

На правах рукописи

Погодина Анна Владимировна

**АГРОХИМИКАТЫ В ТЕХНОЛОГИИ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ ПОЛБЫ
(*TRITICUM DICOCUM*) В ПОЧВЕННО-КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ
ЛЕСОСТЕПНОЙ ЗОНЫ СРЕДНЕГО ПОВОЛЖЬЯ**

4.1.3. Агрохимия, агропочвоведение,
защита и карантин растений

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата сельскохозяйственных наук

Казань – 2026

Диссертационная работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Казанский государственный аграрный университет» в 2020–2023 гг.

Научный руководитель - Лукманов Анас Ахтямович,
доктор сельскохозяйственных наук, директор Татарского филиала федерального государственного бюджетного учреждения «Агрохимическая служба России»

Официальные оппоненты: Каргин Василий Иванович,
доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий кафедрой пищевых технологий федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет имени Н. П. Огарева».

Никитин Сергей Николаевич,
доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник отдела земледелия и технологий возделывания сельскохозяйственных культур Ульяновского научно-исследовательского института сельского хозяйства имени Н.С. Немцева – филиала Федерального государственного бюджетного учреждения науки Самарского федерального исследовательского центра Российской академии наук.

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Ульяновский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина", г. Ульяновск.

Защита диссертации состоится «30» июня 2026 года в 09⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета 35.2.017.01 при ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет» по адресу: 420015, г. Казань, ул. К. Маркса, д. 65, зал заседаний, тел. 8(843)598-40-50, e-mail: info@kazgau.com.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет», адрес: 420064, г. Казань, ул. Р. Гарева, д. 62 и на сайте университета www.kazgau.ru.

Автореферат разослан «___» _____ 2026 г.

Приглашаем Вас принять участие в обсуждении диссертации на заседании диссертационного совета. Отзывы на автореферат в 2-х экземплярах, заверенные печатью организации, просим направлять по адресу: 420064, г. Казань, ул. Ферма-2, д. 53 Институт агробиотехнологий и землепользования Казанского ГАУ, ученому секретарю диссертационного совета Амирову М.Ф., e-mail: dissovet_kazgau@mail.ru

Ученый секретарь
диссертационного совета,
доктор сельскохозяйственных наук, профессор

Амиров Марат Фуатович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Полба или двузернянка, или полуполба (*Triticum dicocum* (Schrank) Schuedl, $2n = 4x = 28$) – одна из самых древнейших зерновых культур в мире, которая долгое время представляла собой основной продукт питания человека (Фляксбергер К.А., 1928; Вавилов Н.И., 1966; Arzani A. et al., 2017). Зерна этой культуры были найдены в пирамидах Египта, а в Библии она упоминается в качестве «манны небесной» (Piergiovanni A.R. et al., 1996).

По некоторым источникам в конце XIX века в Татарстане полба занимала «львиную долю» площади яровых зерновых культур (Туганаев А.В. и др., 2008; Сержанов И.М., 2017). Однако в XX в. она была вытеснена высокоурожайными селекционными сортами яровой пшеницы. Тем не менее, возврат полбы на наши поля и её популярность объясняются следующими причинами (Баженова И.А., 2004; Богатырева Т.Г., 2013; Гунькова П.И., 2024):

- высокое содержание белка, насыщенного незаменимыми аминокислотами;
- в её составе содержится 2,5–3,0 % монополиненасыщенных жирных кислот и отсутствует глютен, который противопоказан аллергикам;
- вымывает из организма человека холестерин, укрепляет иммунитет, нормализует работу пищеварительной и нервной системы;
- обеспечивает потребности человека в таких минеральных веществах как кальций, магний, железо, цинк, натрий, фосфор, калий, медь, селен, марганец и витаминах из группы В, Е и РР;
- полба исключает ожирение (болезнь XXI в.) и повышает содержание тестостерона в организме мужчин.

Для производителей растениеводческой продукции полба также представляет огромный интерес: она засухоустойчива, плодовая оболочка надежно защищает зерно от многих болезней, культура выгодна с экономической точки зрения, так как спрос значительно превышает предложение. Единственным недостатком полбы является низкая урожайность (1,5–1,8 т/га), поскольку среди специалистов бытует устойчивое мнение, что полба не требовательна к почвенному плодородию и нет необходимости применять в технологии её возделывания дорогостоящие минеральные удобрения и другие агрохимикаты (Laghetti G. et al., 1998; Крюкова Е.В., 2014; Дятлова М.В. с соавт., 2023; Попова Н.М., Чураков А.А., 2024). В связи с этим, разработка и внедрение оптимальной системы удобрения важнейшей для здоровья человека культуры – полбы, является актуальной проблемой современного агропромышленного комплекса Российской Федерации.

Степень разработанности изучаемой темы. Разработкой технологии возделывания этой культуры (сроки посева и нормы высева, предшественники, система обработки почвы и отдельные вопросы питания растений) занимались Г.А. Воробейников, С.В. Кондрат (2007), С.В. Зверев (2016), Л.В. Тарасова, Н.А. Рендов и др. (2019), Б.В. Семенова, В.А. Чулков (2022). В лесостепной зоне Среднего Поволжья известны научные труды Ф.Ш. Шайхутдинова (2004, 2017), И.М. Сержанова и др. (2017), М.Ф. Амирова и др. (2024), Семенов П.Г. (2024). Из зарубежных учёных следует отметить J. Lachman et al. (2012), E. Cazzato et al. (2013), P. Kraska et al. (2019).

Несмотря на наличие обширных источников по технологии возделывания изучаемой культуры такие аспекты как применение расчётных норм минеральных удобрений на планируемые урожайности 2,5 и 3,0 т/га высококачественного зерна полбы и их взаимодействие с современными биопрепаратами и аминокислотными биостимуляторами,

применяемыми в предпосевной обработке семян, нуждаются в дополнительном изучении.

Цель и задачи исследований. Целью исследовательской работы стала разработка и внедрение научно обоснованной системы минерального питания полбы (двузернянки) в сочетании с применением азотфиксирующих инокулянтов Азотовит, Ризоагрин и аминокислотного биостимулятора Биостим Старт.

Программа исследований предусматривала решение следующих задач:

- оценить эффективность действия и взаимодействия расчётных норм минеральных удобрений и вышеотмеченных препаратов на урожайность и качество зерна полбы сорта *Руно*;
- установить вынос, коэффициенты использования и баланс основных питательных элементов при взаимодействии минеральных удобрений и изучаемых препаратов;
- оценить роль метеорологических условий в формировании урожайности зерна полбы сорта *Руно* и ее стабильности;
- выявить влияние минеральных удобрений и изучаемых препаратов на некоторые агрохимические и агрофизические показатели серой лесной тяжелосуглинистой почвы;
- определить энерго- и экономическую эффективность применения расчётных норм минеральных удобрений и препаратов в технологии возделывания полбы;
- провести производственную проверку и внедрить результаты исследований в сельскохозяйственное производство.

Научная новизна. Впервые в почвенно-климатических условиях лесостепной зоны Среднего Поволжья разработана и внедрена система комплексного применения расчётных норм минеральных удобрений, биопрепаратов и аминокислотного биостимулятора, обеспечивающая получение 2,85 т/га высококачественного зерна полбы (двузернянки) с содержанием белка 16,5%, рентабельностью производства 42% и энергетическим коэффициентом 4,2. Определено долевое участие погодно-климатических условий и изучаемых факторов в варьировании урожайности и отдельных показателей качества зерна полбы.

Теоретическая и практическая значимость работы состоит в научном обосновании комплексного применения расчётных норм минеральных удобрений в сочетании с использованием биопрепаратов и биостимулятора в предпосевной обработке семян, обеспечивающее не только формирование агроценозов со стабильной продуктивностью не менее 2,85 т/га, но и надёжной гарантией снижения себестоимости и повышения рентабельности производства высококачественного зерна полбы (двузернянки).

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Минеральные удобрения оказывают более существенное влияние на величину и качество урожая полбы по сравнению с изучаемыми препаратами, при этом отмечается аддитивный эффект от их совместного действия.

2. Увеличение урожайности зерна полбы при совместном использовании минеральных удобрений, биопрепаратов и аминокислотного биостимулятора происходит за счёт улучшения основных морфометрических показателей растений – формирования мощной корневой системы, увеличения ассимиляционного аппарата растений, густоты продуктивного стеблестоя к моменту уборки, числа зёрен в колосе и массы 1 000 зёрен.

3. Определяющая роль в изменчивости и повышении урожайности полбы принадлежит минеральным удобрениям (89 %), на долю погоды и биопрепаратов приходится суммарно 10 %, что свидетельствует о её пластичности и способности адаптироваться к местным условиям.

4. Нормы минеральных удобрений, рассчитанные на урожайность зерна 2,5 и 3,0 т/га, и предпосевная обработка семян полбы изучаемыми препаратами имеют положительный экономический и биоэнергетический эффект.

Достоверность результатов исследований подтверждена большим объёмом экспериментальных данных, полученных в ходе проведения методически выдержанных лабораторных, полевых и производственных опытов и внедрением результатов исследований в технологию возделывания полбы (двузернянки) в широких масштабах. Существенность разницы между вариантами определена методом дисперсионного анализа по Р. Фишеру (Доспехов Б.А., 1985) с использованием программного обеспечения Microsoft Office Excel 2007. Корреляционно-регрессионный анализ был выполнен с использованием программы Statistika 6.0

Апробация и публикация результатов исследований. Результаты диссертационной работы были апробированы и получили положительную оценку на международных научно-практических конференциях, посвящённых 105-летию института «Агробиотехнологий и землепользования» Казанского государственного аграрного университета (Казань, 2024) и VI Международной научно-практической конференции «Fundamental science innovation and technology» (Уфа, 2024), на международной агропромышленной выставке «АгроВолга, 2023», научно-практических конференциях, посвящённых памяти профессора кафедры землеустройства и кадастров Казанского ГАУ А.Ш. Шакирова (Казань, 2024; 2025).

Материалы диссертации опубликованы в 6-ти научных статьях, в том числе 3 работы в журналах, рекомендованных ВАК Российской Федерации, и отражены в 2-х учебных пособиях.

Производственная проверка и внедрение результатов исследований были проведены в 2023–2024 гг. на серых лесных почвах отделения «Сатышево» ООО «Саба» Сабинского муниципального района Республики Татарстан, и в среднем за 2 года прибавка от удобрений составила 1,22 т/га, а от Биостим Старт – 0,52 т/га зерна полбы (3,03 т/га зерна в варианте Доспех 3–0,5 л/т + Биостим Старт – 1 л/т на расчётном фоне NPK-удобрений 3,0 т/га). Результаты исследований внедрены на полях землепользования ООО «Саба» (120 га) Сабинского, АО «Кукмор агрохимсервис» (55 га) Кукморского и ООО «Венета» (40 га) Арского муниципальных районов Республики Татарстан со средним экономическим эффектом 4 364,1 руб./га.

Личный вклад соискателя заключается в выборе актуального направления исследований на основе изучения большого объёма литературных источников, включая зарубежных исследователей, разработка рабочей программы и плана реализации намеченных задач, проведение лабораторного, полевого и производственного опыта, математической обработки результатов исследований и самостоятельного их изложения в настоящей диссертации в логической последовательности. Доля личного вклада соискателя в объёме общей работы составляет 85%, опубликованных научных трудах – 75% и учебных пособиях – 25%.

Объём и содержание диссертации. Диссертация изложена на 177 страницах компьютерного текста. Она состоит из 10 глав и 2-х предложений, рекомендованных к внедрению в сельскохозяйственное производство Среднего Поволжья. Содержит 36 таблиц, 17 рисунков и 14 приложений. Список литературы включает 269 наименования российских учёных и 40 – исследователей стран дальнего и ближнего зарубежья.

Благодарности. Автор выражает искреннюю благодарность научному руководителю, доктору сельскохозяйственных наук А. А. Лукманову, коллегам Татарского филиала ФГБУ «РосАгрохимслужба» и профессорско-преподавательскому составу кафедры землеустройства и кадастров за помощь в выполнении исследований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Введение. Представлена актуальность исследования, сформулированы цель и задачи, теоретическая и практическая значимость, обоснована научная новизна полученных результатов, представлены основные положения, выносимые на защиту, отражены результаты апробации работы.

1 Обзор литературы. В этой главе изложены биологические и агрономические особенности возделывания полбы (*Triticum dicoccum*), ее происхождение, распространение и значение, приведена нутрилогическая ценность ее зерна, эффективность применения минеральных удобрений на посевах полбы, использование биопрепаратов при возделывании зерновых культур.

2 Объекты, условия и методика проведения исследований. Все полевые исследования были проведены согласно методике Б.А. Доспехова (1985) на серых лесных почвах тяжёлосуглинистого гранулометрического состава Сабинского муниципального района Республики Татарстан на территории хозяйства ООО «Саба». Размер опытных делянок 108 м² (3,6 м × 30 м) с систематическим расположением в трехкратной повторности.

В пахотном слое почвы перед закладкой опыта содержалось гумуса 3,4±0,3% по Тюрину, подвижных форм фосфора 127±4,0 и калия 138±9 мг/кг почвы по Кирсанову, рН солевой вытяжки была близка к нейтральной – 6,2±0,1; степень насыщенности основаниями – 86,9±3,5%.

Объект наших исследований – полба, или пшеница-двузернянка (*Triticum dicoccum* (Schrank) Schuedl [= *Triticum turgidum* L. subsp. *dicoccum* (Schrank ex Schubl.) Thell]) сорта *Руно*. Схема двухфакторного полевого опыта (3 × 4):

1. *Уровень удобрённости почвы* (фактор А): 1.1. Без удобрений (контроль); 1.2. N₅₉P₃₀K₄₈ с расчетом получения 2,5 т/га; 1.3. N₇₁P₃₆K₅₈ с расчетом получения 3,0 т/га.

2. *Предпосевная обработка семян* (фактор В): 2.1. Без обработки препаратами (контроль); 2.2. Азотовит – 1 л/т; 2.3. Ризоагрин – 1 л/т; 2.4. Биостим Старт – 1 л/т.

Для предпосевной обработки семян использовали тройной фунгицидный протравитель Доспех 3, КС в дозе 0,5 л/т семян за 10–15 дней до посева. Обработку Азотовитом (бактерии рода *Beijerinckia fluminensis*) и Ризоагрином (*Agrobacterium radiobacter*) проводили в день посева в темном помещении, обработку Биостим Старт – за 10 дней до посева совместно с химическим фунгицидом Доспех 3.

Отбор и анализ почвенных образцов проводился в соответствии с ГОСТами и Методическими указаниями в аккредитованной лаборатории Татарского филиала ФГБУ «РосАгрохимслужба».

Во все годы исследований предшественником полбы была озимая рожь *Тантана* на зерно по чистому пару. После уборки предшественника проводили двукратное дискование БД-4 на глубину 10–12 см. Весенняя обработка почвы заключалась в закрытии влаги в 2 следа. Минеральные удобрения (аммиачная селитра, двойной суперфосфат, калийная соль) вносили поделяночно перед предпосевной культивацией почвы с выравниванием на глубину 4–6 см широкозахватным культиватором КПШ-8. Посев производился рядовым способом сеялкой СЗ-3,6 нормой высева 4,5 млн всх. семян/га. Семена заделывали на глубину 4–6 см. После посева проводили послепосевное прикатывание (КЗК-9).

Агрометеорологические условия в годы исследований были типичными для лесостепной зоны Среднего Поволжья – от крайне засушливого и жаркого 2021 г (ГТК 0,59) до нормально увлажненного относительно прохладного 2022 г. (ГТК 1,1).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

3 Влияние минеральных удобрений и препаратов на урожайность полбы. Исследованиями выявлено, что сбор зерна с единицы площади зависит как от применяемых средств химизации, а также от метеорологических условий года возделывания (таблица 1). Так, сбор зерна полбы в 2020 г. составил в среднем по опыту 2,28 т/га, в 2021 г. – 1,98, в 2022 г. – 2,39 и в 2023 г. – 2,22 т/га.

Таблица 1. Влияние уровня минерального питания и биопрепаратов на урожайность полбы сорта *Руно*, т/га

Препараты в предпосевной обработке семян (фактор В)	Удобрение (фактор А)				Среднее по фактору В	Прибавка урожайности от, т/га		Окупаемость 1 кг д. в. NPK зерном, кг
	2020 г.	2021 г.	2022 г.	2023 г.		удобрений	препаратов	
Без удобрений (контроль)								
Без обработки (контроль)	1,44	1,32	1,67	1,36	1,45	–	–	–
Азотовит	1,47	1,34	1,66	1,53	1,50	–	0,05	–
Ризоагрин	1,61	1,42	1,78	1,58	1,60	–	0,15	–
Биостим Старт	1,61	1,48	1,80	1,67	1,64	–	0,19	–
Среднее по фактору А	1,53	1,39	1,73	1,54	1,55			
N₅₉P₃₀K₄₈ (на урожай 2,5 т/га зерна)								
Без обработки (контроль)	2,34	1,98	2,40	2,28	2,25	0,80	–	5,84
Азотовит	2,50	2,08	2,48	2,34	2,35	0,85	0,10	6,57
Ризоагрин	2,51	2,11	2,52	2,38	2,38	0,78	0,13	6,79
Биостим Старт	2,54	2,23	2,65	2,46	2,47	0,83	0,22	7,44
Среднее по фактору А	2,47	2,10	2,51	2,36	2,36			
N₇₁P₃₆K₅₈ (на урожай 3,0 т/га зерна)								
Без обработки (контроль)	2,75	2,32	2,82	2,67	2,64	1,19	–	7,21
Азотовит	2,87	2,41	2,89	2,75	2,73	1,23	0,09	7,76
Ризоагрин	2,88	2,48	2,97	2,79	2,78	1,18	0,14	8,06
Биостим Старт	2,89	2,60	3,09	2,82	2,85	1,21	0,21	8,48
Среднее по фактору А	2,85	2,45	2,88	2,76	2,74			
Среднее по опыту	2,28	1,98	2,39	2,22	2,22			
<i>HCP</i> ₀₅ част. различий	0,11	0,06	0,09	0,08				
<i>HCP</i> ₀₅ А	0,05	0,06	0,05	0,05				
<i>HCP</i> ₀₅ В	0,06	0,07	0,05	0,04				

Внесение удобрений во все годы проведения опыта увеличивали зерновую продуктивность полбы. При этом в среднем за четыре года исследований прибавка урожайности зерна от внесения N₅₉P₃₀K₄₈ (на урожай 2,5 т/га зерна) составила 0,81 т/га, или 52 % к неудобренному фону, с оплатой зерном 1 кг д. в. удобрений 5,9 кг. Применение под полбу N₇₁P₃₆K₅₈ (на урожай 3,0 т/га зерна) увеличивало сбор зерна на 1,19 т/га, или на 77 % к фону с естественным плодородием почвы, с оплатой удобрений зерном в 7,2 кг.

Предпосевная обработка семян препаратами также способствовала увеличению сборов зерна полбы. При этом лучший результат наблюдался при использовании аминокислотного биостимулятора Биостим Старт. В среднем за четыре года исследований прибавка от его применения независимо от уровня удобренности почвы составила 0,21 т/га. Обработка семян препаратом Ризоагрин увеличивала урожайность зерна на 0,14 т/га, препаратом Азотовит – на 0,08 т/га.

Окупаемость минеральных удобрений была достаточно высокой от 5,84 до 7,44 кг зерна на 1 кг д.в. NPK в фоне минерального питания $N_{59}P_{30}K_{48}$ (2,5 т/га) и от 7,21 до 8,48 кг зерна в варианте внесения $N_{71}P_{36}K_{58}$ (3,0 т/га).

Расчёты показывают, что при внесении минеральных удобрений и использования препаратов наблюдается аддитивный эффект. Это позволяет вычленить долевое участие естественного плодородия почвы, минеральных удобрений и препаратов в формировании прибавки урожая. Так, на самом действенном варианте ($N_{71}P_{36}K_{58}$ + Биостим Старт) на долю естественного плодородия почвы приходилось 51 %, на минеральные удобрения – 42 %, на препарат – 7 %. Аналогичная картина наблюдалась на варианте $N_{71}P_{36}K_{58}$ + Ризоагрин: на долю естественного плодородия приходилось 52 %, на удобрения – 43 %, на препарат – 5 %. На неудобренном фоне урожайность зерна полбы на 87–97 % формировалась за счёт плодородия почвы, на 3–13 % – в результате использования препаратов.

Применение минеральных удобрений и препаратов увеличивает не только урожайность зерна полбы, но и выход побочной продукции. Так, внесение $N_{59}P_{30}K_{48}$ увеличивало сбор соломы в среднем за четыре года независимо от использования препаратов на 1,16 т/га, или на 60 %, а применение $N_{71}P_{36}K_{58}$ – на 1,90 т/га, или на 99 %. Предпосевная обработка семян полбы препаратами также увеличивала выход соломы, но в меньшей мере, чем минеральные удобрения: Азотовит – на 0,18 т/га, Ризоагрин – на 0,33, Биостим Старт – на 0,55 т/га.

Применение агрохимикатов повышало соотношение «зерно : солома». Если без применения удобрений и препарата оно составляло 1 : 1,20, то при внесении $N_{59}P_{30}K_{48}$ – в среднем 1 : 1,30, а при использовании $N_{71}P_{36}K_{58}$ – 1 : 1,39. Самое широкое соотношение (1 : 1,47) отмечалось на варианте $N_{71}P_{36}K_{58}$ + Биостим Старт.

4 Показатели продукционного процесса и структура урожая. В исследовании из 450 шт./м² высеванных всхожих семян получено 380–392 полноценных всходов полбы на 1 м², что соответствует 84–87 % полевой всхожести. Выявлено, что внесение минеральных удобрений не оказывало достоверного влияния на количество взошедших растений и полевую всхожесть по сравнению с фоном естественного плодородия почвы. Предпосевная обработка семян полбы препаратом Биостим Старт достоверно повышала их полевую всхожесть (с 84 до 87 %) и количество взошедших растений (на 10 растений/м²). Применение препарата Азотовит не оказало достоверного влияния на количество всходов на единице площади и полевую всхожесть.

Самые мощные растения в фазу первого листа (0,28 г воздушно-сухой массы) были сформированы на варианте $N_{71}P_{36}K_{58}$ + Биостим Старт, что выше контрольного варианта опыта на 33%. При этом действие минеральных удобрений и аминокислотного стимулятора на этот морфометрический показатель было аддитивным.

На начальном этапе развития растений (код 10–11 по шкале ВВСН) корневая система полбы занимала 9,1–9,8 см активного слоя почвы (в котором находится основная масса корней), и различия между вариантами и фонами были недостоверны. В период «всходы – кущение» (макростадия 2, код 21–29 по шкале ВВСН) лучшее развитие первичной корневой системы отмечалось на варианте с предпосевной обработкой семян препаратом Биостим Старт на фоне внесения $N_{71}P_{36}K_{58}$: глубина активного слоя почвы возросла до 22,7 см.

Отмеченная закономерность наблюдалась и в последующие периоды развития полбы, особенно в период «трубкование – колошение» (макростадии 3 и 4, код 30–49 шкалы ВВСН), когда интенсивность формирования корневой системы полбы по всем вариантам опыта превышала более чем в два раза предыдущий период. К уборке глубина активного слоя почвы составляла от 35,6 см без внесения минеральных удобрений до

40,7 см (расчётная норма удобрений на 2,5 т/га зерна) и 42,0 см (расчётная норма удобрений 3,0 т/га зерна).

Наибольший прирост листовой площади на всех вариантах опыта приходился на фазу колошения и варьировал от 24,8 до 29,3 тыс. м²/га против 9,8–15,7 тыс. м²/га в фазе кущения этой культуры или же от 6,2 до 8,3 тыс. м²/га в фазе восковой спелости зерна (рисунок 1). При этом преимущество Биостим Старт было неоспоримо выше по сравнению с препаратами Ризоагрин и Азотовит. Так, в первом блоке опыта (без удобрений) под действием стимулятора роста по трем фазам развития полбы её листовая площадь составила 12,6; 26,6; 7,1 тыс. м²/га, что выше варианта с применением препарата Ризоагрин на 7; 3 и 4 % соответственно.

Наряду с этим нельзя исключить влияние метеорологических условий вегетационного периода конкретного года на площадь листовой поверхности. Так, в острозасушливом 2021 г. (ГТК = 0,55) листовая площадь была наименьшей – 21,7–24,9 тыс. м²/га, тогда как во влажные 2020 и 2022 гг. она составляла 28,8–31,7 тыс. м²/га.

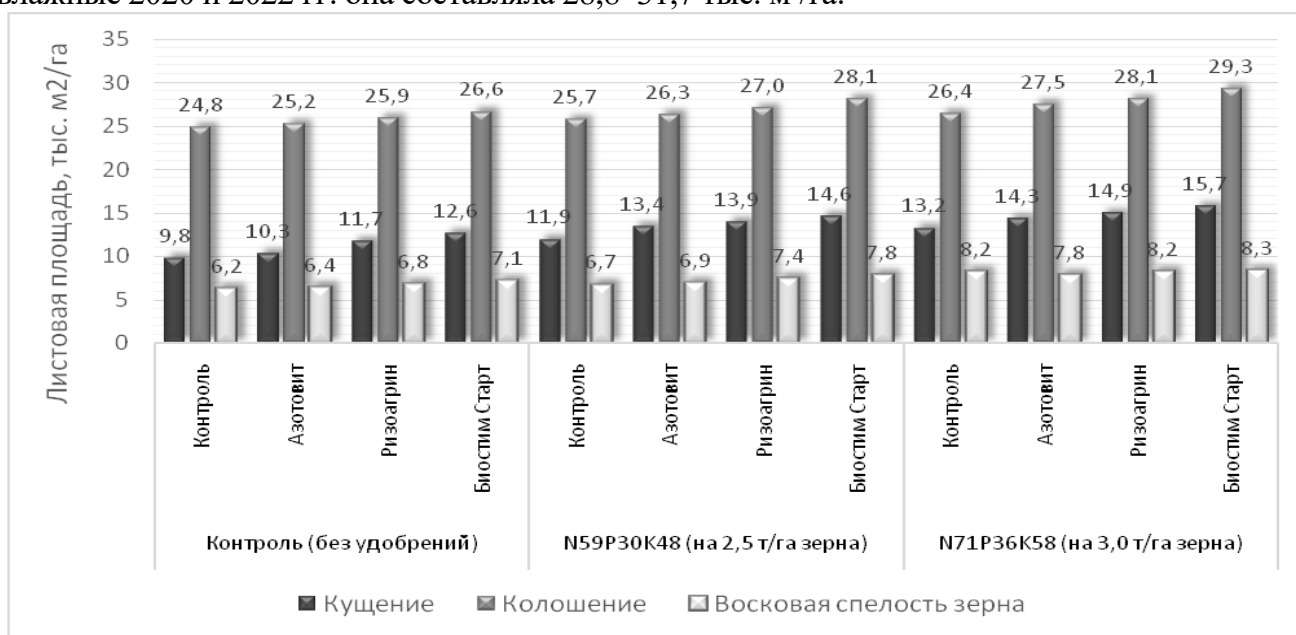


Рисунок 1– Динамика формирования площади листьев полбы *Руно* в зависимости от действия минеральных удобрений и изучаемых препаратов (2020–2023 гг.)

Инокуляция семян полбы ризобактериями способствовала повышению чистой продуктивности фотосинтеза на 0,3–0,4 г/м² по сравнению с контрольным вариантом опыта. На фоне внесения минеральных удобрений с расчётом получения 2,5 т/га зерна эффект от этих инокулянтов повысился на 0,9–1,0 г/м² в сутки, а на расчётном фоне НРК на 3,0 т/га зерна – на 1,5–2,1 г/м² в сутки. На первый взгляд повышение ЧПФ незначительное, но в переводе на гектар посева это означает дополнительное накопление от 15 до 21 кг/га воздушно-сухой органической массы за каждые сутки. Особо следует выделить высокую эффективность препарата Биостим Старт, который обеспечивает накопление органической массы полбы в следующих параметрах: без удобрений – 77 кг/га в сутки; на фоне N59P30K48 (2,5 т/га) – 81 кг/га в сутки; на фоне N71P36K58 (3,0 т/га) – 93 кг/га в сутки.

Корреляционно-регрессионный анализ указывает, что между урожайностью зерна полбы и площадью её листовой поверхности в фазу колошения существует сильная корреляция, которая для интервала 24–30 тыс. м²/га описывается следующим уравнением линейной регрессии:

$$Y = 0,3194 \times \text{ПЛ} - 6,32, \quad r = 0,795; \quad d = r^2 = 0,633,$$

где Y – урожайность зерна полбы, т/га; ПЛ – площадь листовой поверхности полбы, тыс. м²/га; r – коэффициент корреляции; $d = r^2$ – коэффициент детерминации.

Коэффициент уравнения регрессии свидетельствует, что увеличение площади листьев посева полбы в фазу колошения на 1,0 тыс. м²/га увеличивает сбор зерна на 0,32 т/га.

Применение минеральных удобрений и препаратов способствовало увеличению числа зёрен в колосе и формированию более крупного зерна (таблица 2).

Таблица 2. Показатели отдельных элементов структуры урожая (2020–2023 гг.)

Удобрение (фактор А)	Препараты в предпосевной обработке семян (фактор В)	Длина колоса, см	Количество зёрен в колосе, шт.	Масса 1 000 зёрен, г
Без удобрений (контроль)	Без обработки (контроль)	6,2	15,0	24,8
	Азотовит	6,8	15,4	25,3
	Ризоагрин	7,1	15,8	25,8
	Биостим Старт	7,5	16,2	25,8
N ₅₉ P ₃₀ K ₄₈ (на урожай зерна 2,5 т/га)	Без обработки (контроль)	6,7	21,0	28,0
	Азотовит	6,9	21,0	28,4
	Ризоагрин	7,4	21,1	28,0
	Биостим Старт	7,9	21,8	28,6
N ₇₁ P ₃₆ K ₅₈ (на урожай зерна 3,0 т/га)	Без обработки (контроль)	7,2	23,4	28,7
	Азотовит	7,6	23,4	29,0
	Ризоагрин	7,7	23,0	29,0
	Биостим Старт	8,2	23,0	29,0
HCP ₀₅	А	0,9	0,4	1,0
	В	0,8	0,3	0,6
	АВ	1,0	0,4	1,2

Располагая сопряженными данными урожайности зерна полбы и элементами структуры урожайности, количеством продуктивных стеблей, числом семян в колосе в колосе и массой 1 000 зёрен, нами рассчитано значимое уравнение линейной множественной регрессии ($F_{\text{факт}} = 621,384 > F_{05} = 4,076$), которое имело следующий вид:

$$Y = 0,0056 \times \text{ЧПС} + 0,1411 \times \text{ЧЗ} - 0,0053 \times \text{M}_{1000} - 2,8029, \quad R = 0,998,$$

где Y – урожайность зерна, т/га; ЧПС – число продуктивных стеблей, шт./м²; ЧЗ – число зёрен в колосе, шт.; R – коэффициент множественной корреляции.

Приведённое уравнение свидетельствует, что наибольший вклад в формирование урожайности зерна полбы среди прочих элементов структуры урожая обеспечивает количество зерен в колосе. Так, одно дополнительное зерно в колосе при прочих равных условиях приводит к увеличению сбора зерна на 0,14 т/га.

5 Влияние минеральных удобрений и препаратов на качество зерна полбы.

Применение минеральных удобрений и предпосевная обработка семян препаратами увеличивали содержание белка в зерне полбы. При этом внесение N₅₉P₃₀K₄₈ (на урожай 2,5 т/га зерна) повышало в среднем по фону этот показатель на 1,5 %_{абс}, или на 10 %_{отн}. Эффект от применения N₇₁P₃₆K₅₈ (на урожай 3,0 т/га зерна) оказался меньшим: абсолютная прибавка белковости зерна составила 0,8 %, а относительная – 5 % (таблица 3).

Анализ рассеивания экспериментальных данных по содержанию белка в зерне полбы с использованием дисперсионного анализа показал, что в варьировании содержания белка 58 % приходится на погодный фактор, 18 – на применение биопрепаратов, 17 % – на использовании минеральных удобрений. Иными словами, действие средств химизации на содержание белка в зерне полбы было примерно равным.

Применение N₅₉P₃₀K₄₈ увеличило, независимо от использования биопрепаратов, сбор белка в среднем на 70 %, а внесение N₇₁P₃₆K₅₈ – на 90 %. Предпосевная обработка семян Азотовитом увеличивала (независимо от уровня минерального питания) сбор белка на 10 %, Ризоагрин – на 18 %, аминокислотного биостимулятора Биостим Старт – на 26 %. Наибольший сбор белка зафиксирован на варианте N₇₁P₃₆K₅₈ + Биостим Старт.

Некоторое снижение содержания сырого жира в зерне в результате внесения более высоких доз туков объясняется т. н. «ростовым разбавлением» за счёт формирования бóльшего урожая основной продукции. Что касается накопления углеводов, то следует отметить тенденцию его снижения по мере повышения норм внесения минеральных удобрений (67,2 % в контроле против 65,9 % в варианте внесения NPK на планируемую урожайность 3,0 т/га зерна полбы).

Таблица 3. Содержание белка, сырого жира и углеводов в зерне полбы (в среднем за 4 года, без плодовой оболочки), %

Удобрение (фактор А)	Препараты в предпосевной обработке семян (фактор В)	Содержание		
		белка	углеводов	сырого жира
Без удобрений (контроль)	Без обработки (контроль)	14,2	67,2	2,86
	Азотовит	14,7	66,7	2,92
	Ризоагрин	15,3	65,8	3,08
	Биостим Старт	15,8	65,1	3,31
	Среднее по фону	15,0	66,2	3,04
N ₅₉ P ₃₀ K ₄₈ (на урожай зерна 2,5 т/га)	Без обработки (контроль)	15,6	65,5	3,23
	Азотовит	16,1	64,7	3,34
	Ризоагрин	16,9	63,8	3,41
	Биостим Старт	17,3	63,3	3,53
	Среднее по фону	16,5	64,3	3,38
N ₇₁ P ₃₆ K ₅₈ (на урожай зерна 3,0 т/га)	Без обработки (контроль)	15,1	65,9	3,20
	Азотовит	15,6	65,3	3,28
	Ризоагрин	16,0	64,8	3,36
	Биостим Старт	16,5	64,2	3,45
	Среднее по фону	15,8	65,0	3,32

Между содержанием углеводов в интервале 66,0–68,0 % (У, %) и белка (Б, %) в зерне полбы наблюдалась обратная зависимость, которая выражалась следующим уравнением линейной регрессии ($n = 12$, $r = -0.997$, $t_{\phi} = 40,3 > t_{05} = 2,23$):

$$У = 85,31 - 1,28 \times Б.$$

Коэффициент уравнения регрессии свидетельствует о том, что увеличение содержания белка в зерне полбы на 1 % сопровождается снижением содержания углеводов на 1,28 %.

Внесение минеральных удобрений и предпосевная обработка семян препаратами уменьшали плёнчатость зерна. При этом минеральные удобрения в меньшей степени оказывали воздействие на этот показатель, чем биопрепараты. В связи с этим применение

средств химизации способствовало увеличению выхода чистого зерна после обрушения. Средняя прибавка чистого зерна по фону применения $N_{59}P_{30}K_{48}$ составила 0,62 т/га, по фону $N_{71}P_{36}K_{58}$ – 0,91 т/га. При этом предпосевная обработка семян препаратом Азотовит увеличивала выход чистого зерна на 0,10 т/га, препаратами Ризоагрин и Биостим Старт – на 0,15 и 0,22 т/га соответственно.

Нами проведена оценка связи между показателями плёнчатости и крупности зерна полбы сорта *Руно* с использованием корреляционно-регрессионного анализа. Установлено, что между ними существует отрицательная зависимость, которая выражается (для интервала массы 1 000 зёрен 24,8...29,0 г) уравнением линейной регрессии:

$$Пл = 38,44 - 0,4333 \times M_{1\ 000} \quad (r = -0,624),$$

где Пл – плёнчатость, %; $M_{1\ 000}$ – масса 1 000 семян, г.

Коэффициент уравнения регрессии свидетельствует, что увеличение массы 1 000 семян полбы на 1 г приводит к снижению плёнчатости на 0,43 %.

6 Роль метеорологических условий в формировании урожайности и качества зерна полбы. Анализ рассеивания экспериментальных данных позволил вычленить долевое участие в варьировании урожайности зерна полбы погодных условий, уровня минерального питания и применения биопрепаратов (таблица 4). Установлено, что в 2020–2023 гг. определяющую роль в изменчивости и повышении урожайности полбы принадлежала минеральным удобрениям, на долю погоды и изучаемых препаратов приходилось суммарно 10 %. Незначительное долевое участие метеорологических условий в варьировании урожайности полбы свидетельствует о её высокой пластичности и способности в какой-то мере противостоять неблагоприятным метеорологическим условиям в период вегетации. На малое долевое участие биопрепаратов в формировании зерна яровой пшеницы мягкой указывает А. А. Алферов (2018). В то же время метеорологические условия оказали очень большое влияние на содержание белка в зерне полбы, а на общий сбор белка – применение минеральных удобрений.

Таблица 4. Долевое участие факторов в варьировании урожайности и белковости зерна полбы сорта *Руно* (2020–2023 гг.)

Показатель	Долевое участие, %			
	погоды	фона минерального питания	препаратов	остаточного варьирования
Урожайность зерна	8	89	2	1
Содержание белка	58	17	19	6
Сбор белка	7	82	9	2

Оценка зависимости урожайности зерна полбы от отдельных метеорологических показателей свидетельствует, что наиболее высокая отрицательная связь ($r = -0,82...-0,88$) отмечена между урожайностью и среднесуточной температурой воздуха за май – июнь и сильная положительная ($r = +0,77...+0,84$) между урожайностью и значениями гидротермического коэффициента (ГТК) за май. Связь между урожайностью с ГТК за вегетационный период была положительной и менее выраженной – $r = +0,64...+0,76$, но также была статистически значимой.

7 Влияние удобрений и препаратов на химический состав полбы и вынос питательных веществ. Внесение удобрений увеличивало содержание азота (N) и фосфора (P_2O_5) в зерне полбы, в то же время содержание калия (K_2O) в зерне в среднем за 4 года

исследований под действием удобрений изменялось незначительно (таблица 5). Использование препаратов в предпосевной обработке семян увеличивало в среднем, независимо от уровня минерального питания, содержание азота в зерне полбы: Азотовит – на 0,09 %_{абс}, Ризоагрин – на 0,21, Биостим Старт – на 0,27 %_{абс}, но не оказывало особого влияния на содержание в зерне калия (K₂O). Содержание фосфора (P₂O₅) в зерне полбы достоверно увеличивалось (на 0,06 %_{абс}) лишь на вариантах с использованием биостимулятора Биостим Старт.

Концентрация азота в соломе полбы увеличивалась при внесении N₇₁P₃₆K₅₈. Содержание K₂O в соломе не зависело от внесения удобрений и применения препаратов, в то время как содержание P₂O₅ значительно снижалось на фоне применения минеральных удобрений, что связано с существенным ростом урожайности под действием изучаемых агрохимикатов (эффект разбавления).

Таблица 5. Содержание N, P₂O₅ и K₂O в зерне и соломе полбы (2020–2023 гг.)

Удобрение (фактор А)	Препараты в предпосевной обработке семян (фактор В)	Зерно			Солома		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Без удобрений (контроль)	Без обработки (контроль)	2,55	0,61	0,37	0,46	0,52	2,04
	Азотовит	2,65	0,64	0,38	0,40	0,50	2,08
	Ризоагрин	2,78	0,60	0,37	0,28	0,54	2,06
	Биостим Старт	2,84	0,67	0,41	0,26	0,49	2,06
	Среднее по фону	2,70	0,63	0,38	0,35	0,51	2,06
N ₅₉ P ₃₀ K ₄₈ (на урожай зерна 2,5 т/га)	Без обработки (контроль)	2,82	0,61	0,42	0,46	0,37	2,00
	Азотовит	2,90	0,63	0,40	0,38	0,37	2,01
	Ризоагрин	3,05	0,59	0,41	0,25	0,41	2,06
	Биостим Старт	3,11	0,72	0,40	0,23	0,32	2,08
	Среднее по фону	2,97	0,64	0,41	0,33	0,37	2,04
N ₇₁ P ₃₆ K ₅₈ (на урожай зерна 3,0 т/га)	Без обработки (контроль)	2,73	0,66	0,44	0,55	0,25	1,86
	Азотовит	2,82	0,68	0,42	0,52	0,28	1,96
	Ризоагрин	2,89	0,67	0,38	0,46	0,26	1,96
	Биостим Старт	2,96	0,69	0,37	0,45	0,27	2,02
	Среднее по фону	2,85	0,68	0,40	0,49	0,26	1,95

Расчёты показали, что с урожаем зерна полбы сорта *Руно* отчуждается от 43,6 до 97,2 кг/га азота (N), 16,4–27,4 фосфора (P₂O₅) и 34,9–64,1 кг/га калия (K₂O) (таблица 6). Порядок выноса питательных элементов из почвы, как известно, определяется биологическими особенностями возделываемой культуры, и для полбы, как и для других пшениц – мягкой и твёрдой, – он составляет такой ряд: N > K₂O > P₂O₅.

Внесение N₅₉P₃₀K₄₈, независимо от применения препаратов, увеличивало в среднем вынос азота с урожаем зерна и соломы на 30,9 кг/га, или на 66 %, фосфора – на 6,2 кг/га, или на 35 %, калия – на 19,9 кг/га, или на 53 %. При внесении N₇₁P₃₆K₅₈ вынос азота по сравнению с фоном естественным плодородия почвы и возрастал на 44,1 кг/га, или на 94 %, фосфора – на 8,0 кг, или на 45 %, калия – на 26,4 кг/га, или на 70 %. При этом абсолютный хозяйственный вынос в большей мере определялся величиной урожая культуры, хотя и повышение концентрации основных питательных элементов в зерне и соломе полбы на фоне внесения минеральных удобрений накладывало свой отпечаток.

Таблица 6. Хозяйственный вынос основных элементов питания с урожаем полбы (2020–2023 гг.)

Удобрение (фактор А)	Препараты в предпосевной обработке семян (фактор В)	Вынос питательных элементов					
		хозяйственный, кг/га			относительный, кг/т		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Без удобрений (контроль)	Без обработки (контроль)	43,6	16,4	34,9	30,1	11,3	24,1
	Азотовит	45,8	17,1	36,9	30,5	11,4	24,6
	Ризоагрин	48,3	18,0	38,4	30,6	11,4	24,3
	Биостим Старт	50,8	19,0	40,5	31,0	11,6	24,7
	Среднее по фону	47,1	17,6	37,7	30,6	11,4	24,4
N ₅₉ P ₃₀ K ₄₈ (на урожай зерна 2,5 т/га)	Без обработки (контроль)	73,8	22,0	54,4	32,8	9,8	24,2
	Азотовит	77,1	23,5	56,4	32,8	10,0	24,0
	Ризоагрин	78,5	23,8	58,5	33,0	10,0	24,6
	Биостим Старт	82,5	25,7	61,0	33,4	10,4	24,7
	Среднее по фону	78,0	23,8	57,6	33,0	10,0	24,4
N ₇₁ P ₃₆ K ₅₈ (на урожай зерна 3,0 т/га)	Без обработки (контроль)	86,6	24,0	60,7	32,8	9,1	23,0
	Азотовит	87,8	25,2	62,6	32,2	9,2	22,9
	Ризоагрин	93,1	25,8	65,0	33,5	9,3	23,4
	Биостим Старт	97,2	27,4	68,1	34,1	9,6	23,9
	Среднее по фону	91,2	25,6	64,1	33,2	9,3	23,3

Предпосевная обработка семян препаратом Азотовит увеличивала хозяйственный вынос азота, независимо от уровня удобрённости, на 2,2 кг/га (3 %), фосфора – на 1,1 кг/га (5 %), калия – на 2,0 кг/га (4 %). Независимо от внесения минеральных удобрений, хозяйственный вынос азота возрастал от предпосевной обработки семян полбы препаратом Ризоагрин на 5,4 кг/га (8 %), фосфора – на 1,7 кг/га (8 %), калия – на 4,0 кг/га (8 %), от обработки препаратом Биостим Старт – на 8,8 кг/га (13 %), 3,2 кг/га (15 %) и 6,5 кг/га (13 %) соответственно.

Относительный вынос азота полбой сорта *Руно* на серой лесной почве в среднем по опыту составил по 32,3 кг/т, фосфора – 10,2 и калия – 24,0 кг/т. Эти показатели можно использовать как нормативные по сорту полбы *Руно* для условий Республики Татарстан и соседних регионов со сходными почвенно-климатическими условиями.

Расчёты показали, что без применения удобрений хозяйственный баланс азота, фосфора и калия был отрицательным: недостаток элементов соответственно 43,6–50,8, 16,4–19,0 и 34,9–40,5 кг/га соответственно (таблица 7). При внесении N₅₉P₃₀K₄₈ и N₇₁P₃₆K₅₈ отмечается отрицательный баланс по азоту и калию и положительный – по фосфору. Интенсивность баланса основных питательных элементов свидетельствует, что по азоту и калию он допустимый, а по фосфору – положительный, способствующий накоплению фосфатов в почве.

По результатам исследований были рассчитаны разностным методом коэффициенты использования элементов питания из почвы и минеральных удобрений (таблица 8, 9).

Определённые нами коэффициенты использования питательных веществ из почвы отличаются по азоту и фосфору от значений, встречающихся в публикациях. Например, по данным П. Г. Семенова с соавт. (2024) при возделывании полбы сорта *Руно* в Предволжье Республики Татарстан коэффициенты использования из почвы азота, фосфора и калия составили 26 %, 2 и 10 % соответственно.

Таблица 7. Хозяйственный баланс питательных веществ, кг/га д.в. (2020–2023 гг.)

Удобрение (фактор А)	Препараты в предпосев- ной обработке семян (фактор В)	Баланс, кг/га д. в.			Интенсивность баланса, %		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Без удобрений (контроль)	Без обработки (контроль)	-43,6	-16,4	-34,9	–	–	–
	Азотовит	-45,8	-17,1	-36,9	–	–	–
	Ризоагрин	-48,3	-18,0	-38,4	–	–	–
	Биостим Старт	-50,8	-19,0	-40,5	–	–	–
N ₅₉ P ₃₀ K ₄₈ (на урожай зерна 2,5 т/га)	Без обработки (контроль)	-14,8	+8,0	-5,4	80	136	88
	Азотовит	-18,1	+6,5	-7,4	77	128	85
	Ризоагрин	-19,5	+6,2	-9,5	75	126	82
	Биостим Старт	-23,5	+4,3	-12,0	72	117	79
N ₇₁ P ₃₆ K ₅₈ (на урожай зерна 3,0 т/га)	Без обработки (контроль)	-15,6	+12,0	-2,7	82	150	96
	Азотовит	-16,8	+10,8	-4,6	81	143	93
	Ризоагрин	-22,1	+10,2	-7,0	76	140	89
	Биостим Старт	-26,2	+8,6	-10,1	73	131	85

Таблица 8. Коэффициенты использования N, P₂O₅ и K₂O (КИП) из пахотного слоя почвы

Показатель	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Содержание питательного вещества в почве, кг/га	101	335	375
Вынос, кг/га	43,6	16,4	34,9
КИП, %	43	5	9

Таблица 9. Коэффициенты использования питательных веществ из минеральных удобрений на посевах полбы, % (2020–2023 гг.)

Удобрение (фактор А)	Препараты в предпосевной об- работке семян (фактор В)	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
N ₅₉ P ₃₀ K ₄₈ (на урожай зерна 2,5 т/га)	Без обработки (контроль)	51	19	41
	Азотовит	53	22	41
	Ризоагрин	51	21	42
	Биостим Старт	54	22	43
Среднее по фону		52	21	42
N ₇₁ P ₃₆ K ₅₈ (на урожай зерна 3,0 т/га)	Без обработки (контроль)	60	21	44
	Азотовит	59	22	44
	Ризоагрин	63	21	46
	Биостим Старт	66	23	48
Среднее по фону		62	22	46

В опыте коэффициенты использования питательных веществ удобрений варьировали по азоту от 51 до 66 %, по фосфору – от 19 до 23, по калию – от 41 до 48 %. Их величина зависела от нормы внесения минеральных туков – чем больше расчётная норма внесения, тем выше коэффициенты использования. Так, по азоту, при сравнении

$N_{59}P_{30}K_{48}$ и $N_{71}P_{36}K_{58}$ увеличение показателя KIU_N составило в среднем 10 %, $KIUP_2O_5$ – 1 %, $KIUK_2O$ – 4 %.

8 Изменение свойств почвы при внесении минеральных удобрений и применении препаратов. Результаты исследований показывают, что содержание гумуса в пахотном слое почвы оставалось неизменным (таблица 10). Внесение минеральных удобрений незначительно повысило кислотность почвы, хотя изменение рН на 0,1–0,2 ед. находилось в пределах погрешностей анализа.

Таблица 10. Содержание питательных веществ и рН солевой вытяжки в зависимости от применения агрохимикатов на посевах полбы (2020–2023 гг.)

Удобрение (фактор А)	Препараты в предпосевной обработке семян (фактор В)	рН _{сол}	Содержание		
			гумуса, % (по Тюрину)	подвижных форм, мг/кг	
				P ₂ O ₅	K ₂ O
Исходные данные (перед закладкой опыта)		6,2	3,4	127	138
Без удобрений (контроль)	Без обработки (контроль)	6,2	3,4	125	136
	Азотовит	6,2	3,4	127	137
	Ризоагрин	6,2	3,4	127	137
	Биостим Старт	6,2	3,4	127	137
$N_{59}P_{30}K_{48}$ (на урожай зерна 2,5 т/га)	Без обработки (контроль)	6,1	3,4	130	139
	Азотовит	6,1	3,4	132	139
	Ризоагрин	6,1	3,4	132	140
	Биостим Старт	6,1	3,4	132	140
$N_{71}P_{36}K_{58}$ (на урожай зерна 3,0 т/га)	Без обработки (контроль)	6,0	3,4	128	138
	Азотовит	6,0	3,4	130	141
	Ризоагрин	6,0	3,4	130	141
	Биостим Старт	6,0	3,4	130	141

На фоне без применения минеральных удобрений содержание подвижных форм фосфора оставалось практически неизменным, а подвижных форм калия снижалось до 136–137 мг/кг против 138 мг/кг перед закладкой опыта. Внесение $N_{59}P_{30}K_{48}$ несколько повышало содержание подвижных форм фосфора в пахотном слое на 3–5 мг/кг почвы, $N_{59}P_{30}K_{48}$ – на 1–3 мг/кг почвы, и эти изменения находились в пределах ошибки определений.

Несмотря на отрицательный хозяйственный баланс калия в опыте, отмечено некоторое увеличение содержания его подвижных форм в почве: по фону внесения $N_{59}P_{30}K_{48}$ на 1–2 мг/кг почвы, по фону $N_{71}P_{36}K_{58}$ – на 3 мг/кг. В этом нет никакого противоречия. Так, Р. А. Афанасьев и Г. Е. Мёрзлая (2013), анализируя калийный режим различных почв с разным гранулометрическим составом в длительных полевых опытах, установили, что при отрицательном балансе на почвах тяжёлого гранулометрического состава наблюдается переход необменных форм калия в подвижные. Ещё раньше В. И. Никитишен с соавт. (2000) отмечал, что при сельскохозяйственном использовании почв происходит активное вовлечение в питание растений труднодоступного необменного калия, и одним определяющим фактором этого выступает достаточное обеспечение посевов азотом. Поэтому некоторое увеличение содержания подвижных форм калия в пахотном слое серой лесной тяжёлосуглинистой почвы можно объяснить улучшением азотного питания растений полбы в результате применения минеральных удобрений и инокуляции семян ассоциативными азотфиксаторами.

Изучение биологической активности почвы аппликационным методом показало, что применение минеральных удобрений и обработка семян биопрепаратами способствовали более интенсивному разложению льняного полотна, и, следовательно, и более активной минерализации пожнивно-корневых остатков полбы. При этом использование биопрепаратов проявляло более активное участие в разложении льняного полотна. Так, без применения биопрепаратов при внесении $N_{59}P_{30}K_{48}$ минерализация ткани увеличилась на 1,6 %_{абс}, или на 7 %_{отн}, при внесении $N_{71}P_{36}K_{58}$ на 3,3 %_{абс} и 15 %_{отн}. Предпосевная обработка семян полбы препаратами Азотовит и Ризоагрин увеличивала разложение льняного полотна на 3,5–8,6 %_{абс}, или на 15–17 %_{отн}.

Лучшая в опыте агрономически ценная структура почвы отмечалась на варианте $N_{71}P_{36}K_{58}$ + Ризоагрин.

9 Экономическая и энергетическая эффективность применения минеральных удобрений и препаратов при возделывании полбы. Применение минеральных удобрений и биопрепаратов повышает рентабельность производства зерна культуры от 2 до 20 % в зависимости от их сочетаний при совместном применении (таблица 11). Внесение $N_{59}P_{30}K_{48}$ увеличивает чистую прибыль без использования препаратов на 4,2 тыс. руб./га, а уровень рентабельности производства – на 8 %. Включение в рабочий раствор для протравливания семян полбы 1 л/т Биостим Старта стоимостью 197 руб. обеспечивает дополнительное получение даже без внесения минеральных удобрений, валовую продукцию стоимостью 3,2 тыс. руб./га. Данный показатель на фоне минерального питания $N_{59}P_{30}K_{49}$ составил 3,7 тыс. руб./га, а на фоне $N_{71}P_{36}K_{58}$ – 3,4 тыс. руб./га.

Таблица 11. Экономические показатели применения минеральных удобрений и изучаемых препаратов в технологии возделывания полбы *Руно* (2020–2023 гг.)

Удобрение (фактор А)	Препараты в предпосевной обработке семян (фактор В)	Стоимость валовой продукции	Общие затраты	Чистая прибыль	Рентабельность, %	Биоэнергетический коэффициент
		тыс. руб./га				
Без удобрений (контроль)	Без обработки (контроль)	23,9	19,6	4,3	21,9	2,4
	Азотовит	24,8	20,0	4,8	24,0	2,5
	Ризоагрин	26,1	20,8	5,3	25,5	3,0
	Биостим Старт	27,1	21,2	5,9	27,8	3,2
$N_{59}P_{30}K_{48}$ (на урожай зерна 2,5 т/га)	Без обработки (контроль)	37,1	28,6	8,5	29,7	2,9
	Азотовит	38,8	29,6	9,2	31,1	3,2
	Ризоагрин	39,3	29,9	9,4	31,4	3,4
	Биостим Старт	40,8	30,2	10,6	35,1	3,7
$N_{71}P_{36}K_{58}$ (на урожай зерна 3,0 т/га)	Без обработки (контроль)	43,6	31,8	11,8	37,1	3,0
	Азотовит	45,0	32,4	12,6	38,9	3,6
	Ризоагрин	45,9	32,5	13,4	41,2	3,8
	Биостим Старт	47,0	33,0	14,0	42,4	4,2

Примечание: стоимость 1 т зерна полбы – 16 500 руб.

Внесение азотно-фосфорно-калийных удобрений на планируемую урожайность 3,0 т/га (без биопрепаратов) повышает рентабельность производства зерна полбы до 37,1%, а в последнем варианте опыта ($N_{71}P_{36}K_{58}$ + Биостим Старт – 1 л/т) были достиг-

нуты максимальные величины рентабельности – 42,4% и биоэнергетического коэффициента – 4,2.

Итоги производственного опыта и внедрения результатов исследований полностью подтвердили основные выводы о высокой эффективности взаимодействия расчетных норм минеральных удобрений, биопрепаратов и аминокислотного биостимулятора, применяемых в технологии возделывания такой перспективной культуры, как полба (двузернянки).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Применение расчётных норм минеральных удобрений на урожайность зерна полбы 2,5 и 3,0 т/га и предпосевная обработка семян биопрепаратами и аминокислотным стимулятором на серой лесной тяжёлосуглинистой почве являются эффективными агроприёмами. Наибольший сбор зерна в опыте в среднем за 4 года исследований (2,85 т/га) обеспечивало возделывание полбы по фону внесения $N_{71}P_{36}K_{58}$ с предпосевной обработкой семян препаратом Биостим Старт. Прибавка урожая зерна по сравнению с фоном естественного плодородия почвы составила 1,40 т/га, или 96 % с оплатой 1 кг д. в. удобрений в 8,48 кг зерна. При совместном использовании минеральных туков и предпосевной обработки семян биоудобрениями наблюдался аддитивный эффект взаимодействия.

Применение удобрений и изучаемых препаратов за счёт улучшения минерального питания растений увеличивало выход с единицы площади не только основной продукции (зерна), но и соломы (с 1,74 до 3,01–4,19 т/га, или на 73–141 %), а также пожнивнокорневых остатков (с 1,35 до 2,37–2,78 т/га, или на 76–106 %).

2. Результаты опыта свидетельствуют, что на самом результативном в опыте варианте ($N_{71}P_{36}K_{58}$ + Биостим Старт) на долю естественного плодородия почвы в формировании урожайности зерна приходился 51 %, на долю минеральных удобрений и аминокислотного биостимулятора – 42 и 7 % соответственно. Аналогичная картина наблюдалась на варианте $N_{71}P_{36}K_{58}$ + Ризоагрин: вклад естественного плодородия в формирование величины урожая зерна составлял 52 %, на долю удобрений и биопрепарата приходилось 43 и 5 % соответственно.

3. Рост продуктивности полбы сорта *Руно* при использовании минеральных удобрений и предпосевной обработки семян препаратами происходил за счёт увеличения густоты продуктивных стеблей (с 401 до 416–458 стеблей/м², или на 4–14 %), количества зёрен в колосе (с 15 до 21–23 шт., или на 6–8 зерен на колос) и массы 1 000 зёрен (с 24,8 до 28,0–29,0 г) как результата лучшего развития растений и формирования более мощной корневой системы (слой почвы, занятый основной массой корней полбы, в фазу колошение – созревание увеличивался с 26,4 до 28,8–38,0 см), ассимиляционного аппарата (ИЛП возрастал с 1,73 до 1,98–2,15, или на 14–24 %) и большей его продуктивности (ЧПФ увеличивался с 6,9 до 7,8–9,3 г/м² в сутки).

4. Внесение минеральных туков и предпосевная обработка семян изучаемыми препаратами положительно повлияли на показатели качества зерна полбы сорта *Руно* и его питательную ценность: способствовало снижению плёнчатости зерна (с 28,1 до 24,7–26,1 %), увеличению содержания белка (с 14,2 до 16,1–17,3 %) и незаменимых кислот в его составе (с 32 до 33–34 %), сырого жира (с 2,86 до 3,28–3,53 %), уменьшению доли углеводов в обрубленном зерне (с 67,2 до 63,3–64,2 %).

5. Внесение минеральных удобрений и применение изучаемых препаратов увеличивало отчуждение питательных веществ с урожаем полбы. Без использования мине-

ральных туков баланс N, P₂O₅ и K₂O был отрицательным с дефицитом элементов 43,6–50,8 кг/га, 16,4–19,0 и 34,9–40,5 кг/га соответственно. Внесение N₅₉P₃₀K₄₈ и N₇₁P₃₆K₅₈ сохраняло баланс по азоту и калию отрицательным (ИБ_N 72–82, ИБ_{K₂O} 79–96 %), по фосфору делало его положительным (ИБ_{P₂O₅} 117–150 %). Относительный вынос N, P₂O₅ и K₂O в среднем по опыту составлял 32,3, 10,2 и 24,0 кг/т соответственно.

6. Минеральные удобрения и предпосевная обработка препаратами оказывали незначительное действие на агрохимические показатели и плотность сложения серой лесной почвы, в то же время они увеличивали содержание в ней агрономически ценных агрегатов. Лучшая агрономическая структура почвы отмечалась на варианте N₇₁P₃₆K₅₈ + Ризоагрин.

7. Применение минеральных удобрений и предпосевная обработка семян препаратами, аминокислотным стимулятором экономически и биоэнергетически эффективно. Условный чистый доход (рентабельность) и коэффициент энергетической эффективности составили за счёт роста урожайности зерна в лучшем варианте – N₇₁P₃₆K₅₈ + Биостим Старт, – 14,0 тыс. руб./га (42 %) и 4,16 против 4,3 тыс. руб./га (22 %) и 2,40 на варианте без применения агрохимикатов. При этом снижалась себестоимость зерна с 13,5 до 11,6–11,7 тыс. руб./т.

8. Результаты исследований подтверждают перспективность использования при возделывании полбы расчётных норм минеральных удобрений на урожайность зерна 3,0 т/га в сочетании предпосевной обработки семян препаратом Биостим Старт.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПРОИЗВОДСТВУ

1. На серых лесных почвах лесостепной зоны Среднего Поволжья в целях получения высококачественного товарного зерна полбы (двузернянки) не менее 2,85 т/га с рентабельностью производства 42 % рекомендуется возделывать её на фоне минерального питания, рассчитанного на планируемую урожайность 3,0 т/га зерна и за 10–15 суток до посева обработать семена рабочим раствором 10 л/т воды + Доспех 3 – 0,5 л/т + Биостим Старт – 1,0 л/т.

2. Для улучшения азотного питания растений и физико-химических свойств серых лесных почв шире практиковать инокуляцию семян полбы ассоциативными ризобактериями (Ризоагрин – *Agrobacterium radiobacter*).

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи, опубликованные в ведущих рецензируемых научных журналах, рекомендуемых ВАК Российской Федерации

1. **Погодина, А.В.** Сравнительная оценка реакции различных сортов полбы на внесение расчётных норм минеральных удобрений в лесостепной зоне Среднего Поволжья / А.В. Погодина, И.И. Габбасов, Ф.Н. Сафиоллин и др. // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2023. – Т. 18, № 2(70). – С. 31–36.

2. **Погодина, А. В.** Влияние минеральных удобрений и биопрепаратов на формирование площади листьев, продуктивность фотосинтеза и урожайность полбы / А. В. Погодина, А. А. Лукманов, Ф. Н. Сафиоллин // Агрохимический вестник. – 2025. – № 2. – С. 3–7.

3. **Погодина, А. В.** Организация территории полевых севооборотов, насыщенных крупными культурами и экономика применения агрохимикатов при возделывании полбы / А. В. Погодина // Агробиотехнологии и цифровое земледелие. – 2025. – Т. 4, № 2(14). – С. 34–39.

Статьи, опубликованные в других научных журналах и сборниках материалов международных и всероссийских научно-практических конференций:

4. Сафиоллин, Ф.Н. Особый злак / Ф.Н. Сафиоллин, **А.В. Погодина**, А. А. Лукманов // Агробизнес. – 2022. – № 4 (76). – С. 42–44.

5. **Погодина, А.В.** Влияние биопрепаратов и минеральных удобрений на лабораторную и полевую всхожесть семян полбы (*Triticum dicoccum*) сорта *Руно* / А.В. Погодина, А.А. Лукманов, Ф.Н. Сафиоллин // Биологические препараты и приемы биологизации в современном земледелии : сб. научных трудов по материалам II Международной научно-практической конференции, посвященной 105-летию Института агробиотехнологий и землепользования, Казань, 29 ноября 2024 года. – Казань, 2024. – С. 210-217.

6. **Погодина, А.В.** Динамика формирования корневой системы полбы (*Triticum dicoccum*) в зависимости от фонов минерального питания и биопрепаратов на серых лесных почвах Республики Татарстан / А.В. Погодина, А.А. Лукманов, Ф.Н. Сафиоллин // Fundamental science innovation and technology : сб. науч. статей по материалам VI Междунар. науч.-практ. конф., Уфа, 27 декабря 2024 г. – Уфа : НИЦ "Вестник науки", 2024. – С. 154–160.

7. Зональные особенности почвенного покрова Республики Татарстан и приемы оптимизации химической мелиорации земель сельскохозяйственного назначения: учебное пособие / А.А. Лукманов, Р.М. Миннуллин, Р.Х. Габитов, **А.В. Погодина**. – Казань: Казанский государственный аграрный университет, 2023. – 122 с.