментами
(расчет на 1 см² поверхности почвы)

Степень обогащенности почв	Инвертаза, мг глюкозы за 24 часа	Уреаза, мг NH_3 за 24 часа	Фосфатаза, мг P_2O_5 за 1 час
1. Очень бедная	<125	<7,5	<1,2
2. Бедная	125–375	7,5–25,0	1,2–3,8
3. Средняя обогащенность	375–1250	25–75	3,8–12,5
4. Богатая	1250–3750	75–250	12,5–38,0
5. Очень богатая	>3750	>250	38>

При совместном применении соломы, дополнительной дозы азота N_{10} и препарата Байкала ЭМ-1 активность уреазы была выше контроля на 4,4 мг $NH_3/10$ г почвы за 24 часа, соломы – на 3,1 мг, соломы и N_{10} – 1,6 мг, биопрепарата Байкала ЭМ-1 – 1,2 мг $NH_3/10$ г почвы за 24 часа. По нашему мнению, усилению уреазной активности чернозёма типичного способствовало разложение растительных остатков озимой пшеницы и накопление элементов питания в почве. Обогащение почвы доступным азотом способствовало повышению урожайности проса за годы исследований на 3,4 % по сравнению с контрольным вариантом (2,66 т/га).

В течение всего периода вегетации минеральные удобрения оказывали положительное влияние на активность уреазы и максимальные значения её наблюдались на вариантах с применением соломы, дополнительной дозы азота и биопрепарата Байкал ЭМ-1, что было выше контроля на 6,8 мг $NH_3/10$ г почвы за 24 часа. При использовании соломы повышение активности уреазы по отношению к контролю составило 5,5 мг $NH_3/10$ г почвы за 24 часа, обработке соломы Байкалом ЭМ-1 – на 3,6 мг, заделке соломы совместно с азотным удобрением – 4 мг. Таким образом, минеральные удобрения оказывают

положительное влияние на ферментативную активность почвы, что оптимизирует ход биохимических процессов (Куликова А.Х., Дронина О.С., 2009).

На варианте с применением только НРК активность уреазы оказалась несколько ниже варианта совместного использования соломы и биопрепарата на 0,4 мг $\text{NH}_3/10$ г почвы за 24 часа, а также совместного применения соломы с дополнительной дозой азота и препарата Байкал ЭМ-1 – на 0,7 мг $\text{NH}_3/10$ г почвы за 24 часа. Минимальную активность фермента на варианте с применением минеральных удобрений по сравнению с органическим отмечают также в своих работах Коньшева Е.Н. и Коротченко И.С. (2011).

К концу вегетационного периода проса сезонная активность фермента снижалась незначительно, что, возможно, обусловлено накоплением в почве органических соединений, способствующих не только продуцированию ферментов, но и их сохранению в почве (Безуглова О.С., Полиенко Е.А., Горовцов А.В., 2016).

Таким образом, поступление в почву органического удобрения как совместно с дополнительной дозой азота N_{10} и препаратом Байкал ЭМ-1, так и с каждым из компонентов отдельно способствовало усилению активности уреазы.

За период вегетации проса внесение минеральных удобрений незначительно сказалось на активности уреазы. Однако наблюдалась тенденция к её увеличению при применении подкормок азотом в дозе N_{10} кг д.в. совместно с соломой, что может свидетельствовать о тенденции к усилению аммонифицирующих процессов при поступлении азота в почву. На фоне минеральных удобрений прослеживалась аналогичная ситуация на варианте с применением соломы совместно с биопрепаратом Байкал ЭМ-1, что может свидетельствовать о снижении токсичных веществ, формирующихся при разложении соломы, и оказывающего положительное влияние на ферментативную активность чернозёма типичного.

Фосфор – один из важнейших элементов питания, необходимых для роста и развития живых организмов. Значительная часть фосфорного фонда почв, и в особенности Черноземной зоны, представлена фосфорорганическими

соединениями. Обогащенность почвы подвижными фосфатами зависит от интенсивности минерализации данных органических компонентов. О потенциальной интенсивности и направленности процессов биохимической мобилизации фосфора в почве можно судить по уровню активности фосфатазы (Хазиев Ф.Х., 1982).

Важную роль в обеспечении растений элементами минерального питания играет фосфатаза – фермент, отвечающий за минерализацию органического фосфора. Изучение активности этого фермента выявило следующие закономерности (таблица 5).

Таблица 5 – Динамика активности фосфатазы в чернозёме типичном (2014-2016 гг.), мг P₂O₅/1 г почвы

Вариант	Посев	Куще- ние	Вымё- ты- вание	Цвете- ние	Налив зерна	Уборка	Среднее значе- ние	
1. Без удобрений (контроль) (фактор А)	1,8	1,9	2,0	3,2	3,3	2,0	2,5	
2. Солома предшественника (фактор В)	2,1	2,9	3,3	4,1	3,2	2,7	3,2	
3. Солома + 10 кг N/ т соломы	2,2	3,2	3,4	4,3	4,9	3,1	3,6	
4. Солома + биопрепарат (Байкал ЭМ-1)	2,6	3,1	3,4	3,9	4,3	3,4	3,5	
5. Солома + 10 кг N/т соломы + биопрепарат	2,9	3,5	3,6	4,8	5,5	5,2	4,4	
6. Биопрепарат (фактор С)	2,3	3,1	3,5	4,6	3,9	3,4	3,6	
7. N ₁₂₉ P ₃₄ K ₅₄ (фон)	3,0	3,6	3,7	4,1	3,5	3,2	3,6	
8. N ₁₂₉ P ₃₄ K ₅₄ + солома	3,1	3,8	4,2	5,1	5,3	4,3	4,4	
9. N ₁₂₉ P ₃₄ K ₅₄ + солома + 10 кг N/ т соломы	3,3	3,6	3,6	3,8	4,7	4,1	4,7	
10. N ₁₂₉ P ₃₄ K ₅₄ + солома + биопрепарат	4,0	4,2	4,1	4,6	5,0	5,7	5,2	
11. N ₁₂₉ P ₃₄ K ₅₄ + солома + 10 кг N/ т соломы + биопрепарат	4,1	4,2	4,6	5,9	5,9	5,7	5,8	
12. N ₁₂₉ P ₃₄ K ₅₄ +биопрепарат	3,3	3,3	3,7	3,9	4,7	4,7	4,0	
НСР ₀₅	Фактор А	0,23	0,14	0,13	0,7	0,6	0,9	–
	Фактор В	0,6	0,22	0,21	0,5	0,7	1,4	–
	Фактор С	0,6	0,3	0,2	0,6	0,6	1,12	–

Почва под просом характеризовалась по активности фосфатазы как богатая по шкале Д. Г. Звягинцева (1978). В среднем за 3 года в период вегетации гидролиз фосфорсодержащих органических соединений протекал интенсивнее после внесения соломы совместно с дополнительной дозой азота и биопрепаратом Байкал ЭМ-1 (4,4 мг $P_2O_5/1$ г почвы). Более низкая активность фосфатазы наблюдалась на контрольном варианте (2,5 мг $P_2O_5/1$ г почвы), что связано с недостаточным поступлением органического вещества в почву и относительно низкой гумусированностью самой почвы.

При заделке в пахотный слой растительных остатков активность фосфатазы увеличивалась и составила: соломы 3,2 мг $P_2O_5/1$ г почвы, соломы с N_{10} 3,6 мг $P_2O_5/1$ г почвы, соломы с препаратом Байкал ЭМ-1 3,5 мг $P_2O_5/1$ г почвы, соломы в комплексе с дополнительной дозой азота, биопрепаратом 4,4 мг $P_2O_5/1$ г почвы. Можно отметить, что при усилении азотного питания дозой 10 кг на 1 т соломы активность фосфатазы увеличивалась, что является положительным моментом с точки зрения улучшения фосфорного питания культуры.

Внесение минеральных удобрений совместно с соломой дало более выраженный эффект, чем их использование по отдельности. При этом на варианте с NPK активность фосфатазы по отношению к контролю повысилась на 3,6 мг $P_2O_5/1$ г почвы, NPK с соломой – 1,9, NPK в комплексе с соломой и N_{10} – 2,2 мг $P_2O_5/1$ г почвы, NPK в комплексе с соломой и Байкалом ЭМ-1 – 2,7 мг $P_2O_5/1$ г, N_{10} и биопрепаратом Байкал ЭМ-1 – 3,3 мг $P_2O_5/1$ г почвы. Усиление процессов минерализации фосфорсодержащих соединений на фоне NPK наблюдалось при внесении в почву дополнительной дозы азота и препарата Байкал ЭМ-1, вследствие усиления процессов трансформации в ней органического вещества.

Таким образом, более низкая активность фосфатазы наблюдалась на контрольном варианте. При поступлении в почву соломы совместно с дополнительной дозой азота и биопрепаратом Байкал ЭМ-1 гидролиз фосфорсодержащих органических соединений протекал интенсивнее. Внесение минеральных удобрений оказывало положительное влияние на активность фосфатазы. Однако активность фосфатазы на фоне NPK значительно

увеличивалась при использовании дополнительной дозы азотных удобрений в сочетании с соломой и биопрепаратом Байкал ЭМ-1.

Инвертаза участвует в биохимических превращениях углеводов, которые содержатся в почвенном органическом веществе, микроорганизмах и растениях в значительном количестве. Как правило, чем выше содержание в почве органического вещества, тем выше активность инвертазы (Купревич В.Ф., 1974).

Исследования свидетельствуют о повышении инвертазной активности почвенной микрофлоры в фазу кущения проса на всех вариантах опыта. При этом наиболее низкие показатели на данной стадии развития культуры были отмечены на варианте с применением соломы в сравнении с контролем, что говорит о медленном процессе утилизации сложных углеводов почвенными микроорганизмами (таблица 6).

В наших опытах увеличение инвертазной активности в почве наблюдалось в фазу вымётывания метёлки проса на следующих вариантах: солома в сочетании с препаратом Байкал ЭМ-1 (28,3 мг глюкозы/1 г почвы); солома в комплексе с препаратом Байкал ЭМ-1 и минеральными удобрениями (31,8 мг глюкозы/1 г почвы); солома с препаратом Байкал ЭМ-1, NPK и дополнительной дозой азота (34,7 мг глюкозы/1 г почвы). Очевидно, что фактором увеличения активности фермента инвертазы стало внесение в почву растительных остатков, обработанных биологическим препаратом, способствующим её разрыхлению, улучшению структуры и водопроницаемости пахотного слоя.

В фазу цветения повышение инвертазной активности отмечалось на варианте с применением соломы, биопрепарата Байкал ЭМ-1 и N₁₀ (25,3 мг глюкозы/1 г почвы), а также на аналогичном варианте совместно с NPK (35,7 мг глюкозы/1 г почвы). Данный факт характеризует усиление интенсивности биологических процессов трансформации углеводсодержащих веществ при снижении соотношения между углеродом и азотом.

К уборке проса активность инвертазы увеличилась на всех вариантах опыта. Отмирание корневой массы озимой пшеницы (предшественника) и растительных остатков культуры в качестве органического удобрения под посевами проса

способствовало формированию благоприятных агрофизических свойств почвы, в частности плотности пахотного слоя и его водного режима, что усилило процессы превращения углеводов, и возрастанию активности инвертазы по отношению к контролю, в частности на варианте с применением соломы оно составило 1,5 мг глюкозы/1 г почвы, на варианте совместного применения соломы, N₁₀ и Байкала ЭМ-1 – 14,2 мг глюкозы/1 г почвы.

Таблица 6 – Динамика активности инвертазы в чернозёме типичном (2014-2016 гг.), мг глюкозы/1 г почвы

Вариант	Посев	Куще- ние	Вымё- ты- вание	Цвете- ние	Налив зерна	Уборка	Среднее значе- ние	
1. Без удобрений (контроль) (фактор А)	8,1	15,3	10,4	9,1	8,2	10,3	11,3	
2. Солома предшественника (фактор В)	12,8	14,9	8,7	8,5	10,4	15,9	12,8	
3. Солома + 10 кг N/ т соломы	13,7	25,9	27,3	22,7	20,8	22,8	21,3	
4. Солома + биопрепарат (Байкал ЭМ-1)	19,4	24,8	22,8	24,3	25,2	30,2	23,2	
5. Солома + 10 кг N/т соломы + биопрепарат	20,2	24,8	20,8	17,4	19,4	18,8	25,5	
6. Биопрепарат (фактор С)	17,4	27,1	21,0	22,2	21,0	23,5	19,8	
7. N ₁₂₉ P ₃₄ K ₅₄ (фон)	20,7	24,3	20,1	21,9	20,2	22,7	22,6	
8. N ₁₂₉ P ₃₄ K ₅₄ + солома	23,5	30,9	26,2	27,30	21,3	36,2	26,8	
9. N ₁₂₉ P ₃₄ K ₅₄ + солома + 10 кг N/ т соломы	27,3	28,9	17,9	22,6	27,8	29,5	28,3	
10. N ₁₂₉ P ₃₄ K ₅₄ + солома + биопрепарат	27,8	30,1	20,4	17,3	20,3	25,2	28,6	
11. N ₁₂₉ P ₃₄ K ₅₄ + солома + 10 кг N/ т соломы + биопрепарат	33,7	31,7	35,4	34,80	33,5	34,2	34,4	
12. N ₁₂₉ P ₃₄ K ₅₄ +биопрепарат	24,7	22,8	27,7	25,2	26,4	27,8	24,5	
НСР ₀₅	Фактор А	5,7	4,9	7,8	6,9	6,5	6,2	–
	Фактор В	5,1	2,9	6,0	6,0	4,6	5,2	–
	Фактор С	3,8	1,8	3,5	4,2	2,8	2,9	–

На варианте с НРК по результатам 3 лет отмечалась более низкая активность инвертазы (22,6 мг глюкозы/1 г почвы) по отношению к вариантам с

использованием соломы, что предположительно связано с относительным уплотнением почвы, которое, в свою очередь, приводит к ухудшению снабжения почвы кислородом и изолированию питательных веществ от корневых систем растений.

Таким образом, изучение ферментативной активности чернозёма типичного в зависимости от систем удобрения при возделывании проса показало, что применение соломы, минеральных удобрений и биологического препарата Байкал ЭМ-1 оказывает значительное влияние на состояние ферментных систем в почве. При этом наиболее высокая активность всех изученных ферментов наблюдалась на варианте с применением соломы с дополнительным азотом в дозе 10 кг на 1 тонну соломы и биопрепарата.

В среднем за три года исследований активность уреазы по отношению к контролю повышалась от 1,9 до 2,4, фосфатазы – от 1,8 до 2,3 и инвертазы – от 2,3 до 3,0 раз. Последнее, несомненно, обусловлено и свидетельствует о том, что для активизации процессов разложения соломы при внесении ее в качестве удобрения и улучшения питательного режима почвы необходимо использовать дополнительные источники азота не менее 10 кг на 1 тонну соломы и биологический препарат Байкал ЭМ-1, имеющий многокомпонентный состав полезных микроорганизмов.

3.5 Агрохимические показатели

Основными элементами питания сельскохозяйственных растений являются азот, фосфор и калий. Значительная их часть ежегодно выносится из почвы с урожаем, поэтому для пополнения её необходимыми питательными элементами применяют органические и минеральные удобрения.

Мировой опыт сельскохозяйственного производства показывает, что существует прямая зависимость между уровнями применения удобрений и урожайностью зерновых и других сельскохозяйственных культур. С помощью минеральных удобрений можно регулировать процессы обмена веществ в

растениях, способствовать накоплению в урожае основных ингредиентов – составных частей пищи человека и животных: белков, углеводов, жиров, витаминов (Рахимов А.Д., Комолдинова Д.Т., 2016).

Применение минеральных удобрений приводит к изменению свойств почвы, подвижности и доступности питательных веществ, а это в свою очередь вызывает изменения в соотношении элементов питания, в обмене веществ растений и их продуктивности. Последнее связано не только с прямым обогащением почвы элементами питания, вносимыми с минеральными удобрениями, но и сложными химическими, физико-химическими и биологическими процессами взаимодействия, происходящими между почвой, вносимыми удобрениями и возделываемыми сельскохозяйственными культурами (Абдрашитов Р.Х., Елисеев В.И., 2006; Veremeenko S.I., Furmanets O.A., 2014).

В.Г. Минеев (1990) отмечал, что динамика подвижных форм того или иного из основных элементов питания в почве имеет важное значение для питания сельскохозяйственных культур.

При систематическом внесении только минеральных удобрений наблюдается снижение почвенного плодородия, которое выражается в ухудшении агрохимических, агрофизических и биологических свойств почвы (Небытов В.Г., Кузнецова Е.А., 2012).

Внесение органических удобрений способствует улучшению гумусного состояния, увеличивает общую численность микроорганизмов в почве, интенсифицирует напряженность микробных процессов и улучшает усвоение необходимых питательных элементов (Назырова Ф.И., Гарипов Т.Т., 2012; Черный Е.С., Степанова Л.П., Цыганок Е.Н. и др., 2012).

Масса поступающих в почву растительных остатков, их качественный состав – важные факторы формирования почвенной биоты, ее роли в биологическом окультуривании почвы (Лошаков, В.Г., 2012).

Соломенное удобрение стимулирует развитие микрофлоры почвы, так как представляет собой легкодоступный источник углерода, необходимый для развития микроорганизмов. Кроме того, при разложении соломы образуется

большое количество молодого активного гумуса (Смирнов Б.А., Котьяк П.А., Чебыкина Е.В., 2008).

Комплексное воздействие многолетнего применения пожнивной сидерации, как в чистом виде, так и в сочетании с соломой устраняет отрицательное влияние зерновой специализации севооборота на плодородие почвы, повышает урожайность зерновых культур, увеличивает общую продуктивность специализированного севооборота (Лошаков В.Г., 2016).

Применение органоминеральной системы удобрения обеспечивает воспроизводство почвенного плодородия и оптимальный режим питания в течение всего периода вегетации (Небытов В.Г., Кузнецова Е.А., 2012).

Таким образом, при интенсивной технологии возделывания проса система применения удобрений должна предусматривать, прежде всего, полную обеспеченность культуры основными элементами минерального питания для получения планируемого урожая, а также создание оптимальных условий для наиболее эффективного использования питательных веществ из почвы и удобрений (Зотиков В.И. и др., 2010).

3.5.1 Содержание минерального азота

Обеспеченность почв азотом находится в прямой зависимости от наличия в них катионов NH_4^+ и NO_3^- , определяющих характер азотного питания, величину и качество урожая (Помазкина Л.В., 1985). Возделываемые культуры в зависимости от реакции среды, наличия в ней сопутствующих катионов, анионов и зольных элементов (P, S, K, микроэлементов), концентрации в растворе кальция, магния, аммонийных и нитратных солей, обеспеченности растений углеводами, могут отдавать свои предпочтения как нитратному, так и аммиачному азоту, либо нуждаться в равноценном их потреблении (Ягодин Б.А., П.М. Смирнов, А.В. Петербургский и др., 1989).

В течение 2014 – 2016 гг. мы определяли влияние соломы, биопрепарата и минеральных удобрений на содержание нитратного и аммонийного азота в почве,

значение которого зависит не только от микробиологических процессов, но и погодных условий и влажности почвы. Отбор почвенных образцов проводился в следующие фазы развития культуры: посев, всходы, кущение, вымётывание метёлки, цветение, уборка проса (рисунок 3,4, таблица 8, 9, 10).

Анализ полученных данных показал, что содержание минерального азота в почве в слое 0–30 см за годы исследований (2014–2016 гг.) перед посевом проса на контрольном варианте составило 13,6 мг/кг. Поступление в почву соломы обеспечило превышение содержания азота над вариантом без удобрений на 1,4 мг/кг. При этом на варианте с использованием соломы как совместно с дополнительной дозой азота, так и с применением препарата Байкал ЭМ-1, увеличение показателя над контролем составило 3,9 и 3,8 мг/кг соответственно. Более заметные положительные изменения отмечались в питательном режиме почв при совместном применении соломы с дополнительной дозой азота и биопрепаратом Байкал ЭМ-1, где превышение над контролем составило 5,5 мг/кг.

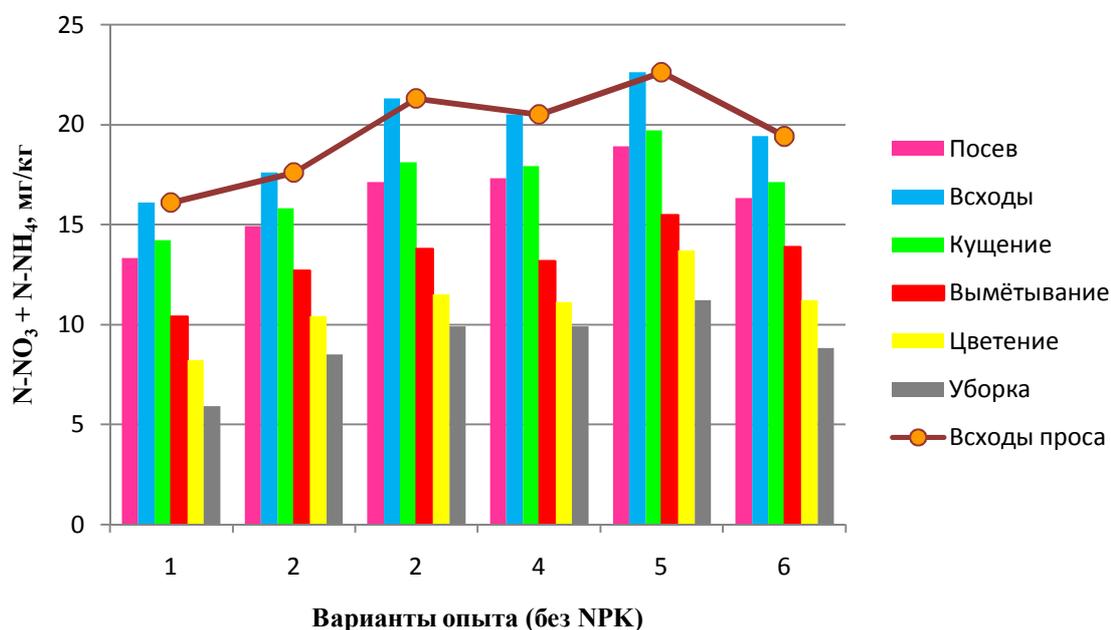


Рисунок 3 – Содержание $N-NO_3 + N-NH_4$ в пахотном слое (0–30 см) чернозёма типичного по фазам развития проса, мг/кг (2014-2016 гг.)

Варианты опыта: 1. Без удобрений (фактор А); 2. Солома предшественника (фактор В); 3. Солома + 10 кг N/ т соломы; 4. Солома + биопрепарат (Байкал ЭМ-1); 5. Солома + 10 кг N/т соломы + биопрепарат; 6. Биопрепарат (фактор С)

Наши результаты согласуются с мнением С.А. Тарасова, О.М. Шершневой (2014), утверждающих, что при обработке соломы бактериальным препаратом отмечается повышение степени разложения соломы, в результате чего высвобождаются питательные элементы, необходимые для полноценного развития возделываемой культуры. Использование соломы благоприятно влияет на мобилизацию питательных элементов, проявляющуюся в увеличении уровня азотных соединений. При этом дополнительная доза азота по 10 кг д.в. на одну тонну соломы способствует оптимизации азотного питания и компенсации иммобилизованного азота.

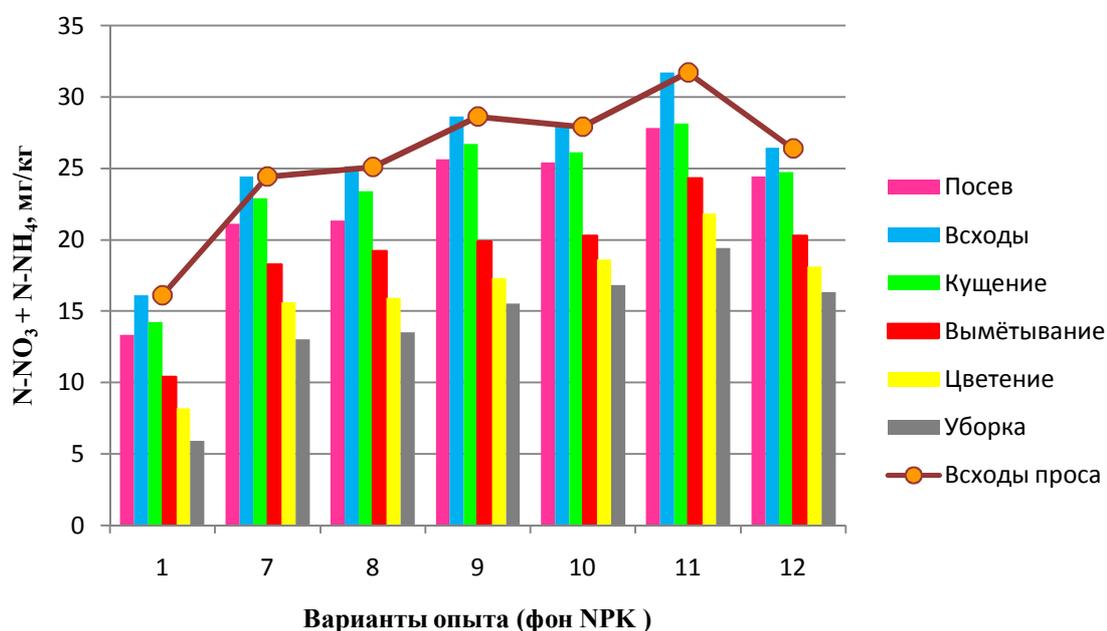


Рисунок 4 – Содержание $N-NO_3 + N-NH_4$ в пахотном слое (0–30 см) чернозёма типичного по фазам развития проса, мг/кг (2014-2016 гг.)

Варианты опыта: 1. Без удобрений (фактор А); 7. $N_{129}P_{34}K_{54}$ (фон); 8. $N_{129}P_{34}K_{54}$ + солома; 9. $N_{129}P_{34}K_{54}$ + солома + 10 кг N/т соломы; 10. $N_{129}P_{34}K_{54}$ + солома + биопрепарат; 11. $N_{129}P_{34}K_{54}$ + солома + 10 кг N/т соломы + биопрепарат; 12. $N_{129}P_{34}K_{54}$ + биопрепарат

Применение биопрепарата Байкал ЭМ-1 заметно увеличило содержание в почве доступных соединений азота и составило 2,9 мг/кг. Аналогичные данные были получены Шайхутдиновым Ф.Ш., Сержановым И.М., Шайхразиевым Ш.Ш., и др. (2013) на серых лесных почвах Республики Татарстан.

Все системы удобрения на фоне NPK существенно увеличивали концентрацию минерального азота в чернозёме типичном на 7,5 – 14,4 мг/кг по

сравнению с контролем. Максимальные показатели концентрации минерального азота перед посевом были отмечены на варианте совместного применения соломы с дополнительной дозой азота и биопрепаратом Байкал ЭМ-1 на фоне NPK, что составило 28,0 мг/кг почвы. Данная закономерность прослеживалась на всех вариантах в разные фазы развития проса.

В результате проведенных исследований установлено, что в посевах проса максимальное содержание минерального азота в почве за период вегетации культуры приходится на фазу всходов. Минимальные показатели отмечались на контроле – 16,5 мг/кг почвы. При использовании соломы показатель увеличился на 1,5 мг/кг почвы. Рассматривая варианты с заделкой соломы как с дополнительной дозой азота (21,6 мг/кг почвы), так и в сочетании с биопрепаратом (20,9 мг/кг почвы), следует отметить преимущество первого варианта, где содержание минерального азота было выше контроля на 5,1 мг/кг почвы. Однако более высокий результат был достигнут на варианте с использованием соломы в комплексе с азотным удобрением в дозе 10 кг N/т и препаратом Байкал ЭМ-1, что составило 23,2 мг/кг почвы и превысило контроль на 6,7 мг/кг почвы.

Положительная динамика содержания минерального азота в почве прослеживалась на фоне внесения NPK как отдельно, так и в сочетании с соломой озимой пшеницы – 24,7 и 25,4 мг/кг почвы соответственно. Варианты с внесением азотно-фосфорно-калийных удобрений в сочетании с соломой как с дополнительной дозой азота, так и с биопрепаратом Байкал в отдельности, были практически равноценными, что подтверждается полученными показателями – 28,5 и 27,8 мг/кг почвы соответственно. В динамике развития проса прослеживалось постепенное снижение содержания минерального азота в почве с достижением минимальных величин к фазе уборки культуры от 6,5 до 20,2 мг/кг почвы. По-видимому это обусловлено тем, что с нарастанием биомассы проса культурой увеличивается потребление азота, в связи с чем, его содержание в пахотном слое уменьшается.

Виноградский С.Н. (1952) отмечал, что первым продуктом минерализации органического вещества является аммиак, после окисления переходящий в нитратную форму, являющейся основным доступным источником азотной пищи растений. За счет нитратных форм азота происходит быстрое потребление соединений аммония почвенной микрофлорой с последующим окислением до нитратов (Ерёмин Д.И., Моисеев А.Н., 2013). На накопление нитратного азота влияет ряд факторов, в частности, почвенно-климатические условия, температурный режим, характер увлажнения и внесение удобрений (Никитин В.В., 2012).

В результате наших наблюдений за динамикой нитратного азота в почве установлено, что внесение как органических, бактериальных, так и минеральных удобрений оказывают непосредственное влияние на улучшение азотного режима почвы. Анализ полученных данных показал, что содержание нитратного азота в почве в слое 0–30 см увеличивается во всех вариантах по сравнению с контрольным вариантом и достигает максимального значения к фазе всходов, что объясняется активизацией нитрификации (таблица 7, 8, 9, рисунок, 3 и 4).

За исследуемые годы (2014–2016 гг.) содержание нитратного азота в почве в весенние периоды на контрольном варианте было ниже по сравнению с другими вариантами (8,2 мг/кг). В фазу всходов проса показатели N-NO₃ варьировали от среднего до высокого в зависимости от применения удобрений (9,9 – 18,9 мг/кг). Увеличению данного показателя на 0,9 мг/кг по отношению к контролю способствовало систематическое применение соломы. Поступление соломы с дополнительной дозой азота увеличивало концентрацию N-NO₃ в почве на 3,1 мг/кг почвы. Солома в сочетании с биопрепаратом Байкал ЭМ-1 способствовало повышению его количества на 2,6 мг/кг. Наиболее эффективным оказался вариант с применением соломы в сочетании с азотным удобрением и биопрепаратом, где превышение исследуемого показателя составило 4 мг/кг почвы. Положительное действие бактериальных препаратов обусловлено улучшением азотного питания растений. Внесение минеральных удобрений в дозе 129 кг/га азота, 34 кг/га фосфора и 54 кг/га калия способствовало возрастанию количества нитратов в

2014–2016 гг. до 14,8 мг/кг. На варианте с НРК при использовании соломы как дополнении её внесению азотом (10 кг/т соломы), так и при использовании препарата Байкал ЭМ-1 концентрация нитратов в фазу всходов проса увеличивалась на 7,2 и 6,8 мг/кг почвы соответственно. Внесение минеральных удобрений совместно с соломой, азотной добавкой и биопрепаратом позволило получить наиболее эффективный вариант по сравнению с другими (18,9 мг/кг почвы). Наши результаты согласуются с данными Т.И. Перегуды, А.Н. Воронина, Б.А. Смирнова (2008), получившие статистически значимые изменения от внесения полных минеральных удобрений как отдельно, так и совместно с соломой, а также соломы с азотными удобрениями.

Таким образом, увеличение содержания нитратного азота в удобренных вариантах при возделывании проса свидетельствует об окультуривании почвы под действием как соломы, препарата Байкал ЭМ-1, так и основных минеральных удобрений.

Нами установлена тесная зависимость между содержанием нитратного азота и урожайностью проса. Уравнение регрессии первой степени имеет следующий вид (рисунок 5, 6, 7, таблица 10).

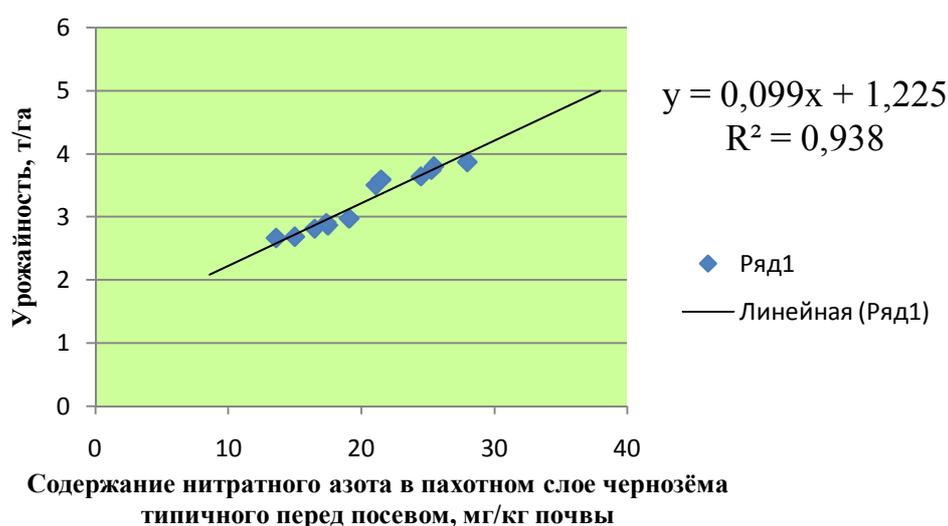


Рисунок 5 – Зависимость урожайности проса (y) от содержания в чернозёме типичном нитратного азота (x)

Таблица 7 – Содержание доступных соединений азота в почве за 2014 год, мг/кг

Ва- ри- ан- ты*	Посев			Всходы			Кущение			Вымётывание			Цветение			Уборка		
	NO ₃	NH ₄	N- NO ₃ + N-NH ₄	NO ₃	NH ₄	N- NO ₃ + N-NH ₄	NO ₃	NH ₄	N- NO ₃ + N-NH ₄	NO ₃	NH ₄	N- NO ₃ + N-NH ₄	NO ₃	NH ₄	N- NO ₃ + N-NH ₄	NO ₃	NH ₄	N- NO ₃ + N-NH ₄
1	8,1	5,2	13,3	9,7	6,4	16,1	8,2	6	14,2	6,2	4,2	10,4	4,9	3,3	8,2	3,5	2,4	5,9
2	8,6	6,3	14,9	10,6	7,0	17,6	9,5	6,3	15,8	7,6	5,1	12,7	6,2	4,2	10,4	5,1	3,4	8,5
3	10,1	7,0	17,1	12,8	8,5	21,3	10,9	7,2	18,1	8,3	5,5	13,8	6,9	4,6	11,5	5,9	4	9,9
4	10,3	7,0	17,3	12,3	8,2	20,5	10,7	7,2	17,9	7,9	5,3	13,2	6,7	4,4	11,1	5,9	3,9	9,8
5	11,1	7,8	18,9	13,6	9,0	22,6	11,8	7,9	19,7	9,3	6,2	15,5	8,2	5,5	13,7	6,7	4,5	11,2
6	9,7	6,6	16,3	11,6	7,8	19,4	10,3	6,8	17,1	8,3	5,6	13,9	6,7	4,5	11,2	5,3	3,5	8,8
7	12,7	8,4	21,1	14,6	9,8	24,4	13,7	9,2	22,9	10,9	7,4	18,3	9,4	6,2	15,6	7,8	5,2	13,0
8	12,8	8,5	21,3	15,1	10,0	25,1	14,0	9,4	23,4	11,5	7,7	19,2	9,5	6,4	15,9	8,1	5,4	13,5
9	15,4	10,2	25,6	17,2	11,4	28,6	16,0	10,7	26,7	11,9	8	19,9	10,4	6,9	17,3	9,3	6,2	15,5
10	15,2	10,2	25,4	16,7	11,2	27,9	15,7	10,4	26,1	12,2	8,1	20,3	11,2	7,4	18,6	10,1	6,7	16,8
11	16,7	11,1	27,8	19,0	12,7	31,7	16,9	11,2	28,1	14,6	9,7	24,3	13,1	8,7	21,8	11,6	7,8	19,4
12	14,6	9,8	24,4	15,8	10,6	26,4	14,5	9,6	24,1	12,2	8,1	20,3	10,9	7,2	18,1	9,8	6,5	16,3
НСР ₀₅																		
A	2,4	1,1	5,9	2,6	1,1	5,1	1,6	0,6	4,2	1,6	0,6	4,2	1,9	0,8	5,1	1,9	0,9	5,5
B	5,7	3,1	5,9	4,0	3,7	5,8	4,9	3,5	4,5	4,2	2,8	5,2	4,0	2,6	4,5	4,5	2,4	5,0
C	5,5	3,5	5,4	5,0	3,6	5,7	4,6	3,2	4,2	4,0	3,0	5,1	4,0	3,1	4,4	4,7	3,1	5,1

Варианты опыта: 1. Без удобрений; 2. Солома предшественника; 3. Солома + 10 кг N/ т соломы; 4. Солома + биопрепарат (Байкал ЭМ-1); 5. Солома + 10 кг N/т соломы + биопрепарат; 6. Биопрепарат; 7. N₁₂₉P₃₄K₅₄; 8. N₁₂₉P₃₄K₅₄ + солома; 9. N₁₂₉P₃₄K₅₄ + солома + 10 кг N/ т соломы; 10. N₁₂₉P₃₄K₅₄ + солома + биопрепарат; 11. N₁₂₉P₃₄K₅₄+ солома + 10 кг N/ т соломы + биопрепарат; 12. N₁₂₉P₃₄K₅₄+биопрепарат

Таблица 8 – Содержание доступных соединений азота в почве за 2015 год, мг/кг

Ва- ри- ан- ты*	Посев			Всходы			Кущение			Вымётывание			Цветение			Уборка		
	NO ₃	NH ₄	N- NO ₃ + N-NH ₄	NO ₃	NH ₄	N- NO ₃ + N-NH ₄	NO ₃	NH ₄	N- NO ₃ + N-NH ₄	NO ₃	NH ₄	N- NO ₃ + N-NH ₄	NO ₃	NH ₄	N- NO ₃ + N-NH ₄	NO ₃	NH ₄	N- NO ₃ + N-NH ₄
1	8,1	5,4	13,5	9,8	6,5	16,3	8,8	5,8	14,6	6,7	4,4	11,1	5,3	3,6	8,9	4,0	2,6	6,6
2	8,9	5,9	14,8	10,7	7,2	17,9	9,7	6,4	16,1	7,9	5,3	13,2	7,4	4,9	12,3	5,6	3,7	9,3
3	10,4	6,9	17,3	13,0	8,7	21,7	11,2	7,4	18,6	8,5	5,7	14,2	7,4	5,0	12,4	6,4	4,2	10,6
4	10,3	6,9	17,2	12,5	8,4	20,9	11,0	7,3	18,3	8,3	5,5	13,8	7,1	4,8	11,9	6,4	4,3	10,7
5	11,3	7,5	18,8	13,9	9,2	23,1	12,2	8,2	20,4	10,0	6,7	16,7	7,7	5,1	12,8	7,1	4,8	11,9
6	9,7	6,5	16,2	11,5	7,6	19,1	10,4	6,9	17,3	8,6	5,7	14,3	6,9	4,6	11,5	5,7	3,8	9,5
7	12,2	8,1	20,3	14,8	9,8	24,6	13,9	9,2	23,1	10,4	6,9	17,3	9,2	6,2	15,4	8,2	5,5	13,7
8	12,4	8,3	20,7	14,9	10	24,9	13,7	9,1	22,8	11,1	7,4	18,5	9,8	6,6	16,4	8,5	5,6	14,1
9	14,9	9,9	24,8	16,7	11,2	27,9	15,1	10	25,1	11,9	8,0	19,9	10,9	7,3	18,2	10,1	6,7	16,8
10	14,8	9,8	24,6	16,1	10,7	26,8	14,7	10,2	24,9	12,8	8,6	21,4	11,6	7,7	19,3	10,6	7,0	17,6
11	16,5	11	27,5	18,5	12,3	30,8	17,0	11,3	28,3	13,7	9,1	22,8	13,0	8,6	21,6	12,1	8,1	20,2
12	14,3	9,6	23,9	15,7	10,4	26,1	14,7	9,8	24,5	12,5	8,4	20,9	10,9	7,2	18,1	10,2	6,8	17,0
НСР ₀₅																		
A	2,7	1,2	5,4	1,9	0,8	3,2	1,4	0,6	3,9	1,4	0,7	4,0	1,8	0,7	3,8	2,1	0,9	4,7
B	5,2	3,2	5,9	4,3	2,8	5,4	4,1	2,9	5,2	4,8	2,1	5,1	4,2	2,2	5,3	4,6	2,5	5,4
C	5,6	3,4	5,9	5,6	2,9	5,9	5,5	3,1	5,8	5,4	2,5	5,5	4,8	2,9	5,7	4,8	2,9	5,9

Варианты опыта: 1. Без удобрений; 2. Солома предшественника; 3. Солома + 10 кг N/ т соломы; 4. Солома + биопрепарат (Байкал ЭМ-1); 5. Солома + 10 кг N/т соломы + биопрепарат; 6. Биопрепарат; 7. N₁₂₉P₃₄K₅₄; 8. N₁₂₉P₃₄K₅₄ + солома; 9. N₁₂₉P₃₄K₅₄ + солома + 10 кг N/ т соломы; 10. N₁₂₉P₃₄K₅₄ + солома + биопрепарат; 11. N₁₂₉P₃₄K₅₄+ солома + 10 кг N/ т соломы + биопрепарат; 12. N₁₂₉P₃₄K₅₄+биопрепарат

Таблица 9 – Содержание доступных соединений азота в почве за 2016 год, мг/кг

Ва- ри- ан- ты*	Посев			Всходы			Кущение			Вымётывание			Цветение			Уборка		
	NO ₃	NH ₄	N- NO ₃ + N-NH ₄	NO ₃	NH ₄	N- NO ₃ + N-NH ₄	NO ₃	NH ₄	N- NO ₃ + N-NH ₄	NO ₃	NH ₄	N- NO ₃ + N-NH ₄	NO ₃	NH ₄	N- NO ₃ + N-NH ₄	NO ₃	NH ₄	N- NO ₃ + N-NH ₄
1	8,3	5,6	13,9	10,3	6,8	17,1	9,3	6,2	15,5	7,7	5,2	12,9	5,8	3,8	9,6	4,3	2,8	7,1
2	9,2	6,1	15,3	11,1	7,4	18,5	10,1	6,8	16,9	8,5	5,6	14,1	7,6	5,1	12,7	6,1	4,1	10,2
3	10,7	7,2	17,9	13,1	8,8	21,9	11,5	7,6	19,1	9,4	6,2	15,6	7,9	5,2	13,1	6,7	4,5	11,2
4	10,6	7,1	17,7	12,8	8,6	21,4	11,3	7,6	18,9	8,6	5,7	14,3	7,6	5,1	12,7	6,6	4,4	11,0
5	11,8	7,8	19,6	14,3	9,5	23,8	12,5	8,4	20,9	10,4	6,9	17,3	8,1	5,4	13,5	7,4	5,0	12,4
6	10,7	5,9	16,9	11,9	8,0	19,9	10,6	7,1	17,7	8,9	6	14,9	7,0	4,7	11,7	5,9	4,0	9,9
7	13,1	8,8	21,9	15,1	10,1	25,2	14,3	9,5	23,8	11,8	7,8	19,6	9,7	6,5	16,2	8,6	5,8	14,4
8	13,4	9	22,4	15,8	10,5	26,3	14,8	9,8	24,6	12,2	8,1	20,3	10,3	6,8	17,1	9,2	6,1	15,3
9	15,7	10,5	26,2	17,5	11,6	29,1	16,6	11,1	27,7	13,1	8,7	21,8	11,2	7,4	18,6	10,5	7,0	17,5
10	15,5	10,3	25,8	17,2	11,4	28,6	16,1	10,8	26,9	13,3	8,8	22,1	11,7	7,8	19,5	10,9	7,2	18,1
11	17,2	11,4	28,6	19,3	12,9	32,2	18,2	12,1	30,3	15,4	10,3	25,7	13,4	9	22,4	12,5	8,4	20,9
12	15,1	10,1	25,2	16,4	11,0	27,4	15,4	10,3	25,7	13,1	8,7	21,8	11,3	7,6	18,9	10,8	7,2	18,0
НСР ₀₅																		
A	2,4	0,9	4,3	2,1	0,9	4,0	1,9	0,9	3,5	1,6	0,7	3,4	1,6	0,8	3,6	1,9	0,9	4,3
B	5,3	3,7	5,9	4,7	3,4	5,8	5,6	3,8	5,8	4,3	2,9	5,7	4,1	2,2	4,9	4,6	2,5	5,6
C	4,8	4,6	5,3	4,9	3,5	5,8	6,0	3,9	6,4	4,5	3,3	5,3	4,9	3,1	5,6	4,4	3,2	5,4

Варианты опыта: 1. Без удобрений; 2. Солома предшественника; 3. Солома + 10 кг N/ т соломы; 4. Солома + биопрепарат (Байкал ЭМ-1); 5. Солома + 10 кг N/т соломы + биопрепарат; 6. Биопрепарат; 7. N₁₂₉P₃₄K₅₄; 8. N₁₂₉P₃₄K₅₄ + солома; 9. N₁₂₉P₃₄K₅₄ + солома + 10 кг N/ т соломы; 10. N₁₂₉P₃₄K₅₄ + солома + биопрепарат; 11. N₁₂₉P₃₄K₅₄+ солома + 10 кг N/ т соломы + биопрепарат; 12. N₁₂₉P₃₄K₅₄+биопрепарат

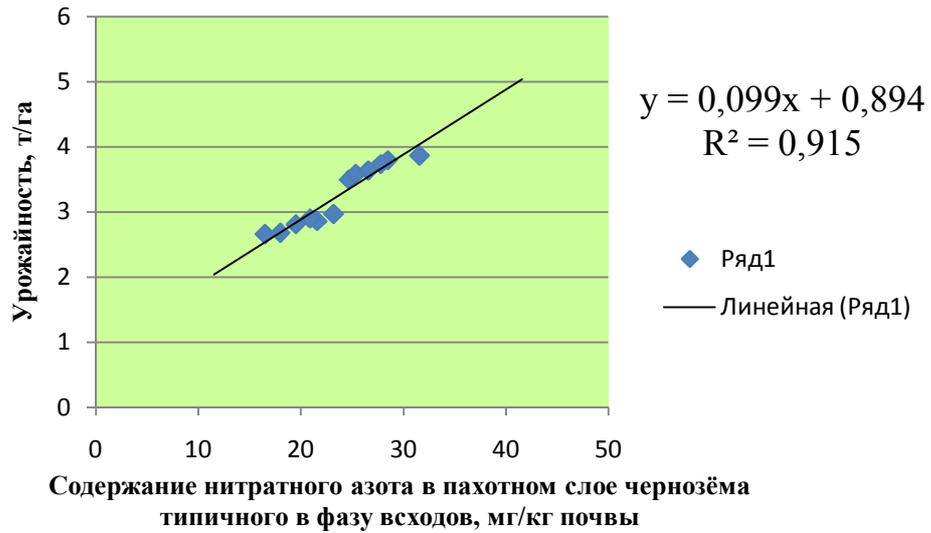


Рисунок 6 – Зависимость урожайности проса (y) от содержания в чернозёме типичном нитратного азота (x)

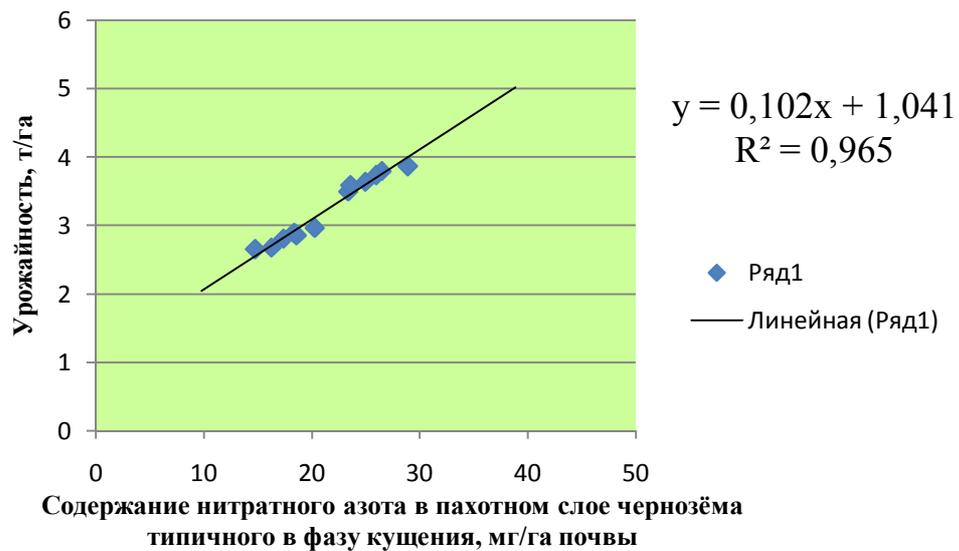


Рисунок 7 – Зависимость урожайности проса (y) от содержания в чернозёме типичном нитратного азота (x)

Таким образом, между урожаем зерна проса и содержанием нитратного азота в почве отмечена тесная положительная связь, описываемая соответствующими уравнениями регрессии.

Таблица 10 – Зависимость урожайности зерна проса от содержания нитратного азота в почве

Срок определения	Уравнение регрессии	Критерии достоверности
Перед посевом	$Y = 0,0992x + 1,2258$	$R^2 = 0,9381$
Всходы	$Y = 0,0995x + 0,8942$	$R^2 = 0,9156$
Кущение	$Y = 0,1023x + 1,0413$	$R^2 = 0,9655$

*Примечание: Y – урожайность, т/га, x – содержание нитратного азота, мг/кг почвы

Изучение влияния соломы на содержание минерального азота под посевами проса позволяет сделать следующие выводы:

– наиболее высокое содержание доступных форм азота в пахотном слое наблюдалось при использовании соломы с дополнительной дозой азота и биопрепаратом Байкал ЭМ-1 на фоне минеральных удобрений, которое составило 28 мг/кг в фазу посевов и 31,6 мг/кг в фазу всходов;

– в динамике нитратного азота в почве под посевами проса максимум накопления N-NO₃ установлен в фазу всходов (в 2014 году от 9,7 до 19,0 мг/кг почвы; в 2015 году от 9,8 до 18,5 мг/кг почвы; в 2016 году от 10,3 до 19,3 мг/кг почвы);

– между урожайностью проса и содержанием нитратного азота в почве установлена тесная прямая связь ($R^2 = 0,9381$) выражаемая соответствующими уравнениями регрессии, что позволяет прогнозировать величину урожая задолго до его уборки.

3.5.2 Содержание доступного фосфора в почве

Фосфор является одним из основных элементов питания растений. Ю. Либих называл его «ключом жизни», а Д.Н. Прянишников отводил ему главную роль в системе удобрений. Уровень содержания усвояемых растениями

фосфатов в почвах определяет их плодородие и эффективность применения удобрений (Адрианов С.Н., 2008).

Потенциально доступные фосфаты почвы включают в себя минеральные, органические, органоминеральные и хемосорбированные комплексы, способные через совокупность взаимодействий и процессов обогащать почвенную систему фосфатами в формах, доступных растениям (Иванов А.Л., 2012).

По мнению С.С. Аверкина и И.В. Науменко (2017) доступность фосфора зависит от соотношения процессов мобилизации и иммобилизации, происходящих в почве.

Все формы потенциально доступных фосфатов отличаются друг от друга по растворимости и по отношению к гидролитическому распаду. Большинство из них являются труднодоступными соединениями (Синещев В.Е., Ткаченко Г.И., 2016).

В агрохимической практике наибольший интерес представляет изучение качественного состава активных минеральных фосфатов, так как по их соотношению можно судить о направленности процессов превращения фосфора в почвах и о потенциальной их доступности растениям.

Л.П. Антипина (1992) с сотрудниками утверждают, что в почвах, отличающихся повышенным содержанием наиболее растворимых минеральных фосфатов, удобрения длительный срок сохраняются в доступном для растений состоянии и полнее используются.

Результаты исследований содержания доступного фосфора в почве под посевами проса представлены на рисунке 8 и 9 .

Просо усиленно использовало фосфор в период кущение – выметывание метёлки – цветение на формирование вегетативной массы и метёлки.

Анализ почвы, отобранной до посева проса, показал, что на вариантах с использованием соломы и биопрепарата Байкал ЭМ-1 прослеживалась динамика увеличения доступного фосфора по сравнению с контролем на 1,5 и 9,0 мг/кг соответственно.

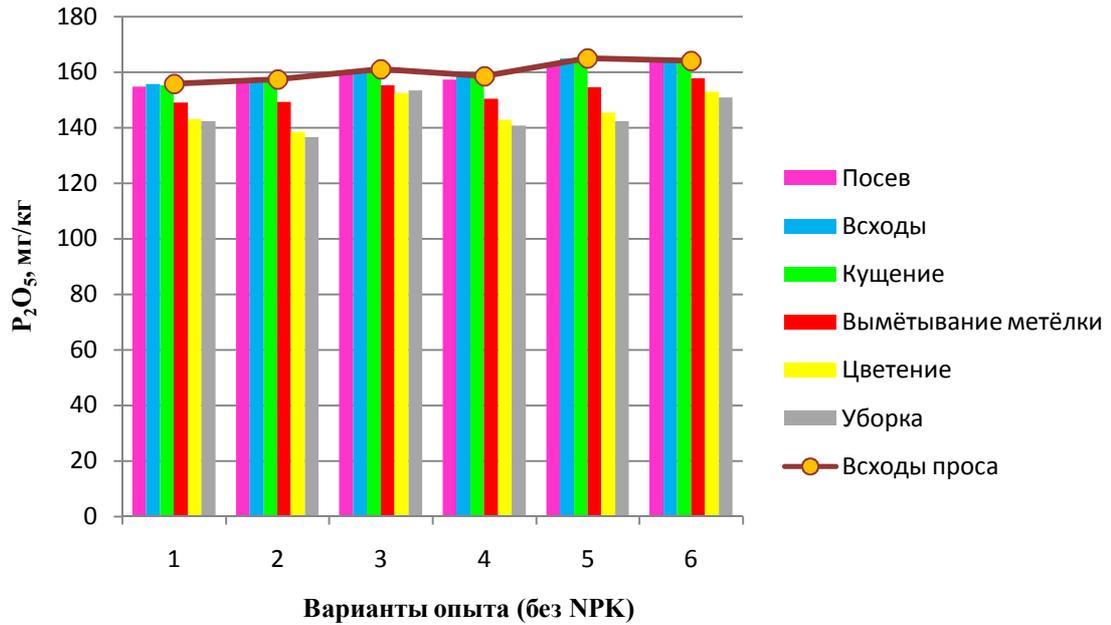


Рисунок 8 – Содержание доступного фосфора в пахотном слое (0–30 см) чернозёма типичного по фазам развития проса, мг/кг (2014-2016 гг.)

Варианты опыта: 1. Без удобрений (фактор А); 2. Солома предшественника (фактор В); 3. Солома + 10 кг N/ т соломы; 4. Солома + биопрепарат (Байкал ЭМ-1); 5. Солома + 10 кг N/т соломы + биопрепарат; 6. Биопрепарат (фактор С)

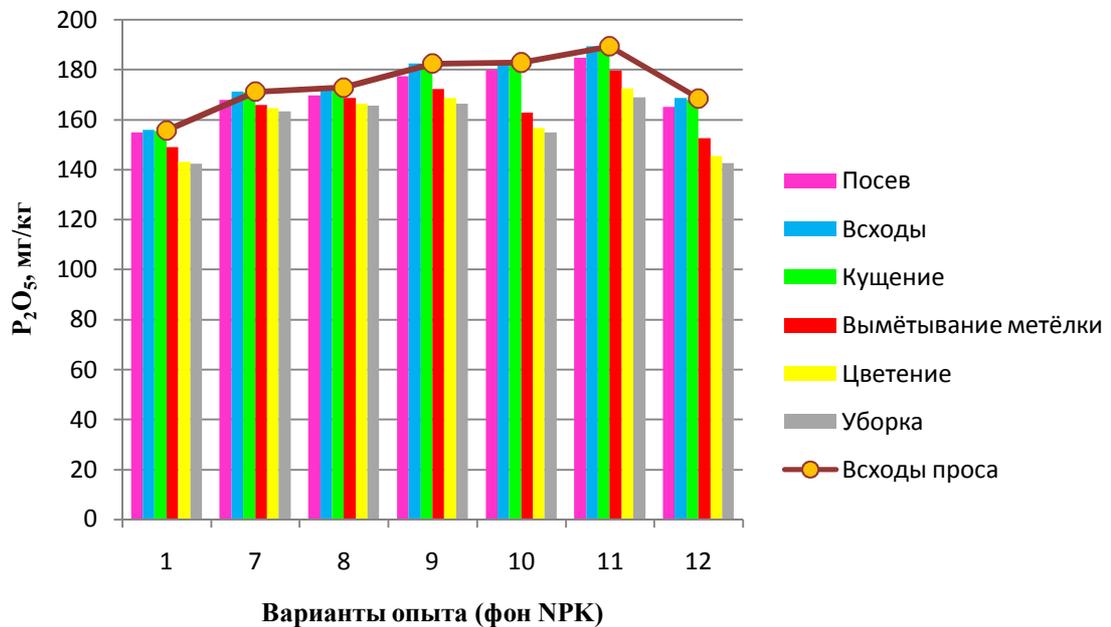


Рисунок 9 – Содержание доступного фосфора в пахотном слое (0–30 см) чернозёма типичного по фазам развития проса, мг/кг (2014-2016 гг.)

Варианты опыта: 1. Без удобрений (фактор А); 7. N₁₂₉P₃₄K₅₄ (фон); 8. N₁₂₉P₃₄K₅₄ + солома; 9. N₁₂₉P₃₄K₅₄ + солома + 10 кг N/ т соломы; 10. N₁₂₉P₃₄K₅₄ + солома + биопрепарат; 11. N₁₂₉P₃₄K₅₄ + солома + 10 кг N/ т соломы + биопрепарат; 12. N₁₂₉P₃₄K₅₄ + биопрепарат

По данным Varinderpal-Singh, N.S. Dhillon, B.S. Brar (2006) применение соломы для удобрения повышало доступность фосфатов. При добавлении N в количестве 10 кг на 1 т соломы количество доступного фосфора возросло на 5 мг/кг по сравнению с контролем, на 3,5 мг/кг – с соломой, что говорит о более эффективном влиянии азотных удобрений на повышение концентрации доступного фосфора в почве. Аналогичные данные приводятся в работах Barzegar A.R., Yousefi A., Daryashenas A. (2002).

Благоприятным оказалось сочетание соломы и биопрепарата как отдельно, так и в совокупности с азотной добавкой. Увеличение доступного фосфора в чернозёме типичном по сравнению с контрольным вариантом составило 2,5 и 8,5 мг/кг соответственно. По данным Магомедова К.Г., Ханиева М.Х., Ханиевой И.М. и др. (2008) применение препарата Байкал ЭМ-1 в сочетании с азотной подкормкой также способствовало улучшению минерального питания зерновых культур и прибавки урожая. Шайхутдинов Ф.Ш. с сотрудниками отмечает повышение количества фосфора в почве при обработке соломы биопрепаратом. Следует отметить, что применение Байкал ЭМ-1 в чистом виде оказался наиболее благоприятным для обеспечения проса. По-видимому это объясняется тем, что биопрепарат вносился в почву в тёплый период времени при хорошей влагообеспеченности пахотного слоя (конец августа – начало сентября), поэтому все микробиологические процессы смогли проявить себя в полной мере.

Внесение минеральных удобрений оказывало непосредственное влияние на улучшение фосфорного режима в почве. Содержание доступного фосфора увеличилось на 13,0 мг/кг по сравнению с контрольным вариантом. Поступление в пахотный слой растительной массы в сочетании с NPK также способствовало повышению доступных соединений фосфора на 14,7 мг/кг. Аналогичные результаты получены Д.А. Антоненко и др. (2015) и И.Ф. Медведевой и др. (2012), а также Р.Х. Абдрашитовым и В.И. Елисеевым (2006) в вегетационных опытах. Оптимальным вариантом является применение соломы, биопрепарата и доступных фосфорных соединений на 29,8 мг/кг по сравнению с контрольным вариантом.

Таким образом, вносимые солома, азотная добавка и биопрепарат способствовали поддержанию высокого уровня содержания фосфора в пахотном слое почвы.

В среднем за 3 года содержание фосфора в почве к концу вегетации проса было больше по сравнению с вариантом без внесения удобрений: на 10,9 мг/кг – при использовании соломы и азотной добавки; на 8,4 мг/кг – при применении микробного удобрения; на 26,6 мг/кг – на фоне минеральных удобрений; на 28,9 мг/кг – при использовании соломы на фоне NPK; на 29,9 мг/кг – при использовании соломы и азотной добавки на фоне NPK; на 18,2 мг/кг – при использовании соломы с биопрепаратом Байкал ЭМ-1 на фоне NPK; на 32,3 мг/кг – при совместном применении соломы, азотной добавки и биопрепаратом на фоне NPK; на 6 мг/кг – при внесении препарата Байкал ЭМ-1 на фоне NPK.

Показатели содержания доступного фосфора в фазу уборки проса по вариантам с использованием соломы как отдельно, так и совместно с биопрепаратом, а также совместно с азотной добавкой и Байкал ЭМ-1 оказались ниже контроля на 5,9 мг/кг, 1,6 мг/кг и 0,2 мг/кг соответственно.

В течение вегетационного периода происходило высвобождение фосфора из твёрдой фазы почвы и его поглощение растениями, что снижало его концентрацию в почвенном растворе. При этом внесение соломы, очевидно, способствовало улучшению структуры пахотного слоя и удержанию почвенной влаги, что повлияло на накопление в чернозёме типичном фракций доступных фосфатов. С.С. Аверкина, И.В. Науменко (2017) также отмечают положительное влияние орошения на увеличение доступных форм фосфора на черноземах Западной Сибири под злаковыми культурами.

Однако солому на удобрение лучше использовать с азотной добавкой, идущей на питание почвенным микроорганизмам. Запахивание нетоварной части растения с азотом при достаточном увлажнении повышала доступность растениям соединений фосфора. Мобилизация питательных элементов была связана с образованием при разложении соломы веществ кислой природы, растворяющих малоподвижные соединения (Надежкин С.Н., Нурмухаметов Н.М., 2005).

Внесение фосфорных удобрений повлияло на подвижность почвенных фосфатов, в связи с чем их количество на протяжении всего вегетационного периода оставалось на высоком уровне по сравнению с контролем и вариантами на фоне соломы. Наше мнение согласуется с данными Галеевой Л.П. (2013), проводившей исследования с фосфорными удобрениями на чернозёме, где P_2O_5 оставался в минеральной части почв длительное время, несмотря на взаимодействие с почвой.

Применение биопрепарата Байкал ЭМ-1 совместно с минеральными удобрениями способствовало очень слабому усилению эффекта, что связано, по-видимому, с отрицательной реакцией микробного сообщества на увеличение концентрации почвенного раствора. К аналогичному мнению пришли Е.В. Агафонов, В.В. Клыков (2013), исследовавшие действие биопрепаратов Азоризин 6 и Азоризин 8 при обработке семян проса на чернозёме южном.

Таким образом, полученные результаты дают возможность утверждать, что применение соломы как отдельно, так и в вариациях с дополнительной дозой азота, биопрепаратом Байкал ЭМ-1 и минеральными удобрениями положительно влияет на количество доступного фосфора в почве в условиях лесостепи Среднего Поволжья.

Нами установлена тесная связь между содержанием доступных фосфорных соединений и урожайность проса. Уравнение регрессии имеет следующий вид (таблица 11, рисунок 10, 11, 12).

Таблица 11 – Зависимость урожая зерна проса от содержания доступного фосфора в почве

Срок определения	Уравнение регрессии	Критерии достоверности
Перед посевом	$Y = 0,044x - 4,083$	$R^2 = 0,801$
Всходы	$Y = 0,039x - 3,495$	$R^2 = 0,860$
Кущение	$Y = 0,040x - 3,587$	$R^2 = 0,846$

*Примечание: Y – урожайность, т/га, x – содержание доступного фосфора, мг/кг почвы

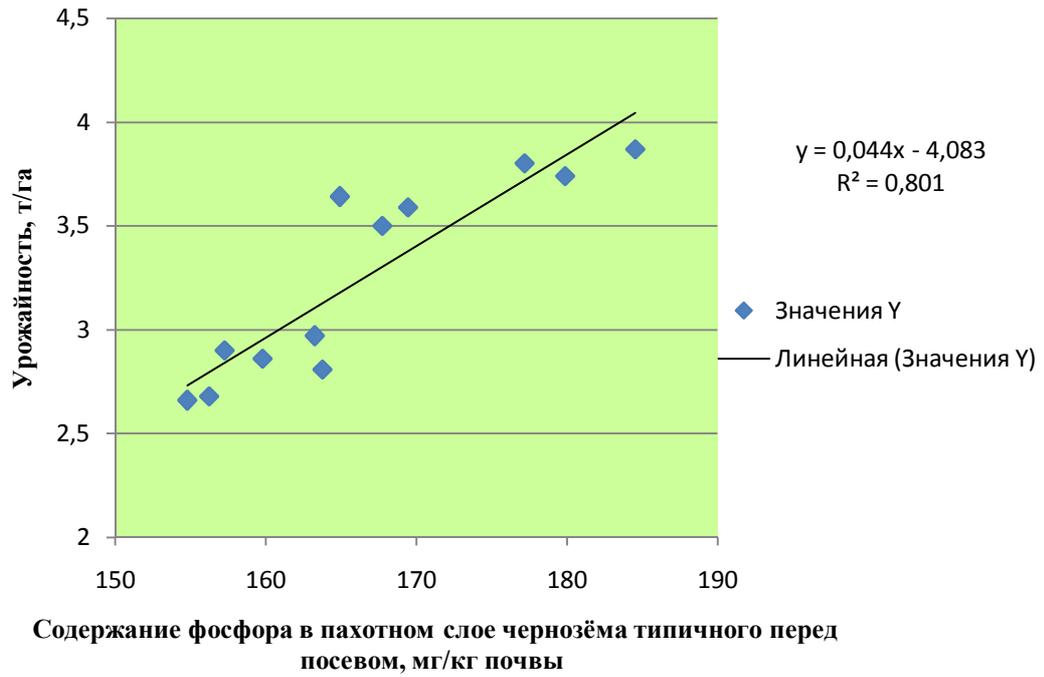


Рисунок 10 – Зависимость урожайности проса (y) от содержания в чернозёме типичном доступного фосфора (x)

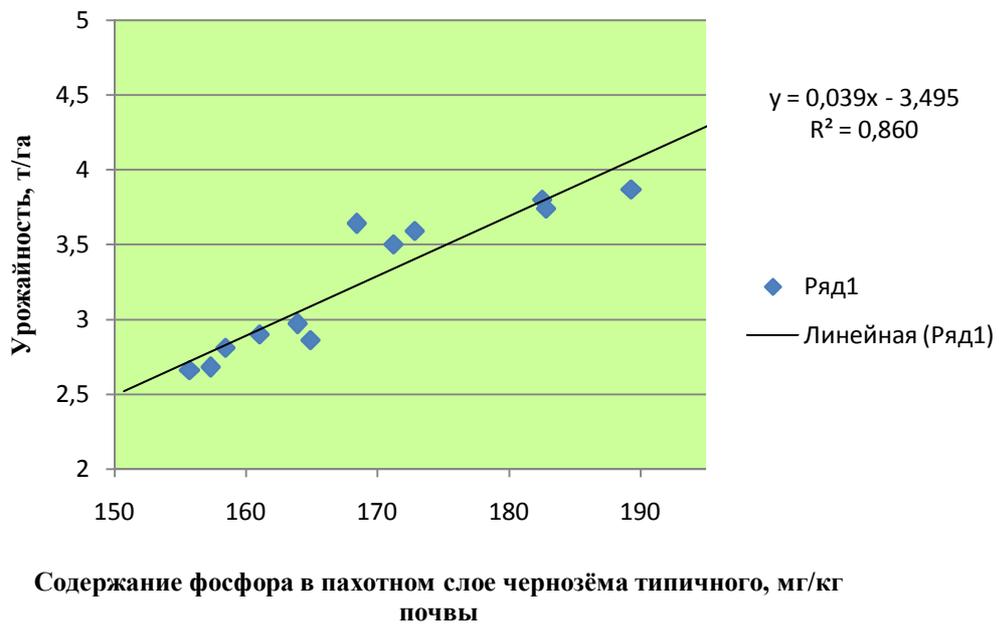


Рисунок 11 – Зависимость урожайности проса (y) от содержания в чернозёме типичном доступного фосфора в фазу всходов (x)

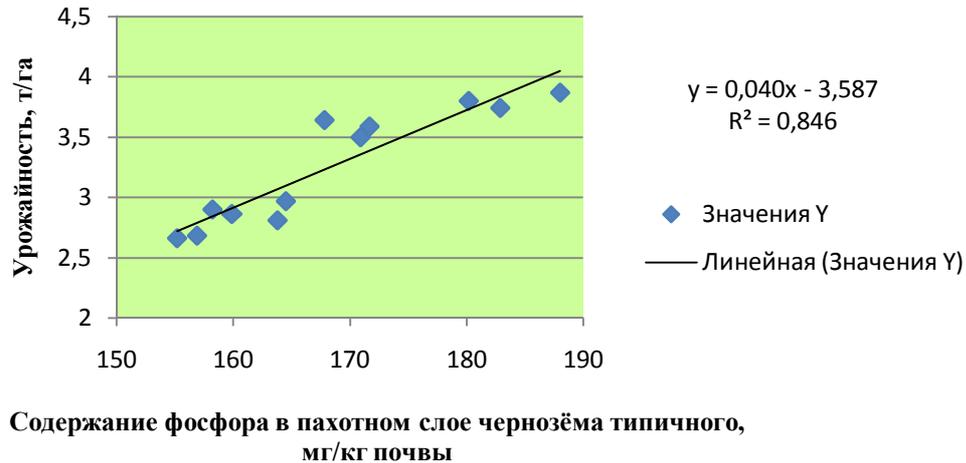


Рисунок 12 – Зависимость урожайности проса (y) от содержания в чернозёме типичном доступного фосфора в фазу кущения (x)

Таким образом, между урожаем зерна проса и содержанием доступного фосфора в почве отмечена тесная положительная взаимосвязь, описываемая уравнением регрессии.

Исследования по выявлению доступного фосфора в почве позволяет сделать следующие выводы:

- на вариантах с использованием соломы прослеживалась динамика увеличения доступного фосфора по сравнению с контролем на 1,7 мг/кг;

- солому на удобрение целесообразно использовать с азотной добавкой, при этом содержание доступного фосфора в пахотном слое повышается на 5,3 мг/кг;

- наиболее высокое содержание доступных форм фосфора наблюдалось на варианте с использованием соломы, дополнительной дозы азота, биопрепарата Байкал ЭМ-1 на фоне минеральных удобрений и составила 164,9 мг/кг;

- между урожайностью проса и содержанием доступного фосфора в почве установлена положительная зависимость, выражаемая уравнениями регрессии $Y = 0,044x - 4,083$ ($R^2 = 0,801$) (посев культуры), $Y = 0,039x - 3,495$ ($R^2 = 0,860$) (всходы), $Y = 0,040x - 3,587$ ($R^2 = 0,846$) (фаза кущения).

3.5.3 Содержание доступного калия

Калий, наряду с азотом и фосфором является важным элементом минерального питания, сосредоточенный главным образом в клетках культур. В растительном организме находится преимущественно в виде ионов, рыхло связанных с протоплазмой. Главная физиологическая функция калия заключается в способности повышать обводненность протоплазмы и увеличивать ее водоудерживающую силу. Кроме того, калий участвует в активном транспорте ассимилянтов к органам запаса и необходим для усвоения аммония (Ильин В.Б., 1985).

Ионы калия поддерживают осмотическое давление и гидратацию коллоидов в клетках, активируют некоторые ферменты. Метаболизм калия тесно связан с углеводным обменом, ионы K^+ влияют на синтез белков. Клетки избирательно концентрируют K^+ (Егорова И.А., Кислицина Ю.В., Пузанов А.В., 2009).

Калий повышает активность амилазы, сахаразы и протеолитических ферментов. Недостаток его приводит к дезорганизации обмена веществ в растительном организме (Беспалова Н.С., Жабин М.А., 2007).

При калийном голодании в значительной степени замедляется рост растений, желтеют, буреют и отмирают края нижних листьев. В первую очередь страдают старые листья, которые становятся куполообразными, волнистыми, с краевым подпалом (Абдукаримов А.Г., Турсынбаев Н.А., Калымбекова Г.Т., 2015).

Калий относится к числу важнейших в питании растений химических элементов. Вынос его с урожаем всегда больше, чем фосфора, а часто и азота (Лукин С.В. и др., 2010).

Калий легко выщелачивается из листьев, теряющих во время дождей до 50 % элемента, среднее содержание в золе растений составляет 15 %. Калий может реутилизироваться, то есть может повторно использоваться (Добровольский В.В., 1983).



Рисунок 13 – Значение калия в жизни растений

Результаты исследований содержания доступного фосфора в почве под посевами проса представлены на рисунке 14, 15.

Анализ почвы, отобранной до посева проса, в среднем за 3 года, показал, что использовании соломы предшественника увеличивало в почве содержание обменного калия по сравнению с контролем на 2,3 мг/кг.

В результате обработки соломы биопрепаратом Байкал ЭМ-1 повышение доступного калия в почве составило 9,9 мг/кг, что, по-видимому, обусловлено мобилизацией K_2O из труднодоступных соединений почв за счет активизации жизнедеятельности микроорганизмов.

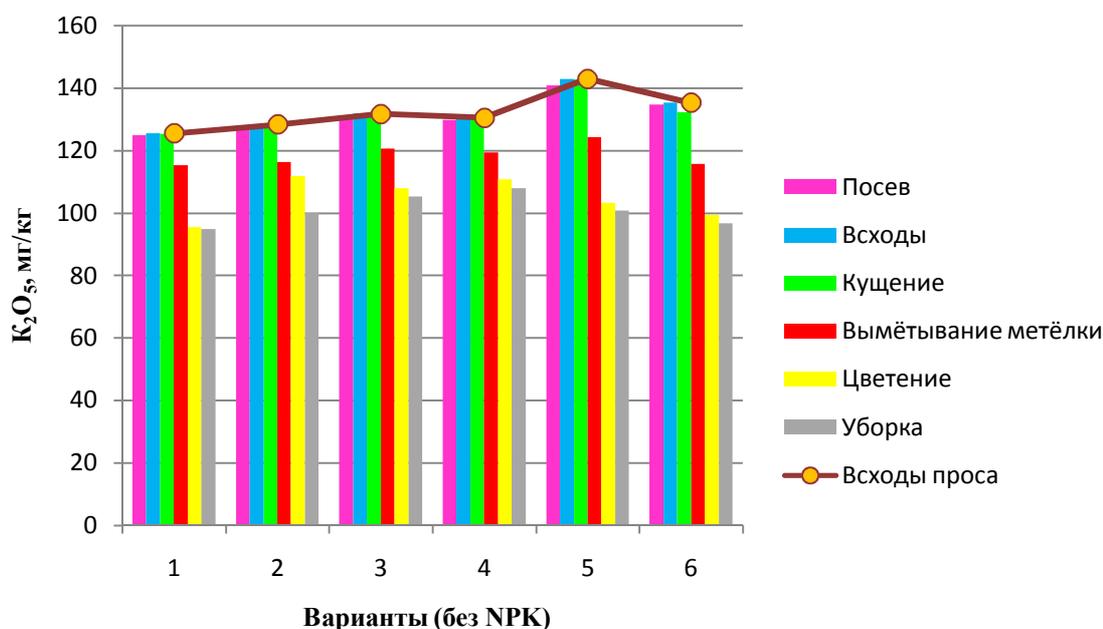


Рисунок 14 – Содержание доступного калия в пахотном слое чернозёма типичного, мг/кг (2014-2016 гг.)

Варианты опыта: 1. Без удобрений (контроль) (фактор А); 2. Солома предшественника (фактор В); 3. Солома + 10 кг N/ т соломы; 4. Солома + биопрепарат (Байкал ЭМ-1); 5. Солома + 10 кг N/т соломы + биопрепарат; 6. Биопрепарат (фактор С)

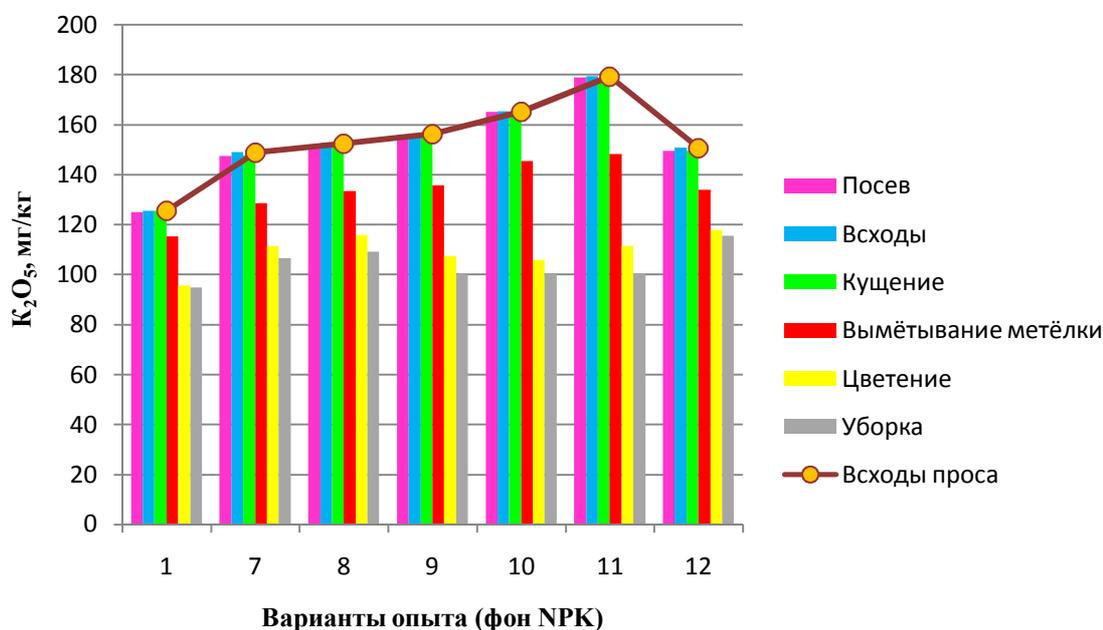


Рисунок 15 – Содержание доступного калия в пахотном слое (0–30 см) чернозёма типичного, мг/кг (2014-2016 гг.)

Варианты опыта: 1. Без удобрений (контроль) (фактор А); 7. $N_{129}P_{34}K_{54}$ (фон); 8. $N_{129}P_{34}K_{54}$ + солома; 9. $N_{129}P_{34}K_{54}$ + солома + 10 кг N/ т соломы; 10. $N_{129}P_{34}K_{54}$ + солома + биопрепарат; 11. $N_{129}P_{34}K_{54}$ + солома + 10 кг N/ т соломы + биопрепарат; 12. $N_{129}P_{34}K_{54}$ + биопрепарат

На варианте с внесением дополнительной дозы азота на 1 т соломы увеличение подвижного калия в пахотном слое составила 6,2 мг/кг. Наиболее высокий показатель по содержанию в почве обменного калия наблюдали на варианте с применением соломы, биопрепарата и азота 10 кг/т соломы, что составило 16 мг/кг. Полученные результаты, по-видимому, объясняются тем, что азотное питание способствовало активизации работы микроорганизмов, разлагающих солому, в результате чего высвобождался калий, которого, в соломе в 3 раза выше, чем в зерне.

Таким образом, применение соломы, дополнительной дозы азота и биопрепарата Байкал ЭМ-1 способствовало поддержанию высокого уровня содержания калия в пахотном слое почвы.

Применение соломы на фоне минеральных удобрений позволило увеличить содержание обменного калия на 26,7 мг/кг почвы по сравнению с контролем и на 4,2 мг/кг по сравнению с NPK, что говорит об эффективности органического удобрения. Аналогичная тенденция просматривается в опытах Д.К. Медина и Н.П. Шабардиной (2016) при изучении агрохимических свойств дерново-подзолистой почвы.

Применение соломы с азотной добавкой на фоне NPK повышало доступность растениям соединений калия на 31,0 мг/кг по сравнению с контролем, чему способствовало внесение минеральных удобрений. Наши данные согласуются с данными С.В. Лукина, И.И. Васенева, А.С. Цыгуткина (2010) и Н.Ю. Клят, Азаренко Ю.А. (2014), отмечающих увеличение обменного калия в почвах с внесением азотно-фосфорных удобрений.

Внесение минеральных удобрений совместно с соломой, азотной добавкой и биопрепаратом позволило получить наиболее эффективный по сравнению с другими вариант опыта (178,9 мг/кг почвы).

Такая же тенденция сохранялась до конца вегетации культуры по всем вариантам опыта.

Нами установлена тесная связь между содержанием доступных калийных соединений и урожайность проса. Уравнение регрессии имеет следующий вид (таблица 12, рисунок 16, 17, 18).

Таблица 12 – Зависимость урожая зерна проса от содержания доступного калия в почве

Срок определения	Уравнение регрессии	Критерии достоверности
Перед посевом	$Y = 0,026x - 0,588$	$R^2 = 0,856$
Всходы	$Y = 0,026x - 0,655$	$R^2 = 0,856$
Кущение	$Y = 0,027x - 0,718$	$R^2 = 0,865$

*Примечание: Y – урожайность, т/га, x – содержание доступного калия, мг/кг почвы

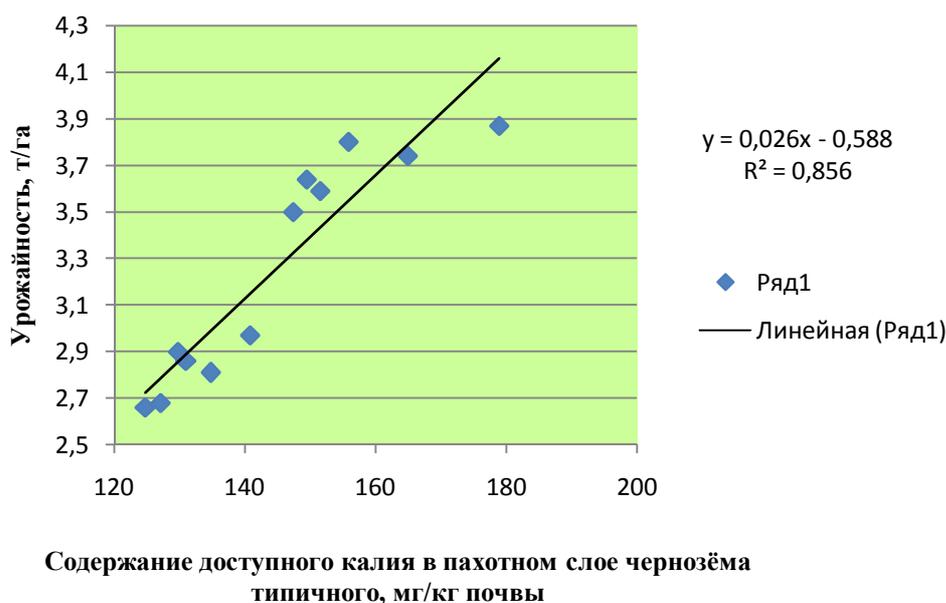


Рисунок 16 – Зависимость урожайности проса (y) от содержания в чернозёме типичном доступного калия в фазу посева (x)

Исследования по изучению доступного калия в почве позволяют сделать следующие выводы:

– содержание подвижного калия в почве всех вариантов было высоким (по Чирикову) и варьировало в пределах 124–179 мг/кг. Таким образом, относительная стабильность в содержании обменного калия в почве на

протяжении длительного времени при ежегодном выносе 20–34 кг/га указывает на высокую мобилизационную активность черноземной почвы в возобновлении его запасов за счет необменных форм;

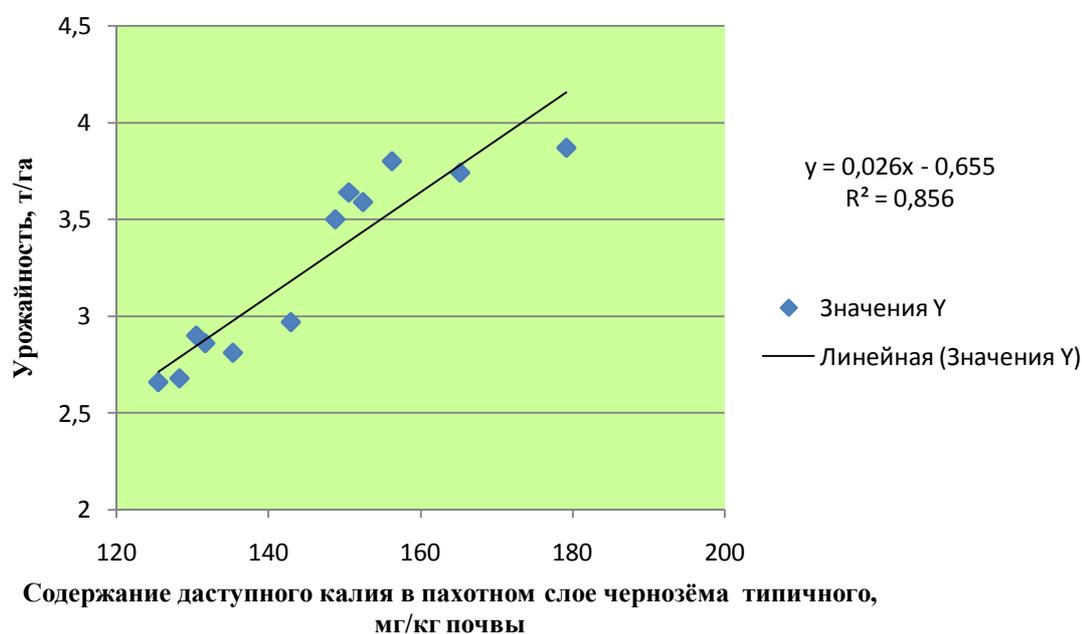


Рисунок 17 – Зависимость урожайности проса (y) от содержания в чернозёме типичном доступного калия. Всходы (x)

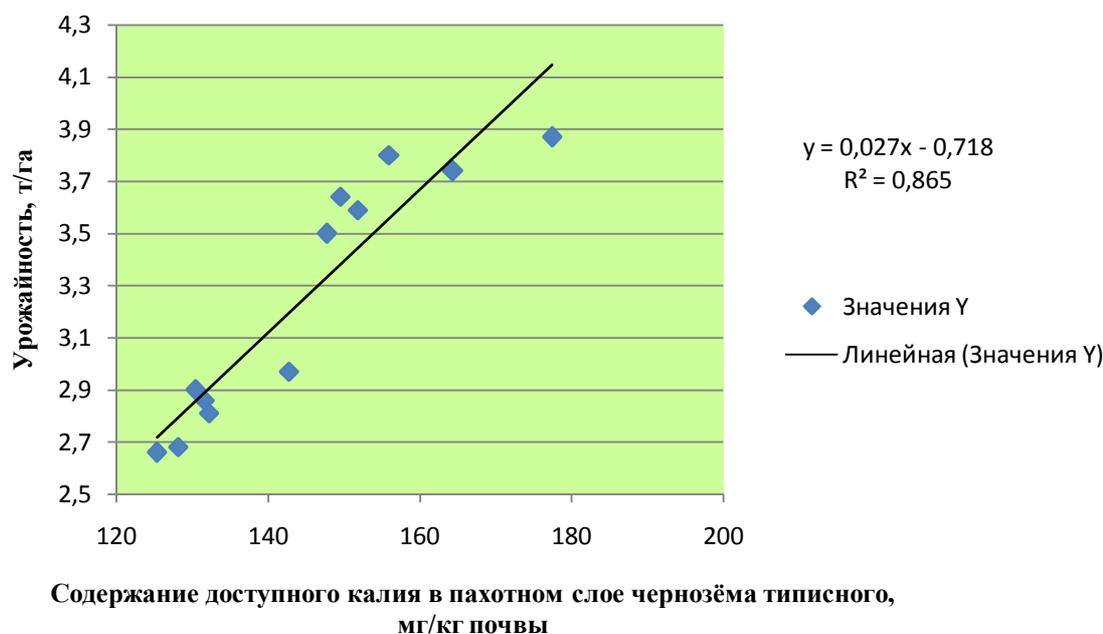


Рисунок 18 – Зависимость урожайности проса (y) от содержания в чернозёме типичном доступного калия. Кущение (x)

– применение соломы как отдельно, так и сочетание её с азотной добавкой, биопрепаратом Байкал ЭМ-1 и на фоне минеральных удобрений позволяло увеличить содержание обменного калия почвы по сравнению с контролем до 53,7 мг/кг, что свидетельствует об эффективности данного приема и положительной динамике в процессе применения соломы при возделывании проса;

– обработка соломы биопрепаратом Байкал ЭМ-1 способствовала повышению калия на 5 мг/кг перед посевом и на 15,3 мг/кг в фазу цветения, что, видимо, связано с мобилизацией K_2O из труднодоступных соединений почв за счет активации жизнедеятельности микроорганизмов.

4 Влияние соломы на фотосинтетическую деятельность посевов проса

4.1 Ассимиляционная поверхность листьев

Урожай сельскохозяйственных культур формируется в процессе фотосинтеза. Основными показателями, характеризующими фотосинтез растений в посевах, считаются размеры ассимиляционного аппарата и время его активного функционирования.

В литературных источниках фотосинтетическую активность растений характеризуют как совокупность ряда взаимосвязанных процессов. По мнению Н.А. Боме, Е.А. Тюменцева, А.Я. Боме (2011) главными показателями её являются быстрота роста и размеры фотосинтетического аппарата, включающие площадь листьев, их пространственное положение и ориентацию, время работы, эффективность использования растениями ассимилянтов.

По данным В.И. Запарнюк (2013) фотосинтетический потенциал определяется суммой площадей ассимиляционной поверхности листьев за весь период функционирования. Являясь интегральным показателем листовой поверхности, он характеризует фенотипические особенности растений, систему удобрения, водный режим почвы, систему ухода за посевами, а также определяет уровень урожайности.

Размер и динамика развития листовой поверхности определяются сортовыми особенностями и продуктивностью фотосинтеза, находящиеся под воздействием агрохимических факторов (Грязнов В.П., 2007).

В листовой пластине культурных растений содержатся зеленые пигменты хлорофиллов, улавливающие световую энергию солнечных лучей, при помощи которой формируются органические вещества, необходимые для питания (Смашевский Н.Д., 2014). Хлорофиллы участвуют в передаче полученной энергии переносчикам, либо акцепторам электрон-транспортной цепи фотосинтеза. Эффективность данных процессов зависит от генотипа и физиологического состояния растений, определяющих структурную организацию

фотосинтетического аппарата и скорости реакций, использующих продукты фотохимических стадий фотосинтеза (Ерошенко Ф.В., 2010).

Размеры ассимиляционной площади листовой поверхности играют значительную роль в формировании высоких урожаев возделываемых культур. Оптимальной структурой обладают посевы, площадь листьев которых достигает до 40 тыс. м²/га. При этом данная листовая пластина должна долго сохраняться в течение вегетационного периода и только к его концу начать значительно уменьшаться, отдавая накопленные пластические вещества репродуктивной части урожая (Косьянчук В.П., 2010).

Для повышения коэффициента использования ФАР необходимо создание оптимальной структуры посевов, наиболее полно поглощающих и использующих солнечную радиацию (Зверева Г.К., 2012).

Наиболее полному использованию фотосинтетической активной радиации сопутствуют условия вегетации во время роста и развития растений (Никитина В.И., Бахтин Д.С., 2011).

Изучение динамики формирования листовой поверхности растений проса показало, что внесение соломы совместно с биопрепаратом и N₁₀ как отдельно, так и на фоне применения минеральных удобрений оказали значительное влияние на формирование ассимиляционного аппарата и его фотосинтетическую деятельность. Однако агрометеорологические условия оказали значительное влияние на фотосинтетические показатели посевов проса (приложение 9)

Погодные условия в годы исследования были различны, в частности, в 2014 году они складывались не лучшим образом для роста и развития растений проса. В фазу кущения выпадало небольшое количество осадков, что недостаточно для развития культуры. При этом повышенные температуры июня тормозили нарастание листовой поверхности, которая на контроле составляла 5,6 тыс. м²/га (приложение 9). К началу выхода в трубку прирост площади листовой поверхности составил 20,5 тыс. м²/га. Наиболее высокий показатель фотосинтезирующей поверхности был отмечен в фазу выметывания метёлки – 49,2 тыс. м²/га.

При этом отмечалось небольшое выпадение осадков, что оказывало ингибирующее действие на синтез хлорофилла и активность фотосинтетического аппарата. К молочной спелости наблюдалось естественное снижение площади листовой поверхности проса за счет отмирания нижних ярусов листьев.

Основная часть листовой поверхности формируется в период от кущения до вымётывания метёлки (Жидков В.М., Журбенко А.К., Лаптина Ю.А., 2008). На вариантах с применением соломы в фазу «вымётывание метёлки» были отмечены самые высокие показатели. При внесении органического удобрения показатели варьировали в интервале – от 49,4 до 50 тыс. м²/га, что выше по отношению к контролю на 0,2 – 0,8 тыс. м²/га. Полученные данные позволяют судить о положительном воздействии соломы как отдельно, так и в сочетании с азотной добавкой, биопрепаратом Байкал ЭМ-1 и в совместном их применении. Внесение минеральных удобрений вызывало достоверное увеличение листовой поверхности на 1,7 тыс. м²/га по сравнению с контрольным вариантом. Добавление к NPK соломы как отдельно, так и в сочетаниях с азотной добавкой и биопрепаратом Байкал ЭМ-1 способствовало приросту листовой поверхности на 0,3 – 1 тыс. м²/га по отношению к фону. Внесение азота, фосфора и калия продлевало период нарастания ассимиляционной поверхности проса в течение вегетации, что сопровождалось увеличением формирования биомассы культуры. Использование соломы улучшало водно-физические свойства, что в свою очередь способствовало более эффективному использованию влаги из пахотного слоя при малом выпадении атмосферных осадков и высоких температурах, положительно влияющих на площадь листовой поверхности.

Погодные условия 2015 года сложились наиболее благоприятными для проса. В фазе кущения листовая поверхность культуры составляла по вариантам и варьировала в интервале от 7,5 до 9,3 тыс. м²/га. К фазе выхода в трубку показатели увеличились практически в 3 раза. Увеличение ростовых функций листового аппарата в период кущение – выход в трубку, связано, в первую очередь, с оптимальным поступлением осадков. К фазе вымётывания метёлки полученные значения достигали наибольшей величины и составили

57,3 – 60,8 тыс. м²/га. При этом самая значительная листовая поверхность была отмечена на вариантах с применением соломы совместно с азотом и биопрепаратом, а так же при сочетании их с НРК, что указывает на их большие потенциальные возможности в отношении повышения продуктивности фотосинтеза и, следовательно, формирования высокого урожая биомассы, а также её хозяйственной части. К началу цветения началось отмирание листьев нижних ярусов, поэтому площадь ассимилирующей поверхности в этот период уменьшилась и составила 42,9 – 44,3 тыс. м²/га. Отмирание листьев продолжалось до молочной спелости. В этот период показатели листовой поверхности находились на самом низком уровне – 32,4 – 34,8 тыс. м²/га.

Наименьшая величина этого показателя была характерна для варианта с внесением соломы, которая составила 57,3 тыс. м²/га (фаза вымётывание метёлки), что незначительно отличалось от контроля (57,4 тыс. м²/га). К снижению данного показателя, возможно, привело ухудшение питательного режима проса в результате биологического закрепления минерального азота в плазме размножающихся микроорганизмов. Листовая поверхность на вариантах с применением соломы как отдельно с азотной добавкой и биопрепаратом, так и совместно, были выше контроля и изменялись в пределах 57,5 – 58,2 тыс. м²/га. На варианте совместного применения соломы с азотной добавкой и биопрепаратом на фоне НРК отмечена наибольшая листовая поверхность (60,8 тыс. м²/га). При этом на данных опытных делянках большее количество листьев оставалось жизнеспособными, что в дальнейшем оказало положительное влияние на накопление продуктов фотосинтеза.

Летние месяцы 2016 года по количеству осадков существенно отличались от среднемноголетних, в связи с чем посевы проса развивались в условиях избыточного увлажнения и режиме низкого освещения.

В фазу кущения посевы проса сформировали листовую поверхность на уровне 4,1 – 6,0 тыс. м²/га. В период выхода в трубку данный показатель увеличился с 16,5 до 18,9 тыс. м²/га. Наибольшая площадь листьев сформировалась к фазе вымётывания метёлки, где показатели варьировали в интервале от 38,1 до 40,8 тыс. м²/га. При этом на варианте совместного

применения соломы с азотной добавкой и биопрепаратом на фоне NPK отмечена наибольшая листовая поверхность (40,8 тыс. м²/га). В фазу цветения и молочной спелости было зафиксировано снижение изучаемого показателя, составившего 25,7 – 30,7 тыс. м²/га и 17,4 – 19,0 тыс. м²/га соответственно. Таким образом, в течение 3 лет динамика роста площади листьев на протяжении вегетационного периода проса протекала практически одинаково.

В среднем за 2014 – 2016 гг. максимальные значения листовая поверхность достигала в фазу выметывания метёлки, в среднем они достигали 48,2 – 51,2 тыс. м²/га (рисунок 19 и 20). При заделке в почву соломы совместно с азотной добавкой и биопрепаратом как отдельно, так и на фоне минеральных удобрений отмечались самые эффективные результаты, в частности, 35,0 и 51,2 тыс. м²/га. Данные варианты превышали контроль на 1,7 и 6,2 %.

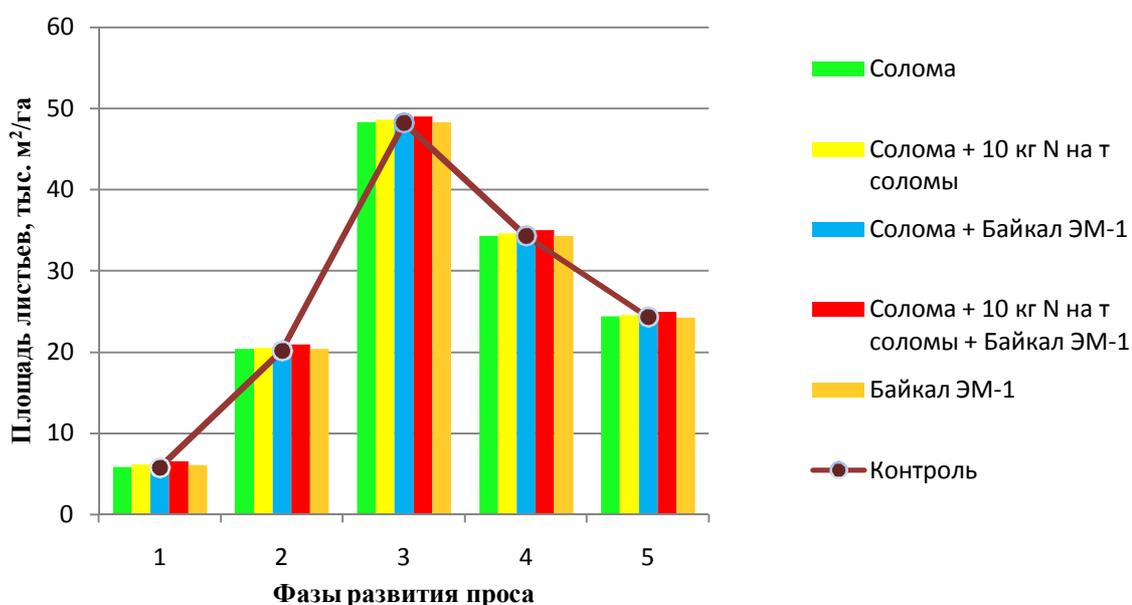


Рисунок 19 – Ассимиляционная поверхность листьев, тыс. м²/га, средняя за 2014–2016 гг. (без NPK)

Фазы развития проса: 1. Кущение; 2. Трубкавание; 3. Выметывание метёлки; 4. Цветение; 5. Молочная спелость

Наиболее полное использование фотосинтетической активной радиации (ФАР) зависит от оптимальной площади листовой поверхности, формирование которой определяется уровнем внесённых удобрений и погодными условиями вегетации во время роста и развития растений. Данное подтверждение можно найти в работах Ступиной Л.А. (2004), Заводчикова Л.Д. и др. (2005),

Мамонова Е.В. (2005), Вараввы В.Н. (2006), Жидкова В.М. и др. (2008), Никитиной В.И., Бахтина Д.С. (2011), Козловой Г.Я., Антиповой Г.П. (2013), Смашевского Н.Д., Прядкиной Г.А. с соавторами (2014).

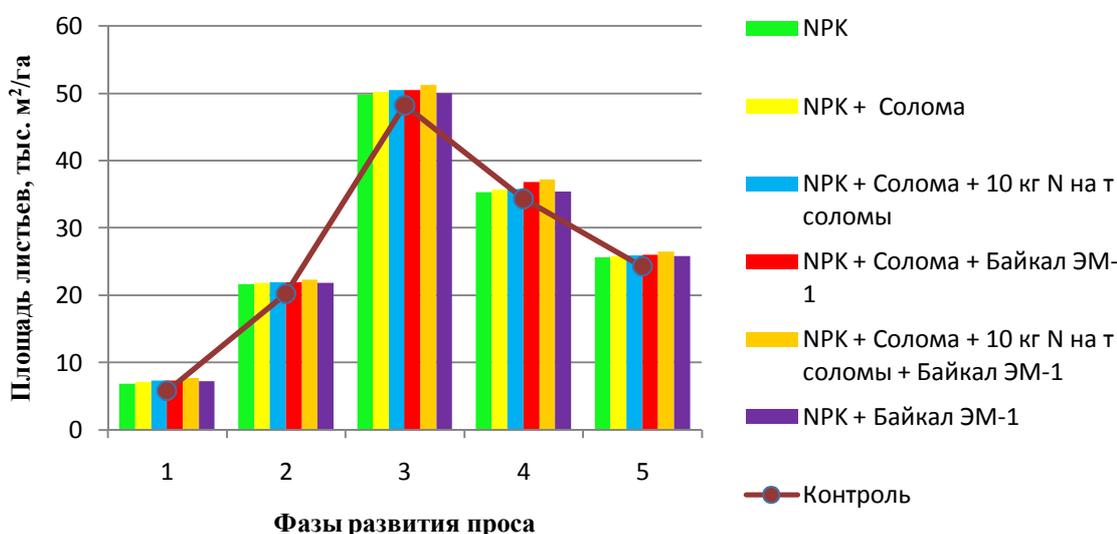


Рисунок 20 – Ассимиляционная поверхность листьев, тыс. м²/га, средняя за 2014–2016 гг. (на фоне NPK)

Фазы развития проса: 1. Кущение; 2. Трубкавание; 3. Вымётывание мтёлки; 4. Цветение; 5. Молочная спелость

На вариантах с использованием соломы в комплексе с азотной добавкой и биологическим препаратом на фоне минеральных удобрений сформировалась наибольшая площадь листовой поверхности, что отразилось на обеспеченности проса элементами питания при применении изучаемой системы удобрений (глава 3).

Таким образом, наибольшую ассимиляционную поверхность листьев посева проса сформировали при применении соломы совместно с дополнительным азотом и биопрепаратом как отдельно, так и на фоне NPK.

4.2 Динамика накопления сухого вещества

Фотосинтез отвечает за формирование органического вещества в сельскохозяйственных растениях. К показателям, характеризующим фотосинтетическую деятельность посевов проса, относятся площадь листовой

поверхности, фотосинтетический потенциал и чистая продуктивность фотосинтеза. Величина листовой поверхности способствует наилучшему использованию солнечной радиации, определяет величину биологического и хозяйственного урожая и ход его формирования. В связи с этим оптимизация фотосинтетической деятельности посевов должна заключаться в совершенствовании агротехнических мероприятий, в частности, в улучшении условий приёма питательных элементов, способствующих формированию оптимальной площади листьев (Титков В.И., Байкаменов Р.К., 2014).

На продуктивность фотосинтеза оказывают влияние как запасы влаги, технология возделывания, так и система удобрений. Интенсивное потребление элементов питания стимулирует фотосинтетическую деятельность, которая, в свою очередь, активизирует их метаболизм. Большое влияние на процессы фотосинтеза оказывает азот, являющийся составной частью нуклеиновых кислот, белка и хлорофилла (Bodriguez, J.B., Westfall D.G., Peterson G.A., 1990; Ерошенко Ф.В., 2010).

Как показывает сельскохозяйственная практика, основной прирост урожайности зерновых культур достигается научно-обоснованной системой удобрения. Уровень элементов питания злакового растения должен быть достаточно высоким в течение всего периода роста, особенно во время кущения, дифференциации колоса и образования колосков, что имеет значение при накоплении биомассы растений (Ториков В.Е. и др., 2014).

В наших исследованиях накопление сухого вещества в течение 2014-2016 гг. варьировало в зависимости от применения системы удобрения и погодных условий (приложение 10).

В 2015 году содержание сухой биомассы в растениях проса во все фазы развития было выше, чем в 2014 и 2016 гг., и разница варьировала в пределах соответственно: на контрольном варианте – 0,32 – 0,82 т/га и 0,54 – 1,59 т/га; на варианте с использованием соломы – 0,25 – 0,48 т/га и 0,49 – 1,33 т/га; при заделке соломы совместно с азотной добавкой – 0,28 – 0,6 т/га и 0,54 – 1,37 т/га; при применении соломы с биопрепаратом – 0,22 – 0,26 т/га и 0,51 – 1,11 т/га; при

использовании соломы совместно с N в дозе 10 кг/т нетоварной части предшественника – 0,29 – 0,31 т/га и 0,55 – 1,24 т/га; на варианте с применением биопрепарата – 0,22 – 0,3 т/га и 0,52 – 1,26 т/га; при внесении минеральных удобрений – 0,29 – 0,8 т/га и 0,64 – 1,71 т/га; при применении соломы на фоне NPK – 0,51 – 1,02 т/га и 0,84 – 1,87 т/га; при заделке соломы совместно с азотной добавкой на фоне NPK – 0,74 – 1,08 т/га и 1,07 – 2,05 т/га; при применении соломы с биопрепаратом NPK – 0,62 – 0,88 т/га и 0,97 – 2,04 т/га; при заделке соломы совместно с N в дозе 10 кг/т нетоварной части озимой пшеницы на фоне NPK – 0,98 – 0,91 т/га и 1,34 – 2,13 т/га; на варианте с применением биопрепарата и NPK – 0,94 – 1,54 т/га и 1,24 – 2,3 т/га.

Таким образом, в 2015 году условия увлажнения и температурный режим сложились наилучшим образом и позволили растениям проса полностью раскрыть свой потенциал. В фазу посев – кущение количество осадков составило 29 мм (74 % от нормы), в фазу трубкование – цветение количество осадков составило 119 мм, что превысило многолетние данные почти в 2 раза. В мае повышение температуры воздуха составило 2,3 °С, в июне – 2,9 °С, в июле и августе – температура воздуха практически соответствовала многолетним данным. В период развития и роста культуры воздух хорошо прогрелся, а достаточное количество осадков привело к накоплению необходимых питательных элементов, что в конечном итоге отразилось на результатах урожайности (приложение 2).

В 2014 году на протяжении вегетационного периода культуры наблюдалось недостаточное количество осадков, в частности, в мае в период посева выпало 18 мм, что составляет 46 % от многолетнего уровня. В фазу кущения – трубкование количество осадков составило 47 мм, что ниже нормы на 25 %. Период цветения выдался засушливым, так как в июле выпало всего 5 мм осадков, что на 95 % ниже многолетнего уровня, что повлияло на изучаемые показатели и урожайность проса. Такая ситуация была не очень позитивной для накопления сухого вещества растениями. В конце вегетации отмечалось повышение температуры на 1,9 °С относительно нормы и увеличилось количество осадков. В

целом засушливые погодные условия 2014 г. сильно повлияли на синтетические процессы посредством уменьшения числа и размеров вегетативных органов, ускорения старения и отмирания их и растения в целом. Все это отразилось не самым благоприятным образом на накопление сухого вещества посевов проса (приложение 1).

Вегетационный период 2016 г. не способствовал росту и развитию проса, так как был дождливым и облачным. На момент посева осадков выпало 71 мм, что на 82 % выше многолетнего значения. В фазу кущение – трубкование количество осадков составило 78 мм, что выше нормы на 24 %. В фазу трубкование – цветение величина осадков составила 68 мм, что составляет 113 % от многолетнего уровня. В фазу молочной спелости количество поступивших осадков составило 23 мм, что составляет 48 % от нормы. При этом температура была выше на 4,8 °С относительно нормы и составила 22,8 °С, что благоприятно отразилось на накоплении сухого вещества посевами проса. Таким образом, вегетационный период культуры проходил при недостаточном поступлении солнечного света (ФАР), что отразилось на получении более низких показателей по сравнению с предыдущими годами исследования (приложение 3).

Рассматривая динамику накопления сухой массы в онтогенезе проса, можно сделать вывод, что неуклонное интенсивное возрастание накопления сухой массы наблюдалось на протяжении всей вегетации с достижением максимальных значений в фазу цветение проса. На вариантах с применением соломы содержание сухой биомассы было существенно выше контроля. При использовании соломы в чистом виде превышение над контрольным вариантом составило – 0,11 т/га, совместно с азотной добавкой – 0,43 т/га, совместно с биопрепаратом – 0,45 т/га, при совместном применении соломы, азотной добавки и Байкал ЭМ-1 – 0,59 т/га. При внесении препарата, в состав которого входят микроорганизмы, увеличение составило 0,33 т/га (рисунок 21, приложение 10).

Таким образом, исследуемые системы удобрения существенно стимулировали накопление сухой массы проса на протяжении всех 3-х лет опытов. Применение соломы способствовало оптимизации почвенных условий

растений проса за счет увеличения количества водопрочных агрегатов и содержания питательных веществ в пахотном слое. При её разложении в почве выделяется большое количество углекислого газа, который необходим для фотосинтеза растений (Антонова О.В., Павленко В.Н., 2016). Соединяясь в почве с водой, часть углекислого газа образует угольную кислоту, которая является активным реагентом для разрушения первичных минералов и высвобождения подвижных соединений фосфора и калия, необходимых для питания растений (Волошин Е.И., 2008).

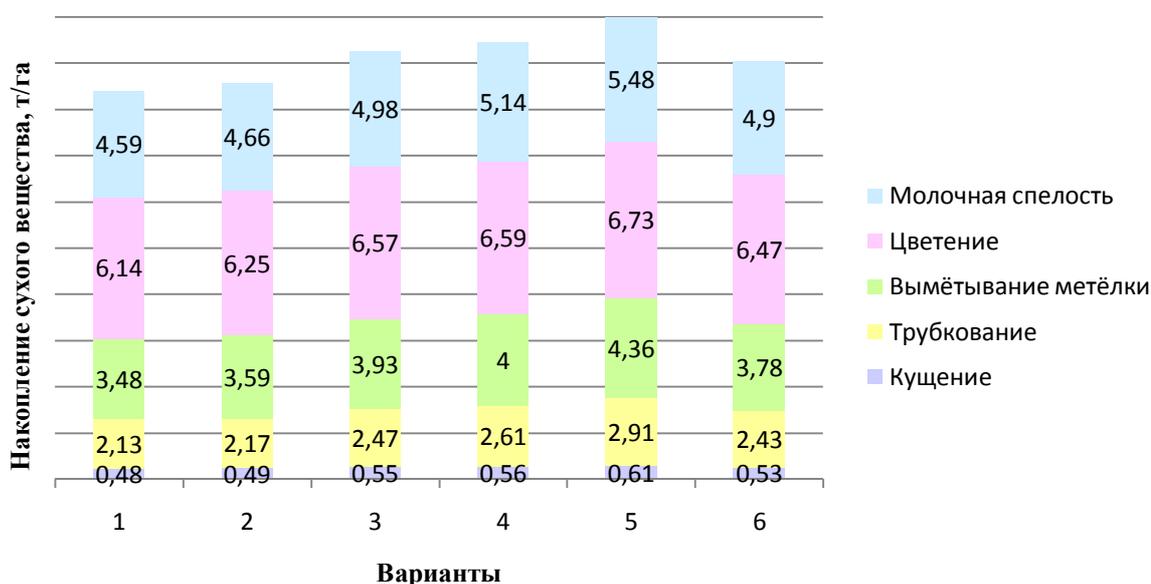


Рисунок 21 – Накопление сухой биомассы проса (без NPK), т/га, средняя за 2014– 2016 гг.

Варианты: 1. Без удобрений (контроль) (фактор А); 2. Солома предшественника (фактор В); 3. Солома + 10 кг N/ т соломы; 4. Солома + биопрепарат (Байкал ЭМ-1); 5. Солома + 10 кг N/т соломы + биопрепарат; 6. Биопрепарат (фактор С)

Азотное удобрение, внесенное совместно с соломой, способствовало увеличению площади листовой поверхности и интенсивности фотосинтеза, что благоприятно отразилось на накоплении сухой массы. Обработка соломы биопрепаратом Байкал ЭМ-1 положительно влияла на рост и развитие растений, что находит подтверждение в работах И.В. Русаковой, Н.И. Воробьева (2011). При совместном использовании соломы, дополнительной дозы азота и биопрепарата накопление сухого вещества проса было выше в течение всего периода наблюдений. На наш взгляд, микроорганизмы, входящие в состав

биопрепарата, повышали коэффициент использования элементов питания из пахотного слоя и азотного удобрения.

Минеральные удобрения оказали существенное влияние на накопление сухого вещества посевов проса, в частности, превышение над контролем в фазу цветения составило 0,96 т/га (рисунок 22, приложение 10).

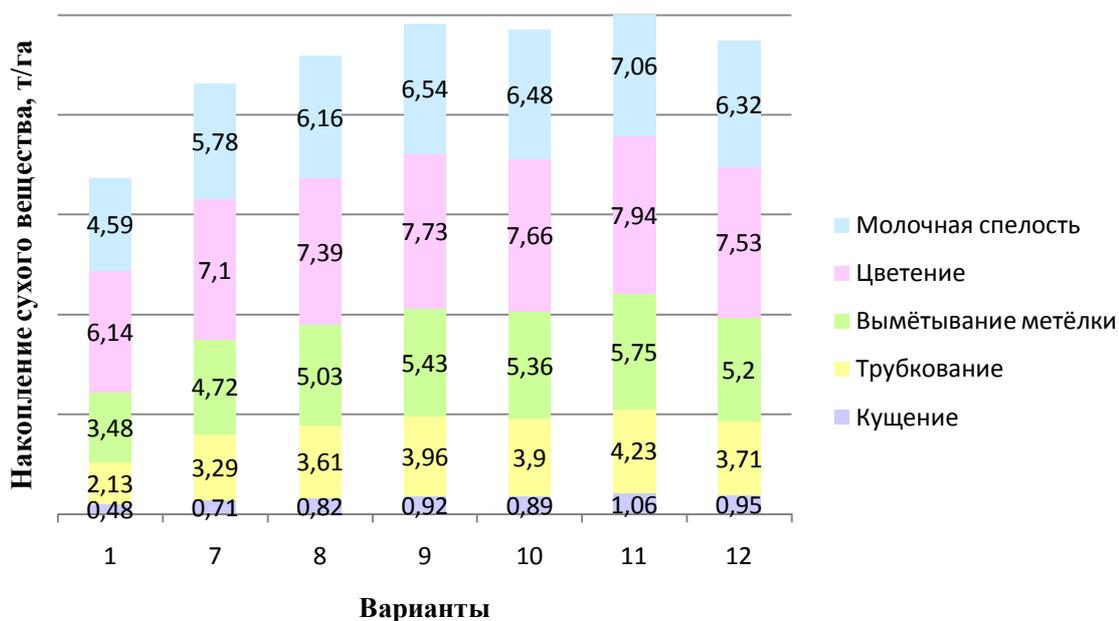


Рисунок 22– Накопление сухой биомассы проса (на фоне NPK), т/га, средняя за 2014– 2016 гг.

Варианты: 1. Без удобрений (контроль) (фактор А); 7. $N_{129}P_{34}K_{54}$ (фон); 8. $N_{129}P_{34}K_{54}$ + солома; 9. $N_{129}P_{34}K_{54}$ + солома + 10 кг N/ т соломы; 10. $N_{129}P_{34}K_{54}$ + солома + биопрепарат; 11. $N_{129}P_{34}K_{54}$ + солома + 10 кг N/ т соломы + биопрепарат; 12. $N_{129}P_{34}K_{54}$ + биопрепарат

При использовании соломы совместно с азотно-фосфорно-калийными удобрениями также наблюдалось значительное увеличение содержание сухой биомассы по отношению к контрольному варианту, что составило 1,25 т/га, по отношению к NPK – 0,29 т/га. Добавление азотной добавки и биопрепарата Байкал ЭМ-1 в среднем по опыту только улучшали значение изучаемого показателя. При заделке соломы с азотной добавкой на фоне NPK разница с контролем составила 1,59 т/га, по отношению к NPK – 0,63 т/га. При использовании соломы, обработанной биопрепаратом Байкал ЭМ-1, разница с контролем составила 1,52 т/га, по отношению к NPK – 0,56 т/га. Наиболее интенсивный прирост надземной биомассы проса происходит при применении

соломы, азотной добавки, биопрепарата Байкал ЭМ-1 на фоне минеральных удобрений, где разница с контролем составила 1,8 т/га, по отношению к НРК – 0,84 т/га.

Внесение минеральных удобрений положительно влияло на площадь листовой поверхности, в частности, число и размер листьев, что способствовало воздействию на накопление сухого вещества посевов проса. Запахивание соломы совместно с минеральными удобрениями повышало доступность растениям соединений фосфора и калия. При этом фосфорное питание повышало засухоустойчивость растений (Ряховский А.В., Варавва В.Н., 2007). Дополнительная доза азота способствовала нарастанию зеленой массы проса и поглощению приходящего света (Кононов А.С., 2009; Кальяскарова А.Е., 2012). Применение биопрепарата Байкал ЭМ-1 положительно влияло на накопление сухого вещества, что увеличивало окупаемость минеральных удобрений прибавкой урожая.

4.3 Чистая продуктивность фотосинтеза

В процессе фотосинтетической деятельности листового аппарата культурного растения формируется органическое вещество, интенсивность образования которого зависит от чистой продуктивности фотосинтеза (ЧПФ). Значение данной величины у растений в среднем достигает 4–9 г/м² за сутки (Запарнюк В.И., 2013). Однако, при создании оптимальных условий роста и развития культуры, значение показателя может существенно возрастать (Соловьёв С.В., 2012).

По мнению А.А. Ничипорович, хорошими посевами надо считать такие фотосинтетические потенциалы, которые соответствуют не менее, чем 2 млн. м²/сутки×га в расчете на каждые 100 дней фактической вегетации. И чем продолжительнее жизнь листьев, тем больше мощность фотосинтетического потенциала (Адиньяев Э.Д., Цицкиев З.М., 2012).

Чистая продуктивность фотосинтеза является итоговым балансом процессов фотосинтеза, дыхания и роста сельскохозяйственных растений в дневное и ночное время суток (Пакуль В.Н., 2009; Исайчев В.А. и др., 2013). В период активной деятельности листьев, чистая продуктивность фотосинтеза отражает их работоспособность и интенсивность нарастания биологической массы в посевах единицей ассимиляционного аппарата (Рашидов К.А. и др., 2015).

Следует отметить, что, в тех случаях, когда тот или иной агроприём превышает максимальный предел, усиливаются ростовые процессы, формируются очень мощные растения, сильно увеличивается индекс площади листьев, происходит взаимное затенение и угнетение растений, что ведет к их полеганию (Загинайлов А.В., Шевченко В.А., 2011). Данный факт способствует ухудшению светового режима, что снижается фотосинтез и его продуктивность. В связи с этим необходимо создавать благоприятные условия для формирования оптимальных параметров фотосинтетического потенциала в посевах и интенсивного накопления биологической массы растений.

Показатель чистой продуктивности фотосинтеза подвержен достаточно сильному варьированию в зависимости от погодных условий и фазы развития культуры (Настина Ю.Р., Костин В.И., Ерофеева Е.Н., 2012). Улучшение системы питания и внесение стимуляторов роста позволяют эффективнее достигнуть наибольшей площади листовой поверхности и показателей ее деятельности, в частности, чистой продуктивности фотосинтеза, выражающую собой общую сухую биомассу, накапливаемую за сутки в расчете на 1 м^2 , на посевах зерновых культур (Данилов А.В., 2017).

По данным наших опытов в среднем за 2014 – 2016 гг. величина ЧПФ на посевах проса варьировала в зависимости от применения системы удобрения (рисунок 23, приложение 11). В межфазный период (кущение – трубкование) показатели ЧПФ были невысокие и по вариантам опыта составляли $6,8\text{--}10,0 \text{ г/м}^2 \times \text{сутки}$, что объясняется недостаточной интенсивностью фотосинтеза в молодых листьях.

Максимальные показатели ЧПФ достигались в межфазный период вымётывание метёлки – цветение, и варьировали по вариантам опыта от 11,8 до 18,7 г/м²×сутки. Разница между вариантами с применением соломы была незначительной. Однако, наибольший показатель был отмечен на варианте с заделкой соломы совместно с азотной добавкой и биопрепаратом Байкал ЭМ-1 – 13,0 г/м²×сутки, что выше контрольного показателя на 1,2 г/м²×сутки. Данный факт объясняется увеличением питательных веществ в пахотном слое, способствующих формированию листьев интенсивно зеленого цвета и благоприятно воздействующих на их продуктивность. В работах многих авторов встречаются аналогичные результаты (Кальяскарова А.Е., 2012; Смирнова Т.В., 2012; Соловьёв С.В., 2012; Алиев Т.Г. и др., 2017).

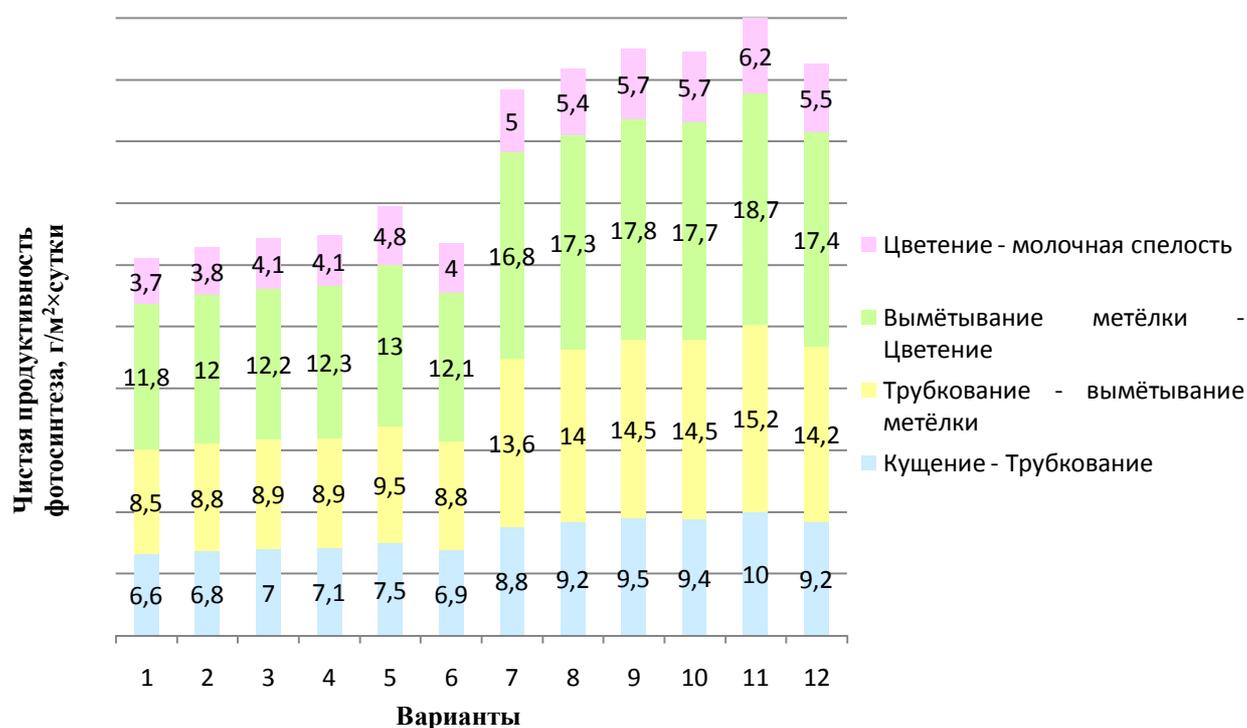


Рисунок 23 – Чистая продуктивность фотосинтеза, г/м²×сутки, средняя за 2014-2016 гг.

Варианты: 1. Без удобрений (контроль) (фактор А); 2. Солома предшественника (фактор В); 3. Солома + 10 кг N/ т соломы; 4. Солома + биопрепарат (Байкал ЭМ-1); 5. Солома + 10 кг N/т соломы + биопрепарат; 6. Биопрепарат (фактор С); 7. N₁₂₉P₃₄K₅₄ (фон); 8. N₁₂₉P₃₄K₅₄ + солома; 9. N₁₂₉P₃₄K₅₄ + солома + 10 кг N/ т соломы; 10. N₁₂₉P₃₄K₅₄ + солома + биопрепарат; 11. N₁₂₉P₃₄K₅₄+ солома + 10 кг N/ т соломы + биопрепарат; 12. N₁₂₉P₃₄K₅₄+биопрепарат

Минеральные удобрения благоприятно влияли на величину ЧПФ в посевах проса. При добавлении к минеральным удобрениям соломы создавались более благоприятные условия для роста и развития растений, что в итоге отразилось на полученных результатах. При заделке соломы с азотно-фосфорно-калийными удобрениями в межфазный период вымётывание метёлки – цветение разница с контролем составила $5,5 \text{ г/м}^2 \times \text{сутки}$, с NPK – $0,5 \text{ г/м}^2 \times \text{сутки}$. При поступлении в почву соломы совместно с азотной добавкой на фоне минеральных удобрений разница с контролем составила $6 \text{ г/м}^2 \times \text{сутки}$, разница с NPK – $1 \text{ г/м}^2 \times \text{сутки}$. При обработке соломы биопрепаратом Байкал ЭМ-1 разница с контролем находилась на уровне $5,9 \text{ г/м}^2 \times \text{сутки}$, разница с NPK – $0,9 \text{ г/м}^2 \times \text{сутки}$. Следовательно, добавление соломы способствует увеличению площади питания и кустистости растений, а также более интенсивному нарастанию биомассы, что приводило к повышению показателей ЧПФ.

Оценивая роль органического удобрения, следует подчеркнуть, что применение соломы совместно с азотной добавкой и биопрепаратом на фоне NPK в среднем за вегетацию позволило повысить продуктивность фотосинтеза (ЧПФ) в 1,6 раз, тогда как использование только минеральных удобрений – в 1,4 раза.

Кривая ЧПФ в динамике имеет волнообразный вид и достигает своего максимума в фазу вымётывание метёлки – цветение, а затем постепенно снижается до молочной спелости зерна. Уменьшение интенсивности фотосинтеза в данный период объясняется замедлением ростовых процессов, ухудшающих отток пластических веществ, и приводящих к депрессии фотосинтеза, а также в связи с отмиранием нижних листьев, что согласуется с результатами других исследований (Шайхутдинов Ф.Ш. и др., 2009; Рашидов К.А., 2015).

Изучение влияния соломы на формирование фотосинтетического аппарата проса позволяет сделать следующие выводы:

– применение соломы способствует увеличению площади листьев растений проса. Более высокое формирование ассимиляционной поверхности наблюдалось в фазу вымётывания метёлки и находилось на уровне $49,0 \text{ тыс. м}^2/\text{га}$ при

использовании соломы совместно с азотной добавкой и Байкала ЭМ-1, а также на фоне минеральных удобрений – 51,2 тыс. м²/га;

– наиболее интенсивный прирост надземной биомассы проса происходит при поступлении в почву соломы, азотной добавки, биопрепарата Байкал ЭМ-1 на фоне минеральных удобрений, где разница с контролем составила 1,8 т/га, по отношению к NPK – 0,84 т/га. Заделка соломы с минеральными удобрениями повышало доступность растениям соединений фосфора и калия. Дополнительная доза азота способствовала нарастанию зеленой массы проса и поглощению приходящего света;

– применение соломы совместно с азотной добавкой и биопрепаратом на фоне NPK в среднем за вегетацию позволило повысить продуктивность фотосинтеза (ЧПФ) в 1,6 раз, тогда как использование только минеральных удобрений – в 1,4 раза.

5 Урожайность и качество продукции проса при использовании соломы на удобрение

5.1 Урожайность проса

Внесение удобрений является одним из наиболее эффективных способов повышения урожайности и обязательным элементом технологии выращивания сельскохозяйственных культур. Одним из лимитирующих факторов при получении высоких урожаев зерна проса, несомненно, является удовлетворение потребности растений в элементах питания (Кравченко В.Н., Тукабаева А.И., 2011). В формировании эффективного плодородия большую роль играют органические удобрения. Основным органическим удобрением традиционно считается навоз. Однако в силу сложившихся обстоятельств в сельском хозяйстве это ценнейшее удобрение утратило доминирующую роль. Последнее связано с концентрацией животных на крупных комплексах с применением бесподстилочного содержания животных, а также резким снижением поголовья скота в последние десятилетия. В современных сельскохозяйственных предприятиях в качестве основного органического удобрения применяют нетоварную часть урожая. В состав соломы входят все необходимые растениям питательные вещества, которые после минерализации становятся легкодоступными растениям. Микроэлементов в соломе больше, чем в зерне (Сорокин И.Б., Титова Э.В., Касимова Л.В. и др., 2004). Осенняя заделка соломы дает положительный эффект в виде повышения физиологической активности и урожайности зерновых культур даже без дополнительного минерального питания уже в первый год (Таркалсон Д.Д., Браун Б., Кок Г. и др., 2013). В последние годы в литературе появились многочисленные сведения об применении биопрепаратов, способствующих повышению урожайности сельскохозяйственных культур, продуцирующие физиологически активные вещества, стимулирующие рост и развитие растений, подавляющие патогенную микрофлору, что в конечном итоге снижает заболеваемость растений, повышает их продуктивность и улучшает качество

продукции (Лукин С.М., Марчук Е.В., 2011). В связи с этим в нашей работе был выявлен характер изменений, произошедших в урожае зерна и соломы проса под действием соломы, биопрепарата Байкал ЭМ-1 и минеральных удобрений.

Уровень урожайности проса, культуры возделываемой в опыте, определялся внесением органического, бактериологического и минеральных удобрений (таблица 13).

Таблица 13 – Влияние системы удобрений на урожайность проса, т/га

№ п/п	Вариант	2014 г.	2015 г.	2016 г.	2014-2016 г.	Отклонение от контроля	
						т/га	%
1	Без удобрений (контроль) (фактор А)	2,58	2,92	2,50	2,66	–	–
2	Солома предшественника (фактор В)	2,64	2,89	2,52	2,68	0,02	0,8
3	Солома + 10 кгN/ т соломы	2,82	3,12	2,63	2,86	0,18	7,5
4	Солома + биопрепарат	2,95	3,06	2,68	2,90	0,24	9
5	Солома + 10 кгN/ т соломы + биопрепарат	2,98	3,21	2,73	2,97	0,31	11,7
6	Биопрепарат (фактор С)	2,85	2,99	2,60	2,81	0,15	5,6
7	N ₁₂₉ P ₃₄ K ₅₄ (фон)	3,56	3,85	3,08	3,50	0,84	31,6
8	N ₁₂₉ P ₃₄ K ₅₄ + солома	3,64	3,93	3,21	3,59	0,93	34,9
9	N ₁₂₉ P ₃₄ K ₅₄ + солома + 10 кгN/ т соломы	3,90	4,05	3,44	3,80	1,14	42,9
10	N ₁₂₉ P ₃₄ K ₅₄ + солома + биопрепарат	3,97	3,87	3,38	3,74	1,08	40,6
11	N ₁₂₉ P ₃₄ K ₅₄ + солома + 10 кг N/ т соломы + биопрепарат	4,01	4,16	3,45	3,87	1,21	45,5
12	N ₁₂₉ P ₃₄ K ₅₄ + биопрепарат	3,60	4,11	3,20	3,64	0,98	36,8
НСР ₀₅	Фактор А	0,05	0,03	0,03	–	–	–
	Фактор В	0,06	0,03	0,04	–	–	–
	Фактор С	0,05	0,03	0,03	–	–	–
	Фактор АВ	0,08	0,05	0,05	–	–	–
	Фактор ВС	0,07	0,04	0,06	–	–	–
	Фактор АС	0,08	0,05	0,05	–	–	–
	Фактор АВС	0,12	0,07	0,07	–	–	–

По нашим данным, полученным в условиях чернозёма типичного лесостепной зоны Среднего Поволжья, урожайность проса в течение трёх лет исследований значительно отличался по годам. Более высокий урожай отмечен в 2015 году, на втором месте по этому показателю 2014 год и наименьшая урожайность сформировалась в 2016 году. Эти различия обусловлены, прежде всего, погодными условиями вегетационных периодов. Так, хорошим выпадением осадков и благоприятным распределением по декадам месяцев отличался 2015 год и урожайность проса в данном году варьировала от 2,92 т/га до 4,16 ц/га. При этом наибольшая прибавка урожайности отмечена при внесении соломы с дополнительной дозой азота и биопрепаратом Байкал ЭМ-1 как на фоне минеральных удобрений (4,16 т/га), так и отдельно (3,21 т/га). На естественном фоне питания урожайность культуры была значительно меньше и составила 2,92 т/га. Отзывчивость проса на внесение соломы в чистом виде по отношению к контрольному варианту оказалась на второй год ниже на 0,03 т/га, что связано с иммобилизацией азота почвы. Внесение нетоварной части озимой пшеницы в почву с азотным удобрением повысило урожайность проса на 0,20 т/га, или 7 % по отношению к контрольному варианту. Применение биопрепарата с соломой способствовало некоторому снижению урожайности проса (на 0,17 т/га) по отношению к вышеописанному варианту и его увеличению на 0,14 т/га по сравнению к контрольному варианту. Преимущество имел вариант совместного внесения в почву измельчённой соломы с азотной добавкой и биопрепаратом – на 0,29 т/га по сравнению с контролем. В наших опытах влияние минеральных удобрений, внесенных в почву в осенне-весенний период перед посевом культуры, сказалось на увеличении урожайности возделываемой культуры на 0,93 т/га. Применение NPK и соломы способствовало повышению урожайности проса на 1,01 т/га, что на 3 % выше варианта с минеральным фоном и на 35 % – контроля. Прибавка от внесения азотно-фосфорно-калийных удобрений совместно с соломой, биопрепаратом Байкал ЭМ-1, и с азотной добавкой составила 0,95 и 1,13 т/га соответственно.

Наиболее засушливым для культуры сложился 2016 год, что привело к заметному снижению урожайности зерна проса по сравнению с предыдущим годом, которая на контрольном варианте составила 2,50 т/га (в 2015 году – 2,92 т/га). При внесении соломы урожайность проса повысилась на 0,03 т/га, что несущественно по показателям. Дополнительная доза азота (10 кг N на 1 т соломы) в сочетании с органическим удобрением способствовала увеличению урожайности на 0,14 т/га, или на 5,4 %. На варианте с применением измельчённой соломы и микробным препаратом были получены более высокие результаты, где прибавка составила 0,18 т/га, или 7,3 %. Наиболее эффективным оказался вариант при совместном внесении соломы, азотной добавки и биопрепарата, где прибавка составила 0,23 т/га, или 9,4 %. Внесение минеральных удобрений способствовало увеличению продуктивности проса до 3,08 – 3,45 т/га. При этом внесение соломы, азотной добавки, препарата Байкал ЭМ-1 на фоне NPK способствовало получению наиболее высокого результата, и прибавка зерна проса составила 0,95 т/га, или 38,1 %.

В 2014 году прослеживалась аналогичная закономерность: наибольшие прибавки урожайности были получены при совместном применении соломы, азота и биопрепарата как на фоне минеральных удобрений, так и отдельно – 1,43 т/га и 0,40 т/га соответственно. При этом урожайность проса сформировалась на уровне 2,58 – 4,01 т/га. Прибавка урожая на варианте с внесением соломы по отношению к контрольному варианту составила 0,06 т/га. Практически равноценные результаты получены на вариантах с применением соломы как в сочетании с азотной добавкой – 0,24 т/га, так и препаратом Байкал ЭМ-1 – 0,25 т/га. На варианте с применением микробиологического препарата Байкал ЭМ-1 составила 0,27 т/га, что выше варианта с применением соломы и азотного удобрения на 0,03 т/га. Мы предполагаем, что работа микроорганизмов способствовала формированию благоприятного азотного питания, что повлияло не только на рост зелёной массы проса, но и на формирование урожая зерна. Создание оптимальных условий на посевах проса на черноземе южном при использовании биопрепаратов отмечают также в своих исследованиях Агафонов Е.В., Клыков В.В., Громаков А.А. и др. (2014).

Эффективность аналогичных факторов на фоне минеральных удобрений была значительно выше. Наиболее высокая урожайность отмечена на варианте с внесением соломы в сочетании с азотной добавкой, биопрепаратом и азотно-фосфорно-калийными удобрениями, которая в среднем за 3 года составила 4,01 т/га. При этом прибавка зерна составила 1,43 т/га, или 55 % по отношению к контрольному варианту.

Таким образом, по погодным условиям 2014 – 2016 годы оказались различными, что повлекло получение разных уровней выхода с 1 гектара зерновой массы проса. Если сравнивать между собой внесение разных видов удобрений под посевы проса в среднем за 3 года, то можно сделать вывод, что максимальные показатели урожайности культуры были получены на вариантах с применением соломы, вносимой совместно с биопрепаратом Байкал ЭМ-1 и дополнительным азотом (10 кг N на 1 т соломы озимой пшеницы) как на фоне минеральных удобрений (3,87 т/га, или 45,5 %), так и без их внесения (2,97 т/га, или 11,7 %).

Применение соломы озимой пшеницы в качестве органического удобрения под посевы проса способствовало увеличению урожайности зерна на 0,02 т/га (0,8 %), при совместном внесении с азотным удобрением – на 0,18 т/га (7,5 %), с биопрепаратом Байкал ЭМ-1 – 0,24 т/га (9 %). При использовании соломы на фоне минеральных удобрений прибавка урожайности составила 0,93 т/га (34,9 %), с добавлением азотной добавки прибавка урожайности зерна составила 1,14 т/га (42,9 %), в сочетании с биопрепаратом – 1,08 т/га (40,6 %). Внесение NPK совместно с биопрепаратом Байкал ЭМ-1 дало прибавку зерна в размере 0,98 т/га (36,8 %).

Следовательно, применение соломы совместно с азотной добавкой, биопрепаратом как на фоне минеральных удобрений, так и без них, способствует удовлетворению потребностей растений в получении необходимых элементов питания для получения запланированной урожайности проса.

Корреляционно-регрессионный анализ показал зависимость урожайности проса от количества продуктивной влаги и плотности почвы.

Уравнение множественной корреляции имеет следующий вид:

$$Y = -6,9386 + 4,2462X_1 + 0,0373X_2,$$

где Y – урожайность проса, т/га; X_1 – плотность почвы, г/см³; X_2 – количество продуктивной влаги, мм.

Множественный коэффициент корреляции составил 0,55, что свидетельствует о наличии связи между данными показателями и урожайностью проса. Вклад агрофизических показателей в получении зерновой продукции составил 30,3 % (R^2). При этом наиболее высокая доля в формировании урожайности проса пришлась на плотность почвы (20,6 %), меньшую роль сыграло количество продуктивной влаги в почве (9,7 %).

5.2 Структура урожая

Увеличение производства продукции растениеводства за счет повышения урожайности сельскохозяйственных культур является важной задачей современного земледелия, в решении которой ведущая роль принадлежит удобрениям (Асаева Т.Д., 2015). Удобрения являются одним из наиболее эффективных и быстродействующих факторов повышения урожайности проса и качества его зерна. Они влияют на элементы продуктивности проса, изучение которых позволяет проследить долю их участия в формировании величины урожая и установить резервы его повышения (Глиева О.В., 2015). Высокопродуктивный посев характеризуется оптимальной для каждой почвенно-климатической зоны плотностью продуктивного стеблестоя, высокой выравненностью посева, хорошим развитием растений и устойчивостью к полеганию (Ханиева И.М., Апанасова Р.Р., Каиров Т.М., 2013).

Под структурой урожая принято понимать совокупность элементов, определяющих продуктивность растений. Структура урожая зерновых культур, как правило, характеризуется тремя – пятью хозяйственно-биологическими показателями, отражающими качественные и количественные изменения, наблюдаемые в процессе онтогенеза растений (Уогинтас В.Р., 2014).

В нашем опыте урожайность зерна проса определялась такими показателями структуры как количество растений на 1 м², продуктивная кустистость, масса зерна с 1 растения, количество зерен в метелке, масса 1000 семян (таблица 14).

Таблица 14 – Структура урожайности проса (в среднем за 2014 – 2016 гг.)

Варианты	Количество растений, шт./м ²	Продуктивная кустистость	К-во зёрен в метёлке, шт.	Масса 1000 зёрен, г	
1. Без удобрений (контроль) (фактор А)	281	1,00	142	7,6	
2. Солома предшественника (фактор В)	283	1,00	144	7,6	
3. Солома + 10 кг N/ т соломы	288	1,02	144	7,7	
4. Солома + биопрепарат	289	1,03	144	7,7	
5. Солома + 10 кг N/ т соломы + биопрепарат	291	1,03	146	7,8	
6. Биопрепарат (фактор С)	286	1,01	144	7,7	
7. N ₁₂₉ P ₃₄ K ₅₄ (фон)	294	1,06	158	7,9	
8. N ₁₂₉ P ₃₄ K ₅₄ + солома	297	1,06	160	8,1	
9. N ₁₂₉ P ₃₄ K ₅₄ + солома + 10 кг N/ т соломы	302	1,06	162	8,2	
10. N ₁₂₉ P ₃₄ K ₅₄ + солома + биопрепарат	303	1,08	159	8,1	
11. N ₁₂₉ P ₃₄ K ₅₄ + солома + 10 кг N/ т соломы + биопрепарат	306	1,08	162	8,2	
12. N ₁₂₉ P ₃₄ K ₅₄ + биопрепарат	302	1,07	159	8,0	
НСР ₀₅	Фактор А	5,3	0,01	6,5	0,1
	Фактор В	6,5	0,01	2,3	0,1
	Фактор С	6,1	0,01	6,2	0,1

Величина показателей структуры посевов заметно изменялась в связи с фонами питания. Количество растений на контрольном варианте к концу вегетационного периода составило 281 шт./м². При переходе к биологической технологии выживаемость и сохранность растений заметно увеличивались, в

частности при внесении соломы количество растений к концу сезона составило 283 шт./м², в сочетании соломы с азотным удобрением – 288 шт./м², в комплексе с биопрепаратом – 289 шт./м², при совместном внесении соломы + азотной добавки + препарата Байкал ЭМ-1 – 291 шт./м². Таким образом, совместное применение трех компонентов (нетоварная часть озимой пшеницы + азотное удобрение + микроорганизмы) положительно повлияло на урожайность проса. Данная тенденция была отмечена и на фоне минеральных удобрений. Мы предполагаем, что взаимодействующие между собой удобрения «провоцируют» друг друга на большую активность. Аналогичные выводы были отмечены у Р.В. Кравченко, А.И. Тукабаевой (2011) в условиях Оренбургской области при изучении действия серы и азота на урожайности проса.

Просо отличается от других зерновых культур крайне низкой продуктивной кустистостью. Как правило, одно растение формирует одну продуктивную метёлку. В наших опытах увеличение продуктивной кустистости было отмечено как на фоне органических удобрений, так и на фоне NPK. Данный показатель определяет среднее количество нормально развитых стеблей, дающих зерно, на одно растение. На вариантах с применением микробиологического препарата Байкал ЭМ-1 наблюдалось увеличение побегов, дружно созревающих ко времени уборки и принимающих участие в формировании урожая. По отношению к контролю и варианту с применением соломы, биопрепарат способствовал увеличению продуктивных побегов на 1 % (1,01). При совместном применении соломы и биопрепарата количество продуктивных побегов составило 1,03, что выше контроля на 3 % (1,0), выше варианта с внесением соломы и азотной добавкой на 1 % (1,02). Уровень минерального питания также повлиял на показатели продуктивных побегов проса, при этом они имели несколько большую величину. На варианте с внесением NPK данный показатель составил 1,06. При сочетании с биопрепаратом увеличение составило 1 % (1,07). При внесении соломы на фоне минеральных удобрений показатель составил 1,06, что ниже варианта с применением NPK, соломы и биопрепарата Байкал ЭМ-1 на 2 % (1,08). Аналогичный показатель был получен на варианте при внесении соломы, азотной

добавки (10 кг N на 1 т соломы), препарата Байкал ЭМ-1 и азотно-фосфорно-калийных удобрений (1,08). Последнее свидетельствует о том, что микробиологический препарат способствует более лучшему усвоению культурой нитратного азота из пахотного слоя, что влечет за собой формирование большего количества продуктивных побегов к периоду уборки и получению на данных вариантах высоких показателей урожайности зерна.

На продуктивность метёлки оказали положительное влияние как органические, так и минеральные удобрения. Этот показатель находился в пределах от 142 до 162 шт. зёрен в метёлке. По сравнению с контрольным вариантом растения сформировали большее количество семян с более крупной зерновкой. Это привело к получению высокого урожая, что обусловлено работой внесённых удобрений в опыте. Наиболее эффективные показатели структуры урожая проса были отмечены на варианте внесения соломы, азотной добавки и биологического препарата Байкал ЭМ-1 совместно с минеральными удобрениями составило 162 шт. зёрен в метёлке с массой 1000 зёрен 8,2 г. При этом на данном варианте была отмечена наиболее высокая урожайность.

Таким образом, полученные результаты показали, что применение соломы, дополнительной дозы азота, биопрепарата Байкал ЭМ-1 как на фоне минеральных удобрений, так и отдельно, способствует улучшению показателей структуры урожайности, а, следовательно, повышению продуктивности культуры.

5.3 Влияние удобрений на общий вынос питательных веществ с урожаем

Вынос питательных веществ с урожаем происходит в процессе формирования биологической массы культуры, в частности зерна, соломы, пожнивно-корневых остатков. Данный показатель необходим при определении потребности культур в удобрениях, расчете доз элементов питания в конкретных условиях.

Общий вынос азота, фосфора и калия сельскохозяйственными культурами сильно различается. Это обусловлено особенностями химического состава

растений, колебаниями в уровне формируемого урожая и изменением его структур. Как правило, содержание азота и фосфора значительно выше в хозяйственно ценной части урожая, в частности в зерне, а калия больше в товарной части урожая (соломе). При этом вынос питательных веществ растениями из почвы возрастает с увеличением урожая.

Результаты наших исследований показали, что все удобрения, изменяя минеральный состав растений и повышая урожайность, способствуют и увеличению выноса основных элементов питания (таблица 15).

Анализ данных таблицы показал, что при внесении соломы как отдельно, так и в комплексе с азотной добавкой или биопрепаратом Байкал ЭМ-1 оказывало положительное влияние на вынос основных питательных элементов. Общий вынос азота на контрольном варианте составил 56 кг/га. При внесении соломы вынос N увеличился в среднем за три года на 3,6 кг/га. Дополнительная доза азота оказала более эффективное влияние по сравнению с биопрепаратом Байкал ЭМ-1. Так, общий вынос азота при внесении соломы с азотным удобрением как отдельно, так и в сочетании с биопрепаратом увеличивался практически одинаково, соответственно он составил 63,2 и 63,9 кг/га соответственно. На варианте с применением бактериального препарата вынос азота увеличился на 4,8 кг/га (60,8 кг/га), совместно с органическим удобрением на 6 кг/га (62 кг/га).

Внесение минеральных удобрений способствовало увеличению выноса азота. Так, на фоне NPK показатель увеличился на 13,3 кг/га (69,3 кг/га). При применении соломы как отдельно, так и в комплексе с дополнительной дозой азота или биопрепаратом на фоне минеральных удобрений вынос азота превышал контроль на 14,1 – 18,4 кг/га. При внесении совместно соломы, азотной добавки, препарата Байкал ЭМ-1 и азотно-фосфорно-калийных удобрений вынос азота с урожаем проса составил 78,5 кг/га. Причем, основная доля выноса N приходилась на зерно.

Относительно общего выноса фосфора можно провести аналогию с выносом по азоту. Контрольный вариант составил 16,4 кг/га. При внесении соломы вынос P_2O_5 увеличился в среднем на 2,5 кг/га.

Таблица 15 – Влияние удобрений на вынос азота, фосфора и калия урожаем проса (среднее за 2014 – 2016 гг.)

Вариант	Вынос NPK, кг/га						Общий вынос NPK, кг/га		
	Зерно			Солома					
	N	P	K	N	P	K	N	P	K
1. Без удобрений (контроль) (фактор А)	30,2	12,5	10,4	25,8	3,9	47,4	56,0	16,4	57,8
2. Солома предшественника (фактор В)	32,5	14,7	10,3	27,1	4,2	48,3	59,6	18,9	58,6
3. Солома + 10 кг N/ т соломы	34,9	16,3	10,5	28,3	5,9	50,1	63,2	22,2	60,6
4. Солома + биопрепарат	34,2	15,7	11,1	27,8	5,1	50,5	62,0	20,8	61,6
5. Солома + 10 кг N/ т соломы + биопрепарат	35,8	16,8	11,5	28,1	5,7	54,0	63,9	22,5	65,5
6. Биопрепарат (фактор С)	33,1	15,4	10,9	27,7	4,9	48,7	60,8	20,3	59,6
7. N ₁₂₉ P ₃₄ K ₅₄ (фон)	36,2	14,6	11,8	33,1	5,9	58,1	69,3	23,5	69,9
8. N ₁₂₉ P ₃₄ K ₅₄ солома	36,9	15,1	12,5	33,2	5,4	61,3	70,1	24,0	73,8
9. N ₁₂₉ P ₃₄ K ₅₄ солома + 10 кг N/ т соломы	40,3	18,2	13,1	34,1	6,2	62,6	74,4	25,4	75,7
10. N ₁₂₉ P ₃₄ K ₅₄ солома + биопрепарат	39,9	17,8	12,9	33,8	6,0	62,2	73,7	24,8	75,1
11. N ₁₂₉ P ₃₄ K ₅₄ солома + 10 кг N/ т соломы + биопрепарат	42,2	19,4	14,2	36,3	6,9	66,1	78,5	26,3	80,3
12. N ₁₂₉ P ₃₄ K ₅₄ + биопрепарат	37,1	15,2	12,1	34,1	5,8	61,3	71,2	21,0	73,4

На других вариантах с соломой показатель увеличивался на 4,4 – 6,1 кг/га. Наиболее благоприятным вариантом на фоне поступления органического вещества оказалось комплексное действие соломы, азотного удобрения и биопрепарата, что обеспечил вынос элементов в 22,5 кг/га.

Внесение минеральных удобрений способствовало повышению выноса фосфора на 7,1 кг/га. Наиболее положительное действие на вынос фосфора с урожаем проса оказало комплексное внесение NPK, соломы с азотной добавкой и биопрепаратом Байкал ЭМ-1 – 26,3 кг/га, что превысило контроль на 9,9 кг/га. Основная доля выноса фосфора также приходилась на зерно.

Все системы удобрения увеличивали вынос калия. При этом, на контрольном варианте общий вынос калия соответствовал 57,8 кг/га. При использовании соломы озимой пшеницы показатель превысил контроль всего на 0,8 кг/га. Однако на вариантах с применением эффективных микроорганизмов, вынос калия увеличивался, в частности при внесении Байкала ЭМ-1 отдельно – на 1,8 (59,6 кг/га), что выше варианта с применением соломы озимой пшеницы на 1 кг/га; в сочетании с соломой – на 3,8 кг/га (61,6 кг/га), что выше данных варианта с соломой с дополнительной азотной добавкой на 1 кг/га. Данная тенденция не сохранилась на фоне минеральных удобрений, что свидетельствует о губительном влиянии минеральных удобрений на жизнедеятельность микроорганизмов, в связи с подкисления почвы.

Наиболее благоприятным оказался вариант с совместным использованием соломы, дополнительной дозы азота, биопрепарата и минеральных удобрений, где вынос калия составил 80,3 кг/га, что выше контроля на 22,5 кг/га.

В отличие от азота и фосфора, наибольшее количество калия было определено в соломе. При этом вынос калия зерном был в 4,6 раз ниже по сравнению с соломой.

Корреляционно-регрессионный анализ показал зависимость урожайности проса от основных агрохимических показателей почвы.

Уравнение множественной корреляции имеет следующий вид:

$$Y = - 1,0313 + 0,0322X_1 - 0,0189X_2 + 0,0376X_3,$$

где Y – урожайность проса, т/га; X_1 – вынос азота с единицей урожая, кг/га; X_2 – вынос фосфора с единицей урожая, кг/га; X_3 – вынос калия с единицей урожая, кг/га.

Множественный коэффициент корреляции составляет 0,98 ($R^2 = 94,1 \%$), что свидетельствует о наличии тесной связи между урожайностью проса и выносом азота, фосфора и калия с единицей продукции. Наиболее высокая доля в формировании урожайности проса пришлась на количество P_2O_5 и составила 54,2 %. Влияние N (28,2 %) и K_2O (11,7 %) было меньшим.

Таким образом, рассмотрение данных приведенных в таблице позволяет сделать вывод о том, что использование соломы как отдельно, так совместно с азотной добавкой и биопрепаратом увеличивает вынос азота, фосфора и калия на естественном фоне питания. При внесении минеральных удобрений повысилась продуктивность проса, что увеличило вынос основных элементов питания. То есть солома положительно влияет на урожайность сельскохозяйственных культур и увеличивает окупаемость минеральных удобрений прибавкой урожая.

5.4 Экологическая оценка зерна проса

Тяжёлые металлы в высоких концентрациях оказывают токсическое действие на растительный организм, проявляющееся в виде различных патологий (Цыгуткин А.С., Ермохин Ю.И., 2007; Al-Attar L., Al-Oudat M., Safia B., 2015).

Цинк является микроэлементом, участвующим в регуляции азотного обмена, делении клеток, синтезе ауксинов и активации ферментов (Peltre C., Nielsen M., Bruun S., 2016). Нехватка цинка ведет к торможению роста междоузлий и листьев, развитию розеточности и мелколистности, снижению содержания сахарозы и крахмала, нарушению фосфорного обмена и развитию хлороза. Дефицит данного микроэлемента вызывает скручивание и отмирание кончиков молодых листьев (Дубовик В.А., 2009). Токсическое действие цинка приводит к повышению концентраций свободных радикалов в клетке и оказывает негативное воздействие на процесс фотосинтеза, снижая урожайность возделываемой культуры (Богуславская Н.В., 2008).

Медь содержится в семенах и растущих частях растений. Данный элемент способствует образованию хлорофилла, активирует ферменты, которые связаны с

окислительно-восстановительными реакциями, влияет на азотный обмен. Медь повышает устойчивость к засушливым погодным условиям и в защите против болезнетворных организмов (Шафронов О.Д., Полухин В.Н., 2007).

Дефицит меди задерживает ростовые процессы культурного растения и фазу цветения. Токсическое действие высоких концентраций меди проявляется в ингибирующих процессах фотосинтеза и дыхания и вызывает окислительный стресс в клетках растений. Избыток меди вызывает изменение морфологии корня (Матвеевко Т.И. и др.2008).

При загрязнении почв свинцом существует угроза нанесению вреда здоровью людей и растениям, произрастающим в данной местности. Свинец оказывает токсичное воздействие на сельскохозяйственные культуры, вызывая у них хлорозы, проявляющиеся в виде пожелтения листовой пластины, и снижая каталитическую активность ферментов, замедляя ростовые процессы корневой системы и молодых побегов (Золотарева Б.Н. и др., 1991). Повышенная концентрация свинца в растениях понижает поступление фосфора, кальция, цинка и серы, что ухудшает качественные характеристики получаемого урожая. Свинец способствует поглощению кадмия корнями растений и имитированию физиологического поведения кальция, снижая активность некоторых энзимов. При высокой концентрации свинца листья культурных растений приобретают темно-зеленый окрас и становятся вялыми, а старые листья скручиваются (Serutti A.K., Vessaro G.L., Vouyou G., 2011; Аскарлова Д.А., 2016).

Дефицит никеля приводит к нарушению азотистого обмена, нарушению цикла трикарбоновых кислот и дыхания. Высокое содержание никеля в растительном организме приводит к остановке ветвления корня (Климова. Е.В., 2003). Токсический эффект никеля на корни зависит от его концентрации, времени действия и состава среды.

Результаты исследований за 2014–2015 гг. показали, что уровень накопления по цинку в продукции проса ниже ПДК в 3,8–4,9 раза, меди от 5,6 до 8,8 раза, свинцу – в 2–5,6 раза, кадмию – в 1,2–4,3 раза; никелю от 5 до 5,4 раз (таблица 16).

При внесении в пахотный слой соломы как отдельно, так и совместно с биопрепаратом Байкал ЭМ-1 и азотной добавкой прослеживалась тенденция к уменьшению содержания тяжелых металлов.

Таблица 16 – Содержание тяжелых металлов в зерне проса
(2014 – 2015 гг.)

Вариант		Содержание тяжелых металлов, мг/кг				
		Zn	Cu	Pb	Cd	Ni
Без удобрений (контроль) (фактор А)		13,2	5,3	0,25	0,023	1,24
Солома предшественника (фактор В)		12,2	5,2	0,22	0,014	1,18
Солома + 10 кг N/ т соломы		12,1	5,1	0,21	0,012	1,19
Солома + биопрепарат (Байкал ЭМ-1)		11,8	5,1	0,19	0,09	1,17
Солома + 10 кг N + биопрепарат		11,7	4,9	0,17	0,05	1,13
Биопрепарат (фактор С)		12,5	5,1	0,20	0,010	1,19
N ₁₂₉ P ₃₄ K ₅₄ (фон)		11,1	4,6	0,16	0,095	1,11
N ₁₂₉ P ₃₄ K ₅₄ + солома		10,8	4,2	0,14	0,092	0,96
N ₁₂₉ P ₃₄ K ₅₄ + солома+10 кг N/ т соломы		10,8	4,2	0,14	0,093	0,97
N ₁₂₉ P ₃₄ K ₅₄ + солома + биопрепарат		10,6	4,0	0,13	0,090	0,94
N ₁₂₉ P ₃₄ K ₅₄ + солома+10 кг N + биопрепарат		10,3	3,4	0,11	0,083	0,92
N ₁₂₉ P ₃₄ K ₅₄ + биопрепарат		11,2	4,1	0,09	0,094	0,97
		ПДК в продукции				
		50	30	0,5	0,1	5,0
НСР ₀₅	Фактор А	0,9	0,3	0,01	0,01	0,01
	Фактор В	0,5	0,4	0,01	0,01	0,01
	Фактор С	0,7	0,5	0,02	0,01	0,02

Данный вариант на фоне минеральных удобрений способствовал большему снижению содержания тяжёлых металлов, что, по нашему мнению, обусловлено антагонистическим действием поступающих в растения в большем количестве макроэлементов на токсичные и повышением устойчивости растений к их действию.

Отсюда следует, что применение соломы как отдельно, так в сочетании с биопрепаратом и минеральными удобрениями способствует получению экологически более безопасной продукции проса.

6 Баланс элементов питания при возделывании проса в чернозёме типичном

6.1 Баланс азота

Баланс питательных элементов – это качественное и количественное их выражение с учётом всех статей поступления и расхода в течение определённого промежутка времени (Ряховский А.В., Яичкин В.Н., Косых А.Н. и др., 2010).

Осуществление контроля баланса основных элементов питания в системе почва–удобрение–растение очень важно для управления плодородием почвы и решения проблемы увеличения урожайности и улучшения качества сельскохозяйственной продукции в целом (Тихомирова В.Я., 2010).

Главная роль в формировании урожая зерновых культур принадлежит азоту (Никитишен В.И., Личко В.И., 2008).

По мнению Алферова А.А., Черновой Л.С., Шмыревой Н.Я. и др. (2016) применение минеральных удобрений глубоко воздействует на процессы трансформации почвенного азота, прежде всего на одновременно происходящий в почве синтез органических соединений и их разложение. В обычных условиях (без применения удобрений) минерализация органического вещества превалирует над процессом иммобилизации, вследствие чего в почве создается и постоянно присутствует определенный запас минерального азота (Фадькин Г.Н., Виноградов Д.В., 2015).

Внесение удобрений изменяет равновесие между минерализацией и иммобилизацией азота в почве. Как источник органического вещества, все большее распространение получает внесение соломы. По мнению Макрае и Мехауса количество органического углерода в почве могут увеличивать только растительные остатки с небольшим содержанием азота (менее 1,5 %). Более богатые азотом растения в почве быстро минерализуются до конечных продуктов распада (Трипольская Л.Н., Романовская Д.К., Шлепетене А., 2008).

В приходную часть включают следующие источники поступления питательных элементов: минеральные и органические удобрения, растительные остатки, посевной материал, выпадения из атмосферы, включая осадки. Наряду с удобрениями существенной составляющей приходной части баланса и дополнительным источником улучшения азотного питания растений служит биологический азот, фиксированный симбиотическими и ассоциативными микроорганизмами в посевах сельскохозяйственных культур.

В расходной части учитывают: вынос элементов урожаем основной и побочной продукции, вымывание элемента в грунтовые воды и смыв их с поверхности, потери в результате возможных эрозионных процессов, газообразные потери азота при денитрификации и хемоденитрификации.

Исследования И.А. Юшкевича, Н.И. Туренкова, И.А. Алексейчик (1971) показали, что с атмосферными осадками поступает от 3,0 до 4,5 кг/га азота.

Вымывание азота в форме аниона – NO_3^- зависит от количества выпадающих осадков, доз удобрений, типа почв и возделываемой культуры. По данным российских и зарубежных исследователей, потери азота при вымывании составляют 1,5-39 % от дозы внесенного азота (Пироговская Г.В., Сазоненко О.П., 2011).

Содержание азота в растениях определялось экспериментально.

Баланс азота в зависимости от применения соломы, биопрепарата и минеральных удобрений представлен в таблице 17.

Расчетный приход азота в почву формировался за счёт поступления соломы озимой пшеницы, убираемой комбайном с её измельчением и использованной на удобрение, а также осадков и производимого свободноживущими микроорганизмами элемента и вносимых удобрений.

В приходной части баланса преобладающими статьями на фоне органического удобрения являлись солома – 24 – 32 %, азотное удобрение – 30 – 31 %, фиксация азота атмосферы свободноживущими бактериями – 18 – 40 %, осадки – 15 – 33 % и семенной материал 12 – 27 %.

Таблица 17 – Баланс азота в чернозёме типичном в зависимости от применения соломы, биопрепарата и минеральных удобрений, кг/га (2014 – 2016 гг.)

Вариант	Вынос азота						Поступление азота						Баланс, ±
	с зерном	с соломой	газообразные потери почвенного азота	инфильтрация с осадками	газообразные потери удобрений	Всего	с семенами	с осадками	с удобрениями	фиксация свободноживущими микроорганизмами	с соломой	всего	
1	30,2	25,8	7	3	–	66	4	5	–	6	–	15	- 51
2	32,5	27,1	7	3	–	69,6	4	5	–	6	7	22	- 47,6
3	34,9	28,3	7	3	–	73,2	4	5	10	6	7	32	- 41,2
4	34,2	27,8	7	3	–	72	4	5	–	6	8	23	- 49
5	35,8	28,1	7	3	–	73,9	4	5	10	6	8	33	- 40,9
6	33,1	27,7	7	3	–	70,8	4	5	–	6	–	15	- 55,8
7	36,2	33,1	7	3	6	85,3	4	5	129	6	–	144	+58,7
8	36,9	33,2	7	3	6	86,1	4	5	129	6	9	153	+66,9
9	40,3	34,1	7	3	6	90,4	4	5	139	6	9	163	+72,6
10	39,9	33,8	7	3	6	89,7	4	5	129	6	9	153	+63,3
11	42,2	36,3	7	3	6	94,5	4	5	139	6	10	164	+69,5
12	37,1	34,1	7	3	6	87,2	4	5	129	6	–	144	+56,8

На фоне минеральных удобрений в приходной части баланса преобладающими статьями являлись минеральные удобрения – 85 – 89 %.

В расходной части баланса преобладающими статьями являлись – зерновая продукция – 45 – 48 %, нетоварная часть культуры – 38 – 39 %, а также газообразные потери азота почвы – 7 – 11 %, вымывания – 3 – 5 %, потери азота за счёт нитрификации – 6 – 7 %.

Общий вынос элементов питания зависел от внесенных удобрений, величины урожайности и содержания элементов в основной и побочной продукции. Минимальный вынос элементов питания был отмечен в варианте без применения удобрений. Применение органических удобрений увеличило общий вынос азота на 3,6 кг/га. При внесении соломы совместно с дополнительной дозой азота в дозе N_{10} кг/соломы вынос азота увеличился и составил – 7,2 кг/га, что связано с увеличением урожайности культуры. При обработке соломы биопрепаратом Байкал ЭМ-1 вынос элемента был ниже и составил 6 кг/га.

Наиболее высокий вынос азота отмечался на варианте с внесением соломы в сочетании с азотной добавкой и биопрепаратом Байкал ЭМ-1 – 7,9 кг/га.

При внесении биопрепарата в чистом виде, в состав которого входят микроорганизмы, вынос азота составил 4,8 кг/га.

Применение минеральных удобрений просо в дозе $N_{129}P_{34}K_{54}$ кг/га способствовало увеличению общего выноса азота на 19,3 кг/га по отношению к контролю, и 15,7 кг/га по отношению варианта к соломе. При совместном внесении соломы и минеральных удобрений вынос азота по отношению к контролю повысился на 20,1 кг/га, по отношению к NPK – 0,8 кг/га. При добавлении к соломе и минеральным удобрениям биопрепарата и азота в дозе N_{10} кг/соломы вынос азота увеличился на 23,7 кг/га по отношению к контролю и на 4,4 кг/га по отношению к NPK, а также на 24,4 кг/га по отношению к контролю и на 5,1 кг/га по отношению к NPK соответственно.

Наиболее высокий вынос азота на фоне минеральных удобрений, отмечался на варианте с внесением соломы в сочетании с азотной добавкой и биопрепаратом

Байкал ЭМ-1 на фоне NPK – 28,5 кг/га по отношению к контролю и 9,2 кг/га по отношению к азотно-фосфорно-калийным удобрениям.

При внесении минеральных удобрений и биопрепарата Байкал ЭМ-1 вынос азота на формирование урожая проса повысился на 21,1 кг/га по отношению к контролю и на 1,9 кг/га по отношению к NPK

Таким образом, анализируя полученные данные, можно сделать вывод, что солома, в сочетании с азотной добавкой и биопрепаратом повышает коэффициент использования питательных веществ из минеральных удобрений, что даёт возможность снизить дозу внесения NPK.

В приходных статьях баланса поступление азота было более высоким на фоне минеральных удобрений. Однако внесение органических удобрений как отдельно, так и в сочетаниях с азотной добавкой, биопрепаратом и совместно также способствовали увеличению выноса азота по отношению к контролю на 7 кг/га, 17 кг/га, 8 кг/га, 18 кг/га соответственно.

Внесение минеральных удобрений совместно с соломой как отдельно, так и при обработке её биопрепаратом Байкал ЭМ-1 способствовало увеличению поступления азота на 138 кг/га соответственно по отношению к контролю, и на 9 кг/га по отношению к NPK. Применение соломы совместно с азотом в дозе N_{10} кг/соломы увеличивало приходную часть баланса на 148 кг/га по отношению к контролю и на 19 кг/га по отношению к NPK. Наибольший приход азота был достигнут на варианте с внесением соломы совместно с азотной добавкой и биопрепаратом на фоне минеральных удобрений, где разница с контролем составила 149 кг/га, а разница с NPK составила 20 кг/га.

Баланс азота на фоне соломы был отрицательным и составил от -40,9 кг/га до -49 кг/га. На контроле отрицательный баланс составил -51 кг/га. На вариантах с внесением минеральных удобрений как отдельно, так и совместно с соломой, N_{10} и биопрепарата Байкал ЭМ-1, наблюдался положительный баланс азота, значение которого варьировало от +56,8 до +72,6 кг/га. Возросший уровень азотного питания проса, обусловленный действием минеральных удобрений, соломы, азотной добавки в дозе N_{10} кг/соломы и биопрепарата Байкал ЭМ-1, оказал

существенное положительное влияние на продуктивность культуры, что свидетельствует об активном использовании потребляемого им азота в процессах метаболизма и о достаточном количестве N для формирования высокого урожая посевов (Никитишен В.И., Личко В.И., 2008). Дополнительный приход азота в почву компенсировал потери N, образующиеся за счет образования газообразных окислов и от вымывания (Фадькин Г.Н., Виноградов Д.В., 2015).

Следует отметить, что положительный баланс питательных элементов обеспечивает расширенное воспроизводство плодородия почвы и способствует поддержанию валового содержания азота в пахотном слое в результате усиления поступления в ризосферу растений питательных элементов (Шабает В.П., 2010).

6.2 Баланс фосфора

Фосфор, являясь одним из важных элементов питания, оказывает многостороннее влияние на жизнь растений. Оптимизация фосфатного режима почв способствует повышению урожайности зерновых культур (Чекмарев П.А., 2015). Накопление фосфора в почвах в процессе почвообразования носит зависимость от содержания фосфора в почвообразующих породах и его перераспределения в профиле, обусловленного биологическими процессами (Носко Б.С., Балюк С.А., 2009). Фосфор является абсолютно биофильным элементом и его содержание в почвах зависит от интенсивности накопления органического вещества (Крючков А.Г., Елисеев В.И., Абдрашитов Р.Р., 2012). Исследования многих учёных показали существенную зависимость продуктивности зерновых культур от уровня содержания подвижного фосфора в почве. При нехватке этого элемента наблюдается слабое действие азотных удобрений (Башков А.С. и др., 2017). Между урожайностью и уровнем содержания подвижного фосфора в почве существует высокая положительная корреляция как на фоне азотно-калийных удобрений, так и без фона (Жуков Ю.П., Чухина О.В., 2013). Следовательно, уровень обеспеченности доступным фосфором для растений является одним из основных показателей плодородия и

окультуренности почв. Баланс фосфора в зависимости от применения соломы, биопрепарата и минеральных удобрений представлен в таблице 18.

Таблица 18 – Баланс фосфора в почве в зависимости от применения соломы, биопрепарата и минеральных удобрений, кг/га (2014–2016 гг.)

Вариант	Вынос фосфора			Поступление фосфора			Баланс, ±
	с зерном	с соломой	Всего	с удобрения ми	с соломой	Всего	
1	12,5	3,9	16,4	–	–	–	- 16,4
2	14,7	4,2	18,9	–	12	12	- 6,9
3	16,3	5,9	22,2	–	12	12	- 10,2
4	15,7	5,1	20,8	–	12	12	- 8,8
5	16,8	5,7	22,5	–	13	13	- 9,5
6	15,4	4,9	20,3	–	–	–	- 20,3
7	14,6	5,9	20,5	34	–	34	+ 13,5
8	15,1	5,4	20,5	34	15	49	+ 28,5
9	18,2	6,2	24,4	34	15	49	+ 24,6
10	17,8	6,0	23,8	34	15	49	+ 25,2
11	19,4	6,9	26,3	34	16	50	+ 23,7
12	15,2	5,8	21,0	34	–	34	+ 13

В наших исследованиях источником фосфора явились минеральные удобрения в дозе 34 кг д. в./га и солома озимой пшеницы.

На фоне минеральных удобрений баланс фосфора складывался на бездефицитном уровне и составил +13,5 кг/га. При добавлении соломы величина положительного баланса увеличивалась и составила 28,5 кг/га. Внесение азотной добавки N₁₀ и биопрепарата Байкал ЭМ-1 также способствовали увеличению баланса, составившего 24,6 кг/га и 25,2 кг/га соответственно. При совместном внесении соломы, N₁₀ и биопрепарата на фоне минеральных удобрений положительный баланс составил 23,7 кг/га.

Отрицательный баланс фосфора в неудобренном варианте являлся закономерностью, так как в данном варианте урожай проса формировался за счет почвенных ресурсов.

При внесении соломы баланс фосфора был отрицательным (-6,9 кг/га), при этом он становился меньше по сравнению с контрольным вариантом (-16,4 кг/га).

Удобрение соломой обеспечило возврат фосфора в биологический круговорот в объеме 9,5 кг/га.

При внесении соломы совместно с азотной добавкой и биопрепаратом как отдельно, так и совместно отмечалось превышение контроля на +6,2 кг/га, +7,6 кг/га, +6,9 кг/га соответственно.

На наш взгляд, содержание фосфора в почве по отношению к исходному его количеству увеличивалось за счет внесения соломы как отдельно, так и в сочетании с азотной добавкой и биопрепаратом.

При внесении биопрепарата Байкал отрицательный баланс фосфора составлял -20,3 кг/га, что ниже контроля. По нашему мнению, внесение микроорганизмов в пахотный слой позволил более эффективно использовать почвенные фосфаты.

Анализ данных показал, что вынос фосфора компенсировался внесением минеральных удобрений. При совместном внесении соломы и NPK содержание подвижного фосфора в почве увеличивалось, что способствовало формированию положительного баланса питательных элементов и веществ, необходимых для повышения потенциального и эффективного плодородия почв, и общей продуктивности посевов.

Следовательно, использование соломы как удобрения на минеральном фоне позволяет создать положительный баланс, способствует возврату фосфора в почву и повторному использованию элементов последующей культурой.

6.3 Баланс калия

Главным источником калийного питания сельскохозяйственных культур является подвижной калий, поступающий в почву с удобрениями, большая часть которых переходит в поглощенное состояние. В пахотном горизонте калий содержится в почвенном растворе в виде солей, угольной, азотной, фосфорной, серной, соляной и других кислот (Замятин, С.А., Измestьев В.М., 2013).

Резервы доступного калия зависят от характера почвообразующих и подстилающих пород, минералогического состава почв и уровня предшествующей удобренности (Якименко В.Н., 2007).

При длительном выращивании растений без внесения калийных удобрений происходит мобилизация калия из менее доступных форм (Пилипенко Н.Г., Андреева О.Т., 2014). Систематическое применение удобрений способствует накоплению подвижного калия в пахотном и подпахотном горизонтах почв (Лукин С.М., 2012).

В ряде исследований отмечается связь между распределением калия удобрений по почвенному профилю и гранулометрическим составом почв, в частности на легких почвах миграция калия наблюдается до 100 см, на среднесуглинистых – до 60 см, на тяжелосуглинистых – до 40 см (Турчин В.В., 2016).

Изменение условий питания растений в полевых условиях способствует увеличению поглощения K^+ зерновыми культурами (Крючков А.Г., Елисеев В.И., Абдрашитов Р.Р., 2012).

Баланс калия в зависимости от применения соломы, биопрепарата и минеральных удобрений представлен в таблице 19.

Расчет баланса элементов питания показал, что выращивание проса без удобрений обеспечило дефицит калия, составившего -57,8 кг/га.

Минеральные удобрения в применяемых дозах в опыте обеспечили восполнение калия, но баланс остался отрицательным (-15,9 кг/га). Следует отметить, наиболее благоприятно калийный баланс сложился при совместном использовании минеральных удобрений и соломы озимой пшеницы, составивший положительный его баланс в +5,2 кг/га. Таким образом, проведенными исследованиями показано, что использование в качестве удобрения соломы обеспечивало повторное вовлечение в биохимический круговорот биогенных элементов, в частности K_2O , что способствовало оптимизации баланса K_2O в пахотном слое чернозёма типичного.

Таблица 19 – Баланс калия в почве в зависимости от применения соломы, биопрепарата и минеральных удобрений, кг/га (2014–2016 гг.)

Вариант	Вынос калия			Поступление калия			Баланс, ±
	с зерном	с соломой	Всего	с удобрения ми	с соломой	Всего	
1	10,4	47,4	57,8	–	–	–	-57,8
2	10,3	48,3	58,6	–	19	19	-39,6
3	10,5	50,1	60,6	–	21	21	-39,6
4	11,1	50,5	61,6	–	23	23	-38,6
5	11,5	54,0	65,5	–	24	24	-41,5
6	10,9	48,7	59,6	–	–	–	-59,6
7	11,8	58,1	69,9	54	–	54	-15,9
8	12,5	61,3	73,8	54	25	79	+5,2
9	13,1	62,6	75,7	54	25	79	+3,3
10	12,9	62,2	75,1	54	26	80	+4,9
11	14,2	66,1	80,3	54	27	81	+0,7
12	12,1	61,3	73,4	54	–	54	-19,4

Внесение только соломы способствовало сокращению значения отрицательного баланса калия, составившего -39,6 кг/га. Применение соломы совместно с азотной добавкой и биопрепаратом как совместно, так и отдельно, также позволило уменьшить отрицательную величину баланса, но не обеспечило достижения перехода к положительной величине. При этом, по мнению исследователей, озимая пшеница возвращает 18 кг K_2O /га с одной тонной зерна с соответствующей массой соломы (Агеев В.В. и др., 2016; Крючков А.Г., Елисеев В.И., Абдрашитов Р.Р., 2012; Никитина Л.В., Лукин С.М., Листова М.П., 2013).

Внесение соломы на фоне NPK с дополнительной дозой азота и биопрепаратом Байкал ЭМ-1 создавали положительный баланс калия (+3,3 кг/га, +4,9 кг/га, +0,7 кг/га соответственно), но за счет высокого выноса с зерном и соломой был ниже варианта с применением соломы и азотно-фосфорно-калийных удобрений. Таким образом, концентрация калия в нетоварной части озимой пшеницы, при её сочетании с удобрениями возрастает.

Следовательно, внесение соломы как отдельно, так и на фоне удобрений перспективно, поскольку создаются пути возмещения запасов обменного калия в

почву, способствующих повышению приходной статьи баланса K_2O в пахотном слое.

Изучение баланса питательных элементов на формирование урожайности проса позволяет сделать следующие выводы:

– внесение соломы на минеральном фоне способствовало существенному увеличению возврата калия в почву, а при добавлении азотной добавки и биопрепарата результат также был положительным;

– внесение соломы как отдельно, так и совместно с азотной добавкой и биопрепаратом, способствовало сокращению значения отрицательного баланса калия, но не обеспечило положительного баланса;

– применение соломы в качестве органического удобрения способствует изменению баланса элементов питания за счет дополнительного их выноса с основной и побочной продукцией.

7 Экономическая оценка технологий возделывания проса при использовании соломы, биопрепарата и минеральных удобрений

Стабилизации и повышению экономической эффективности зернового производства способствует дальнейшая его интенсификация, один из главных факторов которой – совершенствование технологии возделывания зерновых культур (Минаков И.А., 2004). Большое значение на эффективность производства зерна оказывает применение интенсивных технологий, дающих огромный эффект. Актуальным направлением повышения продуктивности и устойчивости агрофитоценозов является использование соломы и биологического препарата Байкал ЭМ-1 на основе активных микроорганизмов, оказывающие комплексное положительное действие на растения, такие, как фиксация атмосферного азота, подавление развития фитопатогенных микроорганизмов, стимуляция роста и развития растений, повышение устойчивости к стрессам.

При экономическом анализе технологии возделывания проса с использованием соломы, минерального азота и биопрепарата прямые затраты устанавливались по ценам, принятым для производственных условий опытного поля ФГБОУ ВПО «Ульяновская ГСХА им. П.А. Столыпина» (2016 г.). Амортизация и затраты на текущий ремонт тракторов и сельскохозяйственных машин рассчитывали по принятым нормативам. Стоимость основной продукции определялась в соответствии с ценой реализации, которая сложилась в 2016 г. Средние урожайные данные проса использованы за три года (2014 –2016 гг.). Расчеты выполнены на основе технологических карт.

Основные экономические показатели возделывания проса в зависимости от применения соломы, азотной добавки и биопрепарата и их сочетаний, в том числе и на фоне минеральных удобрений представлены в таблице 20.

Таблица 20 – Экономическая эффективность возделывания проса с применением соломы, биопрепарата и минеральных удобрений (2014 – 2016 гг.)

Показатели	Вариант											
	1.Без удобрений	2.Солома	3.Солома + N ₁₀	4.Солома + биопрепарат	5.Солома + N ₁₀ + биопрепарат	6.Биопрепарат	7.NPK	8. NPK+ солома	9. NPK+ солома+ N ₁₀	10.NPK + солома + биопрепарат	11.NPK + солома + N ₁₀ + биопрепарат	12.NPK + биопрепарат
Урожайность, т/га	2,66	2,68	2,86	2,90	2,97	2,81	3,50	3,59	3,80	3,74	3,87	3,64
Цена реализации, руб./т	9000	9000	9000	9000	9000	9000	9000	9000	9000	9000	9000	9000
Стоимость, руб.	23940	24120	25740	26100	26730	25290	31500	32310	34200	33660	34830	32760
Затраты, руб./га	8725,9	8779,57	9392,62	9361,57	11092,62	10903,15	16335,53	16367,49	16746,42	16420,88	16771,28	16091,28
Затраты труда 1 га	7,93	8,0	8,43	9,33	8,43	8,14	9,13	9,23	9,44	9,39	9,52	9,52
Затраты труда 1 т	2,97	2,97	2,93	2,54	2,93	2,88	2,59	2,56	2,47	2,24	2,45	2,45
Себестоимость, руб./т	3280,4	3276,0	3284,1	2564,8	3878,5	3880,1	4667,3	4559,2	4407,0	4364,5	4333,7	4158,0
Условный доход, руб./га	15214,1	15340,43	16347,38	16738,43	15637,38	14386,85	15164,47	15875,04	17453,58	17239,12	18058,72	16668,72
Рентабельность, %	174	175	174	179	141	132	93	97	104	105	108	104

Анализ данных таблицы показал, что в среднем за годы исследований на контроле выход продукции в стоимостном выражении составил 23940 руб./га, на фоне соломы показатель варьировал в пределах 24120 – 26730 руб./га, на фоне минеральных удобрений – 31500 – 34830 руб./га.

Условный чистый доход на варианте без удобрений составил 15214,1 руб./га. При внесении соломы и на фоне NPK показатель увеличивался, в частности, с 15340,43 до 15637,38 и 15164,47 до 18058,72 руб./га соответственно.

Расчеты показали, что использование соломы и биологического препарата является более рентабельным по сравнению с совместным использованием с минеральными удобрениями. Уровень рентабельности на данном варианте превысил контроль на 5 %.

Использование биопрепарат в чистом виде снижало уровень рентабельности на 42 % по сравнению с контрольным вариантом. Внесение тех же компонентов на фоне минеральных удобрений менее эффективно.

На фоне минеральных удобрений лучший экономический эффект был получен при совместном использовании соломы с азотной добавкой и биопрепаратом Байкал ЭМ-1, где рентабельность составила 108 %, при этом условный чистый доход составил 18058,72 руб./га, что выше контроля на 2844,62 руб./га.

При использовании соломы в комплексе с биопрепаратом Байкал ЭМ-1 рентабельность составила 179 %. Чистый доход составил 16738,43 руб./га, что выше контроля на 1524,33 руб./га.

Таким образом, использование соломы совместно с биопрепаратом и азотной добавкой на фоне NPK является экономически целесообразным при возделывании сельскохозяйственных культур. Следует отметить, что несмотря на то, что использование соломы в комплексе с биопрепаратом Байкал ЭМ-1 не приводит к заметному повышению продуктивности проса, но позволяет получать продукцию со значительно меньшими производственными затратами и более высоким уровнем рентабельности. Последнее очень важно в сложившихся в настоящее время экономических условиях ведения сельскохозяйственного производства.

Заключение

1. Использование соломы в качестве удобрения способствовало созданию оптимального строения пахотного слоя чернозёма типичного при возделывании проса. Разуплотнение пахотного горизонта до посева проса отмечалось как на варианте отдельного применения соломы озимой пшеницы, где плотность составила $1,24 \text{ г/см}^3$ (на контроле $1,28 \text{ г/см}^3$), так и на варианте совместного внесения соломы с азотной добавкой и биопрепаратом Байкал ЭМ-1 – $1,17 \text{ г/см}^3$. Аналогичная тенденция сохранялась до уборки проса: на контрольном варианте плотность почвы составила $1,33 \text{ г/см}^3$, с внесением соломы $1,28 \text{ г/см}^3$, с применением соломы с азотной добавкой и биопрепаратом Байкал ЭМ-1 – $1,21 \text{ г/см}^3$. Увеличение запасов продуктивной влаги на 2 – 5 мм в метровом слое почвы под посевами проса отмечалось при внесении соломы в чистом виде и на 8 – 15 мм – совместно с азотной добавкой и биопрепаратом Байкал ЭМ-1.

2. Применение системы удобрения с использованием соломы способствовало увеличению активности почвенных микроорганизмов. Внесение соломы позволило увеличить её на 2 % по сравнению с контролем. Более высокая эффективная активность микроорганизмов наблюдалась на варианте с внесением соломы совместно с биопрепаратом Байкал ЭМ-1 и N_{10} , где превышение показателей относительно контроля составило 5 % и аналогичном варианте на фоне минеральных удобрений – в 2 раза.

3. Применение соломы, минеральных удобрений и биологического препарата Байкал ЭМ-1 при возделывании проса оказало значительное влияние на состояние ферментных систем в почве. Наиболее высокая активность всех изученных ферментов наблюдалась на варианте с применением соломы с дополнительным азотом в дозе 10 кг на 1 тонну соломы и биопрепаратом. В среднем за три года исследований активность уреазы по отношению к контролю повышалась от 1,9 до 2,4, фосфатазы – от 1,8 до 2,3 и инвертазы – от 2,3 до 3,0 раз.

4. Внесение соломы в сочетании с азотной добавкой и биопрепаратом как отдельно, так и на фоне минеральных удобрений способствовало улучшению агрохимических показателей почвы. В среднем за вегетацию проса в пахотном слое поддерживался более высокий уровень содержания минерального азота (15 – 28 мг/кг), подвижного фосфора (156 – 185 мг/кг) и калия (127 – 179 кг/га) при активном потреблении элементов питания растениями на формирование урожая.

5. При использовании соломы совместно с биологическим препаратом Байкал ЭМ-1 и азотной добавкой как отдельно, так и на фоне минеральных удобрений наблюдалось увеличение площади листьев растений проса на 1,7 % (49 тыс. м²/га) и 6,2 % (51,2 тыс. м²/га) относительно контроля. Максимальные значения листовая поверхность достигала в фазу выметывания метёлки. Накопление сухого вещества увеличивалось на 0,1 – 0,6 т/га (2 – 10 %) в вариантах с применением соломы и на 0,7 – 1,8 (16 – 19 %) с внесением минеральных удобрений. Применение соломы совместно с азотной добавкой и биопрепаратом на фоне NPK в среднем за вегетацию позволило повысить продуктивность фотосинтеза (ЧПФ) в 1,6 раз.

6. Применение соломы озимой пшеницы в качестве удобрения под просо способствовало увеличению урожайности зерна на 0,02 т/га, при совместном использовании с азотным удобрением – на 0,18 т/га, биопрепаратом Байкал ЭМ-1 – на 0,24 т/га. Использование соломы на фоне NPK обеспечило прибавку урожайности на 0,93 т/га. Более высокая урожайность сформировалась на варианте с совместным применением соломы, азотной добавки и биопрепарата на фоне NPK и в среднем за 3 года составила 3,87 т/га.

7. Применение соломы озимой пшеницы в качестве удобрения увеличивало вынос азота, фосфора и калия как основной, так и побочной продукцией, что связано с ростом урожайности и повышением их содержания в продукции. При поступлении соломы в почву вынос N повысился в среднем за три года на 3,6 кг/га, на фоне NPK – на 13,3 кг/га (69,3 кг/га). При применении соломы в комплексе с дополнительной дозой азота и биопрепаратом как отдельно,

так и на фоне минеральных удобрений вынос азота превышал контроль на 7,9 и 23,7 кг/га соответственно. При заделке в почву соломы вынос фосфора увеличился в среднем на 2,5 кг/га. Совместное применение соломы, азотной добавки и биопрепарата обеспечило вынос элементов в 22,5 кг/га. Внесение минеральных удобрений способствовало повышению его на 7,1 кг/га. Наиболее положительное действие на вынос фосфора с урожаем проса оказало комплексное внесение NPK, соломы с азотной добавкой и биопрепарата Байкал ЭМ-1 – 26,3 кг/га. При применении соломы озимой пшеницы в чистом виде вынос калия увеличивался на 0,8 кг/га. Наиболее благоприятным явился вариант с совместным внесением соломы, дополнительной дозы азота, биопрепарата как отдельно, так и на фоне минеральных удобрений, где вынос калия увеличился на 7,7 кг/га и 22,5 кг/га соответственно.

8. При применении соломы, азотной добавки и биопрепарата баланс элементов питания находился в пределах: по азоту от –40,9 до – 47,6 кг/га, фосфору – от – 6,9 до – 10,2 кг/га, калию – от – 38,6 до – 41,5 кг/га. Значительное снижение напряженности баланса наблюдалось при использовании минеральных удобрений.

9. Использование соломы озимой пшеницы в сочетании с азотной добавкой и биопрепаратом обеспечило получение экологически более безопасной продукции проса. При поступлении в пахотный слой соломы как отдельно, так и совместно с биопрепаратом Байкал ЭМ-1 и азотной добавкой содержание цинка в зерне проса уменьшилось в 3,8–4,9 раз, меди от 5,6 до 8,8, свинца в 2–5,6, кадмия – в 1,2–4,3, никеля от 5 до 5,4 раз.

10. Использование соломы совместно биопрепаратом Байкал ЭМ-1 экономически эффективно. Уровень рентабельности возделывания проса при этом повышался на 5 % соответственно (на контроле 174 %). Применение соломы и биопрепарата без минеральных удобрений позволило получить продукцию со значительно меньшими производственными затратами и более высоким уровнем рентабельности.

Предложение производству

1. При возделывании проса на чернозёме типичном в условиях лесостепи Среднего Поволжья с целью оптимизации системы удобрения и повышения урожайности зерна сельскохозяйственным товаропроизводителям рекомендуем использовать солому предшествующей зерновой культуры.

2. Для ускорения разложения и повышения эффективности соломы в качестве удобрения целесообразно применять её совместно с дополнительным азотом в дозе 10 кг д.в. на 1 т и обрабатывать биологическим препаратом Байкал ЭМ-1 в дозе 2 л/га. Более высокая продуктивность проса достигается при использовании их на фоне минеральных удобрений на планируемую урожайность.

3. Измельченную одновременно с уборкой солому обрабатывать биопрепаратом, вносить удобрения (дополнительный азот, NPK) и заделывать дискованием на 8–10 см. Через 10 – 15 дней провести вспашку почвы на глубину 22 – 25 см.

Список литературы

1. Абдрашитов, Р.Х. Формирование урожайности проса в зависимости от уровня минерального питания / Р.Х. Абдрашитов, В.И. Елисеев // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2006. – № 9. – С. 244-247.
2. Абдукаримов, А.Г. Диагностика питания растений / А.Г. Абдукаримов, Н.А. Турсынбаев, Г.Т. Калымбекова // Механика и технологии. – 2015. – № 3. – С. 85-92.
3. Аверкина, С.С. Изучение агрохимии фосфора на почвах Западной Сибири / С.С.Аверкина, И.В. Науменко // Инновации и продовольственная безопасность. – 2017. – № 2. – С. 49-70.
4. Агафонов, Е.В. Применение минеральных удобрений и бактериальных препаратов под просо на черноземе южном / Е.В.Агафонов, В.В.Клыков // Зерновое хозяйство России. – 2013. – № 4. – С. 53-55.
5. Агробιοгеохимический цикл фосфора / А.Л. Иванов [и др.]. – М. : Рос.акад. с.-х. наук. – 2012. – С. 88-115.
6. Агροхимия : учебник / Б.А. Ягодин [и др.]. – М.: Агропромиздат, 1989. – 639 с.
7. Адиньяев, Э.Д. Приемы оптимизации фотосинтетической деятельности посевов озимой пшеницы в лесостепной зоне Республики Ингушетия / Э.Д. Адиньяев, З.М. Цицкиев // Известия Горского государственного аграрного университета. – 2012. – Т. 49. – № 1-2. – С. 3-7.
8. Адрианов, С.Н. Оценка методов определения подвижных фосфатов в почве / С.Н. Адрианов // Плодородие. – 2008. – № 2. – С. 14-17.
9. Алексеева, А.А. Ферментативная активность почв лесных питомников лесостепной зоны Красноярского края / А.А. Алексеева, Н.В. Фомина // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. – 2014. – № 12. – С.70-75.
10. Алиев, Т.Г. Влияние мульчирования приствольной полосы на ЧПФ слаборослых деревьев яблони / Т.Г. Алиев, Р.А. Струкова, Титова Е.Г. //

Актуальные проблемы экологии и природопользования. Материалы Всероссийской научно-практической конференции. – 2017. – С. 29-32.

11. Ананьева, Ю.С. Ферментативная активность черноземов Алтайского Приобья при различных уровнях агрогенной нагрузки / Ю.С.Ананьева. – Барнаул: Изд-во АГАУ, 2012. – Т. 2. – С. 108-109.

12. Антипина, Л.П. Оценка фосфатного состояния и оптимальные параметры его в почвах Западной Сибири / Антипина Л.П., Малыгина Л.П., Попцов С.И. // Сибирские вести. – 1992. – № 2. – С. 12-15.

13. Антонова, О.И. Ферментативная активность черноземов умеренно-засушливой Колочной степи в связи с внесением навозных стоков в условиях агроценозов / О.И. Антонова, М.С. Горшкова // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2014. – № 3. – С. 28-34.

14. Антонова, О.В. Фотосинтетический потенциал обыкновенной фасоли на капельном орошении // О.В. Антонова, В.Н. Павленко // Вестник аграрной науки. – 2016. – Т. 63. – № 6. – С. 67-70.

15. Асаева, Т.Д. Влияние удобрений на урожайность и структуру урожая африканского проса на дерново-глеевой оподзоленной почве / Т.Д.Асаева // Известия Горского государственного аграрного университета. – 2015. – Т. 52. – № 4. – С. 66-69.

16. Бакиров, Ф.Г. Влияние способов обработки почвы, соломенной мульчи и препарата Байкал ЭМ-1 на урожайность яровой пшеницы в условиях Южного Урала / Ф.Г. Бакиров, А.В. Коряковский // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2012. – Том 5. – № 37-1. – С. 50-52.

17. Балаев, А.Д. Трансформация органического вещества черноземных почв под влиянием длительного применения различных систем обработки и удобрения / А.Д. Балаев, М.В. Гаврилюк, В.Н. Недбаев // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2015. – № 1. – С. 1-2.

18. Баланс калия на черноземных почвах ростовской области и целесообразность внесения калийных удобрений / В.В. Турчин [и др.] // Инновации в технологиях возделывания сельскохозяйственных культур:

материалы международной научно-практической конференции. – 2016. – С. 82-85.

19. Барайщук, Г.В. Влияние биологически активных препаратов на микрофлору в почве питомников / Г.В. Барайщук, О.Ф. Хамова // Достижения науки и техники АПК. – 2009. – № 3. – С.18-21.

20. Безуглова, О.С. Гуминовые препараты как стимуляторы роста растений и микроорганизмов (обзор) / О.С. Безуглова, Е.А. Полиенко, А.В. Горюнов // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2016. – № 4. – С. 11-14.

21. Белик, Н.Л. Густота посева рапса ярового и запасы продуктивной влаги в почве / Н.Л. Белик // Вестник Тамбовского университета. – 2002. – Т. 7. – № 1. – С. 187-1.

22. Белоголовцев, В.П. Влияние минеральных удобрений на химический состав урожая проса при выращивании на светло-каштановой почве Саратовского Заволжья / В.П. Белоголовцев, И.Г. Имашев // Аграрный научный журнал. – 2016. – № 2. – С. 3-6.

23. Бельченко, С.А. Фотосинтетическая деятельность, структура посевов и урожая проса в зависимости от густоты стояния и фона питания / С.А. Бельченко, В.Ф. Мальцев, А.Е. Сорокин // Вестник Брянской государственной сельскохозяйственной академии. – 2007. – № 5. – С. 1-5.

24. Беспалова, Н.С. Влияние обеспеченности почвы элементами минерального питания на урожай и качество проса / Н.С. Беспалова, М.А. Жабин // Агрохимический вестник. – 2007. – № 3. – С. 27-28.

25. Биологизация земледелия и плотность почвы в зернопаропропашном севообороте / Балабанов С.С. [и др.] // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2013. – № 3. – С. 4-6.

26. Биологические особенности и технология возделывания основных полевых культур в Алтайском крае: учебное пособие / Ф.М. Стрижова [и др.] – Барнаул: Изд-во АГАУ, 2006. – 124 с.

27. Боме, Н.А. Формирование листовой поверхности озимых форм *Triticum aestivum* L. в различных погодно-климатических условиях / Н.А. Боме, Е.А. Тюменцева, А.Я. Боме // Вестник Тюменского государственного университета. Социально-экономические и правовые исследования. – 2011. – № 12. – С. 132-137.

28. Борисова, Е.Е. Влияние предшественников яровой пшеницы на биологическую активность и плотность сложения светло-серых лесных почв / Е.Е. Борисова // Вестник НГИЭИ. – 2013. – № 12. – С. 3-13.

29. Борисова, Е.Е. Влияние сельскохозяйственных культур и сидерации на урожайность яровой пшеницы на светло-серых лесных почвах Нижегородской области / Е.Е. Борисова // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. – 2014. – № 8. – С. 61-64.

30. Брескина, Г.М. Изменение биологической активности чернозема типичного в зависимости от антропогенных и абиотических факторов / Г.М. Брескина, Н.А. Чуян, Р.Ф. Еремина // Достижения науки и техники АПК. – 2009. – № 3. – С. 14-16.

31. Вальков, В.Ф. Почвенная экология сельскохозяйственных растений / В.Ф. Вальков. – М.: Агропромиздат, 1986. – 208 с.

32. Варавва, В.Н. Влияние регуляторов роста растений на физиологические показатели и урожайность проса / В.Н. Варавва // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2006. – № 5. – С. 108-110.

33. Варьирование влажности и плотности почвы в агроценозе пшеницы / Бурлаковой Л.М. [и др.] // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2003. – № 2. – С.39-42.

34. Вдовенко, С.А. Культивирование вешенки обыкновенной на соломенных субстратах при интенсивном способе выращивания / С.А. Вдовенко // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2013. – № 4. – С. 75-77.

35. Виноградский, С.Н. Микробиология почвы. Проблемы и методы / Виноградский С.Н. – М.: Изд-во АН СССР, 1952. – 897 с.

36. Влияние биологических препаратов на урожайность зерна проса / О.С. Корзун [и др.] // Сборник научных трудов Всероссийского научно-исследовательского института овцеводства и козоводства. – 2014. – Т. 2. – № 7. – С. 6-9.

37. Влияние приёмов биологизации земледелия на плотность почвы в зернотравяном севообороте / Н.В. Беседин [и др.] // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2012. – № 9. – С. 5-7.

38. Влияние последствий минеральных удобрений на урожайность проса в 5-польном севообороте в условиях Оренбургского Предуралья / В.И. Елисеев [и др.] // Бюллетень Оренбургского научного центра УрО РАН. – 2015. – 9 с.

39. Влияние систем удобрения на продуктивность севооборота и изменение агрохимических показателей дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы / Серая Т.М. [и др.] // Агрохимия. – 2011. – № 11. – С. 17-24.

40. Волошин, Е.И. Ресурсы соломы на удобрение в Красноярском крае / Е.И. Волошин // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. – 2008. – № 3. – С. 91-94.

41. Вольтере, И.А. Запасы продуктивной влаги в посевах озимой пшеницы / И.А. Вольтере // Земледелие. – 2007. – № 3. – С. 31.

42. Воронкова, Н.А. Агроэкологическая оценка влияния предшественников на элементы плодородия чернозема выщелоченного и урожайность яровой мягкой пшеницы / Н.А. Воронкова, О.Ф. Хамова // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2009. – № 5. – С. 24-29.

43. Воронкова, Н.А. Влияние приемов биологизации на запасы продуктивной влаги в почве / Н.А. Воронкова // Земледелие. – 2009. – № 1. – С. 11-12.

44. Воронкова, Н.А. Влияние длительного применения удобрений в зернотравяном севообороте на агрохимические свойства чернозема выщелоченного и урожайность сельскохозяйственных культур / Н.А. Воронкова, Н.Ф. Балабанова // Достижения науки и техники АПК. – 2013. – № 5. – С. 30-32.

45. Вяль, Ю.А. Ферментативная активность и агрохимические свойства почв Пензенского ботанического сада / Ю.А. Вяль, А.В. Шиленков // Известия ПГПУ им. В.Г. Белинского. – 2008. – № 10. – С. 26-32.

46. Галеева, Л.П. Фосфатный режим чернозёмов выщелоченных приобья при разных способах внесения удобрений / Л.П. Галеева // Вестник Новосибирского государственного аграрного университета. – 2013. – № 1. – С. 10-15.

47. Глиева, О.В. Влияние минерального питания на формирование элементов структуры урожая проса / О.В. Глиева // Зернобобовые и крупяные культуры. – 2015. – № 3. – С. 21-25.

48. Голов, В.И. Экологические проблемы использования бытовых и производственных отходов в качестве удобрений и возможности самоочищения почв от ксенобиотиков и тяжелых металлов / В.И. Голов, Я.О. Тимофеева // Известия Дальневосточного федерального университета. Экономика и управление. – 2005. – № 4. – С. 100-105.

49. Голопятов, М.Т. Влияние факторов интенсификации и элементов агротехники на продуктивность сортов и линий проса нового поколения / М.Т. Голопятов, Н.О. Костикова // Вестник Орловского государственного аграрного университета. – 2007. – № 4. – С. 12-14.

50. Грязнов, В.П. Формирование урожая сои в зависимости от размеров фотосинтетической поверхности листьев в посевах / В.П. Грязнов // Научные ведомости Белгородского государственного университета. – 2007. – Том 5. – № 5. – С. 89-93.

51. Данилов, А.В. Фотосинтетическая деятельность посевов ярового ячменя в зависимости от стимуляторов роста и сроков их применения / А.В. Данилов // Студенческая наука и XXI век. – 2017. – № 14. – С. 34-36.

52. Девятова, Т.А. Биодиагностика почв / Т.А. Девятова, Т.Н. Крамарева. – Воронеж: ВГУ, 2008. – 140 с.

53. Дедов, А.В. Бинарные посе́вы с бобовыми травами / А.В. Дедов, Т.А. Кузнецова, М.А. Несмеянова // Пермский аграрный вестник. – 2014. – № 2. – С. 10-18.
54. Дёмин, Е.А. Динамика нарастания биомассы кукурузы в лесостепной зоне Зауралья / Е.А. Дёмин, Д.И. Еремин // Агропродовольственная политика России. – 2017. – № 6. – С. 10-14.
55. Добровольский, В.В. География микроэлементов. Глобальное рассеяние / В.В. Добровольский. – М.: Мысль, 1983. – 272 с.
56. Долгополова, Н.В. Запасы продуктивной влаги в посевах яровой твердой пшеницы в зависимости от предшественников / Н.В. Долгополова // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2009. – № 5. – С. 19-20.
57. Долгополова, Н.В. Биологическая активность и плотность почвы при возделывании яровой твердой пшеницы / Н.В. Долгополова, А.А. Павлов // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2012. – № 4. – С. 31-33.
58. Доценко, П.В. Технология возделывания проса Камышинское-98 в агроландшафтной системе земледелия Нижнего Поволжья / П.В. Доценко // Научно-агрономический журнал. – 2009. – № 1. – С. 20-21.
59. Дубовик В.А. Тяжелые металлы в почвах Тамбовской равнины и их нейтрализация / В.А. Дубовик // Вестник российской сельскохозяйственной науки. – 2009. – № 4. – С. 27-28.
60. Егорова, И.А. Особенности накопления радионуклидов в растениях северо-западного Алтая / И.А. Егорова, Ю.В. Кислицина, А.В. Пузанов // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2009. – № 11. – С. 32-38.
61. Елисеев, В.И. Влияние минеральных удобрений на вынос питательных веществ из почвы растениями проса / В.И. Елисеев // Бюллетень Оренбургского научного центра УрО РАН. – 2016. – 10с.
62. Ерёмин, Д.И. Влияние севооборотов на динамику нитратов в чернозёме выщелоченном лесостепной зоны Зауралья / Д.И. Ерёмин, А.Н. Моисеев // Достижения науки и техники АПК. – 2013. – № 3. – С. 12-15.

63. Ермохин, Ю. И. Научная школа Сибирского агрохимика в развитии отечественного и зарубежного опыта диагностики азотного питания растений и применения азотных удобрений / Ю. И. Ермохин. – Омск : Вариант-Омск, 2008. – 36 с.

64. Eroshenko, F.V. Assimilation surface, chlorophyll and primary processes of photosynthesis of high-stalked and short-stalked varieties of winter wheat / F.V. Eroshenko // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. – 2010. – № 8. – С. 33-37.

65. Eroshenko, F.V. Photosynthetic activity of sowing high-stalked and short-stalked varieties of winter wheat depending on the level of nitrogen nutrition / F.V. Eroshenko // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2010. – Том 3. – №. 27-1. – С. 221-224.

66. Efimova, N.N. Influence of methods of basic soil processing and level of mineral nutrition on the yield of winter wheat on rice irrigation systems / N.N. Efimova, A.N. Marushak // Рисоводство. – 2014. – № 1. – С. 45-49.

67. Zhidkin, A.P. Review of existing representations of soil erosion in the Belgorod region / A.P. Zhidkin, Yu.G. Chendev // Научные ведомости Белгородского государственного университета. – 2014. – № 23. – С. 147-155.

68. Zhidkov, V.M. Influence of biologized methods of increasing the yield of Sudanese grass on light-brown soils under irrigation in the Volga-Don interfluvium / V.M. Zhidkov, A.K. Zhurbenko, Yu.A. Lapina // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2008. – № 4. – С. 34-36.

69. Zhukov, Yu.P. Determination of the maximum admissible dose of fertilizers, forecast of the change in the content of mobile forms of phosphorus and potassium in the soil according to the results of the balance / Yu.P. Zhukov, O.V. Chuxina // Плодородие. – 2013. – № 4. – С. 19-21.

70. Завалин, А.А. Применение биопрепаратов при возделывании полевых культур / А.А. Завалин // Достижения науки и техники АПК. – 2011. – № 8. – С. 9-11.
71. Зависимость микробиоты почвоподобного субстрата от способа обработки соломы пшеницы / О.В. Сысоева [и др.] // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. – 2013. – № 3. – С.91-96.
72. Заводчикова, Л.Д. Воздействие регуляторов роста на физиологические показатели и урожайность проса / Л.Д. Заводчикова, В.Н. Варавва, С.В. Харитонова // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2005. – Том 1. – № 5-1. – С. 26-28.
73. Загинайлов, А.В. Влияние густоты посева кукурузы по гребням на ее продуктивность / А.В. Загинайлов, В.А. Шевченко // Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования Московский государственный агроинженерный университет им. В.П. Горячкина. – 2011. – № 1. – С. 25-29.
74. Замятин, С.А. Баланс калия в почве в полевых севооборотах / С.А. Замятин, В.М. Измestьев // Владимирский земледелец. – 2013. № 3. – С. 17-18.
75. Запарнюк, В.И. Особенности формирования чистой продуктивности фотосинтеза посевами вики яровой в условиях Правобережной Лесостепи Украины / В.И. Запарнюк // Зернобобовые и крупяные культуры. – 2013. – № 3. – С. 74-79.
76. Запарнюк, В.И. Фотосинтетический потенциал посевов вики яровой в зависимости от инокуляции, удобрения и известкования / В.И. Запарнюк // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2013. – № 11. – С. 30-33.
77. Зверева, Г.К. Структура хлоренхимы колосковых чешуй хлебных злаков / Г.К. Зверева // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2012. – № 10. – С. 65-69.

78. Звягинцев, Д.Г. Биологическая активность почв и шкалы для оценки некоторых ее показателей / Д.Г. Звягинцев // Почвоведение. – 1978. – № 6. – С. 48–54.

79. Зеленов, А.В. Эффективность биомелиорантов в разуплотнении каштановых почв Нижнего Поволжья / А.В. Зеленов // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2011. – № 1. – С. 1-6.

80. Зеленов, А.В. Влияние приемов биологизации на засоренность посевов полевых культур в севооборотах Волгоградской области / А.В. Зеленов, Е.А. Иванцова // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2011. – № 4. – С. 1-6.

81. 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. – № 2. – С. 6-9.

82. Известково-аммиачная селитра и её применение в сельскохозяйственном производстве / А.А. Набиев [и др.] // Universum: технические науки. – 2017. – № 6. – С. 1-8.

83. Ильин, В.Б. Элементный химический состав растений / В.Б. Ильин. – Новосибирск: Наука, 1985. – 130 с.

84. Имашев, И.Г. Влияние минеральных удобрений на качество зерна проса на светло-каштановой почве Саратовского Заволжья //И.Г. Имашев, В.П. Белоголовцев // Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н.И. Вавилова. – 2014. – № 1. – С. 23–25.

85. Исайчев, В.А. Влияние регуляторов роста на фотосинтетическую деятельность растений яровой пшеницы в условиях Лесостепи Поволжья / В.А. Исайчев, Н.Н. Андреев, А.В. Каспировский // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. – 2013. – № 3. – С. 18-22.

86. Калий в современной земледелии. Проблемы и их решениям / В.В. Агеев [и др.] // Вестник АПК Ставрополя. – 2016. – № 2. – С. 115-121.

87. Кальяскарова, А.Е. Влияние минеральных удобрений на урожайность просо-гороховой травосмеси / А.Е.Кальяскарова // Сельское, лесное и водное хозяйство. – 2012. – № 2. [Электронный ресурс]. URL: <http://agro.snauka.ru/2012/02/119> (дата обращения: 29.09.2017).

88. Клыков, В.В. Влияние минеральных удобрений в сочетании с бактериальными препаратами на урожайность и качество проса / В.В. Клыков // Современные проблемы устойчивого развития агропромышленного комплекса России : матер. IX Междунар. дистанционной науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. – пос. Персиановский, 2012. – С. 105–107.

89. Клят, Н.Ю. Содержание элементов питания в лугово-черноземной почве Омского Прииртышья в условиях длительного применения удобрений / Н.Ю. Клят, Ю.А. Азаренко // Сборник научных трудов Всероссийского научно-исследовательского института овцеводства и козоводства. – 2014. – Т. 2. – № 7. – С. 6-9.

90. Козлова, Г.Я. Особенности формирования фотосинтезирующей поверхности ячменя в условиях лесостепи Омского Прииртышья / Г.Я. Козлова, Г.П. Антипова // Достижения науки и техники АПК. – 2013. – № 5. – С. 14-17.

91. Коконов, С.И. Роль предшественников и предпосевной обработки почвы в технологии возделывания проса / С.И.Коконов, Р.Ф. Дюкин // Достижения науки и техники АПК. – 2013. – №8. – С. 10-12.

92. Коломоец, Д.А. Мониторинг ферментативного состояния почв 30-км зоны Волгодонской атомной станции / Д.А. Коломоец // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2011. – Т.13. – № 1. – С. 1338-1340.

93. Колсанов, Г.В. Гречишная солома в удобрении ячменя на типичном черноземе лесостепи Поволжья / Г.В. Колсанов // Агрохимия. – 2005. – № 5. – С. 59-65.

94. Колупаева, Я.А. Влияние древесных отходов и пожнивных остатков на агрохимические свойства чернозёмов выщелоченных Алтайского Приобья / Я.А. Колупаева // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2004. – № 4. – С. 56-58.

95. Комаревцева, Л.Г. Использование соломы в качестве удобрения на дерново-подзолистых почвах / Л.Г. Комаревцева // Вестник АПК Верхневолжья. – 2008. – №1. – С. 14-18.
96. Кононов, А.С. Агрофитоценоз и методы его исследования / А.С. Кононов. – Брянск, 2009. – 299с.
97. Кононов, А.С. Влияние аммиачного азота на эффективность физиологических процессов в одновидовых и бобово-злаковых агроценозах / А.С. Кононов, О.Н. Шкотова // Вестник Брянского государственного университета. – 2012. – № 4 (2). – С. 1-14.
98. Конышева, Е.Н. Влияние тяжелых металлов и их детоксикантов на ферментативную активность почв / Е.Н. Конышева, И.С. Коротченко // Вестник КрасГАУ. – 2011. – №1. – С. 114-119.
99. Корсаков, К.В. Совместное применение удобрений, гербицидов и регуляторов роста при возделывании овса и проса в Поволжье / К.В. Корсаков, Н.И. Стрижков, В.В. Пронько // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2013. – № 4. – С. 16-19.
100. Коряковский, А.В. Саморазрыхление почвы под влиянием соломенной мульчи / А.В. Коряковский, Ф.Г. Бакиров // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2011. – Т.2. – № 30-1. – С. 21-23.
101. Коряковский, А.В. Обработка соломенной мульчи биопрепаратом «Байкал ЭМ-1» эффективный способ повышения урожайности яровой пшеницы в засушливых условиях / А.В. Коряковский // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2011. – Т. 4 – № 32-1. – С. 47-48.
102. Косьянчук, В.П. Фитометрические показатели и их использование в программировании урожаев / В.П. Косьянчук // Вестник Брянского государственного университета. – 2010. – № 4. – С. 30-34.
103. Котьяк, П.А. Влияние разных по интенсивности систем обработки и удобрений на изменение биологических показателей плодородия почвы / П.А. Котьяк, Е.В. Чебыкина, Л.Г. Комаревцева // Вестник АПК Верхневолжья. – 2008. – № 3. – С. 3-6.

104. Кравченко, В.Н. Действие серы и азота на урожайность проса / В.Н. Кравченко, А.И. Тукабаева // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2011. – Том 1. – № 29-1. – С. 44-46.

104. Кравченко, Р.В. Растительные остатки и плодородие почв / Р.В. Кравченко, М.Т. Куприченков // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2012. – № 79. – С. 1-10.

105. Крамарева, Т.А. Ферментативная активность почв при различных антропогенных воздействиях: автореф. дис. ... канд. биол. наук / Т.А. Крамарева. – Воронеж, 2003. – 24 с.

106. Крончев, Н.И. Влияние минеральных удобрений и биопрепаратов на урожайность и качество зерна яровой пшеницы / Н.И. Крончев, С.Н. Сергатенко, М.В. Валяйкина // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2011. – № 2. – С. 23-27.

107. Крымская, О.В. Запасы продуктивной влаги под агроценозами Белгородской области / О.В. Крымская, М.Г. Лебедева // Научные ведомости Белгородского государственного университета. – 2011. – Т. 16. – № 15. – С. 180-185.

108. Крючков, А.Г. Ресурсы влаги и урожайность проса на чернозёме обыкновенном в степи Оренбургского Предуралья / А.Г. Крючков, В.И. Елисеев // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2009. – Т. 4. – № 24-1. – С. 18-21.

109. Крючков, А.Г. Влияние минеральных удобрений на потребление азота, фосфора и калия растениями яровой твердой пшеницы и их баланс в длительном опыте / А.Г. Крючков, В.И. Елисеев, Р.Р. Абдрашитов // Агрохимия. – 2012. – № 10. – С. 27-31.

110. Кузнецов, А.Ю. Влияние полиакриламидного полимера и удобрений на водоудерживающую способность и запасы продуктивной влаги серой лесной почвы / А.Ю. Кузнецов // Инновационные технологии в АПК: теория и практика

сборник статей II Всероссийской научно-практической конференции. – 2014. – С. 111-114.

111. Куликова, А.Х. Эффективность предпосевной обработки семян сахарной свёклы биопрепаратами и диатомитовым порошком в условиях Среднего Поволжья / А.Х. Куликова, О.С. Дронина // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2009. – № 1. – С. 55-63.

112. Кумскова Н.Д. Влияние биопрепарата «Байкал-ЭМ1» на урожайность гречихи / Н.Д. Кумскова, Д.Ю. Гаращук // Дальневосточный аграрный вестник. – 2011. – № 2. – С. 11-14.

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

114. Кураченко, Н.Л. Запасы продуктивной влаги в агроценозах пшеницы, возделываемых по ресурсосберегающим технологиям / Н.Л. Кураченко, А.А. Картавых, Н.И. Ржевская // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. – 2014. – № 5. – С. 58-63.

115. Лапа, В.В. Влияние минеральных удобрений на качество зерна проса при возделывании на дерново-подзолистой рыхло-супесчаной почве / В.В. Лапа, М.М. Ломонос // Почвоведение и агрохимия. – 2007. – №1. – С.106-112.

116. Лапа, В.В. Плодородие почв и применение удобрений как основа интенсификации сельскохозяйственного производства Республики Беларусь / В.В. Лапа // Труды Никитского ботанического сада. – 2008. – Т. 130. – С. 127-130.

117. Лошаков, В.Г. Севооборот и плодородие почвы / В.Г. Лошаков. – М.: Изд-во. ВНИИА, 2012. – 512 с.

118. Лошаков, В.Г. Эффективность совместного использования севооборота и удобрений / В.Г. Лошаков // Плодородие. – 2016. – № 2. – С. 37-40.

119. Лукин, С.В. Агроэкологическая оценка многолетней динамики содержания обменного калия в черноземах западной части ЦЧО / С.В. Лукин, И.И. Васенев, А.С. Цыгуткин // Достижения науки и техники АПК. – 2010. – № 8. – С. 42-46.

120. Лукин, С.М. Влияние биопрепаратов ассоциативных азотфиксирующих микроорганизмов на урожайность сельскохозяйственных культур / С.М. Лукин, Е.В.Марчук // Достижения науки и техники АПК. – 2011. – № 8. – С. 18-21.

121. Лукин, С.М. Калийное состояние дерново-подзолистой супесчаной почвы и баланс калия при длительном применении удобрений / С.М. Лукин // Агрохимия. – 2012. – № 12. – С. 5-14.

122. Максименко, О.Д. Продуктивность растений сои в зависимости от способов использования пшеничной соломы в качестве органического удобрения и обработки почвы / О.Д. Максименко // Кубанский государственный аграрный университет. – 2006. – № 23. – С. 1-5.

123. Максютов, Н.А. Влияние погодных условий, предшественников и фона питания на урожайность проса в степной зоне Южного Урала / Н.А. Максютов, В.М. Жданов // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2016. – № 4. – С. 42-45.

124. Мамонов, Е.В. Фотосинтетическая деятельность кукурузы в тропических условиях в зависимости от минерального питания / Е.В. Мамонов // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. – 2005. – №. 1 – С. 74-79.

125. Матюк, Н.С. Роль сидератов и соломы в стабилизации процессов трансформации органического вещества в дерново-подзолистой почве / Н.С. Матюк, О.В. Селицкая, С.С. Солдатова // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. – 2013. – № 3. – С. 63-72.

126. Медин, Д.К. Влияние применения птичьего помета и минеральных удобрений совместно с соломой зерновых культур на агрохимические свойства дерново-подзолистой почвы / Д.К. Медин, Н.П. Шабардина // Международный научный журнал «Символ науки». – 2016. – №10-3. – С. 35-37.

127. Минеев, В.Г. Химизация земледелия и природная среда / В.Г. Минеев. – М.: Агроромиздат, 1990. – 287 с.

128. Минеев, В.Г. Агрохимия и экологические функции калия / В.Г. Минеев. – М. : Изд-во МГУ, 1999. – 332 с.

129. Мудрых, Н.М. Опыт использования растительных остатков в почвах нечерноземной зоны России (обзор) / Н.М. Мудрых, И.А. Самофалова // Пермский аграрный вестник. – 2017. – № 1. – С. 88-97.

130. 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.

131. Назаров, В.А. Агроэкологические приемы повышения плодородия черноземных почв Поволжья. Автореф. диссерт. доктора с.-х. наук / Назаров Виктор Алексеевич. – Саратов, 2005. – 39 с.

132. Назаров, В.А. Система агроэкологических и агрохимических приемов регулирования плодородия черноземных почв Поволжья / В.А. Назаров, И.А. Назаров // Аграрный научный журнал. – 2008. - № 5. – С. 40–42.

133. Назаров, В.А. Повышение продуктивности различных сортов яровой пшеницы под влиянием селеносодержащих биологически активных веществ / В.А. Назаров, Ю.Г. Леонтьев // Аграрный научный журнал. – 2012. - № 1. – С. 47–49.

134. Назырова, Ф.И. Влияние органических удобрений и мелиорантов на буферные свойства чернозема южного / Ф.И. Назырова, Т.Т. Гарипов // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. – 2012. – № 1. – С. 24-27.

135. Намжилов, Н.Б. Влияние органических удобрений на восстановление плодородия дефлированных почв Бурятии / Н.Б. Намжилов, Г.Д. Чимитдоржиева, Ю.Б. Цыбенков // Почвоведение. – 2003. – № 6. – С. 21.

136. Нарушева, Е.А. Изменение биологической активности чернозема выщелоченного при возделывании гречихи в среднем Поволжье / Е.А. Нарушева // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2012. – Т. 88. – № 2. – С. 12-16.

137. Настина, Ю.Р. Влияние микроэлементов на изменение фотосинтетической деятельности посевов яровой пшеницы и формирование

урожая / Ю.Р. Настина, В.И. Костин, Е.Н. Ерофеева // Нива Поволжья. – 2012. – № 3. – С. 14-18.

138. Небытов, В.Г. Влияние фосфорных и органических удобрений на фосфатное состояние почвы и урожай культур в севообороте / В.Г. Небытов, Е.А.Кузнецова // Вестник Орловского государственного аграрного университета. – 2012. – № 2. – С. 87-93.

139. Немцев С.Н. Агроклиматические условия Ульяновской области и пути их рационального использования в земледелии / С.Н. Немцев, А.Г. Галиакберов, Р.Б. Шарипова // В сборнике: Научные труды Ульяновского НИИСХ. – 2010. – С. 3-23.

140. Немцев, С.Н. Агрофизическое состояние чернозема выщелоченного в зависимости от последствий органических и нетрадиционных удобрений / С.Н. Немцев, С.Н. Никитин, Г.В. Сайдяшева // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2011. – № 1. – С. 18-22.

141. Нестерова, Л.Б. Запасы гумуса и азота в почвах / Л.Б. Нестерова, И.Г. Брыкина // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2004. – № 4. – С. 73-75.

142. Никитин, В.В. Методология диагностики азотного режима в зерносвекловичном севообороте / В.В. Никитин // Достижения науки и техники АПК. – 2012. – № 9. – С. 13-15.

143. Никитина, В.И. Изменчивость и наследование площади листовой поверхности у родительских сортов и гибридов ярового ячменя в условиях Красноярской Лесостепи / В.И. Никитина, Д.С. Бахтин // Вестник Красноярского государственного агрономического университета. – 2011. – № 12. – С. 115-119.

144. Никитина, Л.В. Сравнение методов оценки калийного состояния дерново-подзолистых почв разного гранулометрического состава / Л.В. Никитина, С.М. Лукин, М.П. Листова // Плодородие. – 2013. – № 6. – С. 11-13.

145. Никитишен, В.И. Баланс азота в агроэкосистемах на серых лесных почвах при длительном внесении удобрений / В.И. Никитишен, В.И. Личко // Почвоведение. – 2008. – № 4. – с. 481-493.

146. Новицкий, А.А. ЭМ-технология в растениеводстве / А.А. Новицкий, В.А. Гнитецкий // Вестник Омского государственного аграрного университета. – 2012. – № 4. – С.20-24.

147. Носко, Б.С. Влияние интенсивности систем земледелия на антропогенную эволюцию фосфора в почвах Украины / Б.С. Носко, С.А. Балюк // Проблемы агрохимии и экологии. – 2009. – № 3. – С. 3-6.

148. Пакуль, В.Н. Чистая продуктивность фотосинтеза ярового ячменя / В.Н. Пакуль // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2009. – № 2. – С. 34-40.

149. Перегуда, Т.И. Влияние агротехнических приёмов на агрофизические свойства дерново-подзолистой слабо-глееватой почвы / Т.И. Перегуда, А.Н. Воронин, Б.А. Смирнов / Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2008. – № 9. – С. 33-36.

150. Перспективная ресурсосберегающая технология производства пруса: методические рекомендации / В.И. Зотиков [и др.]. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2010. – 52 с.

151. Пехота, А.П. Поступление элементов питания с соломой зерновых и зернобобовых культур в дерново-подзолистую супесчаную почву в зависимости от системы удобрения / Пехота А.П. // Почвоведение и агрохимия. – 2014. – № 2. – С. 179-185.

152. Пилипенко, Н.Г. Баланс азота, фосфора и калия на лугово-черноземных почвах Забайкалья в кормовом севообороте / Н.Г. Пилипенко, О.Т. Андреева // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2014. – № 4. – С. 31-36.

153. Пироговская, Г.В. Миграция и баланс азота в дерново-подзолистых почвах при разных уровнях применения азотных удобрений (по данным лизиметрических исследований РУП «Институт почвоведения и агрохимии») / Г.В. Пироговская, О.П. Сазоненко // Почвоведение и агрохимия. – 2011. – №2. – С. 149-164.

154. Плаксина, А.В. Экономические и экологические аспекты эффективности использования природных ресурсов региона / А.В. Плаксина //

Вестник Адыгейского государственного университета. Серия 5: Экономика. – 2010. – № 4. – С. 10-14.

155. Подсевалов, М.И. Влияние агроприемов на биологическую активность почвы и урожайность озимой пшеницы в севооборотах лесостепи Заволжья / М.И. Подсевалов, А.Л. Тойгильдин, Д.Э. Аюпов // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2017. – № 1. – С. 44-50.

156. Полторецкий, С.П. Влияние предшественников и удобрений на урожайность и качество семян проса / С.П. Полторецкий // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. – 2014. – № 6. – С. 109-114.

157. Помазкина, Л.В. Агрохимия азота в таежной зоне Прибайкалья. – Новосибирск, 1985. – 176 с.

158. Последствия отчуждения соломы при возделывании пшеницы и ячменя: обзор литературы / Д.Д. Таркалсон [и др.] // Питание растений. – 2013. – № 2. – С. 2-5.

159. Постников, П.А. Агробиологические приемы повышения продуктивности севооборотов / П.А. Постников // Достижения науки и техники АПК. – 2011. – № 6. – С. 56-58.

160. Предварительная обработка растительного сырья и отходов сельскохозяйственного производства с целью повышения выхода редуцирующих веществ / Р.М. Нуртдинов [и др.]. // Вестник Казанского технологического университета. – 2011. – № 9. – С. 264-267.

161. Привалова, Е.А. Влияние компонентного состава соломы на скорость ферментативного гидролиза целлюлозы / Е.А. Привалова, Е.С. Фомина, С.Н. Евстафьев // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2010. – № 7. – С. 156-160.

162. Привало, К.И. Влияние органоминеральных удобрений на эффективное плодородие почвы / К.И. Привало // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2012. – Том 1. – № 1. – С. 64-66.

163. Применение минеральных удобрений и биопрепаратов под *Panicum miliaceum* L. на черноземе южном / Е.В. Агафонов [и др.] // Проблемы агрохимии и экологии. – 2014. – № 2. – С. 3-7.

164. Применение соломы зерновых культур на удобрение в Томской области : рекомендации / И.Б. Сорокин [и др.] // ГНУ СибНИИТ СО РАСХН. Департамент социально-экономического развития села Томской области. – Томск, 2004. – 10 с.

165. Продуктивность озимой пшеницы при применении подкормок и препарата «Байкал-ЭМ1» в условиях Кабардино-Балкарской республики / Магомедов К.Г. и др. // Фундаментальные исследования. – 2008. – № 5. – С. 165-167.

166. Прокошев, В.В. Калий и калийные удобрения / В.В.Прокошев, И.П. Дерюгин. – М. : Ледум, 2000. – 185 с.

167. Пряженникова, О.Е. Целлюлозолитическая активность почв в условиях городской среды / О.Е. Пряженникова // Вестник Кемеровского государственного университета. – 2011. – № 3. – С. 10-13.

168. Развитие производства и использования проса и чумизы для пищевых целей в Италии / Брунори А.[и др.] // Зернобобовые и крупяные культуры. – 2012. – № 2. – С. 26-31.

169. Растениеводство / Г.С. Посыпанов [и др.]. – М.: КолосС, 2007. – 612 с.

170. Рахимов, А.Д. Влияние минеральных удобрений на сорта зерновых культур / А.Д. Рахимов, Ф.Ш. Мирахмедов, Д.Т. Комолдинова // Современные тенденции развития науки и технологий. – 2016. – № 10-4. – С. 39-41.

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

172. Русакова, И.В. Баланс элементов питания и агрохимические свойства дерново-подзолистой почвы при использовании соломы на удобрение / И.В. Русакова // Международный научно-исследовательский журнал. – 2015. – № 8. – С. 53-55.

173. Ряховский, А.В. Влияние биологических особенностей агрофитоценозов проса, гречихи на их продуктивность и качество крупы / А.В. Ряховский, В.Н. Варавва // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2007. – Том 3. – № 15-1. – С. 77-80.

174. Сабо, Е.Д. Биологическая активность дерново-подзолистых суглинистых почв и методы их микробиологической характеристики / Е.Д. Сабо, О.В. Кормилицына // Лесной вестник. – 2001. – № 1. – С. 75-79.

175. Салахова, Р.Х. Агроклиматические условия Ульяновской области / Р.Х. Салахова, Г.В. Функ, Р.Б. Шарипова // В сборнике: Природа Симбирского Поволжья. – 2013. – С. 5-10.

176. Связь качества зерна проса с метеоусловиями вегетационного периода / Ю.В. Колмаков [и др.] // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2014. – № 3. – С. 35-37.

177. Связь между величиной хлорофилльного фотосинтетического потенциала и урожайностью озимой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) при повышенных температурах / Г.А. Прядкина [и др.] // Сельскохозяйственная биология. – 2014. – № 5. – с. 88-95.

178. Семькин, В.А. Использование ЭМ удобрений для получения раннего картофеля в Центральном Черноземье / В.А. Семькин, Э.В. Засорина, М.В. Стародубцева // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2012. – Том 2. – № 2. – С. 50-51.

179. Сенникова, А.Е. Применение корреляционно-регрессионного анализа при изучении урожайности проса в Краснодарском крае / А.Е. Сенникова, Ю.И. Кандауров // Студенческая наука XXI века. – 2016. – № 3. – С. 281-284.

180. Сергеев, В.С. Влияние растительных остатков на показатели почвенного плодородия / В.С. Сергеев // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2010. – № 9. – С. 28-34.

181. Сергеева, И.И. Изучение азотного питания растений при использовании регуляторов роста растений и бактериальных препаратов / И.И. Сергеева // Агрохимический вестник. – 2007. – № 5. – С. 38 – 40.

182. Середина, В.П. Резервы калия в почвах Западно-Сибирской равнины / В.П. Середина // Вестник Томского государственного университета. – 2013. – № 1. – С. 7–21.

183. Синещеков, В.Е. Динамика содержания легкоподвижного фосфора в почве при минимизации механической обработки в Лесостепи Приобья / В.Е. Синещеков, Г.И. Ткаченко // Агрехимия. – 2016. – № 11. – С. 19-24.

184. Скороходов, В.Ю. Запасы продуктивной влаги в севооборотах с короткой ротацией на черноземах южных Оренбургского Предуралья / В.Ю. Скороходов, И.М. Гаврилова, А.Ю. Еременко // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2008. – Т. 1. – № 17-1. – С. 50-53.

185. Скороходов, В.Ю. Продуктивность севооборотов с просом и их экономическая эффективность на чернозёмах южных Оренбургского Предуралья / В.Ю. Скороходов, П.А. Аношкин // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2016. – № 4. – С. 46-48.

186. Скорочкин, Ю.П. Сидеральный пар и солома – элементы биологизации земледелия в условиях Северо-Восточной части ЦЧР / Ю.П. Скорочкин, З.Я. Брюхова // Земледелие. – 2011. – № 3. – С. 20-21.

187. Сложный компост и его влияние на свойства почвы и продуктивность сельскохозяйственных культур : монография / Д.А. Антоненко [и др.]. – Краснодар : КубГАУ, 2015. – 181 с.

188. Смашевский, Н.Д. Экология фотосинтеза / Н.Д. Смашевский // Астраханский вестник экологического образования. – 2014. – № 2. – С.165-180.

189. Смирнов, Б.А. Влияние разных по интенсивности систем обработки и удобрений на изменение биологических показателей плодородия почвы / Б.А. Смирнов, П.А. Котьяк, Е.В. Чебыкина // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2008. – № 10. – С.16-20.

190. Смирнова, Т.В. Влияние норм высева на продуктивность овса / Т.В. Смирнова // Нива Поволжья. – 2012. – № 4. – С. 32-37.

191. Содержание аминокислот в зерне озимой тритикале в зависимости от уровня минерального питания / Ториков В.Е. [и др.] // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2014. – № 3. – С. 1-2.

192. Соловьёв, С.В. Приемы ухода за посевами и показатели чистой продуктивности фотосинтеза / С.В. Соловьёв // Альманах современной науки и образования. – 2012. – № 3. – С. 134-136.

193. Соломистая система удобрений на черноземе Лесостепи Поволжья / Г.В. Колсанов [и др.] // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2010. – № 1. – С. 26-35.

194. Сороко, В.И. Влияние удобрений на урожайность и качество зерна проса при возделывании на дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почве / В.И. Сороко, Г.В. Пироговская, Д.В. Маркевич // Почвоведение и агрохимия. – №1. – 2011. – С. 154-168.

195. Стейнфорт, А.Р. Солома злаковых культур / А.Р. Стейнфорт. – М.: Колос. – 1983. – 191 с.

196. Ступина, Л.А. Формирование и работа ассимиляционной поверхности сортов яровой пшеницы на серых лесных почвах Алтайского края / Л.А. Ступина // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2004. – № 4. – С. 122-126.

197. Тарасов, С.А. Использование микробиологических препаратов для ускорения деструкции соломы / С.А. Тарасов, О.М. Шершнева // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2014. – № 6. – С. 43-46.

198. Тах, И.П. Ферментативная активность различных типов почв лесостепного пояса в условиях западного Кавказа / И.П. Тах, А.Х. Агиров // Новые технологии. – 2009. – № 4. – С. 1-7.

199. Тиранов, А.Б. Сохранение и повышение плодородия почвы в агроэкосистемах Новгородской области Северо-Западного региона РФ / А.Б. Тиранов, Л.В. Тиранова // Никоновские чтения. – 2011. – № 16. – С. 244-245.

200. Титков, В.И. Фотосинтетическая деятельность посевов яровой твёрдой пшеницы в условиях центральной и восточной зон Южного Урала / В.И. Титков,

Р.К. Байкаменов // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2014. – № 2. – С. 29-31.

201. Тихомирова, В.Я. Влияние органического удобрения на баланс азота, фосфора и калия в льняном севообороте / В.Я. Тихомирова // Агрохимия. – 2010. – № 4. – С. 31-34.

202. Трубников, Ю.Н. Химический состав сельскохозяйственных культур и баланс элементов питания на серых лесных почвах Красноярского края / Ю.Н. Трубников // Достижения науки и техники АПК. – 2011. – № 3. С. 16-18.

203. Ульянова, О.А. Реакция агросерой почвы на применение системы удобрения / О.А. Ульянова, Н.Л. Кураченко, В.С. Борцов // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. – 2009. – № 7. – С. 76-82.

204. Уогинтас, В.Р. Изменчивость элементов структуры урожая проса сорта днепровское в зависимости от срока сева, нормы высева и дозы азотных удобрений / В.Р. Уогинтас // Вестник Барановичского государственного университета. – 2014. – № 2. – С. 81-85.

205. Урожайность проса за четыре ротации севооборотов на чернозёмах южных Оренбургского Предуралья / В.М. Жданов [и др.] // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2014. – № 6. – С. 37-40.

206. Фадькин, Г.Н. Зависимость баланса элементов питания в системе «почва – удобрение – растение» от форм азотных удобрений в условиях юга Нечерноземья / Г.Н. Фадькин, Д.В. Виноградов // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. – 2015. – № 6. – С. 13-18.

207. Филимонов, И.Н. Эффективность использования органических и минеральных удобрений при выращивании сахарной свеклы / И.Н. Филимонов, О.Г. Котлярова // Достижения науки и техники АПК. – 2011. – № 3. – С. 19-20.

208. Фомина, Н.В. Особенности ферментативных процессов почв лесных питомников Красноярского края / Н.В. Фомина // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. – 2008. – № 2. – С. 135-142.

209. Фосфатное состояние дерново-подзолистых почв Удмуртии и проблема фосфорного питания сельскохозяйственных культур / А.С. Башков [и др.] // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. – 2017. – № 1. – С. 11-20.

210. Фотосинтетическая деятельность посевов яровой пшеницы в зависимости от норм высева и фона питания / Шайхутдинов Ф.Ш. [и др.] // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2009. – Т. 4. – № 4. – С. 128-131.

211. Фотосинтетический потенциал и чистая продуктивность фотосинтеза посевов пшеницы в зависимости от технологии выращивания / К.А. Рашидов [и др.] // Кишоварз. – 2015. – Т. 1. – С. 9-11.

212. Хазиев, Ф.Х. Системный экологический анализ ферментативной активности почв / Ф.Х. Хазиев. – М.: Наука, 1982. – 202 с.

213. Хазиев, Ф.Х. Ферментативная активность почв агроценозов и перспективы ее изучения / Ф.Х. Хазиев, А.Е. Гулько // Почвоведение. – 1991. – № 8. – С.88-103.

214. Хазиев, Ф.Х. Методы почвенной энзимологии / Ф.Х. Хазиев. – М.: Наука, 2005. – 252 с.

215. Ханиева, И.М. Влияние регуляторов роста растений на урожайность и структуру урожая проса в условиях Предгорной зоны КБР / И.М. Ханиева, Р.Р. Апанасова, Т.М. Каиров // Материалы IX международной научно-практической конференции. – 2013. – С. – 62-67.

216. Хисамова, К.Ч. Формирование посевов и урожайности ячменя в зависимости от применения в системе удобрения соломы и биологического препарата Байкал ЭМ-1 / К.Ч. Хисамова, Е.А. Яшин, А.Х. Куликова // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2016. – № 2. – С. 65-73.

217. Цыганков, И.Г. Просо в сухостепной зоне Западного Казахстана / И.Г. Цыганков, В.И. Цыганков, М.Ю. Цыганкова // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2006. – Том 2. – № 10-1. – С. 91-95.

218. Цыгуткин А.С. О «Тяжёлых металлах» в терминологии агрохимии // А.С. Цыгуткин, Ю.И. Ермохин // Плодородие. – 2007. – № 2. – С. 36.

219. Чекалин, С.Г. Биологические возможности проса и пути повышения его продуктивности в Западном Казахстане / С.Г. Чекалин // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2012. – Том. 2. – № 34-1. – С. 27-29.

220. Чекалин, С.Г. Плодородие почвы и основные пути его регулирования / С.Г. Чекалин, М.М. Фартушина // Известия Оренбургского государственного аграрного. – 2014. – № 3. – С.14-17.

221. Чекмарев, П.А. Влияние системного применения минеральных удобрений на содержание гумуса в черноземе обыкновенном / П.А. Чекмарев, С.В. Обущенко, Н.М. Троц // Достижения науки и техники АПК. – 2013. – № 6. – С. 32-34.

222. Чекмарев, П.А. Подвижный фосфор и его баланс в пахотных почвах Республики Татарстан / П.А. Чекмарев, А.А. Лукманов, К.В. Владимиров // Мир Инноваций. – 2015. – № 1-4. – С. 1-8.

223. Черкасов, Г.Н. Влияние обработки почвы и минеральных удобрений на агрофизические свойства чернозема типичного / Г.Н. Черкасов, Е.В. Дубовик, Д.В. Дубовик, С.И. Казанцев // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2011. – № 5. – С.39-41.

224. Чуян, Н.А. Агрофизические показатели чернозема типичного в условиях использования побочной продукции на удобрение при разных уровнях удобрённости / Н.А. Чуян, О.Г. Чуян, Г.М. Брескина // Достижения науки и техники АПК. – 2013. – № 2. – С. 3-5.

225. Шабаев, В.П. Влияние внесения азотфиксирующей бактерии *Pseudomonas Putida* 23 на баланс азота в почве / В.П. Шабаев // Почвоведение. – 2010. – № 4. – С. 471–476.

226. Шарипова, Р.Б., Тенденция изменения заморозков в условиях агроландшафта Ульяновской области / Р.Б. Шарипова // Интродукция нетрадиционных и редких сельскохозяйственных растений: Материалы IV междунар. научн.-практ. конф. Ульяновск. – 2002. Т.2. – С. 222–224.

227. Швед, И.М. Влияние способов основной обработки почвы и систем удобрения на агрофизические свойства дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы / И.М. Швед, Е.Ф. Вaleyша // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2015. – № 1. – С. 77-83.

228. Щербаков А.П. Агроэкологический мониторинг: Влияние удобрений на структуру комплекса микромицетов чернозема / А.П. Щербаков, И.Д. Свистова, Н.В. Малыхина // Вестник ВГУ. – 2001. – № 2. – С. 168-171.

229. Щербакова, Т.А. Ферментативная активность почв и трансформация органического вещества / Т.А. Щербакова. – Минск, 1983. – 222 с.

230. Щитов, С.В. Техногенное воздействие на почву колесных тракторов / С.В. Щитов, П.В. Тихончук, Н.В. Спириданчук // Достижения науки и техники АПК. – 2012. – № 6. – С. 73-74.

231. Экологическое изучение микробиологических процессов и повышение плодородия почв в Каракалпакстане / Ф.Т.Отенова [и др.] // Современные инновации. – 2016. – № 2. – С. 6-9.

232. Эколого-агрономическая оценка влияния жидких органических удобрений и отходов производства на плодородие серых лесных почв / Е.С.Черный [и др.] // Вестник Орловского государственного аграрного университета. – 2012. – № 4. – С. 30-35.

233. Эколого-экономические и технологические особенности возделывания проса на склоновых черноземах Поволжья / И.Ф. Медведев [и др.] // Достижения науки и техники АПК. – 2012. – № 2. – С. 22-24.

234. ЭМ–технология – биотехнология XXI века / Сухамера С.А. и др. // Сборник материалов по практическому применению «Байкал ЭМ-1». – 2013, 64 с.

235. Эффективность применения бактериальных удобрений Азотовит и Бактофосфин на серых лесных почвах Республики Татарстан / Шайхутдинов Ф.Ш. [и др.] // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2013. – № 3. – С. 29-34.

236. Юшкевич, И.А. Поступление азота, фосфора и калия с атмосферными осадками в условиях Белоруссии / И.А. Юшкевич, Н.И. Туренков, И.А. Алексейчик // Почвоведение. – 1971. – № 11. – С. 70-74.
237. Якименко, В.Н. Калий в агроценозах Западной Сибири / В.Н. Якименко. – Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2003. – 231 с.
238. Якименко, В.Н. Изменение содержания форм калия по профилю почвы при различном калийном балансе в агроценозах / В.Н. Якименко // Агрохимия. – 2007. № 3. – С. 5-11.
239. Якименко, В.Н. Зависимость агроэкологического состояния почвы от баланса калия в агроценозе / В.Н. Якименко, А.А. Малюга // Вестник Томского государственного университета. – 2014. – № 1. – С. 26-41.
240. Al-Attar, L. Transfer factor of ^{90}Sr and ^{137}Cs to lettuce and winter wheat at different growth stage applications / L. Al-Attar, M. Al-Oudat, B. Safia // Journal of Environmental Radioactivity. – 2015. – В. 150. – P. 104-110.
241. Andren, O. The dynamics water and temperature in soil reduced straw wheat / O. Andren, K. Rajkaj, T. Katerer // Biol. Fertil. Soils. – 1993. – В.15 – № 1. – P. 1–8.
242. Barzegar, A.R. The effect of addition of different amounts and types of organic materials on soil physical properties and yield of wheat: научное издание/ A.R. Barzegar, A. Yousefi, A. Daryashenas // Plant and Soil. – 2002. – В. 247. – № 2. – P. 295-301.
243. Bodriguez, J.B., Dry matter and nutrient accumulation and partitioning by proso millet / J.B. Bodriguez, D.G. Westfall, G.A. Peterson // Agron. – 1990. – Т. 82. – №2. – P. 183-189.
244. Cerutti, A.K. Evaluation of the sustainability of swine manure fertilization in orchard through ecological footprint analysis: results from a case study in Italy / A.K. Cerutti, G.L. Beccaro, G. Bounou // Journal of Cleaner Production. – 2011. – В. 19. – № 4.– P. 318-324.
245. Ghaffar, S.H. Structural analysis for lignin characteristics in biomass straw. / S.H. Ghaffar, M. Fan // Biomass and Bioenergy. – 2013. –В. 57. – P. 264-279.

246. Chen, L. Carbon mineralization and microbial attributes in straw-amended soils as affected by moisture levels / L. Chen, J.-B. Zhang, B.-Z. Zhao // *Pedosphere*. – 2014. – B. 24. – № 2. – P. 167-177.

247. Habiyaremye, C. Proso millet (*Panicum miliaceum L.*) and its potential for cultivation in the pacific northwest, U.S.: a review / C. Habiyaremye, J.B. Matanguihan, K.M. Murphy // *Frontiers in Plant Science*. – 2017. – B. 7. – № 12. – P. 1961.

248. Jorgensen, L.N. Fungicide treatments affect yield and moisture content of grain and straw in winter wheat / L.N. Jorgensen, J.E. Olesen // *Crop Protection*. – 2002. – B. 21. – № 10. – P. 1023-1032.

249. Litnarovych, R. Construction and study of the mathematical model after the sources of experimental data by means of regression analysis / R. Litnarovych. – Tutorial, Rivne, 2011. – 140 p.

250. Lou Yunsheng. The effect of straw management and reduced tillage on soil N and P / Yunsheng Lou, Yua Yang // *Zhejiang Agr. Univ.*, 1994. – B. 24. – № 4. – P. 359–363.

251. Rajput, S.G. Mapping qtls for morpho-agronomic traits in proso millet (*Panicum miliaceum L.*) / S.G. Rajput, D.K. Santra, J. Schnable // *Molecular Breeding*. – 2016. – B. 36. – № 4. – P. 37.

252. Peltre, C. Straw export in continuous winter wheat and the ability of oil radish catch crops and early sowing of wheat to offset soil c and n losses: a simulation study / C. Peltre, M. Nielsen, S. Bruun // *Agricultural Systems*. – 2016. – B. 143. – P. 195-202.

253. Pohl, M. Thermo- and mesophilic anaerobic digestion of wheat straw by the upflow anaerobic solid-state (uass) process / M. Pohl, J. Mumme, K. Heeg, // *Bioresource Technology*. – 2012. – B. 124. – P. 321-327.

254. Rajput, S.G. Mapping qtls for morpho-agronomic traits in proso millet (*Panicum miliaceum L.*) / S.G. Rajput, D.K. Santra, J. Schnable // *Molecular Breeding*. – 2016. – B. 36. – № 4. – P. 37.

255. Reed, R.I. Determining optimal establishment and cultural practices for millet biomass production in Texas / R.I. Reed, M.A. Sanderson. – Texas agr. experiment station. College Station (Tex.), 1994. – P. 32-34.

256. Swiatek, K. The improvement of enzymatic hydrolysis efficiency of rape straw and miscanthusgiganteuspolysaccharides / K. Swiatek, M. Lewandowska, M. Swiatek // Bioresource Technology. – 2014. – B. 151. – P. 323-331.

257. Tian, S.-Z. Effects of different tillage methods and straw-returning on soil organic carbon content in a winter wheat field / S.-Z. Tian, T.-Y. Ning, Y. Wang // Chinese Journal of Applied Ecology. – 2010. – B. 21. – № 2. – P. 373-378.

258. Upadhyaya, H.D. Developing proso millet (*Panicum miliaceum L.*) core collection using geographic and morpho-agronomic data / H.D. Upadhyaya, S. Sharma, C.L. Gowda // Crop & Pasture Science. – 2011. – B. 62. – № 5. – P. 383-389.

259. Veremeenko, S.I. Changes in the agrochemical properties of dark gray soil in the western ukrainian forest-steppe under the effect of long-term agricultural use / S.I. Veremeenko, O.A. Furmanets // Eurasian Soil Science. – 2014. – B. 47. – № 5. – P. 483-490.

260. Zemnukhova, L.A. Composition and structure of amorphous silica produced from rice husk and straw / L.A. Zemnukhova, A.E. Panasenko, G.A. Fedorishcheva // InorganicMaterials. – 2014. – B. 50. – № 1. – P. 75-81.

261. Varinderpal-Singh, N.S. Brar Effect of incorporation of crop residues and organic manures on adsorption/desorption and bioavailability of phosphate / N.S. Varinderpal-Singh, B.S. Dhillon // Nutrient Cycl. Agroecosyst. – 2006. – B. 76. – № 1. – P. 95 – 108.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Значения температуры воздуха и количества осадков за 2014 год исследований
(по данным метеостанции международного аэропорта «Ульяновск–Восточный»)

Месяц	Декада	Температура, °С		Норма	Осадки, мм		Норма
		Среднее	Отклонение		Среднее	Отклонение	
Январь	Мес.	- 10,6	- 0,8	- 13,8	44,5	13,5	31
Февраль	Мес.	- 8,5	1,9	- 13,2	21,8	- 2,2	24
Март	Мес.	- 6,2	- 2,3	- 7	13,2	- 10,8	24
Апрель	1	5,4	4,7	0,7	17	7	10
	2	6,6	2,5	4,1	1,7	- 8,3	10
	3	8,5	1,2	7,2	12,1	2,1	10
	Мес.	6,7	0,7	6,1	30,8	0,8	30
Май	1	13,6	3,5	10,1	16,1	3,1	13
	2	18,2	5,6	12,6	1	- 12	13
	3	19,1	5,0	14,8	1,1	- 11,9	13
	Мес.	17,0	4,5	12,5	18,2	- 20,8	39
Июнь	1	17,6	1,3	16,3	6,6	- 14,4	21
	2	20,2	2,5	17,7	19,5	- 1,5	21
	3	22,4	3,8	18,6	21	0	21
	Мес.	20,1	2,6	17,5	47,1	- 15,9	63
Июль	1	22,4	3,0	19,4	0,5	- 19,5	20
	2	20,6	0,7	19,9	3,3	- 16,7	20
	3	18,7	- 0,9	19,6	1,4	- 18,6	20
	Мес.	20,5	0,9	19,6	5,2	- 54,8	60
Август	1	21,4	2,7	18,7	2,5	- 13,5	16
	2	22,1	4,5	17,6	22,4	6,4	16
	3	18,0	1,7	16,9	22,8	6,8	16
	Мес.	19,9	1,9	18,0	47,7	- 0,3	48
Сентябрь	1	15,7	1,7	14,0	1,3	- 15,7	17
	2	14,0	1,4	11,4	–	- 16	16
	3	8,6	0,1	8,7	0,8	- 15,2	16
	Мес.	12,8	1,5	11,3	2,1	- 46,9	49
Октябрь	Мес.	5,3	1,7	3,6	40,8	- 0,2	41
Ноябрь	Мес.	2,9	6,8	- 3,9	35,1	3,1	32
Декабрь	Мес.	- 4,5	5,9	- 10,4	57,4	27,4	30

Значения температуры воздуха и количества осадков за 2015 год исследований
(по данным метеостанции международного аэропорта «Ульяновск–Восточный»)

Месяц	Декада	Температура, °С		Норма	Осадки, мм		Норма
		Среднее	Отклонение		Среднее	Отклонение	
Январь	Мес.	- 10,4	3,4	- 13,8	22,1	- 8,9	31
Февраль	Мес.	- 11,2	2	- 13,2	35,4	11,4	24
Март	Мес.	- 1,1	5,9	- 7	7,7	- 16,3	24
Апрель	1	0,9	0,2	0,7	12,9	2,9	10
	2	5,8	1,7	4,1	16,3	6,3	10
	3	8,8	1,6	7,2	12,2	2,2	10
	Мес.	4,6	- 1,5	6,1	41,4	11,4	30
Май	1	10,7	0,6	10,1	–	- 13	13
	2	19,6	7,0	12,6	21,8	8,8	13
	3	20,4	5,6	14,8	7,6	- 5,4	13
	Мес.	14,8	2,3	12,5	29,4	- 9,6	39
Июнь	1	21,2	4,9	16,3	15,5	- 5,5	21
	2	17,9	0,2	17,7	–	- 21	21
	3	16,4	- 2,2	18,6	7,3	- 13,7	21
	Мес.	20,4	2,9	17,5	22,8	- 40,2	63
Июль	1	20,3	0,9	19,4	78,3	58,3	20
	2	19,6	0,3	19,9	38,3	18,3	20
	3	20,4	0,8	19,6	2	- 18	20
	Мес.	19,7	0,1	19,6	118,6	58,6	60
Август	1	21,8	3,1	18,7	5,3	- 10,7	16
	2	20,4	2,8	17,6	7,3	- 8,7	16
	3	18,2	1,9	16,9	7	- 9	16
	Мес.	18,1	0,1	18,0	19,6	- 28,4	48
Сентябрь	1	13,9	0,1	14,0	5,3	- 11,7	17
	2	11,2	0,2	11,4	7,3	- 8,7	16
	3	9,4	0,7	8,7	7	- 9	16
	Мес.	11,9	0,6	11,3	19	- 30	49
Октябрь		2,9	0,7	3,6	42,3	1,3	41
Ноябрь		- 3,5	- 0,4	- 3,9	80,4	48,4	32
Декабрь		- 6,2	4,2	- 10,4	37,3	7,3	30

Значения температуры воздуха и количества осадков за 2016 год исследований
(по данным метеостанции международного аэропорта «Ульяновск–Восточный»)

Месяц	Декада	Температура, °С		Норма	Осадки, мм		Норма
		Среднее	Отклонение		Среднее	Отклонение	
Январь	Мес.	- 10	3,8	- 13,8	72	41	31
Февраль	Мес.	- 7,7	5,5	- 13,2	28,3	4,3	24
Март	Мес.	- 3,6	3,4	- 7,0	39,8	15,8	24
Апрель	1	1,3	0,6	0,7	23,7	13,7	10
	2	5,7	1,6	4,1	16,5	6,5	10
	3	6,7	- 0,5	7,2	7,3	- 2,7	10
	Мес.	4,6	- 1,5	6,1	47,5	17,5	30
Май	1	13,2	3,1	10,1	12	- 1	13
	2	12,6	-	12,6	35,8	22,8	13
	3	23,5	8,7	14,8	23,3	10,3	13
	Мес.	15,9	3,4	12,5	71,1	32,1	39
Июнь	1	18,0	1,7	16,3	59,6	38,6	21
	2	20,5	2,8	17,7	11,9	- 9,1	21
	3	25,1	6,5	18,6	6,3	- 14,7	21
	Мес.	21,2	3,7	17,5	77,8	14,8	63
Июль	1	19,1	- 0,3	19,4	24	4	20
	2	17,4	- 2,5	19,9	2	- 18	20
	3	21,5	1,9	19,6	42	22	20
	Мес.	18,8	- 0,8	19,6	68	8	60
Август	1	20,4	2,0	18,7	17	1	16
	2	19,8	2,2	17,6	2,3	- 13,7	16
	3	18,0	1,1	16,9	4	- 12	16
	Мес.	22,8	4,8	18,0	23,3	- 24,7	48
Сентябрь	1	12,0	- 2	14,0	25,8	8,8	17
	2	11,5	0,1	11,4	22,1	6,1	16
	3	9,4	0,7	8,7	63,1	47,1	16
	Мес.	11,6	0,3	11,3	111	62	49

Плотность почвы под посевами проса в зависимости от систем удобрений, г/см³

Вариант	Слой почвы	2014		2015		2016		Средняя	
		Посев	Уборка	Посев	Уборка	Посев	Уборка	Посев	Уборка
1. Без удобрений (контроль) (фактор А)	0-10	1,23	1,26	1,24	1,28	1,22	1,25	1,23	1,26
	10-20	1,28	1,31	1,30	1,35	1,28	1,33	1,29	1,33
	20-30	1,31	1,40	1,35	1,41	1,31	1,36	1,32	1,39
	0-30	1,27	1,32	1,30	1,35	1,27	1,31	1,28	1,33
2. Солома предшественика (фактор В)	0-10	1,18	1,24	1,20	1,23	1,17	1,20	1,18	1,22
	10-20	1,20	1,29	1,25	1,30	1,19	1,24	1,21	1,28
	20-30	1,35	1,36	1,33	1,35	1,30	1,32	1,33	1,34
	0-30	1,24	1,30	1,26	1,29	1,22	1,25	1,24	1,28
3. Солома + 10 кг N/т соломы	0-10	1,17	1,21	1,18	1,22	1,15	1,18	1,17	1,20
	10-20	1,20	1,26	1,23	1,26	1,17	1,22	1,20	1,25
	20-30	1,35	1,36	1,31	1,33	1,29	1,30	1,32	1,33
	0-30	1,24	1,28	1,24	1,27	1,20	1,23	1,23	1,26
4. Солома + биопрепарат (Байкал ЭМ-1)	0-10	1,13	1,19	1,15	1,19	1,13	1,16	1,14	1,18
	10-20	1,19	1,24	1,20	1,24	1,16	1,21	1,18	1,23
	20-30	1,29	1,35	1,29	1,32	1,28	1,29	1,29	1,32
	0-30	1,20	1,26	1,21	1,25	1,19	1,22	1,20	1,24
5. Солома + 10 кг N/т соломы + биопрепарат	0-10	1,09	1,16	1,12	1,15	1,10	1,14	1,10	1,15
	10-20	1,14	1,20	1,15	1,19	1,14	1,19	1,14	1,19
	20-30	1,26	1,30	1,27	1,30	1,26	1,27	1,26	1,29
	0-30	1,16	1,22	1,18	1,21	1,17	1,20	1,17	1,21
6. Биопрепарат (фактор С)	0-10	1,18	1,23	1,19	1,23	1,18	1,22	1,18	1,23
	10-20	1,26	1,30	1,24	1,28	1,23	1,24	1,24	1,27
	20-30	1,33	1,36	1,31	1,35	1,30	1,32	1,32	1,34
	0-30	1,26	1,30	1,25	1,29	1,24	1,26	1,25	1,28
7. N ₁₂₉ P ₃₄ K ₅₄ (фон)	0-10	1,21	1,26	1,23	1,27	1,20	1,23	1,21	1,25
	10-20	1,25	1,32	1,28	1,33	1,24	1,30	1,26	1,32
	20-30	1,30	1,39	1,33	1,37	1,29	1,34	1,31	1,37
	0-30	1,25	1,32	1,28	1,32	1,24	1,29	1,26	1,31
8. N ₁₂₉ P ₃₄ K ₅₄ + солома	0-10	1,17	1,21	1,18	1,21	1,15	1,18	1,17	1,20
	10-20	1,21	1,26	1,22	1,27	1,18	1,23	1,20	1,25
	20-30	1,29	1,33	1,28	1,30	1,27	1,29	1,28	1,31
	0-30	1,22	1,26	1,23	1,26	1,20	1,23	1,22	1,25
9. N ₁₂₉ P ₃₄ K ₅₄ + солома + N10 кг N/т соломы	0-10	1,12	1,19	1,14	1,18	1,13	1,16	1,13	1,18
	10-20	1,16	1,21	1,18	1,23	1,16	1,20	1,17	1,21
	20-30	1,28	1,30	1,25	1,28	1,25	1,27	1,26	1,28
	0-30	1,19	1,23	1,19	1,23	1,18	1,21	1,19	1,22
10. N ₁₂₉ P ₃₄ K ₅₄ + солома + биопрепарат	0-10	1,11	1,17	1,13	1,17	1,11	1,15	1,12	1,16
	10-20	1,16	1,19	1,17	1,20	1,15	1,19	1,16	1,19
	20-30	1,28	1,30	1,23	1,28	1,23	1,26	1,25	1,28
	0-30	1,18	1,22	1,18	1,22	1,16	1,20	1,18	1,21
11. N ₁₂₉ P ₃₄ K ₅₄ + солома + N10 кг N/т соломы + биопрепарат	0-10	1,09	1,15	1,11	1,15	1,08	1,13	1,09	1,14
	10-20	1,14	1,17	1,15	1,18	1,12	1,17	1,14	1,17
	20-30	1,26	1,28	1,19	1,24	1,22	1,24	1,22	1,25
	0-30	1,16	1,20	1,15	1,19	1,14	1,18	1,15	1,19
12. N ₁₂₉ P ₃₄ K ₅₄ + биопрепарат	0-10	1,17	1,22	1,20	1,23	1,19	1,22	1,19	1,22
	10-20	1,20	1,26	1,21	1,26	1,21	1,23	1,21	1,25
	20-30	1,24	1,34	1,26	1,31	1,26	1,29	1,25	1,31
	0-30	1,20	1,27	1,22	1,27	1,22	1,25	1,22	1,26
НСР ₀₅	Фактор А	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01	–	–
	Фактор В	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	–	–
	Фактор С	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	–	–
	Фактор АВ, АС	0,03	0,04	0,06	0,05	0,03	0,04	–	–
	Фактор ВС	0,04	0,05	0,07	0,06	0,04	0,05	–	–

Степень разложения льняного полотна под посевами проса в зависимости от применения соломы, биопрепарата и минеральных удобрений, %

Вариант	2014 г.	2015 г.	2016 г.	Средняя	
1. Без удобрений (контроль) (фактор А)	26,1	28,8	23,6	26,2	
2. Солома предшественника (фактор В)	28,7	30,4	25,8	28,3	
3. Солома + 10 кг N/т соломы	30,1	32,4	28,6	30,4	
4. Солома + биопрепарат	30,3	31,5	27,3	29,7	
5. Солома + 10 кг N/т соломы + биопрепарат	30,5	33,1	30,4	31,3	
6. Биопрепарат (фактор С)	30,3	29,2	26,1	28,5	
7. N ₁₂₉ P ₃₄ K ₅₄ (фон)	31,2	34,1	33,2	32,8	
8. N ₁₂₉ P ₃₄ K ₅₄ + Солома	31,6	38,4	36,8	35,6	
9. N ₁₂₉ P ₃₄ K ₅₄ + Солома + 10 кг N/т соломы	36,9	42,3	37,4	38,9	
10. N ₁₂₉ P ₃₄ K ₅₄ + Солома + биопрепарат	42,9	49,7	46,8	46,5	
11. N ₁₂₉ P ₃₉ K ₅₄ + Солома + 10 кг N/т соломы + биопрепарат	54,6	55,2	50,3	53,4	
12. N ₁₂₉ P ₃₉ K ₅₄ + биопрепарат	33,7	43,8	39,2	38,9	
НСР ₀₅	Фактор А	3,1	2,6	3,5	—
	Фактор В	5,3	4,5	4,3	—
	Фактор С	2,9	3,3	3,0	—
	Фактор АВ	4,9	4,2	5,3	—
	Фактор ВС	6,3	5,9	6,0	—
	Фактор АС	4,5	4,0	4,2	—
	Фактор АВС	5,7	5,3	6,1	—

Содержание доступных соединений азота в почве, мг/кг 2014-2016 г.

Варианты	Посев	Всходы	Кущение	Вымётывание	Цветение	Уборка	
1. Без удобрений (контроль) (фактор А)	13,6	16,5	14,8	11,5	8,9	6,5	
2. Солома предшественника (фактор В)	15,0	18,0	16,3	13,3	11,8	9,3	
3. Солома + 10 кг N/т соломы	17,5	21,6	18,6	14,5	12,3	10,6	
4. Солома + биопрепарат (Байкал ЭМ-1)	17,4	20,9	18,4	13,8	11,9	10,8	
5. Солома + 10 кг N/т соломы + биопрепарат	19,1	23,2	20,3	16,5	13,3	11,8	
6. Биопрепарат (фактор С)	16,5	19,5	17,4	14,4	11,5	9,4	
7. N ₁₂₉ P ₃₄ K ₅₄ (фон)	21,1	24,7	23,4	18,4	15,7	13,7	
8. N ₁₂₉ P ₃₄ K ₅₄ + солома	21,5	25,4	23,6	19,3	16,5	14,3	
9. N ₁₂₉ P ₃₄ K ₅₄ + солома + 10 кг N/т соломы	25,5	28,5	26,5	20,5	18,0	16,6	
10. N ₁₂₉ P ₃₄ K ₅₄ + солома + биопрепарат	25,3	27,8	26,0	21,3	19,1	17,5	
11. N ₁₂₉ P ₃₄ K ₅₄ + солома + 10 кг N/т соломы + биопрепарат	28,0	31,6	28,9	24,3	21,9	20,2	
12. N ₁₂₉ P ₃₄ K ₅₄ + биопрепарат	24,5	26,6	25,0	21	18,4	17,1	
Н СР 05	Фактор А	6,8	6,2	4,2	4,1	4,7	5,5
	Фактор В	2,1	2,0	2,0	1,6	1,5	1,5
	Фактор С	2,2	2,1	2,1	1,8	1,8	1,9
	Фактор АВ	4,9	4,4	3,5	3,0	3,9	4,2
	Фактор ВС	5,2	5,1	5,0	2,8	2,7	2,8
	Фактор АС	5,3	5,1	2	2,9	2,9	2,2
	Фактор АВС	5,9	5,2	3,0	3,1	3,5	4,1

Содержание доступных соединений подвижного фосфора в почве, мг/кг
2014-2016 г.

Варианты	Посев	Всходы	Кущение	Вымётывание	Цветение	Уборка	
1. Без удобрений (контроль) (фактор А)	154,8	155,7	155,2	148,9	143,1	142,4	
2. Солома предшественника (фактор В)	156,2	157,3	156,9	149,3	138,5	136,5	
3. Солома + 10 кг N/т соломы	159,8	161,0	159,9	155,2	152,3	153,4	
4. Солома + биопрепарат (Байкал ЭМ-1)	157,3	158,4	158,2	150,3	142,8	140,8	
5. Солома + 10 кг N/т соломы + биопрепарат	163,2	164,9	164,5	154,5	145,3	142,2	
6. Биопрепарат (фактор С)	163,8	163,9	163,8	157,6	152,9	150,8	
7. N ₁₂₉ P ₃₄ K ₅₄ (фон)	167,7	171,2	170,9	165,7	164,6	163,1	
8. N ₁₂₉ P ₃₄ K ₅₄ + солома	169,5	172,8	171,7	168,5	166,4	165,4	
9. N ₁₂₉ P ₃₄ K ₅₄ + солома + 10 кг N/т соломы	177,2	182,5	180,2	172,2	168,5	166,4	
10. N ₁₂₉ P ₃₄ K ₅₄ + солома + биопрепарат	179,9	182,8	182,9	162,6	156,5	154,7	
11. N ₁₂₉ P ₃₄ K ₅₄ + солома + 10 кг N/т соломы + биопрепарат	184,6	189,3	188,0	179,5	172,5	168,8	
12. N ₁₂₉ P ₃₄ K ₅₄ + биопрепарат	164,9	168,5	167,8	152,5	145,4	142,5	
Н СР 05	Фактор А	6,0	6,7	6,3	7,3	7,6	7,8
	Фактор В	1,2	1,7	1,5	1,2	1,6	1,6
	Фактор С	1,4	1,8	1,7	1,4	1,7	1,6
	Фактор АВ	5,2	5,9	5,5	6,3	6,6	6,7
	Фактор ВС	3,6	4,0	1,5	1,9	2,5	2,4
	Фактор АС	4,1	4,3	1,9	2,2	2,7	2,5
	Факто АВС	4,5	5,2	4,9	5,9	6,1	6,4

Содержание доступных соединений обменного калия в почве, мг/кг
2014-2016 г.

Варианты	Посев	Всходы	Кущение	Вымётывание	Цветение	Уборка	
1. Без удобрений (контроль) (фактор А)	124,8	125,5	125,3	115,3	95,5	94,8	
2. Солома предшественника (фактор В)	127,	128,3	128,1	116,3	111,8	99,9	
3. Солома + 10 кг N/т соломы	130,9	131,7	131,6	120,5	107,8	105,3	
4. Солома + биопрепарат (Байкал ЭМ-1)	129,8	130,5	130,4	119,4	110,8	107,8	
5. Солома + 10 кг N/т соломы + биопрепарат	140,8	142,9	142,7	124,32	103,21	100,66	
6. Биопрепарат (фактор С)	134,7	135,3	132,2	115,73	99,34	96,73	
7. N ₁₂₉ P ₃₄ K ₅₄ (фон)	147,3	148,8	147,7	128,58	111,3	106,5	
8. N ₁₂₉ P ₃₄ K ₅₄ + солома	151,5	152,4	151,8	133,4	115,7	109,13	
9. N ₁₂₉ P ₃₄ K ₅₄ + солома + 10 кгN/ т соломы	155,8	156,2	155,9	135,6	107,4	100,2	
10. N ₁₂₉ P ₃₄ K ₅₄ + солома + биопрепарат	164,9	165,2	164,3	145,4	105,7	100,2	
11. N ₁₂₉ P ₃₄ K ₅₄ + солома + 10 кг N/ т соломы + биопрепарат	178,9	179,2	177,4	148,2	111,3	100,5	
12. N ₁₂₉ P ₃₄ K ₅₄ +биопрепарат	149,5	150,6	149,5	133,8	117,8	115,5	
Н СР 05	Фактор А	1,4	1,3	1,3	1,5	1,2	1,3
	Фактор В	3,4	3,3	3,2	1,5	1,5	1,4
	Фактор С	3,6	3,6	3,4	1,8	4,3	4,7
	Фактор АВ	2,4	2,5	2,5	2,8	3,0	2,4
	Фактор ВС	2,6	3,2	3,5	2,6	2,4	2,4
	Фактор АС	2,8	3,0	3,8	2,9	3,3	3,7
	Фактор АВС	3,2	3,5	4,0	3,4	5,2	5,2

Площадь листьев по фазам развития проса, тыс. м²/га

Вариант	Годы	Кущение	Труб-ние	Вым-ние	Цветение	Мол. с-ть
1. Без удобрений (контроль) (фактор А)	2014	5,6	20,5	49,2	34,1	23,1
	2015	7,6	23,7	57,4	43,1	32,5
	2016	4,1	16,5	38,1	25,7	17,4
	Среднее	5,8	20,2	48,2	34,3	24,3
2. Солома предшественика (фактор В)	2014	5,8	20,8	49,4	34,3	23,3
	2015	7,5	23,5	57,3	42,9	32,4
	2016	4,3	16,8	38,2	25,9	17,6
	Среднее	5,9	20,4	48,3	34,4	24,4
3. Солома + 10 кг N/т соломы	2014	5,9	20,9	49,5	34,5	23,4
	2015	8,1	23,9	57,8	43,2	32,8
	2016	4,6	17,0	38,5	26,0	17,7
	Среднее	6,2	20,6	48,6	34,6	24,6
4. Солома + биопрепарат	2014	6,1	21,2	49,7	34,6	23,5
	2015	7,8	23,7	57,5	43,0	32,7
	2016	4,8	17,3	38,6	26,2	17,7
	Среднее	6,2	20,7	48,6	34,6	24,6
5. Солома + 10 кг N/т соломы + биопрепарат	2014	6,2	21,4	50,0	34,9	23,8
	2015	8,4	24,1	58,2	43,5	33,1
	2016	5,1	17,5	38,9	26,6	18,0
	Среднее	6,6	21,0	49,0	35,0	25,0
6. Биопрепарат (фактор С)	2014	6,0	20,8	49,4	34,3	23,2
	2015	7,7	23,6	57,3	42,8	32,3
	2016	4,5	16,8	38,3	25,8	17,5
	Среднее	6,1	20,4	48,3	34,3	24,3
7. N ₁₂₉ P ₃₄ K ₅₄ (фон)	2014	6,7	22,2	50,9	35,7	24,5
	2015	8,6	24,5	59,1	43,7	33,8
	2016	5,2	18,0	39,5	26,4	18,4
	Среднее	6,8	21,6	49,8	35,3	25,6
8. N ₁₂₉ P ₃₄ K ₅₄ + солома	2014	7,0	22,5	51,2	36,1	24,7
	2015	8,8	24,7	59,4	43,9	34,1
	2016	5,4	18,2	39,8	26,8	18,6
	Среднее	7,1	21,8	50,1	35,6	25,8
9. N ₁₂₉ P ₃₄ K ₅₄ + солома + N10 кгN/т соломы	2014	7,2	22,6	51,3	36,2	24,8
	2015	9,0	24,8	59,9	44,0	34,3
	2016	5,6	18,3	40,0	26,9	18,7
	Среднее	7,3	21,9	50,4	35,7	25,9
10. N ₁₂₉ P ₃₄ K ₅₄ + солома + биопрепарат	2014	7,5	22,8	51,4	36,3	25,0
	2015	8,7	24,6	59,6	43,9	34,4
	2016	5,7	18,4	40,1	30,1	18,7
	Среднее	7,3	21,9	50,4	36,8	26,0
11. N ₁₂₉ P ₃₄ K ₅₄ + солома + N10 кг N/т соломы + биопрепарат	2014	7,9	23,2	51,9	36,5	25,3
	2015	9,3	24,9	60,8	44,3	34,8
	2016	6,0	18,9	40,8	30,7	19,0
	Среднее	7,7	22,3	51,2	37,2	26,4

12. N ₁₂₉ P ₃₄ K ₅₄ +биопрепарат	2014	6,9	22,4	51,1	36,0	24,6	
	2015	9,1	24,7	59,4	43,8	34,2	
	2016	5,5	18,2	39,6	26,5	18,5	
	Среднее	7,2	21,8	50,0	35,4	25,8	
НСП ₀₅	2014	Фактор А	0,6	0,8	0,9	0,8	0,6
		Фактор В	0,23	0,15	0,14	0,09	0,10
		Фактор С	0,6	0,9	1,0	0,9	0,7
	2015	Фактор А	0,3	0,22	0,5	0,22	0,7
		Фактор В	0,06	0,01	0,3	0,04	0,07
		Фактор С	0,4	0,3	1,9	0,3	1,3
	2016	Фактор А	0,3	0,5	0,8	0,4	0,3
		Фактор В	0,05	0,09	0,21	0,41	0,04
		Фактор С	0,3	0,6	0,9	0,5	0,4

Накопление сухого вещества посева проса, т/га

Вариант	Годы	Кушение	Труб-ние	Вым-ние	Цветение	Мол. с-ть
1. Без удобрений (контроль) (фактор А)	2014	0,45	2,16	3,47	6,12	4,53
	2015	0,77	2,46	3,96	6,94	5,34
	2016	0,23	1,77	3,01	5,35	3,89
	Среднее	0,48	2,13	3,48	6,14	4,59
2. Солома предшествен ника (фактор В)	2014	0,49	2,21	3,56	6,37	4,73
	2015	0,74	2,29	3,87	6,85	5,22
	2016	0,25	2,02	3,34	5,52	4,02
	Среднее	0,49	2,17	3,59	6,25	4,66
3. Солома + 10 кг N/т соломы	2014	0,54	2,46	3,74	6,63	5,01
	2015	0,82	2,64	4,37	7,23	5,63
	2016	0,28	2,32	3,69	5,86	4,29
	Среднее	0,55	2,47	3,93	6,57	4,98
4. Солома + биопрепарат	2014	0,58	2,95	4,12	6,79	5,58
	2015	0,80	2,51	4,14	7,05	5,46
	2016	0,29	2,38	3,75	5,94	4,37
	Среднее	0,56	2,61	4,00	6,59	5,14
5. Солома + 10 кг N/т соломы + биопрепарат	2014	0,60	3,21	4,46	6,94	5,93
	2015	0,89	3,04	4,72	7,25	6,03
	2016	0,34	2,47	3,91	6,01	4,49
	Среднее	0,61	2,91	4,36	6,73	5,48
6. Биопре- парат (фактор С)	2014	0,56	2,71	3,89	6,69	5,14
	2015	0,78	2,42	3,93	6,99	5,41
	2016	0,26	2,15	3,52	5,73	4,14
	Среднее	0,53	2,43	3,78	6,47	4,90
7. N ₁₂₉ P ₃₄ K ₅₄ (фон)	2014	0,73	3,45	4,68	7,14	6,12
	2015	1,02	3,85	5,36	7,94	6,57
	2016	0,38	2,58	4,13	6,23	4,64
	Среднее	0,71	3,29	4,72	7,10	5,78
8. N ₁₂₉ P ₃₄ K ₅₄ + солома	2014	0,76	3,84	4,93	7,33	6,42
	2015	1,27	4,16	5,74	8,35	7,03
	2016	0,43	2,84	4,49	6,48	5,02
	Среднее	0,82	3,61	5,03	7,39	6,16
9. N ₁₂₉ P ₃₄ K ₅₄ + солома + 10 кгN/ т соломы	2014	0,79	4,27	5,48	7,69	6,93
	2015	1,53	4,57	6,15	8,77	7,42
	2016	0,46	3,03	4,67	6,72	5,26
	Среднее	0,92	3,96	5,43	7,73	6,54
10. N ₁₂₉ P ₃₄ K ₅₄ + солома + биопрепарат	2014	0,80	4,31	5,52	7,75	6,98
	2015	1,42	4,43	6,04	8,63	7,29
	2016	0,45	2,95	4,53	6,59	5,18
	Среднее	0,89	3,90	5,36	7,66	6,48
11. N ₁₂₉ P ₃₄ K ₅₄ + солома + 10 кг N/т соломы + биопрепарат	2014	0,85	4,46	5,73	8,04	7,27
	2015	1,83	4,82	6,57	8,95	8,38
	2016	0,49	3,42	4,95	6,82	5,54
	Среднее	1,06	4,23	5,75	7,94	7,06

12. N ₁₂₉ P ₃₄ K ₅₄ +биопрепарат	2014	0,74	3,57	4,74	7,27	6,25	
	2015	1,68	4,67	6,34	8,81	7,62	
	2016	0,44	2,89	4,51	6,51	5,09	
	Среднее	0,95	3,71	5,20	7,53	6,32	
НСР ₀₅	2014	Фактор А	0,7	1,2	1,7	2,5	0,9
		Фактор В	0,6	0,6	0,9	1,7	0,6
		Фактор С	0,5	0,8	0,7	1,5	0,7
	2015	Фактор А	0,5	1,6	1,9	2,9	1,8
		Фактор В	0,4	0,9	1,1	1,8	1,1
		Фактор С	0,5	0,8	1,0	1,6	1,2
	2016	Фактор А	0,3	1,4	1,6	2,3	1,5
		Фактор В	0,1	0,8	0,8	1,9	0,8
		Фактор С	0,2	0,6	0,9	1,4	0,9

Чистая продуктивность фотосинтеза, г/ м² × сутки

Вариант	Годы	Кущение – Трубкавание	Трубкавание – вым-ние	Вымётывание – цветение	Цветение – мол. спелость
1. Без удобрений (контроль) (фактор А)	2014	6,1	8,2	11,3	3,7
	2015	8,8	10,5	13,7	4,5
	2016	5,0	6,9	10,4	2,8
	Среднее	6,6	8,5	11,8	3,7
2. Солома предшествен ника (фактор В)	2014	6,4	8,4	11,7	3,9
	2015	8,6	10,4	13,5	4,6
	2016	5,3	7,0	10,7	3,0
	Среднее	6,8	8,8	12,0	3,8
3. Солома + 10 кг N/Т соломы	2014	6,5	8,5	11,9	4,1
	2015	9,1	10,9	13,9	5,0
	2016	5,4	7,2	10,9	3,2
	Среднее	7,0	8,9	12,2	4,1
4. Солома + биопрепарат	2014	6,7	8,7	12,2	4,2
	2015	9,0	10,8	13,8	4,9
	2016	5,5	7,3	11,0	3,3
	Среднее	7,1	8,9	12,3	4,1
5. Солома + 10 кг N/Т соломы + биопрепарат	2014	7,2	9,1	12,9	4,7
	2015	9,4	11,6	14,4	5,7
	2016	5,9	7,8	11,6	3,9
	Среднее	7,5	9,5	13,0	4,8
6. Биопре- парат (фактор С)	2014	6,6	8,6	12,0	4,0
	2015	8,7	10,6	13,6	4,8
	2016	5,3	7,1	10,8	3,1
	Среднее	6,9	8,8	12,1	4,0
7. N ₁₂₉ P ₃₄ K ₅₄ (фон)	2014	8,6	13,7	16,6	4,9
	2015	11,1	15,9	19,4	6,5
	2016	6,8	11,2	14,3	3,7
	Среднее	8,8	13,6	16,8	5,0
8. N ₁₂₉ P ₃₄ K ₅₄ + солома	2014	8,9	14,0	16,9	5,3
	2015	11,6	16,5	20,1	6,8
	2016	7,1	11,6	14,8	4,0
	Среднее	9,2	14,0	17,3	5,4
9. N ₁₂₉ P ₃₄ K ₅₄ + солома + N10 кгN/ Т соломы	2014	9,0	14,3	17,3	5,6
	2015	11,8	17,1	20,7	7,0
	2016	7,6	12,0	15,4	4,5
	Среднее	9,5	14,5	17,8	5,7
10. N ₁₂₉ P ₃₄ K ₅₄ + солома + биопрепарат	2014	9,2	14,6	17,5	5,9
	2015	11,7	16,9	20,5	6,9
	2016	7,3	11,9	15,1	4,2
	Среднее	9,4	14,5	17,7	5,7
11. N ₁₂₉ P ₃₄ K ₅₄ + солома + N 10 кг N/Т соломы + биопрепарат	2014	9,5	15,1	18,6	6,4
	2015	12,3	17,8	21,4	7,2
	2016	8,1	12,7	16,2	4,9
	Среднее	10,0	15,2	18,7	6,2

12. N ₁₂₉ P ₃₄ K ₅₄ +биопрепарат	2014	8,8	13,8	16,7	5,2	
	2015	11,9	17,3	20,9	7,5	
	2016	6,9	11,4	14,5	3,8	
	Среднее	9,2	14,2	17,4	5,5	
НСР ₀₅	2014	Фактор А	0,8	1,0	1,1	0,9
		Фактор В	0,4	0,7	0,8	0,7
		Фактор С	0,8	0,8	1,0	0,9
	2015	Фактор А	0,5	1,6	0,8	1,2
		Фактор В	0,3	0,9	0,5	0,9
		Фактор С	0,5	1,1	1,1	0,9
	2016	Фактор А	0,5	0,9	1,0	0,8
		Фактор В	0,4	0,5	0,8	0,7
		Фактор С	0,5	0,6	1,0	0,8