

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Казанский государственный аграрный университет»

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

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата сельскохозяйственных наук

Научный руководитель –
доктор сельскохозяйственных наук,
Лукманов Анас Ахтямович

Казань – 2026

ОГЛАВЛЕНИЕ

| | Стр. |
|--|-----------|
| ВВЕДЕНИЕ | 5 |
| 1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ..... | 11 |
| 1.1 Происхождение, распространение и значение культуры | 11 |
| 1.2 Биологические и агрономические особенности возделывания полбы..... | 14 |
| 1.3 Нутрилогическая ценность зерна полбы (<i>Triticum dicoccum</i>) | 19 |
| 1.4 Эффективность применения удобрений на посевах полбы..... | 23 |
| 1.5 Биопрепараты в технологии возделывания зерновых культур | 26 |
| 2 ОБЪЕКТЫ, УСЛОВИЯ И МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ | 35 |
| 2.1 Географическое положение и природные ресурсы района исследований | 35 |
| 2.2 Погодно-климатические условия в годы исследований | 39 |
| 2.3 Агрохимическая характеристика территории..... | 44 |
| 2.4 Объекты, схемы опытов и методика исследований | 45 |
| 3 ВЛИЯНИЕ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ И ПРЕПАРАТОВ НА УРОЖАЙНОСТЬ ПОЛБЫ | 53 |
| 3.1 Урожайность зерна полбы..... | 53 |
| 3.2 Выход побочной продукции | 56 |
| 4 ПОКАЗАТЕЛИ ПРОДУКЦИОННОГО ПРОЦЕССА И СТРУКТУРА УРОЖАЯ..... | 58 |
| 4.1 Лабораторная и полевая всхожесть, энергия роста семян | 58 |
| 4.2 Кустистость и плотность стеблестоя полбы..... | 63 |
| 4.3 Формирование корневой системы полбы..... | 66 |
| 4.4 Формирование ассимиляционной листовой площади и чистая продуктивность фотосинтеза | 69 |
| 4.5 Высота стеблестоя полбы..... | 76 |
| 5 ВЛИЯНИЕ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ И ПРЕПАРАТОВ НА КАЧЕСТВО ЗЕРНА ПОЛБЫ | 84 |
| 5.1 Содержание белка и его аминокислотный состав | 84 |
| 5.2 Содержание сырого жира в зерне..... | 89 |
| 5.3 Содержание углеводов в зерне полбы | 92 |
| 5.4 Пленчатость зерна полбы | 94 |

| | |
|--|------------|
| 6 РОЛЬ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ В ФОРМИРОВАНИИ УРОЖАЙНОСТИ И КАЧЕСТВА ЗЕРНА ПОЛБЫ..... | 96 |
| 7 ВЛИЯНИЕ УДОБРЕНИЙ И ПРЕПАРАТОВ НА ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПОЛБЫ И ВЫНОС ПИТАТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ..... | 99 |
| 7.1 Содержание питательных элементов в надземной части растений..... | 100 |
| 7.2 Хозяйственный вынос, баланс и коэффициенты использования элементов питания из почвы и удобрений..... | 103 |
| 8 ИЗМЕНЕНИЕ СВОЙСТ ПОЧВЫ ПРИ ВНЕСЕНИИ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ И ПРИМЕНЕНИИ ПРЕПАРАТОВ | 109 |
| 8.1 Влияние минеральных удобрений и изучаемых препаратов на рН и содержание питательных веществ в пахотном слое почвы | 109 |
| 8.2 Микробиологическая активность почвы | 111 |
| 8.3 Плотность сложения и коэффициент структурности почвы | 113 |
| 9 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ И ПРЕПАРАТОВ ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ ПОЛБЫ..... | 117 |
| 9.1 Экономическая эффективность | 117 |
| 9.2 Энергетическая оценка возделывания полбы | 119 |
| 9.3 Сравнительная оценка окупаемости экономических и энергетических затрат на посевах полбы..... | 121 |
| 10 ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ ПРОВЕРКА И ВНЕДРЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ..... | 123 |
| 10.1 Производственная проверка..... | 123 |
| 10.2 Внедрение результатов исследований | 125 |
| ЗАКЛЮЧЕНИЕ | 126 |
| РЕКОМЕНДАЦИИ ПРОИЗВОДСТВУ | 128 |
| СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ | 129 |
| Приложение А (обязательное). Метеорологические данные по метеостанции «Арск» Республики Татарстан | 162 |
| Приложение Б (справочное). План размещения опытных делянок..... | 163 |
| Приложение В (справочное). Расчёт норм минеральных удобрений на урожайность зерна полбы на 2,5 т/га с учётом побочной продукции..... | 164 |

| | |
|--|-----|
| Приложение Г (справочное). Расчёт норм минеральных удобрений на урожайность зерна полбы на 3,0 т/га с учётом побочной продукции..... | 165 |
| Приложение Д (справочное). Динамика формирования корневой системы полбы по фазам развития..... | 166 |
| Приложение Е (справочное). Влияние минеральных удобрений и препаратов на динамику накопления листовой площади полбы по фазам развития и годам исследований, тыс. м ² /га..... | 167 |
| Приложение Ж (справочное). Содержание белка в зерне полбы и его валовой сбор (без плодовой оболочки)..... | 168 |
| Приложение И (справочное). Содержание сырого жира в зерне полбы и его валовой сбор (среднее за 2020–2023 гг.)..... | 169 |
| Приложение К (обязательное). Дисперсионный анализ урожайности зерна полбы (2020 г.)..... | 170 |
| Приложение Л (обязательное). Дисперсионный анализ урожайности зерна полбы (2021 г.)..... | 171 |
| Приложение М (обязательное). Дисперсионный анализ урожайности зерна полбы (2022 г.)..... | 172 |
| Приложение Н (обязательное). Дисперсионный анализ урожайности зерна полбы (2023 г.)..... | 173 |
| Приложение П (обязательное). Дисперсионный анализ плотности стеблестоя (2020–2023 гг.)..... | 174 |
| Приложение Р (справочное). Акт внедрения результатов в Сабинском муниципальном районе..... | 175 |
| Приложение С (справочное). Акт внедрения результатов в Кукморском муниципальном районе | 176 |
| Приложение Т (справочное). Акт внедрения результатов в Арском муниципальном районе | 177 |

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Полба или двузернянка, либо полуполба (*Triticum dicoccum* (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» (Piergrovani A. R. et al., 1996).

На территории России пик популярности культуры полбы наблюдался в XVIII в. Полба упоминается и в литературе, например, в сказке А. С. Пушкина «О попе и о работнике его Балде», написанной в 1830 г. По некоторым источникам в Татарстане в конце XIX в. полба занимала «львиную долю» площади яровых зерновых культур (Туганаев А. В. и др., 2008; Сержанов И. М. и др., 2017). Однако в XX в. она была вытеснена высокоурожайными селекционными сортами яровой пшеницы. Тем не менее, возврат полбы на наши поля и ее популярность объясняются следующими причинами (Баженова И. А., 2004; Богатырева Т. Г., 2013; Гунькова П. И. и др., 2024):

- высокое содержание белка, насыщенного незаменимыми аминокислотами;
- в её составе содержится 2,5–3,0 % монополиненасыщенных жирных кислот и отсутствует глютен, который противопоказан людям с его непереносимостью;
- 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.

Не случайно число сторонников здорового питания на основе использования продуктов, приготовленных из полбы (каши, супы, хлеб и хлебобулочные изделия), с каждым годом становится больше.

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. и др., 2014; Дятлова М. В. и др., 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. В селекцию современных сортов полбы в Российской Федерации огромный вклад внесли А. Н. Боровик (сорт *Руно*, районирован в 2009 г.), Э. Ф. Ионов (сорт *Греммэ*, районирован в 2012 г.), И. Б. Аблова (сорт *Янтара*, районирован в 2019 г.), О. К. Солодухина (сорт *Псковитянка*, районирован в 2021 г.). Разработкой технологии возделывания этих сортов (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, И. А. и др. (2016), Л. В. Тарасова и др. (2019), К. С. Мамедов (2022), Б. В. Семерова и др. (2022). В лесостепной зоне Среднего Поволжья известны научные труды Ф. Ш. Шайхутдинова (2004), Ф. Ш. Шайхутдинова и др. (2017, 2018), И. М. Сержанова и др. (2017), М. Ф. Амирова и др. (2024). Из зарубежных учёных следует отметить J. Lachman et al. (2012), E. Cazzato et al. (2013), P. Kraska et al. (2019).

Несмотря на наличие 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 характер их взаимодействия при совместном использовании с биопрепаратами и

аминокислотным биостимулятором, 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 в сочетании с применением азотфиксирующих биопрепаратов-инокулянтов Азотовит, Ризоагрин и аминокислотного биостимулятора Биостим Старт.

Программа исследований предусматривала решение **следующих задач:**

- оценить эффективность действия и взаимодействия расчётных норм минеральных удобрений и препаратов на урожайность и качество зерна полбы сорта *Руно*;
- установить вынос, коэффициенты использования и баланс основных питательных элементов при совместном использовании минеральных удобрений и изучаемых препаратов;
- оценить роль метеорологических условий в формировании урожайности зерна полбы сорта *Руно* и ее стабильности;
- выявить влияние минеральных удобрений и 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 доленое участие погодноклиматических 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).

Методология и методы исследования: теоретические – изучение и анализ научной литературы отечественных и зарубежных авторов по изучаемой теме; статистическая обработка результатов исследований; эмпирические – лабораторные и полевые исследования, графическое и табличное отображение полученных результатов.

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 – мощности корневой системы в начальный период роста, увеличения ассимиляционного аппарата растений в период их вегетации, 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 %, из них 2 % на биопрепараты, 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 биопрепаратами (биоудобрениями) имеют положительный экономический и биоэнергетический эффект.

Достоверность результатов исследований подтверждена большим объёмом экспериментальных данных, полученных в ходе проведения методически выдержанных лабораторного, полевого и производственного опытов и внедрени-

ем 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 результатов исследований. Результаты диссертационной работы были апробированы и получили положительную оценку на Международной научно-практической конференции, посвящённой 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 Шакирова Азата Шаеховича (Казань, 2024, 2025).

Материалы диссертации опубликованы в 6 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. Проверка результатов исследований в производственных условиях была проведена 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 на урожайность зерна 3,0 т/га).

Результаты исследований внедрены на полях землепользования ООО «Саба» (120 га) Сабинского, АО «Кукморрагροхимсервис» (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 источников литературы,

включая зарубежных исследователей, разработке рабочей программы и плана реализации намеченных задач, проведении лабораторного, полевого и производственного опытов, математической обработке результатов исследований и самостоятельном их изложении в настоящей диссертации в логической последовательности. Доля личного вклада соискателя в объёме общей работы составляет 85 %, в опубликованных научных трудах – 75 и в учебных пособиях – 25 %.

Объём и содержание диссертации. Диссертация изложена на 177 страницах компьютерного текста. Она состоит из 10 глав и 2 предложений, рекомендованных к внедрению в сельскохозяйственное производство Среднего Поволжья. Содержит 36 таблиц, 17 рисунков и 14 приложений. Список литературы включает 269 наименований 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 настоящей диссертационной работы.

1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

1.1 Происхождение, распространение и значение культуры

Современные исследователи пришли к выводу, что дикую полбу (*Triticum dicocsum*) люди начали использовать во времена далекого прошлого (Nesbitt M., Samuel D., 1996; Perkins J. H., 1997; Peng J. et al., 2011). О. С. Дедкова и др. (2007) утверждают, что культурная полба появилась на территории современных государств Сирии и Ливана (Леванта) в начале гончарного неолита, в 9 500–7 500 гг. до н. э., от дикого предка *Triticum dicoccoides*. Мнения по месту доместикиции полбы немного расходятся. Н. Ozkan et al. (2002) предполагали, что это северная часть Плодородного Полумесяца – земли Ближнего Востока, современные территории Кипра, Ливана, Израиля и др. Тогда как V.-C. Luo et al. (2007) определили, что это был горный регион Карача.

Triticum dicocsum относят к одному из восьми видов растений, с которых началось земледелие на Ближнем Востоке (Гончаров Н. П., Кондратенко Е. Я., 2008). Дальнейшее распространение культуры определилось по многочисленным археологическим находкам. Упоминание о полбе встречается в самом известном древнегреческом произведении «Одиссея» поэта Гомера, в котором сказано: «К яслям в конюшне они поводья их привязали, полбу засыпали в ясли и к ней ячменю подмешали» (Гомер, 2010), и даже в Библии (например, в Книге пророка Исайи и в Книге Исход, второй книге Пятикнижия).

К началу VII в. до н. э. полба-эммер уже распространился и по прилегающим территориям Израиля, Северной Сирии, Восточной Анатолии, Северного Ирака и Юго-Западного Ирана (Zaharieva M. S. et al., 2010; Смекалова Т. Н., Кобылянский В. Д., 2019). В VI в. до н. э. она достигла Туркмении. Самое раннее присутствие ее в Пакистане относится к неолиту (VI–V вв. до н.э.). В IV тысячелетии до н. э. полбу начали возделывать в Египте, Центральной Азии и Северо-западе Индии. Во всех этих территориях полба оставалась основной зерновой культурой вплоть до I тыс. до н. э. (Жуковский П. М., 1971; Jarrige T. F. et al., 1980).

По данным В. Д. Блаватского (1953), полба известна на Таманском полуострове с V в. до н. э. Остатки *T. dicocum* времен III тысячелетия до н. э. обнаружены вблизи г. Ереван, а также на территории Грузии раскопками, проведенными К. А. Байбуртяном в 1936–1938 гг. Единичные зёрна полбы, относящиеся к концу IV – началу III тысячелетия до н. э., найдены в Грузии раскопками С. И. Надымвшвили вблизи г. Гори (Дорофеев В. Ф. и др., 1979). По мнению Н. И. Вавилова (1966), изучаемая культура распространялась из Передней Азии через Кавказ и Балканы в Европу. Считается, что сначала она появилась в Греции и Болгарии, к VI в. до н. э. достигла Карпатских гор, северного побережья Средиземного моря (Zaharieva M. S. et al., 2010).

В одном из первых поселений Швейцарии, где проводились археоботанические исследования, были обнаружены обугленные макрофоссии растений в отверстиях столбов, датированных IV в. до н.э., в составе которых преобладала пшеница в шелухе, полба (Örni Akeret, 2005).

Считается, что полба в России известна с каменного века. В южных регионах страны она появилась в VI–II тыс. до н.э., а в северо-западных – с I в. до н.э. (Гунькова П. И. и др., 2024).

Изучены многочисленные находки палеоагроботанических исследований добулгарских, болгарских и золотоордынских времен. На территории Волжско-Камской Булгарии и прилегающих к ней областях (юг Пермской области, Удмуртская Республика) на керамике были найдены отпечатки зерновок полбы, позднее в находках, относящихся к VI–X вв. встречаемость зерновок увеличивается на всем Среднем Поволжье и Предуралье. Посевы зерновых были смешанными (Туганаев А. В., Туганаев В. В., 2008; Трофимова С. С. с соавт, 2019).

П. М. Жуковский (1971) отмечает, что еще в XVIII в. полбу сеяли во многих губерниях России в средневропейской части, а также в Сибири. Преобладающие над другими яровыми культурами посевы были в Вятской губернии (Кировская область).

На территории СССР полба имела различные названия: «асли» – в Грузии; «атчар», «татча» – в Армении и Грузии; «пыри» – в Чувашии, «борай» – в Татарстане и Башкирии; «хаплыбудай» – в Крымской области; «оркиш», «лускница» – на

территории Украины (Дорофеев В.Ф и др., 1987). Наиболее известные названия *T. dicocum* в мире: «алас» – в Йемене и Омане; «амидонье» – во Франции; «эммер» – в Германии и Великобритании; «фарро» – в Италии (Zaharieva M. et al., 2010).

В Турции еще в 1927 г. эммер выращивался на 2 % посевных площадей. Посевы полбы в середине XX в. часто встречались в смеси с овсом в горных районах Кавказа на высоте 1 500 м (Жуковский П. М., 1971). В. Ф. Дорофеев (1972) упоминает о посевах полбы в горных районах Восточной Грузии, Азербайджана, Армении, а также на территории Татарстана, Удмуртии и Чувашии. Однако переход сельского хозяйства на курс интенсификации привел к сокращению площадей возделывания обыкновенной полбы в связи с более высокими урожаями, легкостью обмолота и переработки современных селекционных сортов яровой пшеницы (Zaharieva M. et al., 2010; Муслимов М. Г. с соавт., 2012; Семенов П. Г. и др., 2024).

По оценке современных ученых сегодня полба обыкновенная занимает всего 1 % от общей площади пашни в мире (Zaharieva M. et al., 2010). Тем не менее, в таких странах как Республика Индия, Йеменская республика, Федеративная Демократическая Республика Эфиопия полба по-прежнему является основной культурой для приготовления традиционных блюд, что связывают с консервативностью в питании как элементом национальной культуры. Распространение полбы в мире скорее имеет локальный, изолированный ареал на площадях, где другие зерновые культуры выращиваться не могут (Ćurna V. et al., 2017; Arzani A. et al., 2017).

На территории России на значимых площадях полба возделывается в Алтайском крае, в районах Закавказья, Дагестана, в Ростовской, Воронежской, Белгородской областях и Поволжье, Удмуртии, Чувашии, Татарии и Башкирии. Как видно на карте (рисунок 1) перспективы расширения площадей посевов полбы огромны. Ценные биологические особенности поддерживают интерес потребителя, неограниченный рынок сбыта и высокая цена реализации обеспечивают выгоду с экономической точки зрения. Почвенно-географические ресурсы нашей страны очень разнообразны, и культура полба как нельзя лучше подходит для диверсификации посевов в условиях, когда промышленные сорта яровой пшеницы

не могут реализовать свой продуктивный потенциал (неблагоприятные климатические или почвенные условия).



Рисунок 1 – Современное распространение полбы обыкновенной на территории Российской Федерации [составлен на основе обзора литературы]

1.2 Биологические и агрономические особенности возделывания полбы

Полба обыкновенная – (*Triticum dicoccum* (Schrank), Shuebel) – зерновая культура, широко распространенная на заре нашей цивилизации, полудикая группа видов пшеницы. Это однолетнее травянистое растение семейства Poaceae Barnhart (Мятликовые) или Gramineae Juss (Злаки).

В начале XX в. все известные на тот момент виды пшениц были разделены на три группы: однозернянки, полбы и спельты. Было определено, что однозернянки – диплоиды, полбы – тетраплоиды, а спельты – гексаплоиды (Кулуев А. Р. и др., 2016). Полба обыкновенная, или двузернянка, – имеет 28 хромосом, то есть она родственница твердой пшеницы (*T. durum* Desf.), спельта же имеет 42 хромосомы, то есть родственница мягкой пшеницы (*T. aestivum* L.). Во многих публикациях встречается отождествление названий «полба» и «спельта», что вносит недопонимание и неудобства. Еще Е. А. Столетова (1924) писала, что в России имеет распространение название полба – *T. dicoccum*, вместо «полуполба, двузернянка, эммер», а полба – *T. spelta*, – в России не встречается.

Современная классификация полб, которой придерживаются большинство ученых тритикологов, включает 4 подвида полбы обыкновенной, которые выделились по морфоэкологическим особенностям и ареалам произрастания и заметно отличаются друг от друга: 1) эфиопская полба (subsp. *abyssinicum* Vav.); 2) восточная полба (subsp. *asiaticum* Vav.); 3) европейская полба (subsp. *dicoccum* Vav.); 4) марокканская полба (subsp. *maroccanium* Flaksb.) (Дорофеев В. Ф. и др., 1979).

По результатам современных исследований «хромосомных паспортов» с использованием нейронных сетей искусственного интеллекта ряд исследователей разделили европейскую полбу на западноевропейскую и волжско-балканскую (Дедкова О. С. и др., 2009). Западноевропейские полбы имеют транслокации схожие с *T. dicoccum* из стран Турции, Ирана и Северной Африки, тогда как волжско-балканские произошли от другой популяции. В России чаще всего выращивается белоколосая остистая разновидность (*v. farrum* Baybe), отличающаяся от западноевропейских, иранских и индийских разновидностей, и поэтому ей дали название *T. dicoccum v. volgense* (Flaksb.) Tzvelev – волжская полба (Смутнев П. А., Маркова И. Н., 2019).

Многолетние исследования В. В. Мурашева и З. А. Морозовой (2018), проведённые на основе изучения вегетирующих растений различных подвигов *T. dicoccum*, показывают, что, несмотря на общий тип строения растений, каждый подвид обладает уникальной биологической ритмикой развития элементов метамеров – как главного побега, так и боковых побегов кущения.

Полба обыкновенная является ценнейшим материалом для проведения селекционных работ для скрещивания с мягкой и твердой пшеницами в качестве донора ценных хозяйственных признаков: устойчивости к болезням, непоражаемости шведской мухой и высокому содержанию белка (Мережко А. Ф., 2001; Юков В. В. и др., 2004; Пономарева М. Л., 2013; Тюнин В. А. и др., 2017). Благодаря деятельности Н. И. Вавилова были сохранены в коллекции ВНИИР местные сорта Поволжья и Кавказа (Смутнев П. А., Маркова И. Н., 2019). В дальнейшем, были созданы многие современные сорта пшеницы (Беспалова Л. А. и др., 2016; Смутнев П. А., 2019; Попова Н. М., 2024). По морфологическим, биологическим и хозяйственным признакам *T. dicoccum* в результате исследований А. Г. Крюковой

(2005) из 56 образцов полбы было выявлено 36 ценных признаков, рекомендованных для селекции в условиях Северо-Запада нашей страны.

В результате исследований биологических особенностей пленчатых и голозерных видов полб Н. А. Суриным и Н. М. Поповой (2016) особо выделены образцы для скрещивания с пшеницами твёрдой и мягкой: *Руно* – за продуктивное кущение и валовый сбор белка; *Белка* – за урожайность и число зерен главного колоса; *Д-733* – за коэффициент хозяйственной эффективности и др.

Все разновидности *T. dicocum* прошли развитие от дикой полбы (*T. dicocoides*) к культурной, а затем и к голозерным тетраплоидам. У всех полб имеется ломкий стержень с плоским колосом, двумя зерновками в колосе, что и определяет название «двузернянка». Зерновки очень плотно примыкают к оси колоса колосковыми чешуйками, благодаря чему обеспечивается сохранность зерновки от вредителей и повреждений, а также способствует лучшему проникновению и заглублению колоска в почву (Куркиев У. К., 2018). Окультуривание дикой полбы осуществлялось по линии утери спонтанной ломкости колосом и очень сильного одревеснения колосковой чешуи, которая и отвечает за трудный обмолот зерна. У культурных полб вымолот зерна менее трудный, чем у диких, колосья ломаются только при надавливании (Дорофеев В. Ф. и др., 1979). Дальше эволюция шла по пути приобретения еще более легкого вымолота зерна, упрочнения колоса и увеличения числа зерновок в колосе, что привело к появлению колосьев, у которых лицевая сторона шире боковой.

Полба обыкновенная чаще всего яровая культура, реже озимая. Колосья часто остистые, листья опушенные. Зерновка, сжатая с боков, удлинённая, стекловидная. Пленчатость обыкновенной полбы, по мнению некоторых авторов, равна примерно 25 % и не зависит от географического района произрастания (Крюкова Е. В. и др., 2014; Чугунова О. В. и др., 2015). Однако другие авторы отмечают, что плёнчатость сильно колеблется: например, в условиях Нижнего Поволжья – от 20–50 % (Смутнев П. А., Маркова И. Н., 2019). Масса 1 000 зерен у южных полб близка к пшенице твёрдой – 31 г (Крюкова Е. В. и др., 2014).

Мочковатая корневая система полбы обыкновенной способна лучше усваивать азот. На малопродуктивных землях, где высокопродуктивные сорта яровой пшеницы не способны выдавать свой максимум, культура полбы может стать хорошей зерновой альтернативой (Lacko-Bartosova M., 2015).

Рядом исследований отмечается устойчивость полбы к проволочнику. Степень устойчивости к видам головни и ржавчин отличается у разных экотипов. (Жуковский П. М., 1971). Так, к стеблевой и бурой ржавчинам более устойчивы закавказские и сирийские формы, чем эфиопские.

Отмечается и устойчивость *T. dicoccum* к холодному климату, её засухоустойчивость (Смутнев П. А., Маркова И. Н., 2019), особенно в начальный период развития (Сурин Н. А., 2016) и адаптированность к малопродуктивным землям (Cazzato E., 2013; Петров С. И., др., 2016; Попова Н. М., Чураков А. А., 2024).

Продолжительность периода вегетации выступает одним из основных признаков для рассмотрения возможности сева культуры в северных регионах. Растения должны обладать удлиненным периодом фаз «всходы – колошение» и одновременно укороченным общим периодом вегетации. В среднем вегетационный период у полб разных экотипов из коллекции ВИР в условиях Северо-Запада России длится от 81 до 104 дней (Крюкова А. Г., 2005). По этому показателю все экотипы полб характеризуются большим разнообразием. Наиболее скороспелыми были признаны марокканские подвиды из Индии и Эфиопии. Восточные подвиды созревали за 90–92 дня. Европейские подвиды были отнесены к среднеспелым, с продолжительностью вегетационного периода 95–104 дня. В условиях юго-востока продолжительность вегетационного периода образцов полбы из коллекции ВИР составляла 115–120 дней (Смутнев П. А., Маркова И. Н., 2019).

Исследованиями С. В. Петрова с соавт. (2014) установлено, что оптимальная норма высева для Предкамья Республики Татарстан 6 млн всхожих семян/га, в том числе и на фонах с применением удобрений. По мнению И. М. Сержанова и др. (2017), для той же зоны земледелия – 4 млн. всхожих семян/га и глубине заделке семян 4 см. В то же время в условиях Среднего Урала рекомендованная

норма высева составляет лишь 3,0 и 3,5 млн всхожих семян/га (Семерова Е. Б., Чулков В. А., 2022).

По данным Б. В. Романова с соавт. (2018), у полбы сорта *Руно* меньше выход зерна с колоса на $\frac{1}{3}$, если сравнивать с современной пшеницей твёрдой. Хотя в научной литературе встречается много данных о том, что в отдельные годы урожайность полбы превосходила по урожайности ячмень на 0,2–0,3 т/га и яровую пшеницу твёрдую сорта *Светлана* на 0,6 т/га (Крюкова Е. В. и др., 2014).

Наибольшая продуктивность среди экотипов полбы обыкновенной в условиях Северо-Запада России выявилась у европейских и восточных полб, тогда как марокканские и эфиопские были низко продуктивны и показали свою неадаптированность в исследованных условиях (Крюкова А. Г., 2005).

В настоящее время отсутствует всеобъемлющая статистика по площадям посева и урожайности полбы. Выделение её из структуры посевов яровой пшеницы не обязательно, носит лишь рекомендательный характер, что затрудняет сбор информации. В таблице 1 представлены собранные нами данные. Разброс урожайности по годам в Республике Татарстан объясняется и погодно-климатическими флуктуациями, и сортовыми особенностями, а в ряде районов используются несортовая полба, культивируемая ещё с прошлого столетия.

На основе анализа многолетних данных многими исследователями выявлена средняя корреляционная зависимость между урожайностью яровой пшеницы и осадками в весенне-летний период. Наиболее тесная связь выявлена с осадками за апрель-май (Курдюков Ю. Ф. и др., 2007; Давлятшин И. Д., Лукманов А. А., 2016). Значительное колебание осадков за вегетационный период, а также в целом по годам являются главными лимитирующими факторами в получении высоких стабильных урожаев всех зерновых культур, и, в частности, полбы.

Небольшие площади выращивания полбы чаще всего связывают с низким потенциалом её урожайности, ломкостью колоса и пленчатостью зерна (Сурин Н. А., 2016). Полбу обыкновенную часто относят к культуре органического земледелия, не требующей интенсивного внесения удобрений и проведения мероприятий по защите растений (Lacko-Bartosova M., Curna V., 2015; Kraska P. et al.,

2019; Гилев С. Д. и др., 2018). Низкую урожайность полбы соотносят с неадаптированностью сортов, низкой системой удобрений, а также необходимостью дополнительного шелушения зерна, что приводит к большим потерям урожая (Petrenko V. et al., 2018).

Таблица 1. Площадь посевов полбы (га) и урожайности (т/га) по районам Республики Татарстан (по данным филиала ФГБУ «Россельхозцентр» по РТ и управлений МСХиП РТ)

| Район | Год | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|------|------|
| | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 |
| Алькеевский | | | | | | | | | 100 | | | | | 75 |
| Альметьевский | | | | | | | | | | | | 67 | | |
| Арский | | | | | | 147 | 107 | | 121 | | | 93 | | |
| Буинский | | | | | | 15 | 100 | 153 | 350 | 249 | 245 | 345 | 152 | 100 |
| Высокогорский | | | | 10 | | | | | 20 | 118 | 224 | 308 | | |
| Елабужский | | | | 40 | 150 | 100 | 100 | | | | | | | |
| Заинский | | | | | | | 50 | | | 50 | 50 | | | |
| Кайбицкий | | | | 10 | 23 | 100 | | | | | | | | |
| Кукморский | 108 | 170 | 266 | 150 | 150 | 439 | 146 | 195 | 240 | 200 | 210 | 200 | 180 | 180 |
| Лаишевский | | | | | | | | 24 | | | | | | |
| Мамадышский | | | 200 | | | | | | | | | | | |
| Мензелинский | | | | | | | | | | | | | | 100 |
| Нижнекамский | | 25 | | | | | 27 | | | 5 | | | | |
| Тетюшский | | | | | | 65 | | | 50 | | | | | |
| Итого по РТ | 108 | 195 | 466 | 210 | 323 | 866 | 530 | 372 | 881 | 622 | 729 | 1 013 | 332 | 455 |
| Средняя урожайность, т/га | 1,0 | 2,2 | 1,9 | 1,5 | 2,3 | 2,2 | 2,3 | 3,2 | 2,1 | 2,2 | 2,4 | 1,3 | 2,7 | 2,1 |

Таким образом, полба обыкновенная – одна из древнейших культур. Тем не менее, до конца не выработаны общепринятые технологические приемы, учитывающие все биологические особенности полбы, достижения научно-технического прогресса, особенно в отношении питания растений, включая применение современных стимуляторов роста и препаратов биологического происхождения.

1.3 Нутрилогическая ценность зерна полбы (*Triticum dicoccum*)

Полба стала набирать популярность, когда люди стали задумываться о макро- и микронутриентном составе продуктов, о том, какую пользу принесет продукт,

если его добавить в свой рацион. Миллионы лет организм человека приспособился к определенным продуктам, к их составу, а полбу можно назвать «матерью» любой современной пшеницы. Она имеет наиболее адаптированный к нашему организму состав. В народе полба получила название «чёрная икра злаков». Попробуем выделить самые главные особенности её пользы для здоровья человека.

Встречающийся в литературе разброс данных по содержанию биологически активных веществ в зерне полбы объясняется почвенными условиями, географическим положением, сезонными колебаниями и агротехническими приемами возделывания (Селянинов Г. Г., 1960; Petkova Z. et al., 2019; Giambanelli E. et al., 2013; Dhanavath S. et al., 2017; Čurná V. et al., 2017; Кузнецова Е. А. и др., 2019; Гунькова П. И. и др., 2024). Исследователи отмечают, что полба обладает большим разнообразием форм и связывают это с очень длительным её выращиванием в разнообразных географических условиях.

Содержание белка полбы по разным данным колеблется от 8,7 до 22,9 % (Dhanavath S. et al., 2017; Гунькова П. И. и др., 2024). Например, у пленчатых сортов *Руно* и *Алькоран* чуть выше (13–18 %) по сравнению с голозерным *Грэмме* – 12 % (Зверев С. В. и др., 2016). В зарубежной литературе, например, у А. Р. Piergrovanni (1996), встречаются сведения, что валовый сбор белка у полбы был ниже (450 кг/га), чем у контрольной пшеницы (550 кг/га), хотя содержание белка в зерне было чуть выше, и сделано предположение, что высокий уровень белка определяется низкой урожайностью.

Огромный интерес представляет сбалансированность белка полбы по аминокислотному составу. По содержанию незаменимых аминокислот соотношение 29,7 % к белку, а заменимых – 70,3 % и по соотношению валина, лейцина, изолейцина, суммы метионина и цистеина вместе взятых приближается к «идеальному белку» (Крюкова Е. В., Лейберова Н. В., 2014). Из аминокислот *T. dicoccum*, выращенных в Греции, преобладают аргинин – 10,8–13,2 г/100 г белка), пролин – 8,7–13,0 г/100 г белка и тирозин – 8,3–9,2 г/100 г белка (Petkova Z. et al., 2019). В овсе и других злаках лимитирующими аминокислотами считаются лизин, затем треонин, иногда метионин, а в зернах полбы показатель их гораздо выше благодаря богатому альбуми-

нами и глобулинами алейроновому слою (Lacko-Bartosova M., Curna V., 2015; Kuznetsova E. et al, 2019). Наружный слой эндосперма зерна, образованный алейроновым слоем, также богат клетчаткой (35–40 % сухого вещества).

Разработаны рекомендации по использованию пророщенного зерна полбы в качестве добавок к мясным полуфабрикатам для обогащения рациона человека пищевыми волокнами и макро- и микроэлементами-, при этом коэффициент рациональности аминокислотного состава белка фарша приближается к идеалу 1 – эталону ФАО/ВОЗ (Нижельская К. В. и др., 2018).

Из макро- и микроэлементов основными по содержанию в зерне полбы выступают фосфор – 5,12 г/кг зерна, калий – 4,39 г/кг, цинк – 54 мг/кг, железо – 49 мг/кг и марганец – 24 мг/кг (Petkova Z. et. al., 2019). Т. В. Савин с коллегами (2018) отмечает, что примитивные виды пшениц *T. dicocum* и *T. dicoccoides* являются перспективным генетическим материалом по содержанию микроэлементов, особенно железа и цинка в зерне, являясь ценным ресурсом для улучшения современных сортов пшеницы.

По содержанию клетчатки имеются противоречивые данные. Некоторые авторы утверждают, что полба обыкновенная по содержанию пищевых волокон опережает современные сорта пшеницы (Curna V., Lacko-Bartosova M., 2015; Kuznetsova E. et al., 2019). Встречаются данные о меньшем количестве клетчатки у полбы в сравнении с новыми сортами пшениц (Shewry P. R., Hey S., 2015).

Самое главное, пониженный гликемический индекс зерна полбы подходит для больных диабетом (Lacko-Bartosova M., Ćurna V., 2017; Темирбекова С. К. и др., 2014). Голозерный сорт полбы *Греммэ* С. К. Темирбекова и др. (2014) рекомендуют включать в рацион детям, склонным к аллергическим реакциям, с заболеваниями печени, кожи, гиперактивностью, как это делают в Швейцарии в детских садах и лечебных учреждениях. В целом ряде исследований говорится о возможном применении полбы в диетическом питании у больных целиакией (Piergiovanni A. R., 1996; Удачин Р. А., 2002; Баженова И. А., 2004), но не всех видов полбы. Так, И. А. Баженова (2004) рекомендует использовать полбу, выращенную в Карачаево-Черкесии, а В. Г. Конарев и соавт. (2007) считают, что нужно исполь-

зовать только полбу из Эфиопии и Югославии в связи с отсутствием токсичного компонента а-6 в глинине. Незначительное содержание спиртовой фракции глиаина уменьшает токсическое действие на слизистую оболочку желудочно-кишечного тракта, что способствует уменьшению проявлений пищевых и дерматических аллергий, целиакии (Чугунова О. В., 2015; Кузнецова Е. А. и др., 2019).

Много исследований проводится в поисках разработок новых технологий в хлебопечении с использованием муки полбы. Технологические свойства муки полбы считаются более низкими при сравнении их с современными промышленными сортами пшеницы (Баженова И. А., 2004; Petrenko V., 2018). Возможно, поэтому нет массового использования полбяного хлеба, хотя в таких странах, как Италия и Турция такой хлеб традиционен. L. Kissing et al. (2017) предполагают, что низкое качество клейковины связано с отсутствием глютенина, входящего в состав белкового комплекса, который отвечает за эластичность и упругость теста. Однако, разработанный Е. А. Кузнецовой и др. (2019) хлеб из диспергированного зерна *T. dicoccum* сорта *Саратовский* показал улучшенные качества, он обладал значительно более высокой антиоксидантной активностью (ингибирование радикала DPPH 27,5 % против 9,8 % в контроле), а также был отмечен повышенный срок хранения такого хлеба. Повышенную антиоксидантную активность зерна полбы, повышенное содержание токолов и каротиноидов, полифенолов подтверждают и зарубежные исследователи (Kuznetsova E. et. al, 2019; Lachman J. et al., 2012). И. А. Баженова (2004) отмечает, что количество полифенолов в зерне полбы выше, чем в обычной пшенице почти в два раза (1 120–1 300 мг/кг). Y. Şahin и F. P. Karakas (2022) подчеркивают важность фенольных соединений и каротиноидов, присутствующих в древнейших сортах пшеницы, отмечая их способность снижать риск онкологических заболеваний благодаря выраженным антиканцерогенным свойствам. Отдельно выделяется наличие фолиевой кислоты, активно участвующей в процессах гемостаза и поддерживающей нормальную свёртываемость крови.

Появились разработки по производству изделий из ржаной муки с примесью полбяной на гречневой закваске (Иунихина Е. В., 2015; Хмелева Е. В., 2017), зернового полбяного хлеба с добавлением аскорбиновой кислоты (Хмелева Е. В. с

соавт., 2023). П. И. Гунькова (2024) рекомендует использовать пшеницу полбу в качестве сырья для альтернативных функциональных напитков.

В зерне *T. dicoccum* было обнаружено повышенное в 2,6–3,0 раза содержание стероидов, на 0,8–0,9 % выше β -ситостерина, выше жира, не содержащего кислот на 1,3–1,7 %, чем в зерне современных пшениц (Kuznetsova E. et al., 2019).

В последнее время на полках магазинов мы видим значительное количество синтетических продуктов. В противовес этому все больше добросовестных производителей пытаются внедрить в рацион питания современного человека давно забытые, ценные культуры, позволяющие дополнительно обогатить привычные продукты питания источниками витаминов и биологически активных веществ, расширить ассортимент полезных сортов хлеба – основного продукта питания народов мира на протяжении тысячелетий и других продуктов, обладающих профилактическими свойствами. Приверженцев здорового образа жизни с правильными пищевыми привычками становится с каждым годом все больше. В связи с этим, увеличение объемов производства зерна полбы на основе разработки системы удобрения имеет огромное как теоретическое, так и практическое значение.

1.4 Эффективность применения удобрений на посевах полбы

Процесс формирования урожайности любой культуры происходит под влиянием комплекса взаимодействующих между собой условий, которые влияют на величину и качество конечной продукции. Благодаря сочетанию влагообеспеченности, температурного режима и содержанию элементов питания (в основном, макроэлементов – азота, фосфора и калия) формируется уровень плодородия почв и продуктивность будущих агроценозов. Природными источниками азота в почве является атмосфера, а источниками макро-, микро- и мезоэлементов – горные породы и минералы. В процессе естественного выветривания, разрушаясь, они выделяют доступные элементы питания для корневых систем растений. Во всем мире вторая половина XX в. и начало XXI в. отличаются постепенным увеличением урожайности сельскохозяйственных культур, что связано с сопутствующим уве-

личением численности населения, доходов, а также климатическими изменениями (Baffes J, Etienne X, 2024). Понимание глобальных тенденций развития сельского хозяйства особенно важно для обеспечения национальной продовольственной безопасности, критерием которой служит снабжение населения продуктами собственного производства на 80 % (Монастырский О. А. и др., 2016).

Рост выноса элементов питания из почвы приводит к снижению ее потенциального и эффективного плодородия и падению качества продукции. Только рациональная система применения удобрений с учетом агроландшафтной типизации может решить проблемы оптимизации питания сельскохозяйственных культур и поддерживать плодородие на стабильно высоком уровне без нанесения ущерба окружающей среде.

В настоящее время накоплен значительный материал по вопросам эффективного использования удобрений на посевах пшеницы мягкой и пшеницы твердой. При этом сведений в научном сообществе о применении минеральных удобрений на посевах полбы обыкновенной не очень много. Попробуем проанализировать найденную в открытой печати информацию.

Одним из основных показателей, определяющих нормы внесения удобрений под возделываемую культуру, является величина выноса питательных веществ. На серых лесных почвах Предкамья Республики Татарстан были уточнены параметры выноса основных элементов питания с 1 т зерна полбы-двузернянки с учетом выноса соответствующего количества побочной продукции: 34,7...38,9 кг азота (N), 2,8...3,7 кг фосфора (P_2O_5) и 15,9...18,5 кг калия (K_2O) (Амиров М. Ф. и др., 2024). При этом наибольшая прибавка 0,42 т/га на посевах полбы *Руно* (19 % к контролю) была получена при внесении расчётной нормы минеральных удобрений на планируемую урожайность 3,0 т/га зерна.

В многолетних исследованиях Ф. Ш. Шайхутдинова с соавт. (2018), применение удобрений на серых лесных почвах на сорте полбы *Средневолжская* не оказало влияния на сроки появления всходов, а также отмечена их невысокая эффективность при внесении их в острозасушливые годы.

Вместе с тем в полевых опытах С. В. Петрова (2015) была установлена хорошая отзывчивость полбы голозерной сорта *Гремме* на применение расчётных норм минеральных удобрений на 2 и 2,5 т/га зерна в условиях Предкамской зоны Республики Татарстан; прибавка урожайности составила 0,18–0,30 т/га. Отмечено увеличение чистой прибыли и улучшение и качественных показателей зерна.

Исследования других учёных нашего региона по совместному применению минеральных удобрений с различными дозами птичьего помёта под предпосевную культивацию показали, что наибольшая продуктивность зерна пшеницы-двузернянки (2,32 т/га с содержанием белка 15,5 %) зафиксирована на фоне $N_{16}P_{16}K_{16} + 200$ кг/га птичьего помёта (увеличение валового сбора белка с единицы площади на 39,7 % выше контроля) (Даминова А. И. и др., 2024).

В полевых опытах П. Г. Семенова и М. Ф. Амирова (2024) в Предкамской зоне Республики Татарстан с внекорневыми подкормками карбамидом на фоне внесения удобрений под урожайность 3,0 т/га увеличилась сохранность растений, продуктивность и длина стеблей. Прибавка урожайности зерна по сорту *Руно* составила 0,10 т/га, а по образцу *к-10456* – 0,67 т/га. У сорта *Руно* было отмечено увеличение содержания незаменимых аминокислот на 68,5 %_{отн.} по сравнению с контролем.

В условиях Северо-Запада Российской Федерации на дерново-подзолистых почвах максимальная урожайность полбы сорта *Псковитянка* была получена в среднем за два года на фоне минерального питания $N_{90}P_{90}K_{90}$ при посеве во второй декаде мая нормой высева 5 и 6 млн всхожих зёрен/га (2,51 и 2,58 т/га соответственно). Увеличение нормы удобрений до $N_{120}P_{120}K_{120}$ приводило к снижению до 3,3 и 3,7 кг окупаемости НРК прибавками урожая зерна (Дятлова М. В. и др., 2023). Исследованиями элементов агротехники возделывания полбы сорта *Псковитянка* на фоне минерального питания $N_{60}P_{60}K_{60}$, $N_{90}P_{90}K_{90}$, $N_{120}P_{120}K_{120}$ в Псковской области в 2019–2023 гг. установлена невысокая эффективность применения удобрений. Прибавки урожайности от их внесения составили от 0,15 до 0,34 т/га с оплатой 1 кг д. в. туков в 0,83–1,26 кг зерна (Шайкова Т. В. и др., 2024).

В условиях южной лесостепи Западной Сибири Л. В. Тарасовой с соавт. (2019) проводились опыты по установлению оптимальной нормы высева, срока

сева и отзывчивости полбы сорта *Руно* на внесение $N_{12}P_{52}$ в форме аммофоса. Внесение удобрения увеличивало урожайность в среднем за три года на 0,32 т/га зерна с оплатой 5,0 кг зерна на 1 кг д. в. удобрений.

Анализ доступной зарубежной научной литературы свидетельствует о крайне малых сведениях по применению минеральных удобрений на посевах древних видов пшениц. Так, некорневая обработка посевов *Triticum aestivum* spp. *spelta* L. водными растворами сульфатов Cu, Zn, Mn в Польше на бурой почве на фоне внесения $N_{90}P_{30.2}K_{83.1}$ в первый год не оказала существенного влияния на урожайность культуры, что связывают с погодными условиями. В последующем было отмечено увеличение валового сбора зерна на 0,26–0,51 т/га. Также отмечалось увеличение содержания Mg, Fe, Ca, Mn и Zn в самом зерне, увеличилось содержание высокомолекулярных и низкомолекулярных глютеинов, но снизилось содержание глиаина (Wojtkowiak K., Stępień A., 2015).

Исследования хорватских ученых А. Pospíšil и М. Pospíšil (2021) на трёх сортах спельты показали, что подкормка органическими удобрениями N_{90} незначительно влияет на общую урожайность полбы, хотя наблюдается положительная динамика в условиях недостатка влаги.

1.5 Биопрепараты в технологии возделывания зерновых культур

Современные высокопродуктивные сорта и высокоэффективные технологии возделывания в совокупности приводят к тому, что вынос элементов питания из почвы не компенсируется полностью, и складывается отрицательный баланс основных питательных элементов. Так, по данным Татарского филиала ФГБУ «РосАгрохимслужба» с 2000-х гг. в Республике Татарстан ни по одному из элементов НРК нет 100 % восполнения. Эта тревожная тенденция говорит о постепенном истощении почвенного плодородия, что в дальнейшем неминуемо приведет к снижению урожайности сельскохозяйственных культур. Например, если по Российской Федерации объем применения минеральных удобрений с 1990–2017 гг. уменьшился с 88 до 42 кг/га (Кудеяров В. Н. и др., 2017), то по Республике Татарстан – с

134,2 до 71,8 кг д. в./га пашни (Справочник агрохимика Республики Татарстан, 2024). Поэтому ведётся постоянный поиск новых малозатратных источников пополнения питательных элементов почвы, включая современные биопрепараты.

В настоящее время все больше хозяйств внедряют элементы адаптивно-ландшафтного земледелия, определение и концепции которого были заложены В. И. Кирюшиным (1993, 2011). В основе его лежит максимальное использование природного потенциала местности. Устойчивость производства должна быть обеспечена максимально экологичными методами с учетом воспроизводства почвенного плодородия. По этой причине регулирование почвенно-микробного сообщества выходит на первую позицию.

С другой стороны, применение только минеральных удобрений химического происхождения не может обеспечить экологическую безопасность продукции и окружающей среды и существенно повышает себестоимость производства продуктов питания. Внедрение элементов биологизации земледелия предполагает эффективное взаимодействие растений с почвенно-биологической средой. Образование почвы и изменение её основных свойств, обеспечивающих плодородие, тесно связаны с деятельностью живых организмов, обитающих в ней. Этот процесс определяется взаимодействием мезоорганизмов, таких как дождевые черви, насекомые и их личинки, а также микрофлоры и микрофауны, включающей микроорганизмы. Все вместе они создают сложную экосистему, в которой происходят процессы разложения органических веществ, формирование гумуса и улучшение структурно-агрегатного состава почвы, что непосредственно влияет на её плодородие (Биологизация земледелия России, 2000; Парахин Н. В., 2002).

Отмеченная выше проблема может быть отчасти решена на основе широкого использования микробиологических препаратов, интерес к которым неуклонно растёт во всем мире, и Российская Федерация в этом вопросе не исключение. Расширяются знания о взаимодействии внутри системы микроорганизмы – растения – почва. Благодаря этому можно сокращать применение азотно-фосфорно-калийных удобрений, пестицидов, сглаживать стрессовые реакции растений на окружающие условия и в целом «оздоравливать» почву.

По некоторым данным применение микробиологических препаратов в России позволяет экономить в год до 1 млн т азотных удобрений, дополнительно собирать до 3–4 млн т белка, в 2 раза сокращать применение агрохимикатов (Чухина О. В., Суров В. В., 2014).

Известно, что только около 5 % фосфора от общего его объема в природе находится в доступном состоянии. Благодаря взаимодействию с эндофитами бактериального и грибного происхождения растения способны преодолевать проблему нехватки фосфора, превращая труднодоступные формы элемента в доступные с помощью ферментов фосфатаз и органических кислот (Максимов И. В. и др., 2011). Более того, стоит упомянуть о способности таких препаратов задерживать поступление в продукцию тяжелых металлов и радионуклидов, оценить экономически в масштабах страны – это затруднительно, но однозначно ценно. На зерновых культурах эффективность биопрепаратов считается равной 16–33 %, на технических культурах – 12–28 %, на овощных и бобовых – 18–45 % (Тихонович И. А. и др., 2005), в системе органического земледелия – 10–15% (Ибатуллина Р. П. и др., 2023).

Минеральный азот по-прежнему является одним из основных элементов, лимитирующих урожайность (Завалин А. А., 2005; Гамзиков Г. П., 2013; Сычев В. Г., Кирпичников Н. А., 2009; Соболева О. М., 2018). Например, почти весь азот в естественных сельскохозяйственных угодьях до 70–90 % азота пашни фиксируется симбиотическими, ассоциативными и свободноживущими микроорганизмами из атмосферы.

Кратко рассмотрим изучение прикорневой зоны растений в ретроспективе. Впервые термин ризосфера был использован немецким ученым Лоренцем Гильтнером в 1904 г. для обозначения зоны между растением и почвой, населенной микроорганизмами (ризосфера – с греч. *rhiza* – корень) (Lynch J. M., 1994). Позже, в 1926 г., русским исследователем С. П. Костычевым была обнаружена азотфиксирующая бактерия *Azotobacter* в прикорневой зоне растения табака. Она относится к свободноживущим и является индикатором оценки благоприятности почвенных свойств (Гордеева Т. Х. и др., 2012). И лишь в 50–70 гг. XX века в мире

началось углубленное изучение взаимоотношений почвенно-микробных сообществ (Феоктистова Н. В. и др., 2016).

В Канаде были проведены массовые исследования по выделению популяций симбиотических бактерий, и сделана оценка количественных показателей. В 70-е годы прошлого века благодаря ученым из СССР появились первые бактериальные препараты, растворяющие почвенные фосфаты. В 70–90 гг. были открыты новые факты взаимодействия: положительное влияние вторичных метаболитов в качестве стимуляторов роста растений и антибиотиков (Barber D. A., Lynch J. M., 1977; Lynch J. M., 1994; Кожемяков А. П., Белимов А. А., 1991). На протяжении долгих десятилетий в России были попытки применять микробиологические препараты, но широкое использование они не нашли (Сабилова Т. П., Сабиров Р. А., 2018).

Все органы растений являются нишами для образования сообществ с микроорганизмами. В процессе фотосинтеза высшие растения выделяют органические кислоты и углеводы, которые являются питательным субстратом для бактерий. Микроорганизмы проникают внутрь растений, заполняя межклеточные пространства, образуют эндофитные сообщества (Bezzubenkova O. E., 2012). Каждое растение в мире является хозяином для одного и более эндофита (Чеботарь В. К. и др., 2016). Но наиболее заселенной микроорганизмами является подземная часть растений, это связано с экзосмосом – выделением корнями кислот, сахаров, витаминов, аминокислот, нуклеозидов (Емцев В. Т., Мишустин Е. Н., 2006). Выделяют микроорганизмы, населяющие поверхность корня – микрофлора ризоплана и прилегающее пространство к корню – микрофлору ризосферы. Количество бактерий в них превышает количество в окружающей почве в сотни раз, до 10^{10} шт./г почвы (Vacheron J. et al., 2013). Взаимодействие ризосферных бактерий не образует с растением клубеньков, а образует специфические прочные ассоциации, поэтому их еще называют «ассоциативными бактериями», а такие отношения «ассоциативные взаимоотношения» (Умаров М. М., 1986).

Чаще всего среди diaзотрофов, ассоциированных с корнями растений, встречаются роды бактерий *Azospirillum*, *Acetobacter*, *Agrobacterium*, *Azotobacter*,

Herbaspirillum, Pseudomonas, Enterobacter, Klebsiella, Flavobacterium, Campylobacter (Алесина Н. В., 2010).

Установлено, что растения с помощью выделений корнями растений ферментов влияют на биологическую и биохимическую активность корнеобитаемого слоя почвы, активизируют микробиологическую активность, а значит, и регулируют состав микрофлоры, ее количество и динамические свойства (Мергель А. А. и др., 1996; Хомяков Ю. В., 2009). В свою очередь, активность и выделение тех или иных ферментов напрямую зависит от интенсивности фотосинтетических процессов, дыхания, наступления фенологических фаз растений (Кумаков В. А., 1971; Zheng M. et al., 2021). Т. Х. Гордеева (2012) с соавторами выявили рост численности состава микробного сообщества актиномицетов, целлюлозоразлагающих бактерий от фазы кущения до полной спелости пшеницы. Максимальное количество аэробных гетеротрофов, олигонитрофилов, азотфиксаторов в ризосфере было отмечено в фазе колошения пшеницы, что связывают с интенсивным питанием растений в этот период. Ряд зарубежных ученых (Zheng M. et al., 2021) в ходе своих исследований также утверждают, что максимальное разнообразие микробных сообществ и их количество в ризосфере пшеницы в замкнутом пространстве наблюдается на стадии кущения, заметные изменения в составе микробиома также наблюдались на стадии созревания, когда функциональные выполняемые ими свойства уже не играют такой важной роли, на первый план выходит функция «трансмембранного транспорта» веществ.

Изучение изменения в соотношении численности разных штаммов бактерий во время роста и развития растений имеет большое значение не только для создания оптимальных условий для растений, создания новых микробиологических препаратов для конкретных культур, но и в целях прогнозирования получения продукции.

В 1978 г. Джозефом Клоппером и Милтоном Шротом был введен термин PGPR (Plant Growth Promoting Rhizobacteria) для характеристики дружественных почвенных бактерий, способствующих росту растений (Basu N. et al., 2021). Механизм действия PGPR сильно зависит от типа и вида растения-хозяина (García-

Fraile P. et al., 2015), от биотических факторов – стадии развития, генотипа, состава микробиома почвы и от абиотических факторов – типа и подтипа почв, климатических условий. При изменении хотя бы одного из перечисленных параметров системы изменится и характер взаимодействия между ними, а значит, и продукционный процесс формирования урожая (Бердников В. В., 2002; Сологуб Д. Б., 2005; Шотт П. Р., 2007; Беззубенкова О. Е. и др., 2012; Прошкин В. А., 2012).

Предпосевная обработка семян ячменя ассоциативными штаммами ризобактерий на черноземе обыкновенном доказано приводила к увеличению численности аммонификаторов, минерализаторов гумуса, микромицетов, целлюлозоразлагающих микроорганизмов, актиномицетов и нитрификаторов, но вследствие антагонизма уменьшалось количество азотобактера. Иннокуляция стабилизировала процессы накопления гумуса в почве и уменьшала отрицательное воздействие азотных удобрений (Чевердин А. Ю. и др., 2019).

Отмечено рядом исследований положительное влияние ризосферных бактерий на повышение барьерной функции корней растений к действию соединений тяжелых металлов, увеличивалось содержание подвижных форм меди, никеля, свинца, цинка и железа, связанных с органическим веществом почвы, уменьшалось содержание меди и цинка в зеленых частях растений (Плеханова И. О. и др., 2022).

Обработанные PGPR растения имеют большую стрессоустойчивость. За счет стимуляции выработки растениями антиоксидантных ферментов, которые участвуют в расщеплении активных форм кислорода, ризобактерии также увеличивают соотношение K^+/Na^+ , что повышает устойчивость к засолению почв (Paul D., Lade H., 2014).

Как показывает практика полевых и вегетационных опытов, прибавка урожайности на посевах зерновых культур от применения PGPR может сильно варьироваться: от нуля до 0,91 т/га (Алферов А. А., 2017).

Следует особо отметить, что обработка семян биопрепаратами совместно с применением удобрений обеспечивало максимальную прибавку урожайности на таких культурах, как яровая пшеница мягкая, ячмень, овес, картофель и кукуруза. Повышалась полевая всхожесть, высота растений, площадь поверхности листьев,

увеличивалось содержание сухого вещества, жира, крахмала, сырого протеина (Сабирова Т. П., Сабиров Р. А., 2018).

В микрополевых опытах при инокуляции семян ячменя и ярового рапса бактериями рода *Pseudomonas* урожай увеличивался при внесении увеличенных доз азотных удобрений. Вегетационные опыты показали увеличение биологического азота в растениях (Шабаев В. П., 2011). Внесение оптимальных доз NPK совместно с инокуляцией семян увеличивало урожай корнеплодов в 1,5–3 раза (Шабаев В. П., 2004). Таким образом, инокуляция не может быть альтернативой минеральному питанию, но может быть одним из факторов уменьшения применяемых доз удобрений.

На основе корреляционного анализа выявлена положительная связь между эффективностью применения биопрепаратов и содержанием гумуса, кислотностью почвы и гидротермическим коэффициентом в мае. Наибольшая прибавка урожайности зерна на дерново-подзолистой почве (до 0,3 т/га) была получена при рН, близкой к нейтральной и ГТК 1,0–1,3. При больших или меньших значениях ГТК эффективность ассоциативных бактерий снижалась (Виноградова Л. В., 1999, Алферов А. А., 2017).

За перемещением азота помогает следить использование изотопа ^{15}N . Так, в опытах Д. Б. Сологуба (2005) было установлено, что инокуляция семян Ризоагрином на низкоплодородной почве никак не повлияла на использование азота удобрений, но увеличивала его использование на более плодородных почвах. По данным других исследований (Алферова А. А. и др., 2016) коэффициент использования азота из аммиачной селитры достигал 56 % при совместном применении азотного удобрения и Ризоагрина. Вынос азота увеличивался на 25 % на фоне РК, и на 18 % – в варианте с NPK.

Отклик на применение биопрепарата Ризоагрин на посевах яровой пшеницы был разным в зависимости от сорта и дозы азотного удобрения (Виноградова Л. В., 1999). Но стоит отметить, что эффект не всегда был положительным (Гилязов М. Ю. и др., 2007). Некоторые ученые отмечали незначительное повышение урожайности, но при этом весомого влияния на качество урожая отмечено не было (Завалин А. А., 1998). Инокуляция семян пшеницы Ризоагрином увеличивала

массу 1 000 зерен у пшеницы, однако при этом снижался показатель натурности (Лекмцев П. В., 2002).

Л. В. Виноградова (1999), И. А. Тихонович, А. А. Завалин (2016) считают, что при вовлечении биологического азота с помощью ассоциативных бактерий агроценозы получают дополнительно от 30 до 60 кг азота воздуха.

В опытах В. В. Бердникова (2002) в Республике Марий Эл ассоциативные диазотрофы увеличивали продуктивность яровой пшеницы на всех фонах минерального питания содержание в зерне клейковины на 0,2–1,4 %, сырого белка – на 0,3–0,9 %. Л. П. Степанова и др. (2013) совместно с коллегами в своих исследованиях отмечала положительный эффект от использования биопрепаратов на посевах яровой пшеницы совместно с микроудобрениями даже на фоне экстремальных погодных условий 2010 г. (+0,53 т/га к контролю). Зафиксировано положительное влияние биопрепаратов на все структурные элементы урожая.

Семена яровой пшеницы, обработанные микробиологическими препаратами на серой лесной почве, показали наибольший прирост урожайности на фоне применения минеральных удобрений. Один килограмм д. в. внесенных удобрений обеспечил прибавку до 3,76 кг зерна (Амиров М. Ф. и др., 2017).

При использовании любых биологических препаратов следует изначально правильно оценить биологическую активность почвы, лучше всего провести микробиологический анализ. Установлено, что эффективность от применения PGPR выше на почвах с низкой азотфиксирующей активностью. При этом увеличивается вынос зольных элементов и улучшается качество продукции, а на почвах с высокой активностью может не быть должного эффекта (Шабаев В. П., 2004). Кроме того, нередко ответная реакция растений на предпосевную обработку семян биопрепаратами оказывается слабой и противоречивой. Одним из ограничивающих факторов является низкая воспроизводимость реакций растений (Шабаев В. П., 2004, Skonieski F. R., 2017, Алферов А. А., 2020).

Вышеотмеченные противоречивые результаты исследований по применению агрохимикатов и биологических препаратов объясняются также и тем, что территория нашей страны раскинулась в разных почвенно-географических зонах с разными фак-

торами внешней среды, определяющими эффективность ведения сельского хозяйства. И задача ученых определить оптимальную систему питания для каждой культуры в каждой агроклиматической зоне, в том числе и для полбы (двузернянки).

Информации об инокуляции биопрепаратами семян полбы для улучшения минерального питания растений недостаточно. Так, национальная библиографическая база данных научного цитирования (РИНЦ), включающая более чем 79 млн источников, по запросу о применении биопрепаратов для инокуляции семян полбы выдаёт чуть более десятка публикаций. При этом, они выполнены с использованием вегетационного метода исследований (Кондрат С. В., 2006, 2007, 2021; Лебедев В. Н. и др., 2021а, 2021б; Чумакова А. Н., 2022, 2023). Так, в исследовании С. В. Кондрат (2007) в четырехлетнем вегетационном опыте на дерново-слабоподзолистой почве в условиях Ленинградской области отмечена положительная роль обработки семян полбы ассоциативными diaзотрофами. Зафиксировано увеличение всхожести до 13 % и на 8–67 % усиление роста первичных корней в длину. Установлено, что внесение возрастающих доз азотных удобрений совместно с применением бактериальных препаратов увеличивало чистую продуктивность фотосинтеза, накопление биомассы и урожайность зерна (на 6–23 %), что эквивалентно внесению 30 кг/га д. в. азота. Содержание азота в зерне при этом увеличивалось на 8–10 %, а содержание калия существенно не изменилось. Был установлен оптимальный фон для дерново-слабоподзолистых почв – $N_{60}P_{60}K_{60}$. Дальнейшее увеличение дозы азота не приводило к повышению урожайности и качества зерна.

В связи с этим целью наших исследований стало изучение эффективности применения полных расчётных норм минеральных удобрений, биопрепаратов-диазотрофов и аминокислотного биостимулятора при предпосевной обработке семян полбы на урожайность полбы и её качество.

2 ОБЪЕКТЫ, УСЛОВИЯ И МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

2.1 Географическое положение и природные ресурсы района исследований

Республика Татарстан находится в центральной части России, на просторах Восточно-Европейской равнины, в уникальном географическом месте, где соединяются две величайшие европейские реки – Волга и Кама. Общая площадь земель Республики Татарстан по данным на 1 января 2024 г. составила 6 783,7 тыс. га, из них земли сельскохозяйственных угодий – 4 292,4 тыс. га (68 %). На долю пашни приходится 3 255,9 тыс. га (75,8 %), пастбищ и залежей – 898,4 тыс. га (20,9 %), сенокосов – 126,5 тыс. га (2,94 %), многолетних насаждений – 29,6 тыс. га (0,68 %) (Государственный доклад..., 2024).

Территория Республики Татарстан делится на четыре сельскохозяйственные зоны, исходя из геологического строения, климатических, почвенных и производственных особенностей: Предкамская зона, Предволжская зона, Западно-Закамская зона и Восточная с Юго-Восточной зоной (Трофимов Н. В. и др., 2019) (рисунок 2).

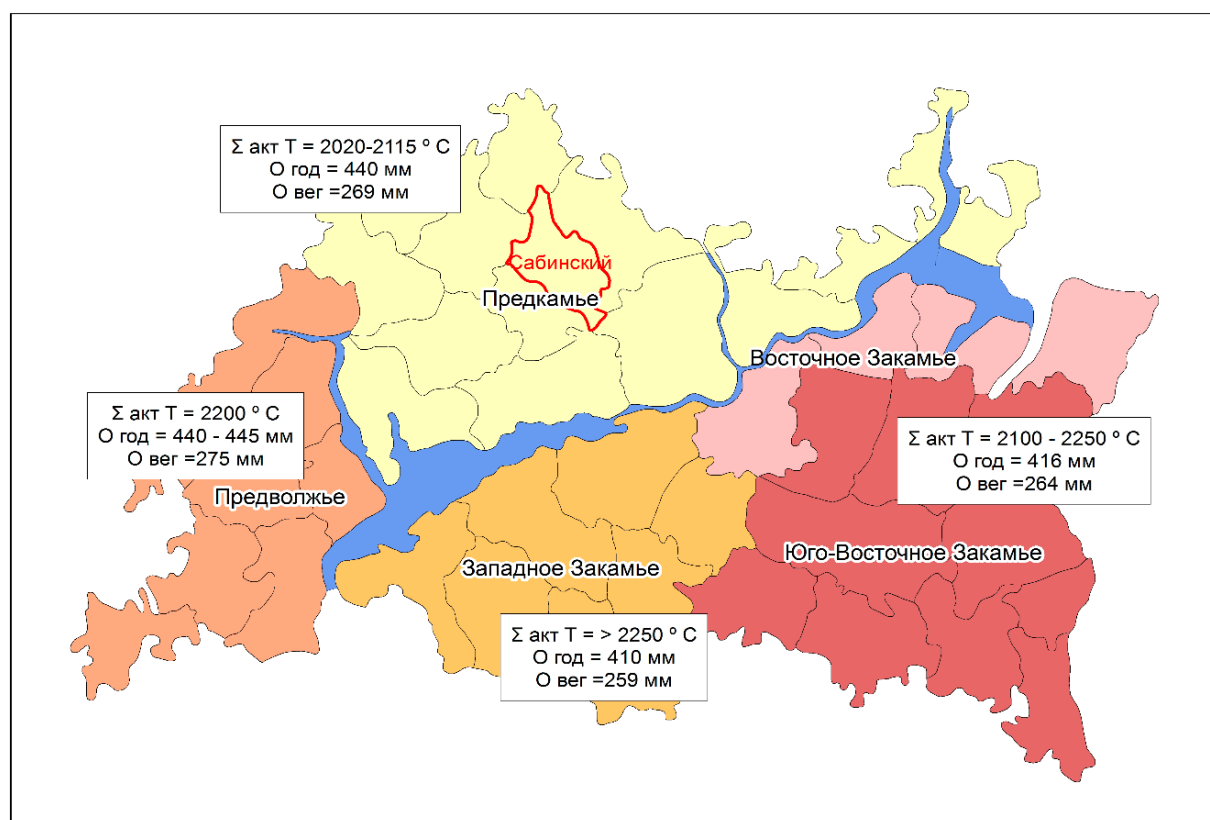


Рисунок 2 – Характеристика климатических условий по зонам Республики Татарстан

Сабинский муниципальный район (место проведения исследований) занимает восточную часть Западного Предкамья. С севера он граничит с Балтасинским муниципальным районом, на западе – с Арским и Тюлячинским районами, на востоке – с Кукморским, на юге – с Мамадышским и Рыбно-Слободскими районами.

Район располагается в верховьях бассейна реки Мёша. Территория представлена холмистой равниной, рассечённой речными долинами на обширные и пологие возвышенности, которые, в свою очередь, расчленены балками и долинами малых рек на отдельные гряды и мягкие холмы.

В рельефе выделяются четыре водораздела: 1) северный – между верховьями р. Мёши и уходящими на юг притоками; 2) западный – между реками Мёша и Сабинка; 3) юго-восточный – между притоками рек Казкаш и Иныш; 4) центральный – между притоками рек Сабинка и Канзаш. Все водоразделы плоские и возвышаются над уровнем моря на 150–180 м (Батыев С. Г., Ступишен А. В., 1972)

Величина эрозионного расчленения составляет от 0,2 до 0,5 км/км², против 1 км/км² в среднем по Республике Татарстан. На склонах долин и оврагов обнажаются отложения казанского яруса, состоящие из доломитов и известняков светло-серого цвета, реже – глины, песчаники и мергели серовато-бурой окраски. Четвертичные отложения представлены элювиальными и делювиальными средне- и верхнечетвертичными отложениями. Древние коренные породы пермской системы в основном представлены делювиальными суглинками, супесями и песками, реже из лёссовидных суглинков (Ландшафты Республики Татарстан, 2007).

Климат района умеренно континентальный, характеризующийся теплым летом, холодной зимой и достаточным количеством осадков. Среднегодовая температура воздуха составляет +2,8 °С, июльская достигает +19,4 °С, январская –13,8 °С. Среднегодовое количество осадков – около 417 мм, причем на восточной стороне района этот показатель увеличивается до 476 мм. Годовая продолжительность солнечного сияния – 2 017 часов.

Весной снег окончательно исчезает в середине апреля, а земля прогревается, подсыхает и становится готова к началу полевых работ к 5 мая. Возврат холодов весной возможен вплоть до середины июня. Весенний сезон сопровождается

быстрым ростом температуры. Количество выпадающих осадков за май-июнь в среднем 90 мм. Сумма активных температур выше 0 °С в течение года составляет около 2 550 град., выше 5 °С – 2 500 град., выше 10 °С – 2 150 град. Гидротермические коэффициенты Г. Т. Селянинова (ГТК) сезона: теплый период – 0,9–1,0, весна – лето (май – июнь) – 0,65. За теплое полугодие выпадает около 220–250 мм осадков. Период активного роста растений длится около 172 дней.

Осенью начинается господство циклонической погоды, сопровождаемой ветрами скоростью около 5,5 м/сек. Заморозки появляются уже в сентябре в первой декаде, осенью влажность воздуха повышается до 80 %, и в конце ноября выпадает первый снег. Устойчивый снежный покров формируется во второй декаде декабря и сохраняется около 150 дней. Высота снега достигает 35 см вблизи р. Камы и 45 см в северных частях района. Глубина зимнего промерзания почвы – около 90 см (Климатические условия..., 2008).

Общие климатические условия благоприятны для культивирования широкого спектра сельскохозяйственных растений, в том числе и полбы.

Почвообразующие породы района представлены большей частью карбонатно-песчанисто-глинистым элювием татарского яруса верхнепермских отложений, занимающих водоразделы и приводораздельные части склонов. Преобладающим гранулометрическим составом является глинистый и тяжелосуглинистый (80,7 %), с участками развития почв легкосуглинистого состава. Процесс почвообразования в районе обусловлен зональным географическим положением на стыке лесной и лесостепной зон, в основном под действием лесной растительности с формированием подзолистого типа почв. Небольшая влагоемкость почвообразующих пород также способствует быстрому развитию водной эрозии.

Сельскохозяйственные угодья Сабинского муниципального района на 01.01.2024 г. составляют 65,5 тыс. га (59,7 % от общей площади), из них площадь пашни – 57,3 тыс. га, 7,7 тыс. га – пастбищ и 0,5 тыс. га – сенокосов.

В таблице 2 представлены данные почвенного покрова в целом по Республике Татарстан, а также по Предкамской агропроизводственной зоне и по Сабинскому району – месту проведения исследований.

Таблица 2. Распределение основных типов почв по зонам

| Регион, район | Площадь | Тип почвы | | | | |
|--------------------------|---------|---------------------------------|----------------------------------|--------------------|-----------------------|--------|
| | | П ^д ₁₋₂₋₃ | Д ^{оп.в.т} _к | Л ₁₋₂₋₃ | Ч ^{оп. в. т} | другие |
| Сабинский район, тыс. га | 65,6 | 15,1 | 3,3 | 45,3 | 0 | 2,0 |
| % | 100,0 | 23,0 | 5,0 | 69,1 | 0 | 2,9 |
| Предкамье, тыс. га | 1 278,5 | 231,2 | 58,2 | 902,6 | 4,3 | 82,4 |
| % | 100,0 | 18,1 | 4,6 | 70,6 | 0,3 | 6,4 |
| Республика, тыс. га | 4296,4 | 282,9 | 125,2 | 1 843,8 | 1 742,9 | 302,0 |
| % | 100,0 | 6,6 | 2,9 | 42,9 | 40,6 | 6,9 |

Примечание. П^д – дерново-подзолистые почвы; Д – дерновые; Л – серые лесные; Ч – черноземы

Таблица 2 составлена по архивным почвенным данным, имеющимся в Татарском филиале ФГБУ «РосАгрохимслужба», расширенная её версия изложена в «Справочнике агрохимика РТ» (2024). Доминантным типом почв в Сабинском районе являются серые лесные почвы (69,1 %), из которых основная доля приходится на светло-серые почвы (71,9%). Субдоминантными почвами являются дерново-подзолистые, из них 93,5% относятся к дерново-слабоподзолистым. На долю аллювиальных пойменных почв приходится 5 %. Данное распределение почвенных разностей характерно в целом для Предкамской зоны республики.

Коллектив казанских ученых, проанализировав агроклиматические условия за последние 55 лет, пришли к выводу, что сумма активных температур в целом по республике растёт со скоростью 51–77 °С за 10 лет, увеличивается продолжительность вегетационного периода за счёт прихода более ранней весны и более позднего наступления осени, повышаются значения суммарной радиации, а осадки имеют неоднородный характер (по одним метеостанциям наблюдается рост, по другим – уменьшение). В целом же приход и расход влаги примерно равен, со слабой тенденцией к засушливости (Переведенцев Ю. П. и др., 2008, 2022). По данным других ученых, за 1976–2020 гг. обнаружилась достоверная тенденция убывания осадков за май – июнь на 6 % и за август – сентябрь – на 11 % и ГТК Селянинова по республике вышел из интервала слабозасушливого (0,9–1,0) и вошёл в зону засушливости (0,8) (Шайтанов О. Л. и др., 2021). Это значит, что глобальное потепление не миф, а грядущая реальность, и системы адаптивно-

ландшафтного земледелия должны выходить на первый план при формировании планов и разработки севооборотов в хозяйствах для лучшей адаптации к изменениям условий окружающей среды, а также для рационального использования земельного фонда конкретного сельскохозяйственного предприятия. Так, для диверсификации производства есть необходимость использования новых, более засухоустойчивых сортов, потенциально адаптивных к экстремальным погодным условиям, введения в севообороты культур устойчивых к стрессу. Одной из перспективных страховых культур может стать незаслуженно забытая на длительное время зерновая крупяная культура – полба (*Triticum dicoccum* (Schrank) Schuedl).

2.2 Погодно-климатические условия в годы исследований

В годы проведения исследований (2020–2023 гг.) метеорологические условия были разнообразными. Их анализ проводился по ближайшей к месту исследований метеорологической станции в г. Арск. Данные взяты из «Агрометеорологических бюллетеней по Республике Татарстан» ФГБУ «Управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды РТ» за вегетационные месяцы по декадам за 2020–2023 гг.

Для оценки степени тепловлагообеспеченности был рассчитан гидротермический коэффициент (ГТК) по Г. Т. Селянинову (1928). Согласно принятой в регионе классификации ГТК 0,5–0,9 характеризует засушливость; ГТК < 0,5 – крайнюю засушливость; ГТК = 1,0 говорит о сбалансированности прихода и расхода влаги (Переведенцев Ю. П. и др., 2008). Сумма осадков и среднемесячная температура воздуха в годы исследований приведены в приложении А.

Вегетационный период 2020 г. характеризовался как нормально увлажнённый (рисунок 3). В среднем за вегетацию ГТК составил 1,0, а в мае – 1,5. По декадам и месяцам влага распределялась крайне неравномерно. Во второй декаде мая температурный режим был ниже нормы. Средняя температура воздуха составила +10...+12 °С (что ниже нормы на 2 °С). В мае осадков выпало 42 мм (120 % от климатической нормы), в июне – 44 мм (73 % от нормы). Температурный режим в

первых двух декадах июня во время фазы «выхода в трубку» был на уровне нормы. В июле наблюдался дефицит осадков (49 % от нормы) на фоне повышенных температур воздуха +22...+24 °С (отклонение от нормы +2...+5 °С). К 4 августа полба достигла своей полной спелости.

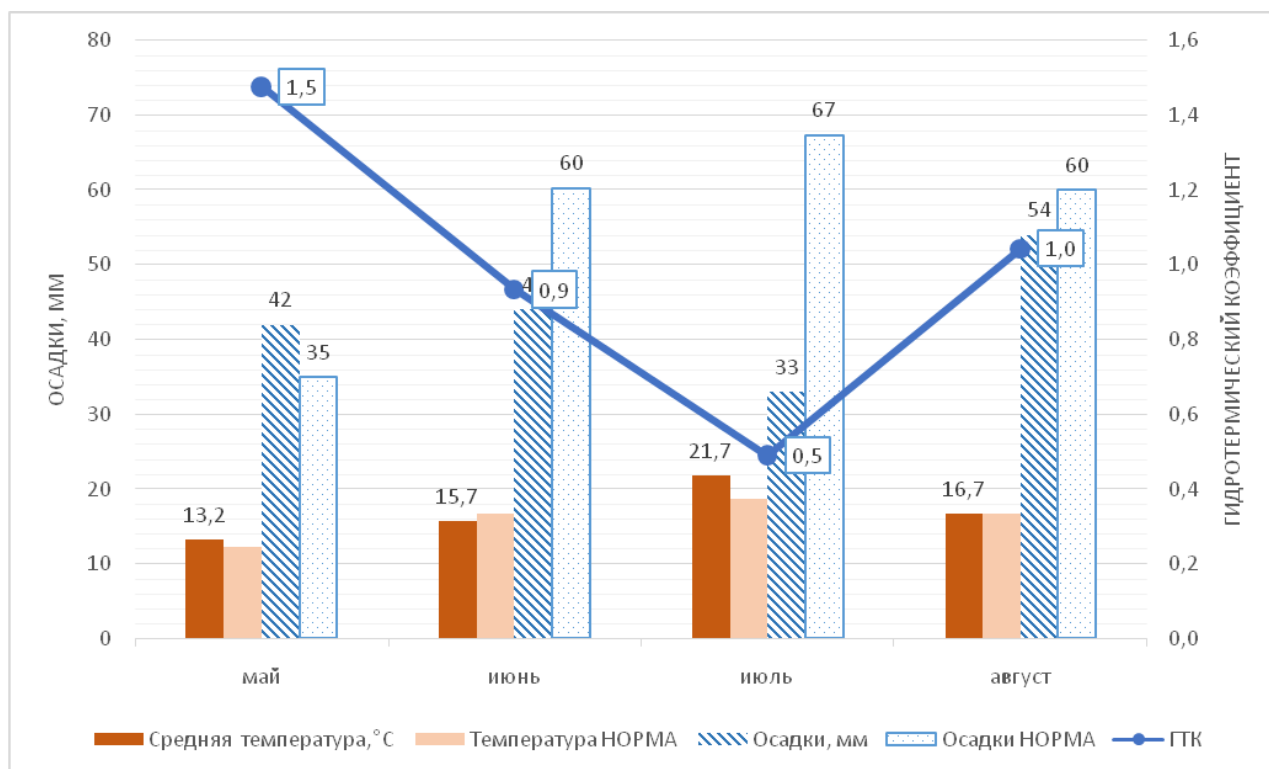


Рисунок 3 – Гидротермические условия 2020 года

2021 г. был крайне засушливым с ГТК за вегетацию полбы 0,55 (рисунок 4). Сумма эффективных температур с начала вегетации выше +5 °С достигла к 10 мая 135–170 град., выше +10 °С накопилось 30–45°град. при норме 75–105 и 30–55 град. соответственно. В районах Предкамья обеспеченность влагой слоя почвы 0–20 см меньше 20 мм для растений оценивается как достаточная для роста и развития. В период наибольшего водопотребления в фазу «кущение – рост стебля» запасы влаги метрового слоя почвы оценивались как удовлетворительные (120–140 мм продуктивной влаги). Однако в июне территорию республики охватили экстремально жаркие погодные условия с острым недостатком осадков (33 мм, или 54 % от нормы). Среднесуточная температура воздуха держалась на уровне 22–29 °С. Максимальные дневные температуры поднимались до отметки 33–36 °С. Поверхность почвы прогревалась до 55–65 °С. Все это негативно отразилось на формировании урожая зерна полбы.

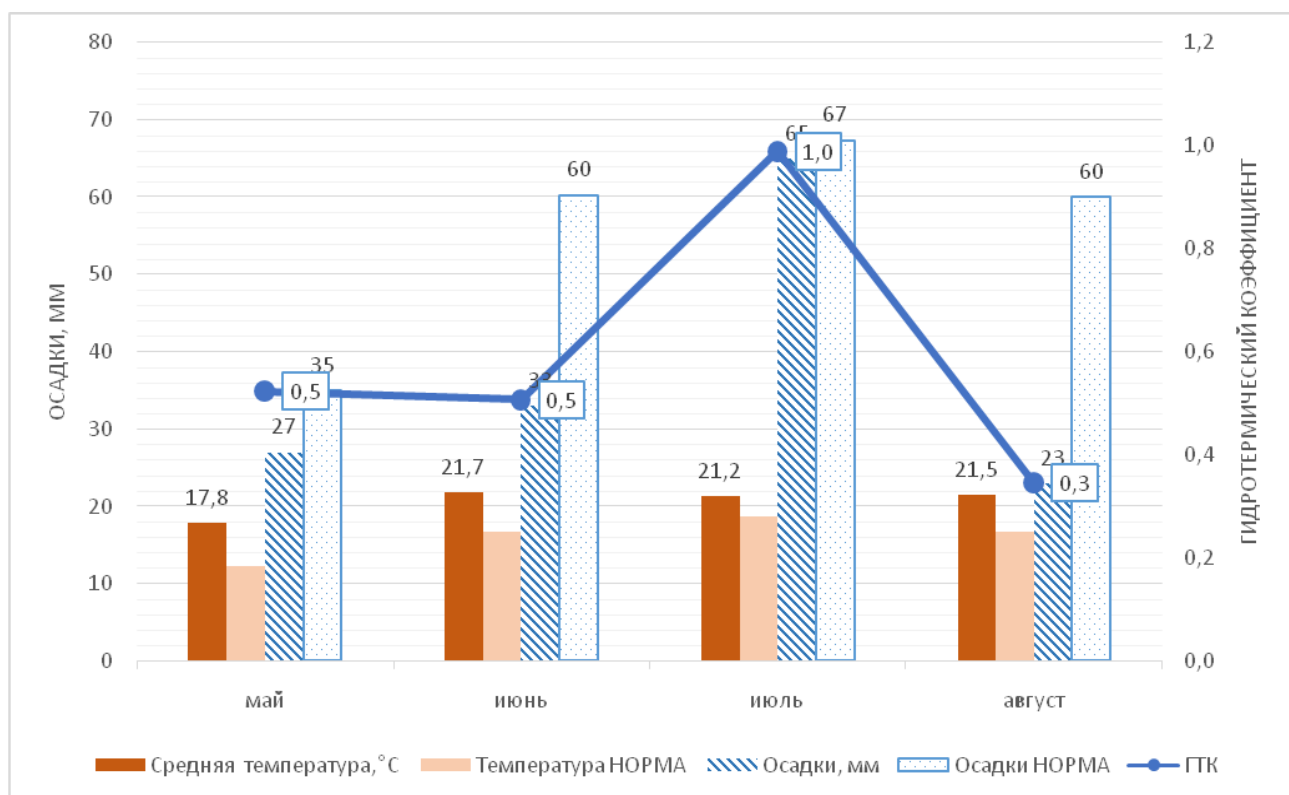


Рисунок 4 – Гидротермические условия 2021 года

В мае 2022 г. температура была ниже среднесуточной нормы на 3 °C, в совокупности с избытком влаги в первой декаде месяца сев полбы и других ранних яровых культур был смещён на 1,5 недели (рисунок 5). В первые две декады июня количество осадков приближалось к среднесуточным показателям. Третья декада июля и июль в целом со средней температурой воздуха +20...+22 °C оказались на 1 °C выше нормы. Запасы продуктивной влаги во все критические периоды роста растений в метровом слое были хорошими, в пахотном – удовлетворительными. За весь август на изучаемой территории выпало всего 0,3 мм осадков, средняя температура воздуха достигала 23,5 °C, что выше нормы на 8 °C. ГТК за вегетационные месяцы оценивается как избыточно увлажненная – 1,1.

Май 2023 г. отличился повышенным накоплением эффективных температур. К концу первой декады сумма эффективных температур выше +10 °C составила 66 град. при норме 15–30 град (рисунок 6). Сумма осадков за декаду была выше нормы (27 мм, или 300 % от нормы). Погодные условия в целом были благоприятны для проведения полевых работ, но в отдельные дни были отмечены

ночные заморозки. В большинстве дней июня отмечался пониженный температурный режим на фоне дефицита осадков. В период «кущение – выход в трубку» влагозапасы пахотного горизонта были почти критическими – менее 15 мм, тогда как метровый слой почвы содержал достаточное количество продуктивной влаги для роста и развития растений (136 мм и более). ГТК за вегетационный период составил 0,7.

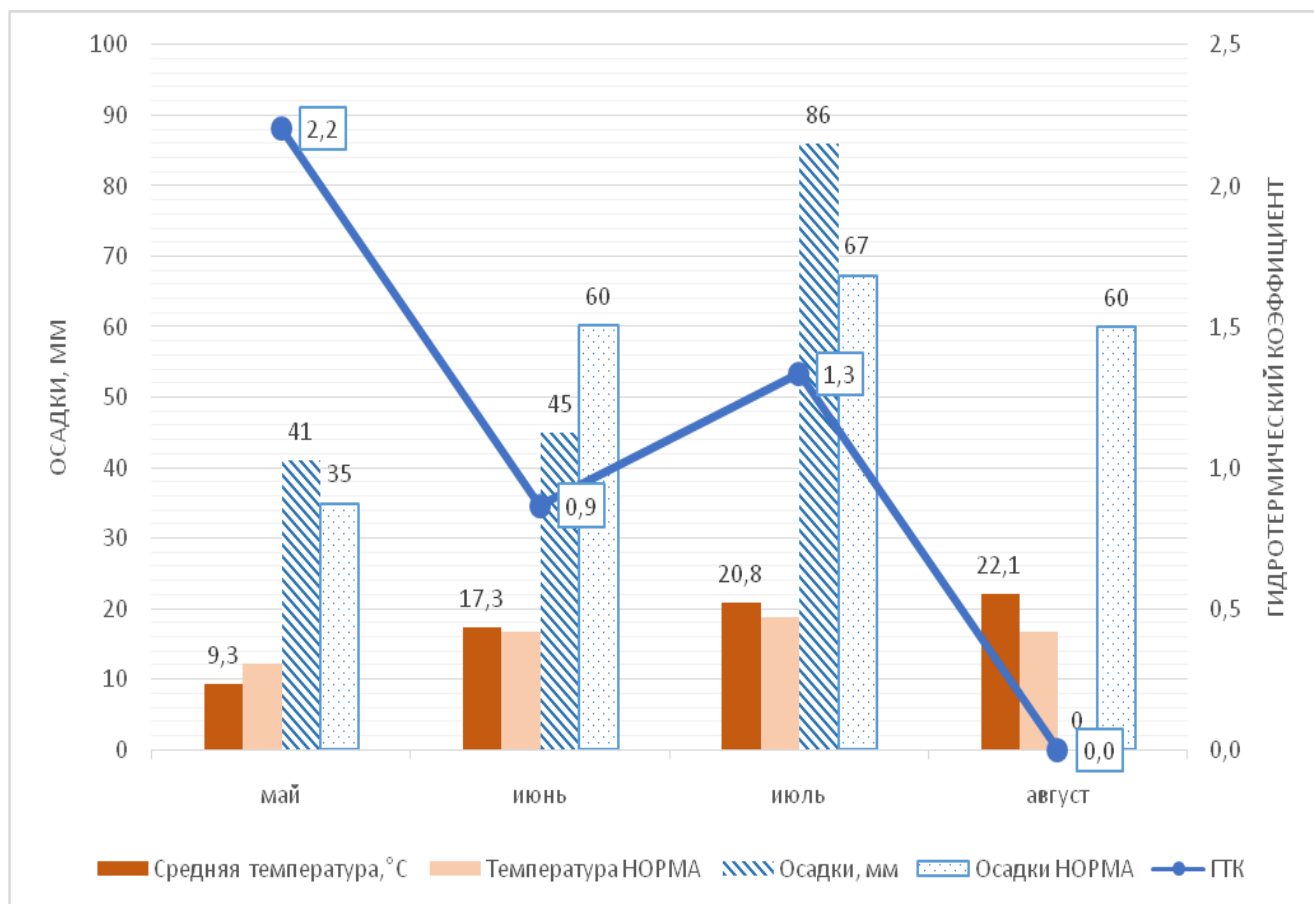


Рисунок 5 – Гидротермические условия 2022 года

Семена полбы, как и яровой пшеницы, начинают прорастать при температуре почвы на глубине заделки семян (4–6 см) +4...5 °С. Однако, оптимальной температурой для получения дружных всходов являются +8–10 °С, а для накопления биомассы – +18–22 °С. Всходы полбы могут выдержать кратковременные заморозки до минус 4–5 °С. От посева до уборки полбе требуется в зависимости от сорта 1 600–1 800 град. активных температур воздуха против 2 020–2 300 град. в среднем по Республике Татарстан. Поэтому теплообеспеченность не является ограничивающим фактором формирования высокопродуктивных агроценозов этой культуры.

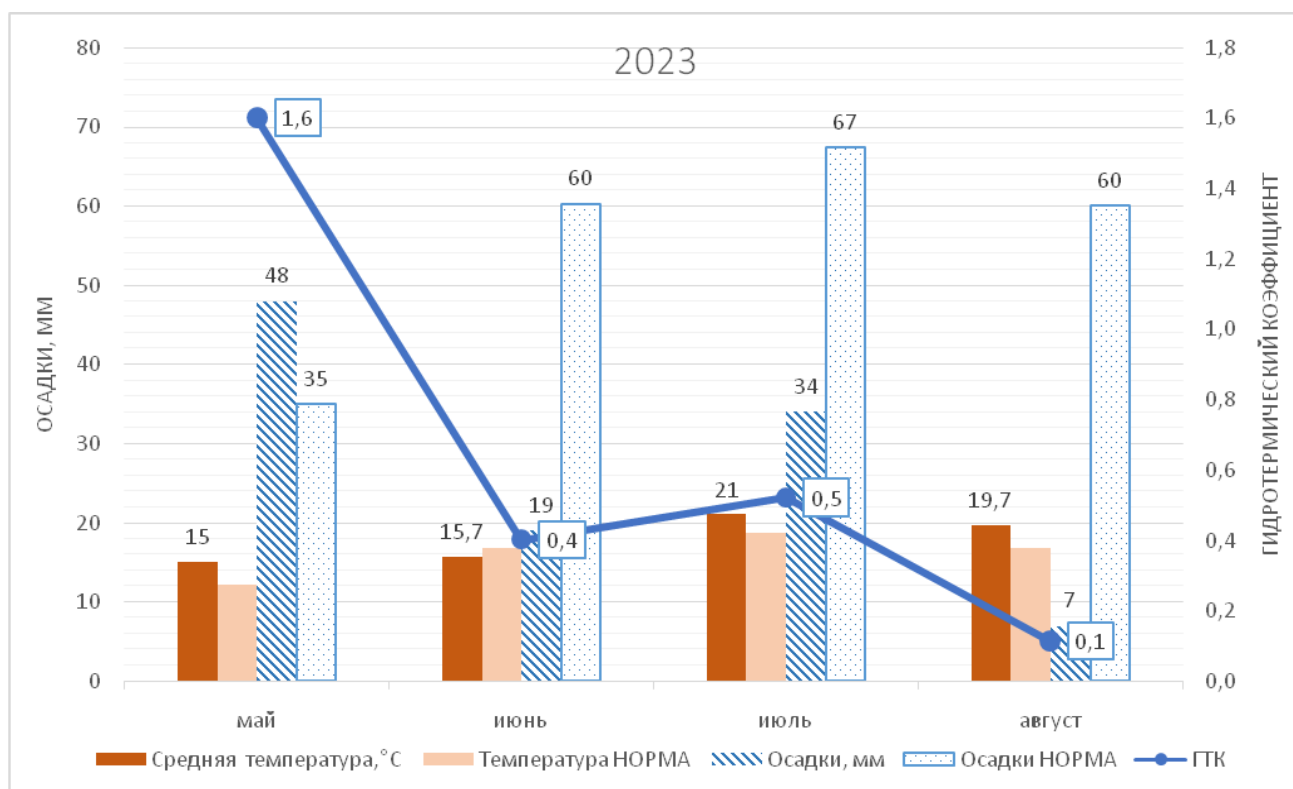


Рисунок 6 – Гидротермические условия 2023 года

В среднеувлажненные годы за счет осенних осадков и снеготаяния в почвах Татарстана накапливается 140–160 мм влаги, а количество выпавших осадков за вегетационный период составляет от 240 до 260 мм. Зная коэффициент водопотребления полбы на формирование 1 т зерна (110 мм), можно рассчитать показатель возможной урожайности зерна изучаемой культуры по формуле:

$$Y = (O \times 0,75) + Пв / Кв,$$

где Y – урожайность зерна, т/га; O – осадки за вегетационный период, мм; 0,75 – коэффициент использования осадков; $Пв$ – продуктивная влага в метровом слое почвы, мм; $Кв$ – коэффициент водопотребления, мм/т.

Расчеты показывают, что в Республике Татарстан в среднеувлажненный год возможно получить 3,1 т/га зерна полбы даже без учета грунтовых вод, которые доступны растениям с глубины 3 м за счет капиллярного их поднятия.

Почвенно-климатические условия Республики Татарстан полностью соответствуют условиям произрастания полбы в широких масштабах.

В целом можно сказать, что погодно-климатические условия в годы исследований были типичными для зоны умеренного климата лесостепной зоны Среднего Поволжья и характеризовались сменой засушливых и жарких годов умеренно влажными и прохладными.

2.3 Агрохимическая характеристика территории

Продуктивность агроценозов и уровень плодородия в целом создается за счет сочетания влагообеспеченности, теплообеспеченности и содержания основных элементов питания – азота, фосфора и калия. Первостепенным источником азота является атмосфера, а источниками фосфора, калия, мезо- и микроэлементов – минералы, входящие в состав почвообразующих пород. Горные породы в процессе выветривая разрушаются, выделяя соединения, доступные корневой системе растений. В процессе почвообразования макроэлементы аккумулируются в верхних горизонтах почвенного профиля.

Несмотря на то, что макро- и микроэлементы минерального питания в почвах относятся к динамичным во времени свойствам (Сычев В. Г., 2000; Лукманов А. А., Давлятшин И. Д., 2019), обеспеченность ими пахотных почв формирует уровень продуктивности культурных растений и лежит в основе дальнейшей оценки продуктивности, программирования и прогнозирования урожайности (Шатилов И. С. и др., 1980, Зиганшин А. А., 2001).

В таблице 3 представлена агрохимическая характеристика почв пашни территории Сабинского муниципального района по основным показателям плодородия в сравнении со средними данными по сельскохозяйственной зоне и Республике Татарстан. Данные показывают, что почвы Сабинский район по содержанию подвижных форм фосфора и калия близки к средним показателям по республике. Однако по содержанию гумуса 2,4 % – характеризуется низкой обеспеченностью. Так же наблюдается преобладание кислых почв (70,9 %), что в целом оказывает негативное влияние на рост сельскохозяйственных культур без принятия соответствующих мелиоративных мер.

Таблица 3. Агрохимическая характеристика почв (на 01.01.2025 г.)

| Территория | Обследованная площадь, тыс. га | Площадь кислых почв | | Средневзвешенное содержание, мг/кг | | Гумус, % | pH _{сол} |
|---------------------------|--------------------------------|---------------------|------|------------------------------------|------------------|----------|-------------------|
| | | тыс. га | % | P ₂ O ₅ | K ₂ O | | |
| Сабинский район | 55,0 | 39,0 | 70,9 | 140 | 134 | 2,4 | 5,2 |
| Предкамская зона | 821,9 | 365,9 | 44,5 | 141 | 134 | 2,7 | 5,5 |
| Предкамье + Предволжье | 1 277,1 | 559,7 | 43,8 | 140 | 142 | 3,5 | 5,54 |
| Итого по РТ | 3 001,6 | 1 298,6 | 43,3 | 134 | 150 | 4,5 | 5,67 |

Для комплексной оценки достигнутого уровня плодородия земель анализируемой территории будем использовать показатель почвенного плодородия (ППП), рассчитанный по содержанию в почве подвижных форм фосфора и калия, степени кислотности почв и содержанию органического вещества. Формула для расчета данного показателя была утверждена Приказом № 325 от 6 июля 2017 г. «Об утверждении Методики расчета показателя почвенного плодородия в субъекте Российской Федерации». Согласно расчётам по этой методике, в Сабинском районе ППП = 0,74. Показатель этого индекса в целом по Республике Татарстан составляет 0,78, уровень плодородия на исследуемой территории ниже среднереспубликанского значения и требует принятия дополнительных мер для улучшения агроэкологических условий района.

2.4 Объекты, схемы опытов и методика исследований

Объект наших исследований – полба обыкновенная, или пшеница-двузернянка (*Triticum dicoccum* (Schrank) Schubl.; син. – *Triticum turgidum* L. subsp. *dicoccum* (Schrank ex Schubl.) Thell) сорта *Руно* разновидности *aeruginosum*.

Основными методами исследований служили полевой и лабораторный опыты. Все полевые исследования были проведены согласно методике Б. А. Доспехова (1985) на серой лесной тяжелосуглинистой почве ООО «Саба» Сабинского муниципального района Республики Татарстан. Размер опытных делянок 108 м² (3,6 м × 30 м)

с систематическим расположением делянок в трехкратной повторности (план опыта в Приложении Б, расчёт норм удобрений – Приложения В и Г).

Схема двухфакторного полевого опыта (3×4):

1. Уровень удобренности почвы (фактор А):

1.1. Без удобрений (контроль).

1.2. $N_{59}P_{30}K_{48}$ с расчетом получения 2,5 т/га.

1.3. $N_{71}P_{36}K_{58}$ 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.

Лабораторный опыт выполнялся для оценки влияния срока предпосевной обработки семян полбы препаратом Биостим Старт (как стресс-фактора) на их лабораторную всхожесть и энергию прорастания по схеме:

1. Без обработки препаратом (контроль).

2. Обработка семян препаратом Азотовит в день закладки опыта.

3. Обработка семян препаратом Ризоаргин в день закладки опыт

2. Обработка препаратом Биостим Старт в день закладки опыта.

3. Обработка препаратом Биостим Старт за 5 дней до закладки опыта.

4. Обработка препаратом Биостим Старт за 10 дней до закладки опыта.

5. Обработка препаратом Биостим Старт за 15 дней до закладки опыта.

Проращивание семян в лабораторном опыте проводили на поддонах на фильтровальной бумаге, размещая на каждом 2 повторности по 50 семян в каждом. Повторность вариантов четырёхкратная.

Сорт полбы *Руно* создан в Краснодарском НИИ сельского хозяйства совместно с Всероссийским НИИ растениеводства им. Н. И. Вавилова (ВИР). Сорт с 2009 г. был первоначально включен в Госреестр по Северо-Кавказскому региону. Далее сорт был дополнительно испытан и одобрен для ряда других зон. Относится к среднеспелым сортам с вегетационным периодом созревания 77–92 дня. Масса

1 000 зерен 32–39 г. Зерновка удлиненная, красноватого оттенка, стекловидная. Содержание белка 15,1–19,5 %. Пленчатость составляет до 25 %. Натурная масса зерна – 470–520 г/л. Сорт обладает устойчивостью к твёрдой и пыльной головне, различными ржавчинам, септориозу. Засухоустойчивый сорт, по устойчивости к полеганию уступает стандартам до 2,0–2,5 баллов. Сорт *Руно* пригоден к механизированной уборке прямым комбайнированием. Выбор этого сорта был обусловлен ранее проведенными лабораторными и полевыми исследованиями.

Для предпосевной обработки семян использовали тройной фунгицидный протравитель Доспех 3, КС (действующее вещество: тебуконазол, 60 г/л + тиабендазол, 60 г/л + имазаил, 40 г/л) производства компании ООО «Листерра» в дозе 0,5 л/т семян за 10 дней до посева. Препарат обеспечивает защиту зерновых культур от почвенных и семенных грибковых инфекций с момента нанесения протравителя на семя до фазы выброса колоса, проникая в ткани зародыша семени (<https://lysterra.ru/product/dospek-3-ks/>). Обработку Азотовитом и Ризоагрином проводили в день посева в помещении без доступа прямых солнечных лучей, обработку Биостим Старт – за 10 дней до посева совместно с фунгицидом Доспех 3, КС.

Характеристика используемых биопрепаратов. *Азотовит* содержит живые бактерии рода *Beijerinckia fluminensis* с концентрацией не менее 1×10^5 КОЕ/см³. Свободноживущие бактерии за сезон фиксируют до 30–50 кг/га д. в. молекулярного азота, переводя его в аммонийную форму. Повышают коэффициент использования вносимых минеральных удобрений до 30 %, предотвращая потери азота из удобрений за счёт вымывания и денитрификации. К положительным свойствам Азотовита также относят: повышение энергии прорастания семян, иммунитета растений, выделение бактериями ингибиторов, подавляющих патогенную микрофлору, улучшение показателей качества семян, сокращение накопления растениями нитратных форм азота (<https://azotovit.ru/more-azotovit>).

Ризоагрин представляет собой корневой инокулянт азотфиксирующего типа, предназначенный для предпосевной обработки семян различных видов зерновых культур – ячменя, риса, пшеницы (озимой и яровой), овса, ржи, просо, гречихи. Способен заменить до 40–60 кг азотных удобрений. Повышает устойчивость

растений к фитопатогенным грибам и стрессоустойчивость, увеличивает полевую всхожесть семян, способен повысить на 15–35 % урожайность зерновых культур, содержание сырого белка в зерне на 0,5–1 %. Активным компонентом препарата являются природные бактерии штамма *Agrobacterium radiobacter*. В 1 г содержится от 6 до 8 млрд клеток продукта, обладающие способностью селективно колонизировать ризосферу (прикорневую область) и корни зерновых растений. В опытах использовалась торфяная форма компании ООО НПИ «Биопрепараты». Торфяной наполнитель используется для поддержания активности микроорганизмов. Из особенностей применения – обработанные семена необходимо высевать в тот же день (<https://biopreparaty.ru/rizoagrin/>).

Биостим Старт – аминокислотный биостимулятор, широко используемый на различных культурах в Республике Татарстан. Содержит в своем составе свободные аминокислоты растительного происхождения – 5,5 %, полисахариды – 7,0 %, N – 4,5 %, P₂O₅ – 5,0 %, K₂O – 2,5 %, MgO – 1,0 %, Mn – 0,2 %, Zn – 0,2 %, Cu – 0,1 %, B – 0,1 %, Mo – 0,01 %. Производство компании АО «Щелково Агрохим». Отмечается активизация энергии прорастания семян, появление дружных и ранних всходов. Возможно одновременное применение с химическими протравителями семян (https://betaren.ru/catalog/spetsialnye-udobreniya/aminokislotnye-biostimulyatory/biostim_start/?ysclid=mckjzchezg949885750).

Почва участка – серая лесная тяжелосуглинистого гранулометрического состава. По агрохимическим показателям почва пахотного горизонта характеризуется близкой к нейтральной реакцией среды, низкой гумусированностью, повышенной обеспеченностью подвижными формами фосфора и калия (таблица 4). Она характеризуется повышенным уровнем насыщенности почвенно-поглощительного комплекса основаниями и средней поглощительной способностью для серых лесных почв. По содержанию минерального азота (сумма нитратных и аммиачных его форм) – 37,8 мг/кг, – обеспеченность почвы его доступными формами низкая, что говорит о необходимости внесения азотных минеральных удобрений для получения хороших урожаев.

Таблица 4. Характеристика опытного участка по основным показателям плодородия (среднее за 2020–2023 гг.)

| Горизонт, см | Гумус, % | pH _{KCl} | P ₂ O ₅ | K ₂ O | Минеральный азот | Гидролитическая кислотность | Емкость катионного обмена | Степень насыщенности основаниями, % |
|----------------------------|----------|-------------------|-------------------------------|------------------|------------------|-----------------------------|---------------------------|-------------------------------------|
| | | | мг/кг почвы | | | | | |
| A _{пах} , 0–20 см | 3,4 | 6,2 ± 0,1 | 127 ± 3 | 138 ± 9 | 37,8 ± 11,0 | 1,34 ± 0,9 | 21 ± 5 | 86,9 ± 3,5 |

По содержанию подвижных соединений бора почва характеризуется высокой обеспеченностью, по содержанию молибдена, марганца, меди, кобальта и серы – средней обеспеченностью, а по содержанию подвижного цинка – низкой (таблица 5).

Таблица 5. Характеристика опытного участка по содержанию серы и микроэлементов, мг/кг почвы (среднее за 2020–2023 гг.)

| Горизонт, см | B (бор) | Mo (молибден) | Mn (марганец) | Cu (медь) | Zn (цинк) | Co (кобальт) | S (сера) |
|----------------------------|---------|---------------|---------------|-----------|-----------|--------------|----------|
| A _{пах} , 0–20 см | 1,06 | 0,13 | 53,5 | 2,6 | 0,3 | 1,44 | 7,1 |

Для оценки степени загрязненности опытного поля был сделан анализ эколого-токсикологических показателей на содержание в почве мышьяка, свинца, кадмия и ртути. Содержание тяжелых металлов в почвах хозяйства не превышало их предельно-допустимых концентраций (ПДК).

Исследование микробиоценоза перед закладкой опыта включало в себя определение численности микроорганизмов (КОЕ, колониеобразующие единицы) методом посева соответствующих разведений почвенной суспензии на элективные питательные среды (МПА – мясопептонная, КАА – крахмало-аммиачная, среды Эшби, Гильтая и Чапека) (табл. 6). Патогенных микроорганизмов в образцах обнаружено не было. В научной литературе не были найдены прямые численные данные по среднему содержанию микроорганизмов на серых лесных почвах Среднего Поволжья, но косвенно можно оценить, что количество азотфиксаторов находится на среднем уровне (10^6 – 10^7) (Казеев К. Ш. и др., 2012).

Таблица 6. Микробиологический анализ почвенных образцов (2020 г.)

| Аммонификаторы (МПА) | Азотфиксаторы (Эшби) | Бактерии, использующие минеральные формы азота (Гаузе) | Актиномицеты (КАА) | Микромицеты (Чапека) | Денитрификаторы (Гильтая) |
|----------------------|----------------------|--|--------------------|----------------------|---------------------------|
| 20×10^6 | 3×10^6 | 10×10^6 | 29×10^6 | 6×10^3 | 2×10^6 |

Полевые наблюдения и учёты проводились в соответствии с «Методикой государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур» (М., 1989, 2019); «Методикой полевого опыта» (Доспехов Б. А., 1985).

Фенологические наблюдения за ростом и развитием растений выполняли по методике Госсортсети (1989). Высоту растений измеряли при помощи мерной рейки по фазам развития и в момент уборки на 10 растениях.

Площадь листьев определяли с использованием метода высечек. Расчёт фотосинтетического потенциала проводился по методике А. А. Ничипоровича (1969), чистая продуктивность фотосинтеза – по формуле Кидда, Веста и Бриггса (Ничипорович А. А., 1956, 1972).

Рост корневой системы изучали в начальные фазы посредством учёта количества, длины и массы корней в пробе из 15 растений в трёх повторностях с каждого варианта опыта. Почвенные монолиты брали с использованием штыковой лопаты на глубину до 40 см, не повреждая растений полбы, и отмывали их в воде.

Показатель коэффициента продуктивности корневой системы полбы, рассчитывали по формуле:

$$КП = У/К_{ПК},$$

где КП – коэффициент продуктивности корневой системы; У – урожайность зерна полбы, т/га; $K_{ПК}$ – воздушно-сухая масса пожнивно-корневых остатков, т/га.

Биологическую активность почвы на глубине пахотного горизонта изучали по методу И. С. Вострова и А. Н. Петровой (1961), оценивая интенсивность разложения льняной ткани.

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

- содержание подвижного фосфора и подвижного калия определялось по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО – ГОСТ Р 54650-2011;
- массовая доля органического вещества по ГОСТ 26213-2021;
- $pH_{\text{сол}}$ – ГОСТ 26483-85; гидролитическая кислотность – ГОСТ 26212-91;
- содержание подвижных соединений микроэлементов: кобальта – ГОСТ Р 50687-94, меди – ГОСТ Р 50684-94, марганца – ГОСТ Р 50682-94 (по методу Пейве и Ринькиса); серы – ГОСТ 26490-85; цинка – ГОСТ 3 50686-94 (метод Крупского и Александровой); молибдена – ГОСТ Р 50689-94 (метод Григга); бора – ГОСТ Р 50688-94 (метод Бергера и Труога);
- содержание нитратного азота определено ионометрическим методом – ГОСТ 26951-86, аммонийного – фотоколориметрическим методом – ГОСТ 26489-85;
- сумма поглощенных оснований – ГОСТ 27821-2020; емкость катионного обмена – ГОСТ 17.4.4.01-84.

Определение всхожести и энергии прорастания семян выполняли по ГОСТ 12038-84; массы 1 000 семян – по ГОСТ 12042-80; содержание белка в зерне и азота – по ГОСТ 10846-91; содержание жира – по ГОСТ 29033-91; фосфора – по ГОСТ 26657-97; калия – по ГОСТ 30504-97; аминокислотного состава зерна – методом капиллярного электрофореза по ГОСТ Р 55569-2013.

Общее содержание углеводов (в %) рассчитывали по формуле:

$$C = 100 \% - (B + З + Ж + Б),$$

где В – влажность полбы, %; З – массовая доля золы, %; Ж – содержание жира, %; Б – содержание белка в полбе, %.

Учёт урожайности осуществляли методом сплошного обмолота с пересчётом зерновой массы на 14% влажность и 100% чистоту. Структура урожая определялась с «пробных» снопов, отобранных с площадок 0,25 м² в трёхкратной повторности.

Экономическая эффективность рассчитывалась путем сопоставления затрат с рыночной стоимостью полученного объема продукции – по методике ВНИИЭСХ и ВАСХНИЛ (1983).

Статистическая обработка полученных данных проводилась методом дисперсионного анализа (ANOVA), разработанного Р. Фишером, с помощью надстройки в программе Microsoft Excel. Корреляционно-регрессионный анализ был выполнен с использованием программы Statistika 6.0.

Технология возделывания. При возделывании полбы применялись приёмы агротехники, рекомендуемые для Республики Татарстан (Система земледелия Республики Татарстан, 2014). Во все годы исследований её предшественником была озимая рожь *Тантана*, возделываемая на зерно по чистому пару.

После уборки предшественника было проведено двукратное дискование БД-4 на глубину 10–12 см. Весенняя обработка почвы заключалась в закрытии влаги в 2 следа агрегатом ДТ-75 + БЗТУ-1+ СП-11. Минеральные удобрения (аммиачная селитра, двойной суперфосфат, калийная соль) вносились поделяночно в соответствии со схемой опыта вручную непосредственно перед предпосевной культивацией почвы с выравниванием широкозахватным культиватором КПШ-8, которую осуществляли на глубину 4–6 см. Посев производился рядовым способом сеялкой СЗ-3,6 нормой высева 4,5 млн всхожих семян/га. Семена заделывали на глубину 4–6 см. Срок посева в 2020 г. – 10 мая, в 2021 г. – 12 мая, в 2022 г. – 15 мая, в 2023 г. – 28 апреля. После посева проводили послепосевное прикатывание (КЗК-9).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

3 ВЛИЯНИЕ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ И ПРЕПАРАТОВ НА УРОЖАЙНОСТЬ ПОЛБЫ

3.1 Урожайность зерна полбы

Урожайность сельскохозяйственной культуры выступает суммарным показателем, характеризующим плодородие почвы, сложившиеся метеорологические условия и применяемые при возделывании растений приёмы агротехники, в том числе использование удобрений и биопрепаратов.

Проведённый нами опыт свидетельствует, что сбор зерна полбы (двузернянки) с единицы площади зависит как от применяемых средств химизации (применения минеральных удобрений, биопрепаратов и аминокислотного биостимулятора), а также от метеорологических условий года возделывания (таблица 6). 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.

Внесение удобрений во все годы проведения опыта увеличивали зерновую продуктивность полбы. При этом в среднем за четыре года исследований прибавка урожайности зерна от внесения $N_{59}P_{30}K_{48}$ (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 $N_{71}P_{36}K_{58}$ (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, или на 10 %. Обработка семян препаратом Ризоагрин увеличивала урожайность зерна на 0,14 т/га, или на 7 %, препаратом Азотовит – на 0,08 т/га, или 4 %.

Таблица 6. 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 |
|--|----------------------|---------|---------|---------|----------------------|
| | 2020 г. | 2021 г. | 2022 г. | 2023 г. | |
| 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 |
| Ризоагрин | 1,61 | 1,42 | 1,78 | 1,58 | 1,60 |
| Биостим Старт | 1,61 | 1,48 | 1,80 | 1,67 | 1,64 |
| Среднее по фактору А | 1,53 | 1,39 | 1,73 | 1,54 | 1,55 |
| N ₅₉ P ₃₀ K ₄₈ (на урожай 2,5 т/га зерна) | | | | | |
| Без обработки (контроль) | 2,34 | 1,98 | 2,40 | 2,28 | 2,25 |
| Азотовит | 2,50 | 2,08 | 2,48 | 2,34 | 2,35 |
| Ризоагрин | 2,51 | 2,11 | 2,52 | 2,38 | 2,38 |
| Биостим Старт | 2,54 | 2,23 | 2,65 | 2,46 | 2,47 |
| Среднее по фактору А | 2,47 | 2,10 | 2,51 | 2,36 | 2,36 |
| N ₇₁ P ₃₆ K ₅₈ (на урожай 3,0 т/га зерна) | | | | | |
| Без обработки (контроль) | 2,75 | 2,32 | 2,82 | 2,67 | 2,64 |
| Азотовит | 2,87 | 2,41 | 2,89 | 2,75 | 2,73 |
| Ризоагрин | 2,88 | 2,48 | 2,97 | 2,79 | 2,78 |
| Биостим Старт | 2,89 | 2,60 | 3,09 | 2,82 | 2,85 |
| 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 |
| HCP ₀₅ частных различий | 0,11 | 0,06 | 0,09 | 0,08 | |
| HCP ₀₅ А | 0,05 | 0,06 | 0,05 | 0,05 | |
| HCP ₀₅ В | 0,06 | 0,07 | 0,05 | 0,04 | |
| HCP ₀₅ АВ | Fφ < Fτ | Fφ < Fτ | Fφ < Fτ | 0,20 | |

На основе урожайных данных нами рассчитаны прибавки урожая от применения удобрений и препаратов, их совместного действия, а также оплата 1 кг действующего вещества минеральных удобрений зерном (таблица 7). Приведённые в ней данные свидетельствуют, что окупаемость удобрений возрастает при совместном использовании в технологии возделывания полбы их с препаратами. При этом наибольшая окупаемость удобрений зерном (8,48 кг) зафиксирована на варианте N₇₁P₃₆K₅₈ + Биостим Старт.

Расчёты свидетельствуют, что окупаемость минеральных удобрений была достаточно высокой – от 5,84 до 7,44 кг зерна на 1 кг д. в. туков на фоне мине-

рального питания $N_{59}P_{30}K_{48}$ (на планируемую урожайность зерна 2,5 т/га) и от 7,21 до 8,48 кг зерна в варианте внесения $N_{71}P_{36}K_{58}$ (на урожайность зерна 3,0 т/га). Для сравнения отметим, что на посевах яровой пшеницы окупаемость в среднем по Республике Татарстан составляет 4–6 кг зерна на 1 кг д. в. NPK.

Таблица 7. Прирост урожайности зерна полбы от применения средств химизации и окупаемость минеральных удобрений зерном (среднее за 2020–2023 гг.)

| Удобрение (фактор А) | Препараты в предпосевной обработке семян (фактор В) | Прибавка урожайности, т/га | | | Окупаемость 1 кг д.в. NPK зерном, кг |
|---|---|----------------------------|---------------|----------------------------|--------------------------------------|
| | | от удобрений | от препаратов | от совместного их действия | |
| Без удобрений (контроль) | Без обработки (контроль) | – | – | – | – |
| | Азотовит | – | 0,05 | – | – |
| | Ризоагрин | – | 0,15 | – | – |
| | Биостим Старт | – | 0,19 | – | – |
| $N_{59}P_{30}K_{48}$ (на урожай зерна 2,5 т/га) | Без обработки (контроль) | 0,80 | – | – | 5,84 |
| | Азотовит | 0,85 | 0,10 | 0,90 | 6,57 |
| | Ризоагрин | 0,78 | 0,13 | 0,93 | 6,79 |
| | Биостим Старт | 0,83 | 0,22 | 1,02 | 7,44 |
| $N_{71}P_{36}K_{58}$ (на урожай зерна 3,0 т/га) | Без обработки (контроль) | 1,19 | – | – | 7,21 |
| | Азотовит | 1,23 | 0,09 | 1,28 | 7,76 |
| | Ризоагрин | 1,18 | 0,14 | 1,33 | 8,06 |
| | Биостим Старт | 1,21 | 0,21 | 1,40 | 8,48 |
| <i>HCP</i> ₀₅ | А | 0,20 | | | |
| | В | 0,18 | | | |
| | АВ | 0,22 | | | |

Дополнительные расчёты свидетельствуют о том, что при внесении минеральных удобрений и использования биопрепаратов наблюдается аддитивный эффект. Это позволяет вычленить доленое участие естественного плодородия почвы, минеральных удобрений и препаратов в формировании прибавки урожая. Так, на самом результативном в опыте варианте ($N_{71}P_{36}K_{58}$ + Биостим Старт) на долю естественного плодородия почвы приходилось 51 %, на долю минеральных удобрений – 42 %, на долю аминокислотного биостимулятора – 7 %. Аналогичная картина наблюдается на варианте $N_{71}P_{36}K_{58}$ + Ризоагрин: на долю естественного плодородия приходится 52 %, на долю удобрений – 43 %, на долю биопрепарата – 5 %. На неудобренном фоне уро-

жайность зерна полбы на 87–97 % формировалась за счёт плодородия почвы, на 3–13 % – в результате применения изучаемых препаратов.

3.2 Выход побочной продукции

Важным агрономическим показателем при использовании агрохимикатов выступает соотношение основной продукции к побочной. Для полбы – это соотношение выхода зерна к соломе.

Снижение длины соломины и увеличение размеров колоса зерновых культур было и остаётся актуальной проблемой не только селекционеров, но и технологов полей, так как чем выше уровень применения агрохимикатов, особенно удобрений, содержащих азот, тем выше стеблестой зерновых культур, тем больше элементов минерального питания и других ресурсов тратится на побочную продукцию.

В ходе исследований нами была учтена урожайность соломы и оценено соотношение зерна к соломе в зависимости от применения средств химизации (таблица 8).

В ходе исследований установлено, что применение минеральных удобрений и биопрепаратов увеличивает не только урожайность зерна полбы, но и выход побочной продукции. Так, внесение $N_{59}P_{30}K_{48}$ (на урожай 2,5 т/га зерна) увеличивает сбор соломы в среднем за четыре года независимо от использования биопрепаратов на 1,16 т/га, или на 60 %, а применение $N_{71}P_{36}K_{58}$ (на урожай 3,0 т/га зерна) – на 1,90 т/га, или на 99 %.

Предпосевная обработка семян полбы изучаемыми препаратами также увеличивала урожайность побочной продукции, но в меньшей мере, чем минеральные удобрения. Так, предпосевная обработка семян полбы биопрепаратом Азотовит увеличивала выход соломы на 0,18 т/га, биопрепаратом Ризоагрин – на 0,33 т/га, аминокислотным биостимулятором Биостим Старт – на 0,55 т/га.

Применение агрохимикатов приводит к увеличению соотношения «зерно : солома». Если на абсолютном контроле (без применения удобрений и биопрепарата) 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 отмечалось на варианте $N_{71}P_{36}K_{58} + \text{Биостим Старт}$. Это свидетельствует о том, что применяемый агрохимикаты увеличивают в большей мере вегетативную массу растений.

Таблица 8. Влияние минеральных удобрений и изучаемых препаратов на соотношение зерна к соломе при возделывании полбы сорта *Руно* (среднее за 2020–2023 гг.)

| Удобрение (фактор А) | Препараты в предпосев- ной обработке семян (фактор В) | Урожайность зерна | Воздушно сухая масса соломы | Соотношение зерна к соломе |
|---|---|----------------------|-----------------------------------|-------------------------------|
| | | | | |
| Без удобрений (контроль) | Без обработки (контроль) | 1,45 | 1,74 | 1 : 1,20 |
| | Азотовит | 1,50 | 1,83 | 1 : 1,22 |
| | Ризоагрин | 1,60 | 1,99 | 1 : 1,24 |
| | Биостим Старт | 1,64 | 2,10 | 1 : 1,28 |
| | Среднее по фону | 1,55 | 1,92 | 1 : 1,24 |
| $N_{59}P_{30}K_{48}$ (на урожай зерна 2,5 т/га) | Без обработки (контроль) | 2,25 | 2,79 | 1 : 1,24 |
| | Азотовит | 2,35 | 3,01 | 1 : 1,28 |
| | Ризоагрин | 2,38 | 3,12 | 1 : 1,31 |
| | Биостим Старт | 2,47 | 3,38 | 1 : 1,37 |
| | Среднее по фону | 2,36 | 3,08 | 1 : 1,30 |
| $N_{71}P_{36}K_{58}$ (на урожай зерна 3,0 т/га) | Без обработки (контроль) | 2,64 | 3,48 | 1 : 1,32 |
| | Азотовит | 2,73 | 3,71 | 1 : 1,36 |
| | Ризоагрин | 2,78 | 3,89 | 1 : 1,40 |
| | Биостим Старт | 2,85 | 4,19 | 1 : 1,47 |
| | Среднее по фону | 2,74 | 3,82 | 1 : 1,39 |
| <i>НСП</i> ₀₅ | А | 0,20 | | |
| | В | 0,18 | | |
| | АВ | 0,22 | | |

Таким образом, применение удобрений и изучаемых препаратов за счёт улучшения минерального питания растений увеличивало в среднем за четыре года исследований выход с единицы площади как зерна (с 1,45 до 2,25–2,85 т/га), так и соломы (с 1,74 до 3,01–4,19 т/га, или на 73–141 %). При этом оплата удобрений при внесении $N_{59}P_{30}K_{48}$ (на планируемую урожайность зерна 2,5 т/га) варьировала в пределах от 5,84 до 7,44 кг зерна на 1 кг д. в. туков, при внесении $N_{71}P_{36}K_{58}$ (на планируемую урожайность зерна 3,0 т/га) – от 7,21 до 8,48 кг зерна.

4 ПОКАЗАТЕЛИ ПРОДУКЦИОННОГО ПРОЦЕССА И СТРУКТУРА УРОЖАЯ

Общеизвестно, что процесс формирования урожаев различных культур можно рассматривать с разных точек зрения. Это, например, зависимость урожая от динамики развития целого растения и отдельных его органов или воздействие факторов внешней среды на отдельные составляющие урожая. В связи с этим в ходе исследования нами было изучено влияние минеральных удобрений и препаратов на лабораторную и полевую всхожесть полбы, формирование ассимиляционного аппарата, высоту растений и структуру урожая. Это обусловлено тем, что все они в определённых условиях играют существенную роль в создании урожая возделываемой культуры. При этом однозначно можно утверждать, что ассимиляция растениями диоксида углерода (CO_2) из воздуха представляет собой основной процесс, который при формировании урожая играет решающую роль. Все остальные факторы – прямые и косвенные, внешние и внутренние, незначительные и определяющие – непременно оказывают воздействие через изменения в интенсивности формирования урожая, транспорта, распределения и использования ассимилянтов.

4.1 Лабораторная и полевая всхожесть, энергия роста семян

Из года в год применение биостимуляторов и биологических препаратов набирает все большую популярность, особенно в связи с удорожанием минеральных удобрений, и хорошо вписывается в концепцию адаптивно-ландшафтного земледелия. Они не только стимулируют рост, снижают стресс от неблагоприятных условий, повышают урожайность, но и позволяют получать продукцию с минимальным воздействием на окружающую среду (Тихонович И. А. и др., 2005; Завалин А. А. и др., 2019; Лебедев В. Н. и др., 2021а). Однако положительное влияние биопрепаратов и биостимуляторов зависит от таких факторов внешней среды, как влагообеспеченность, термические ресурсы, почвенное плодородие, принятая технология возделывания сельскохозяйственных растений, культура земледелия и

многое другое (Алферов А. А., 2017, Завалин А. А., 2022, Серегина И. И. и др., 2024).

В связи с этим вопросы использования азотфиксирующих инокулянтов и стимуляторов роста нуждаются в дополнительном изучении в тесной связке с почвенными и метеорологическими условиями конкретной зоны Российской Федерации, в том числе и в Республике Татарстан.

С другой стороны, агрохимикаты, применяемые при возделывании любой культуры, в том числе полбы (двузернянки), в первые дни зачастую отрицательно влияют на рост и развитие растений. К примеру, химическая прополка посевов от сорняков приостанавливает рост и развитие яровой пшеницы на 8–10 дней (Шайхутдинов Ф. Ш. и др., 2018). Отрицательное влияние препаратов химической и биологической природы может сказаться не только на вегетирующих растениях, но и на всхожести семян возделываемой культуры.

Общеизвестно, что от посевных качеств семян и от начальных стадий развития растений (фазы прорастания семян и развития листьев, код 05–11 по шкале ВВСН) зависит полнота и дружность всходов, и, в конечном счёте, величина урожайности возделываемой культуры. Стрессоры различного происхождения, в том числе химические и биологические, изначально вызывают замедление скорости появления всходов, а впоследствии приводят к изменению темпов роста проростков и снижению конечного урожая растений (Алексейчук Г. Н., Ламан Н. А., 2005).

Энергия прорастания семян – это количество нормально проросших семян в течение установленного для каждой культуры короткого срока, в зависимости от их биологических особенностей (для полбы 6 суток после посева на основании ГОСТа 12038-84). Она определяется по семенам, которые имеют корешки длиной, равной длине семян, и ростки – не менее $\frac{1}{2}$ семян, и выражается в процентах (таблица 9; рисунок 7, 8). Согласно ГОСТ Р – 52325-2005 для репродукционных семян для производства товарной продукции всхожесть семян полбы должна быть не менее 87 %.

Результаты лабораторного опыта показали, что предпосевная обработка семян препаратом Биостим Старт перед посевом приводит к достоверному сниже-

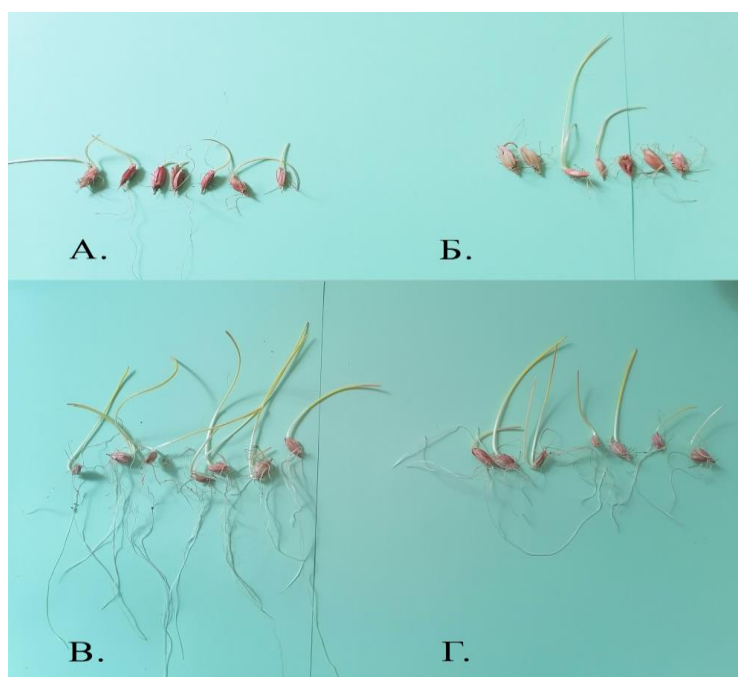


Рисунок 8 – Внешний вид проростков семян полбы на 6 сутки: вариант А – контроль (без препаратов), Б – Азотовит, В – Биостим Старт, Г – Ризоагрин.

Таблица 10. Полевая всхожесть и мощность роста всходов полбы (среднее за 2020–2023 гг.)

| Удобрение (фактор А) | Препараты в предпосевной обработке семян (фактор В) | Количество всходов, шт./м ² | Полевая всхожесть, % | Мощность роста всходов, г/растение |
|---|---|--|----------------------|------------------------------------|
| Без удобрений (контроль) | Без обработки (контроль) | 380 | 84 | 0,21 |
| | Азотовит | 380 | 84 | 0,22 |
| | Ризоагрин | 386 | 86 | 0,22 |
| | Биостим Старт | 390 | 87 | 0,25 |
| | Среднее по фону | 384 | 85 | 0,22 |
| N ₅₉ P ₃₀ K ₄₈ (на урожай зерна 2,5 т/га) | Без обработки (контроль) | 382 | 85 | 0,21 |
| | Азотовит | 382 | 85 | 0,22 |
| | Ризоагрин | 386 | 86 | 0,23 |
| | Биостим Старт | 392 | 87 | 0,26 |
| | Среднее по фону | 386 | 86 | 0,23 |
| N ₇₁ P ₃₆ K ₅₈ (на урожай зерна 3,0 т/га) | Без обработки (контроль) | 381 | 85 | 0,22 |
| | Азотовит | 382 | 85 | 0,22 |
| | Ризоагрин | 386 | 86 | 0,23 |
| | Биостим Старт | 392 | 87 | 0,28 |
| | Среднее по фону | 385 | 86 | 0,24 |
| HCP ₀₅ | А | 2,21 | | 0,03 |
| | В | 2,34 | | 0,04 |
| | АВ | 2,38 | | 0,08 |

В нашем 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 посев семян полбы по удобренным фонам не оказывает достоверного влияния на количество взошедших растений и полевую всхожесть по сравнению с фоном естественного плодородия почвы.

Невысокая эффективность от применения минеральных удобрений и дополнительной предпосевной обработки семян препаратами Азотовит и Ризоагрин, на наш взгляд, объясняется тем, что сама природа закладывает в семя достаточное количество необходимых элементов питания для их прорастания, а во-вторых, дополнительно внесенные элементы питания недоступны слабым зародышевым корням растений.

В то же время отмечено, что предпосевная обработка семян полбы препаратом Биостим Старт повышает их полевую всхожесть и количество взошедших растений. Так, независимо от фона удобренности, количество растений при использовании препарата насчитывалось 391 шт./м², что на 10 растений/м² больше, чем на абсолютном контроле. При этом полевая всхожесть при использовании препарата Биостим Старт составила в среднем 87 %, Применение для предпосевной обработки семян биопрепарата Азотовит не оказало достоверного влияния на количество всходов на единице площади и на полевую всхожесть.

От мощности роста всходов зависит переход растений на автотрофное питание на основе фотосинтеза органических веществ, и она определяется перед появлением первых настоящих листьев полбы.

Измерение воздушно-сухой массы надземной части растений полбы в фазу полных всходов (код 11 по шкале ВВСН) также показало разницу между вариантами опыта. Так, внесение минеральных удобрений приводило к небольшому увеличению массы отдельных растений. Если на фоне естественного плодородия почвы воздушно-сухая масса одного растения составляла 0,21 г, то по фону внесения расчётных доз туков на 2,5 и 3,0 т/га – 0,22 и 0,23 г соответственно. Предпосевная обработка семян биопрепаратами по-разному влияла на мощность взошедших растений. Так, масса одного растения в среднем на вариантах без предпосевной обработки семян препаратами составляла 0,21 г, при обработке семян препаратом Азотовит – 0,22, препаратом Ризоагрин – 0,23 и препаратом Биостим Старт – 0,26 г. 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. При этом действие минеральных удобрений и биопрепарата на этот морфометрический показатель было аддитивным.

Таким образом, в целях повышения полевой всхожести, увеличения мощности всходов и силы их роста необходимо проводить предпосевную подготовку семян биопрепаратом Биостим Старт из расчета 1л/т за 10–15 дней до посева и возделывать полбу (двузернянку) на фонах минерального питания, внесенных на планируемые урожайности 2,5 и 3,0 т/га зерна.

4.2 Кустистость и плотность стеблестоя полбы

Одним из основных элементов структуры урожайности зерновых культур, в том числе и полбы, является количество продуктивных стеблей перед уборкой урожая на единице площади (Коновалов Ю. Б., 1981; Давыдова Н. В. и др., 2019). В свою очередь, число растений зависит от: а) от биологической полноценности посевного материала; б) нормы, способа, глубины и срока посева; в) всхожести семян; снижения числа растений под влиянием неблагоприятных факторов (метеорологические условия периода вегетации, вредители, болезни, химические и механические повреждения); межвидовой (сорняки) и внутривидовой конкуренции. На продуктивность кущения влияют: а) генетически обусловленная способность вида и сорта к кущению; б) условия погоды (влажность, температура, освещение, длина дня и т. д.); в) площадь питания; г) условия питания (обеспеченность почвы доступными питательными веществами); д) агротехника, особенно сроки, норма, глубина и способ посева; е) конкуренция между отдельными растениями и стеблями; ж) скорость роста и развития отдельных стеблей растения; з) повреждение растений (болезнями, вредителями и др.).

В таблице 11 приведены результаты учетов плотности стеблестоя к моменту уборки урожая и продуктивное кущение полбы в зависимости от уровня минерального питания и применяемых препаратов в предпосевной обработке семян.

Приведенные данные свидетельствуют, что продуктивная кустистость изучаемой культуры под действием биопрепаратов без внесения минеральных удобрений повышалась от 1,4 в контроле до 2,3 шт./растение в варианте протравливания семян Доспех 3 из расчёта 0,5 л/т с добавлением в рабочий раствор Биостим Старт – 1 л/т, или на 0,9 шт./растение (прибавка 64 %_{отн}); использование препаратов Азотовит и Ризоагрин по 1 л/т семян способствовало увеличению кустистости до 1,6–1,9 шт./растение соответственно, или на 0,2 и 0,5 продуктивных стеблей соответственно.

Кустистость полбы значительно возросла при сочетании внесения минеральных удобрений на планируемую урожайность 3,0 т/га зерна полбы и использования Биостим Старт в предпосевной подготовке семян – продуктивная кустистость повышалась до 2,8 продуктивных стеблей на растении, или в два раза.

Таблица 11. Влияние минеральных удобрений и препаратов на продуктивное кущение и плотность стеблестоя полбы перед уборкой урожая (2020–2023 гг.)

| Удобрение (фактор А) | Препараты в предпосевной обработке семян (фактор В) | Продуктив- ное кущение, шт./раст. | Плотность стеблестоя, шт./м ² | Прибавка | |
|--|--|---|--|--------------------|----|
| | | | | шт./м ² | % |
| Без удобрений (контроль) | Без обработки (контроль) | 1,4 | 401 | – | – |
| | Азотовит | 1,6 | 406 | 5 | 1 |
| | Ризоагрин | 1,9 | 410 | 9 | 2 |
| | Биостим Старт | 2,3 | 425 | 14 | 4 |
| N ₅₉ P ₃₀ K ₄₈ (на урожай зерна 2,5 т/га) | Без обработки (контроль) | 1,7 | 410 | – | – |
| | Азотовит | 1,8 | 416 | 6 | 1 |
| | Ризоагрин | 2,2 | 419 | 9 | 2 |
| | Биостим Старт | 2,5 | 428 | 18 | 4 |
| N ₇₁ P ₃₆ K ₅₈ (на урожай зерна 3,0 т/га) | Без обработки (контроль) | 1,8 | 415 | – | – |
| | Азотовит | 2,1 | 428 | 13 | 3 |
| | Ризоагрин | 2,4 | 441 | 26 | 6 |
| | Биостим Старт | 2,8 | 458 | 43 | 10 |
| HCP ₀₅ | А | 0,2 | 6 | | |
| | В | 0,2 | 5 | | |
| | АВ | 0,3 | 9 | | |

Таким образом, минеральные удобрения и препараты, используемые в предпосевной подготовке семян, стимулируют способность полбы образовывать

продуктивные боковые побеги в 1,5–2,0 раза больше по сравнению с контрольным вариантом опыта.

В заключение следует отметить, что столь высокая кустистость полбы зависит не только от изучаемых агрохимикатов, но и её биологических особенностей. К примеру, кустистость яровой пшеницы в почвенно-климатических условиях не превышает 1,2–1,3 шт./растение, ярового ячменя 1,5–1,8 шт./растение и озимой ржи 1,9–2,0 шт./растение (Ламан Н. А. и др., 1999; Исайчев В. А. и др., 2023).

Способность полбы формировать боковые продуктивные побеги играет исключительно важную роль в образовании плотного стеблестоя перед уборкой урожая. К примеру, в контрольном варианте опыта в среднем за 4 года в начальной стадии роста было зафиксировано 380 шт./м² стеблей, а к уборке их стало 401 шт./м². Применение биопрепаратов в предпосевной подготовке семян без внесения минеральных удобрений обеспечили формирование к моменту уборки 406–425 шт./м² продуктивных стеблей, на фоне N₅₉P₃₀K₄₈ (на 2,5 т/га зерна) – 410–428 и на фоне N₇₁P₃₆K₅₉ (на 3,0 т/га зерна) – 415–458 шт./м².

В то же время и выпадение растений в течение вегетационного периода достаточно высокое. Например, в варианте опыта с внесением расчётных норм минеральных удобрений на планируемую урожайность 3,0 т/га зерна полбы с предпосевной подготовкой семян рабочим раствором Доспех 3 + Биостим Старт было получено 388 всходов/м². Кустистость в этом варианте опыта составила 2,8 из общего количества теоретически возможных стеблей 1 086 шт./м². К уборке осталось только 458 шт./м². Столь высокий выпад растений объясняется тем, что любой растительный агроценоз обладает способностью саморегулирования по плотности продуктивного стеблестоя. Общеизвестно также, что в ходе ухода за посевами полбы – проведение боронования по всходам для уничтожения сорняков и почвенных капилляров (сухой полив) – приводит к гибели 6–8 % растений, опрыскивание гербицидами и фунгицидами – минимум 5 %, корневые гнили, листовые болезни и вредители также являются причинами изреживания посевов не только полбы, но и других сельскохозяйственных культур.

Несмотря на эти причины, одно остаётся неопровержимым фактом – минеральные удобрения, азотфиксирующие биопрепараты и Биостим Старт, особенно их взаимодействие способствуют формированию более плотного стеблестоя по сравнению с контрольным вариантом опыта (рисунок 9).

4.3 Формирование корневой системы полбы

Как известно, развитие растений начинается с прорастания семени, для которого необходимы влага, благоприятная температура и доступ кислорода (Физиология сельскохозяйственных растений, 1967; Кумаков В. А., 1980 и др.). Основная функция корней, кроме многих прочих, – поглощение воды и питательных веществ из почвы. Вся корневая система, которая у пшеницы может проникать в почву на глубину до 1,5 м, активно участвует в этом процессе (Зыкин В. А. и др., 2000; Зинченко С. И., 2015).



Рисунок 9 – Определение плотности стеблестоя перед уборкой урожая полбы сорта *Руно*

В начале развития растения основную роль в поглощении воды и питательных элементов играет первичная корневая система, а начиная с периода цветения – вторичная (Зыкин В. А. и др., 2000; Новохатин В. В., 2015, 2019). От того, на ка-

кую глубину и какой объём почвы занимает основная масса корневой системы, зависит в конечном итоге продуктивность возделываемых растений.

Определение глубины активного слоя почвы, занятой основной массой корней полбы, выполненное совместно с А. А. Лукмановым и Ф. Н. Сафиоллиным (Погодина А. В. и др., 2024а) показало, что внесение минеральных удобрений и использование биопрепаратов в технологии предпосевной подготовки семян сопровождается усилением процессов формирования корневой системы растений (рисунок 10, Приложение Д).

На начальном этапе развития растений (код 10–11 по шкале ВВСН) корневая система полбы занимает 9,1–9,8 см активного слоя почвы (в котором находится основная масса корней), и различия между вариантами и фонами 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 $N_{71}P_{36}K_{58}$.

В результате улучшения минерального питания растений за счёт внесения удобрений на урожайность зерна 2,5 и 3,0 т/га глубина активного слоя почвы выросла на 2,2 и 4,6 см соответственно.

От предпосевной обработки семян аминокислотным биостимулятором она увеличилась на 4,5 и 5,0 см соответственно, то есть от совместного действия наблюдался синергетический эффект. Другими словами, два изучаемых фактора (минеральные удобрения и препарат Биостим Старт) усиливали действие друг друга, способствуя более лучшему развитию корневой системы полбы.

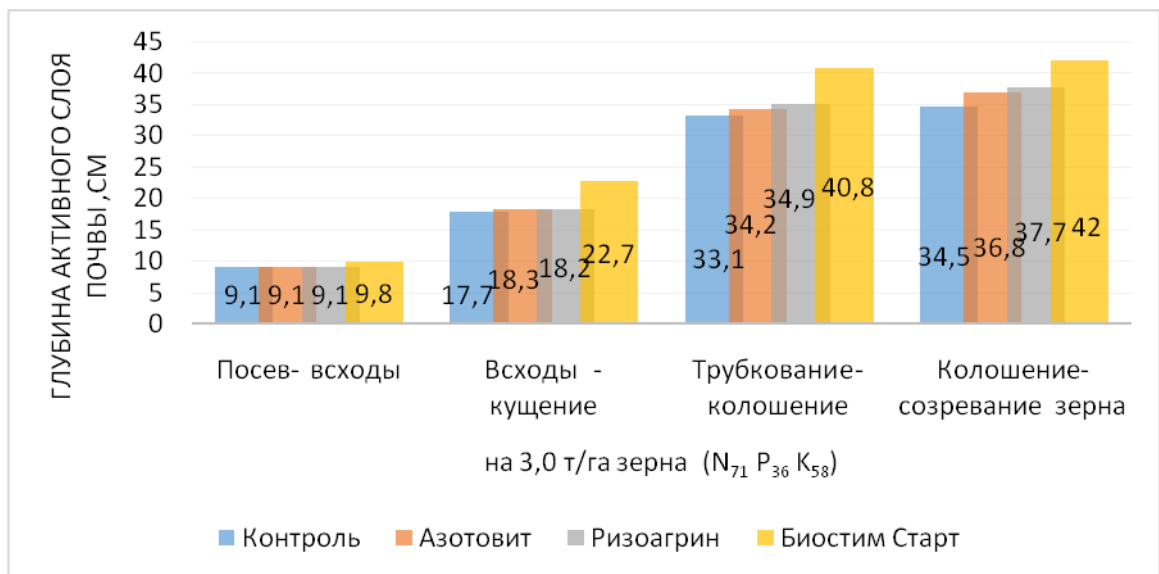
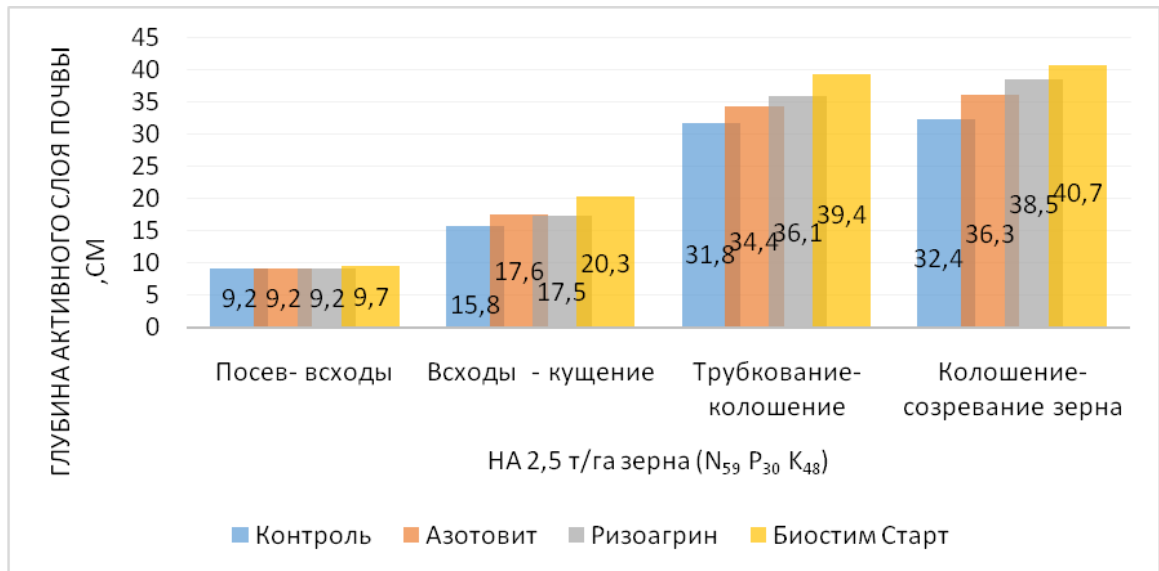
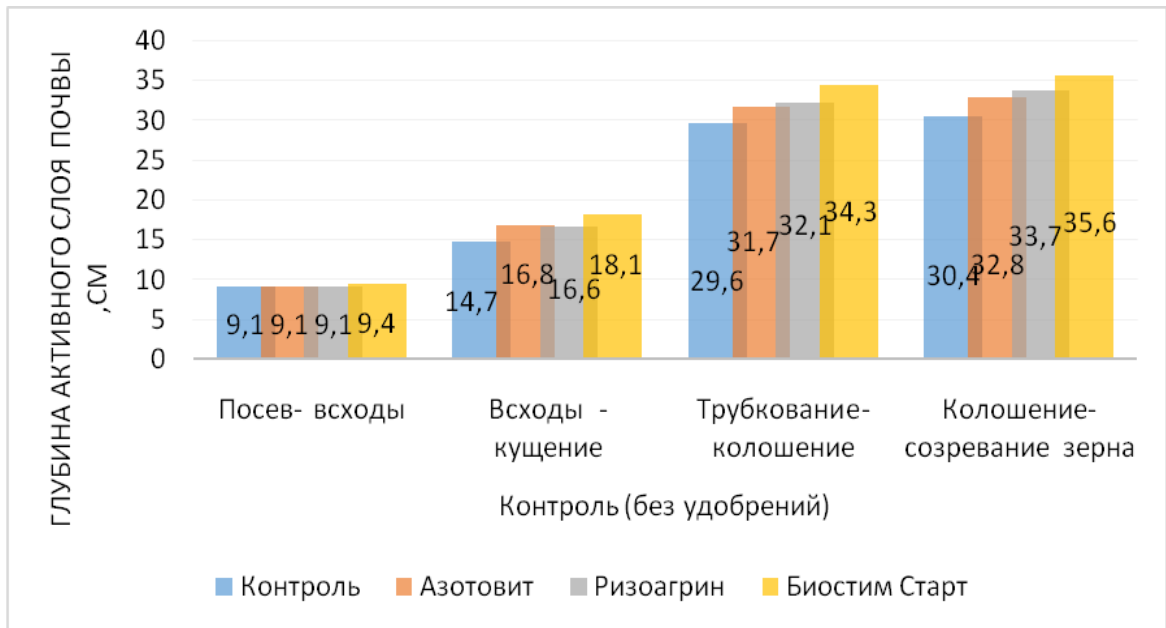


Рисунок 10 – Динамика формирования корневой системы по фазам развития полбы сорта *Руно*

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: на абсолютном контроле – от 14,7 до 29,6 см, на варианте с Биостим Старт – от 18,1 до 34,3 см. На фоне минерального питания, рассчитанного на получение 3,0 т/га зерна, эти показатели составили соответственно от 17,7 до 33,1 см и от 22,7 до 40,8 см.

В дальнейшем, в период «колошение – созревание зерна» (макростадии 5–8, код 51–89 шкалы ВВСН) рост корневой системы полбы во всех вариантах опыта замедляется, и к уборке глубина активного слоя почвы составляет в последних вариантах опыта от 35,6 см без внесения минеральных удобрений до 40,7 см во втором блоке опыта (2,5 т/га зерна) и 42,0 см – в третьем блоке (3,0 т/га).

Формирование корневой системы полбы в активном слое почвы от 35,6 до 42 см играет исключительно важную роль в формировании высокопродуктивных агроценозов за счёт дополнительного использования элементов питания и влаги с большего слоя почвы.

Таким образом, применение удобрений и предпосевная обработка семян препаратом Биостим Старт способствует лучшему развитию первичной корневой системы полбы. Меньший эффект был отмечен при обработке семян препаратами Азотовит и Ризоагрин.

4.4 Формирование ассимиляционной листовой площади и чистая продуктивность фотосинтеза

Фотосинтез – самый важный процесс, создающий возможность существования жизни на Земле. При фотосинтезе под влиянием комплекса факторов энергия падающих солнечных лучей превращается в органическое вещество в виде зерна, фруктов, овощей с содержанием белков, углеводов, сырого жира – основы жизни на земле. Уникальное природное явление – фотосинтез, – не только создаёт первичное звено трофических связей, но и обогащает воздух кислородом (Мокроносков А. Т. и др., 2006). При этом солнечная энергия поглощается всеми органами растений, причём в

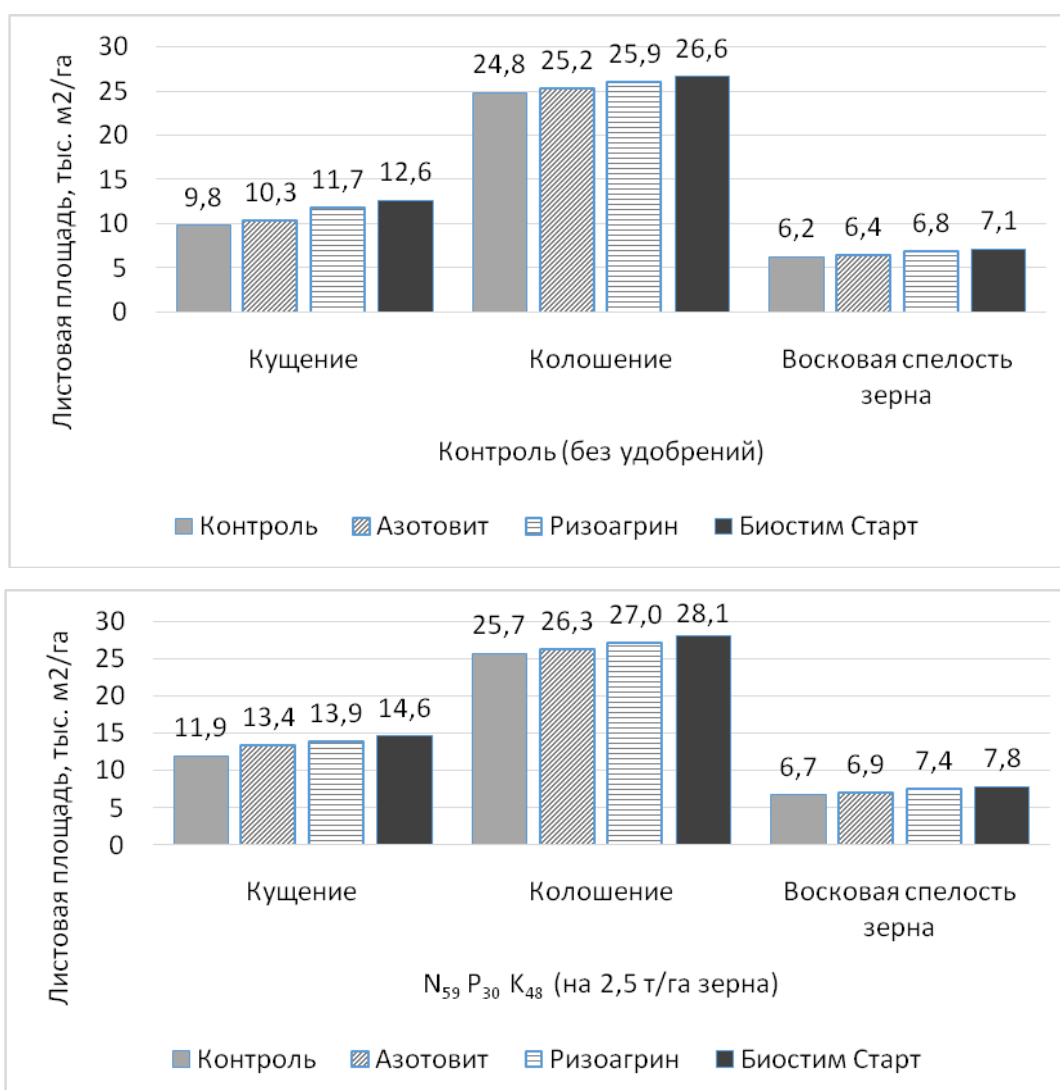
большей степени пластинками листьев и в меньшей степени другими органами (Ничипорович А. А., 1967; Медведев С. С., 2004, Johnson M. P., 2016). Для определения способности посевов поглощать солнечную радиацию часто используют показатель покрытия листьями поверхности почвы. В отечественной литературе его традиционно измеряют в тыс. м²/га, тогда как в международной практике принят безразмерный индекс листовой поверхности — ИЛП (LAI – leaf area index), представляющий собой отношение площади листьев к площади почвы, которую они занимают (Формирование урожая..., 1984; Chen J. M. et al., 1992). Важно понимать, что суммарная площадь листьев всегда превышает занимаемую растениями площадь земли. Для комплексной оценки фотосинтетической мощности агроценоза, помимо ИЛП, применяют такие интегральные показатели, как листовой фотосинтетический потенциал (ЛФП) и чистая продуктивность фотосинтеза (ЧПФ).

Формирование листовой поверхности и её динамика определяются сложным комплексом факторов, среди которых ключевую роль играют агротехника, погодные условия, а также биологические особенности культуры, включая её сортовой потенциал и архитектуру (габитус) при заданной густоте стояния (Гуляев Б. И. и др., 1989).

В связи с этим изучение влияния минеральных удобрений и биопрепаратов на формирование листовой площади и чистую продуктивность фотосинтеза представляет определенный интерес. Тем более что сведений на эту тему крайне недостаточно. Так, по данным А. А. Завалина, Л. В. Виноградовой (2000), на фоне РК-удобрений у растений яровой мягкой пшеницы сортов *Иргина* и *Приокская* препарат Ризоагрин не изменял листовую поверхность по сравнению с фоновым вариантом, а Флавобактерин её увеличивал. Ризоагрин был более эффективен при внесении N₃₀ и N₆₀ у *Иргины* и N₃₀ – у *Приокской*. В засушливые годы эффект от diaзотрофов был меньше, чем в благоприятные по влажности годы.

Рассмотрим полученные в опыте результаты по оценке влияния удобрений и изучаемых препаратов различной природы на формирование ассимиляционной поверхности посевов полбы и чистую продуктивность фотосинтеза.

Измерения и учёты показали, что интенсивность образования листовой площади полбы сорта *Руно*, зависит от уровня минерального питания и предпосевной обработки семян различными биопрепаратами. 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 11, приложение Е).



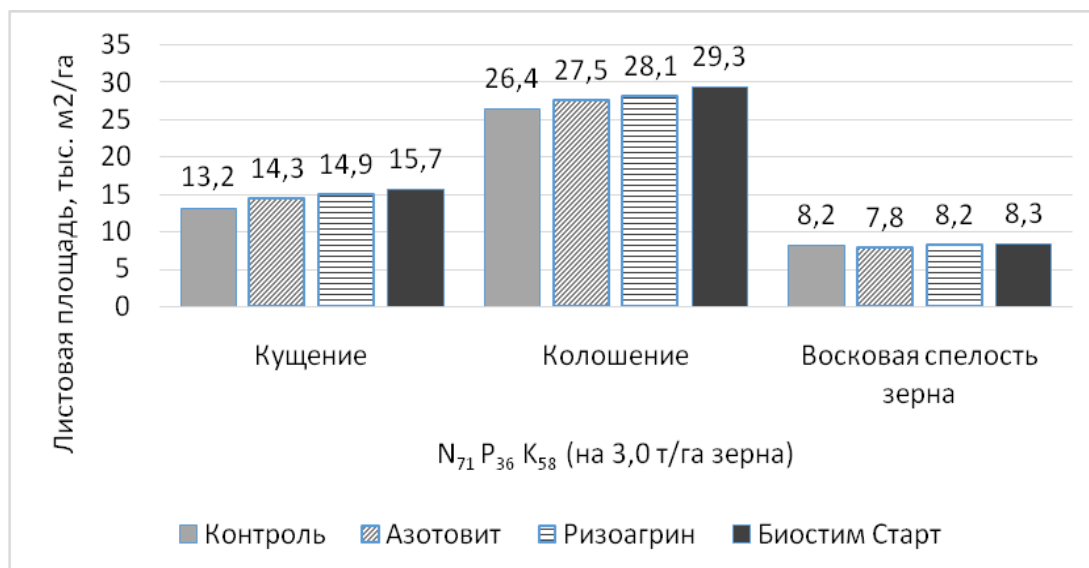


Рисунок 11 – Площадь листьев полбы сорта *Руно* в зависимости от фонов минерального питания и изучаемых препаратов, тыс. м²/га (2020–2023 гг.)

Отмечено, что при обработке семян бактериальными препаратами выделялся Ризоагрин как без применения минеральных удобрений, так и на фоне их внесения на планируемую урожайность зерна полбы 2,5 и 3,0 т/га, что согласуется с результатами исследований и других авторов (Амиров М. Ф., 2017; Sugár E. et al., 2019; Лебедев В. Н., 2021а, 2021б).

В тех же условиях преимущество препарата Биостим Старт было неоспоримо выше по сравнению с препаратами Ризоагрин и Азотовит. Так, в первом блоке опыта (без удобрений) под действием данного стимулятора роста по трем фазам развития полбы её листовая площадь составила 12,6; 26,6; 7,1 тыс. м²/га соответственно, что выше варианта с применением препарата Ризоагрин на 7; 3 и 4 %.

Следует обратить особое внимание на взаимодействие изучаемых препаратов и расчётных норм минеральных удобрений. К примеру, применение Биостим Старт в предпосевной подготовке семян без удобрений обеспечило прирост листовой площади до 12,6 тыс. м²/га в фазе кущения; в фазе колошения – 26,6 и перед уборкой урожая – 7,1 тыс. м²/га. При использовании этого же препарата, но на фоне внесения N₇₁P₃₆K₅₈ (3,0 т/га) эти показатели выросли до 15,7; 29,3; 8,3 тыс. м²/га соответственно.

Следовательно, влияние расчётных норм минеральных удобрений на образование листовой площади полбы гораздо выше по сравнению с применением различных биопрепаратов в предпосевной подготовке семян изучаемой культуры.

Однако это не означает призыв к отказу от биопрепаратов, поскольку увеличение листовой площади в последнем блоке опыта под их влиянием выросло на 2,9 тыс. м²/га (29,3 – 26,4 = 2,9 тыс. м²/га).

Наряду с этим нельзя исключить влияния метеорологических условий вегетационного периода конкретного года на площадь листовой поверхности. Так, в остро-засушливом 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.

Площадь листьев у полбы относится к наименее стабильным показателям, так как она меняется по годам в зависимости от влагообеспеченности, фазы развития культуры, фона минерального питания, приёмов предпосевной подготовки семян.

Как было отмечено выше, максимальная площадь листовой поверхности приходится на фазу колошения полбы. Промежуток времени между кущением и колошением составил 25 суток. В итоге листовой фотосинтетический потенциал (ЛФП) варьировал в интервале 0,099–0,117 м²/м² (таблица 12).

Таблица 12. Влияние минеральных удобрений, биопрепаратов и Биостим Старт на ЛФП полбы сорта *Руно* (2020–2023 гг.)

| Удобрение (фактор А) | Препараты в предпосевной обработке семян (фактор В) | ЛФП, м ² /м ² | Потенциаль- ная урожай- ность сухой массы, т/га | Прибавка к контролю, т/га | |
|--|---|--|--|------------------------------|-----------------------|
| | | | | от NPK | от биопре- паратов |
| Без удобрений (контроль) | Без обработки (контроль) | 0,099 | 5,97 | – | – |
| | Азотовит | 0,101 | 6,03 | – | 0,06 |
| | Ризоагрин | 0,104 | 6,12 | – | 0,15 |
| | Биостим Старт | 0,106 | 6,18 | – | 0,21 |
| N ₅₉ P ₃₀ K ₄₈ (на урожай зерна 2,5 т/га) | Без обработки (контроль) | 0,103 | 6,09 | 0,12 | – |
| | Азотовит | 0,105 | 6,15 | 0,12 | 0,06 |
| | Ризоагрин | 0,108 | 6,24 | 0,12 | 0,15 |
| | Биостим Старт | 0,112 | 6,36 | 0,18 | 0,27 |
| N ₇₁ P ₃₆ K ₅₈ (на урожай зерна 3,0 т/га) | Без обработки (контроль) | 0,106 | 6,18 | 0,15 | – |
| | Азотовит | 0,110 | 6,30 | 0,27 | 0,12 |
| | Ризоагрин | 0,112 | 6,36 | 0,24 | 0,18 |
| | Биостим Старт | 0,117 | 6,51 | 0,33 | 0,33 |

Листовой фотосинтетический потенциал полбы зависит от её листовой площади полбы в фазе максимального её накопления (колошение) и времени, которое требуется для этого. Из двух составляющих листовая площадь играет решающую роль. Например, наши расчёты ЛФП показали высокую вариабельность между фонами минерального питания: $0,099 \text{ м}^2/\text{м}^2$ в контроле и $1,116 \text{ м}^2/\text{м}^2$ в варианте внесения НРК на планируемую урожайность $3,0 \text{ т/га}$.

Выявлено, что эффективность использования биопрепаратов в предпосевной подготовке семян значительно повышается на фоне внесения минеральных удобрений. Так, на фоне без удобрений ЛФП от использования Ризоагрина составил $0,101 \text{ м}^2/\text{м}^2$, от Азотовита – $0,104$, от Биостим Старта – $0,106 \text{ м}^2/\text{м}^2$, тогда как на фоне $\text{N}_{71}\text{P}_{36}\text{K}_{58}$ он вырос до $0,106 \text{ м}^2/\text{м}^2$; $0,110$; $0,112$ и $0,117 \text{ м}^2/\text{м}^2$ соответственно.

Потенциальная урожайность сухой массы полбы (зерно + солома), рассчитанной по ЛФП, имела амплитуду $5,97\text{--}6,63 \text{ т/га}$ с прибавками от удобрений от $0,12$ до $0,33 \text{ т/га}$. Минимальные прибавки от биопрепаратов ($0,06\text{--}0,15 \text{ т/га}$) были получены в вариантах применения препаратов Ризоагрин и Азотовит без внесения удобрений и на низком фоне минерального питания ($\text{N}_{59}\text{P}_{30}\text{K}_{48}$).

Более низкая эффективность Ризоагрина и Азотовита по сравнению с Биостим Стартом по-видимому объясняется тем, что для формирования устойчивой ассоциации азототрофных бактерий, которые способны использовать азот воздуха, требуется более длительный период времени и благоприятные погодные условия.

Тем не менее, фактическая площадь ассимилирующих органов полбы теоретически позволяет сформировать от $5,97$ до $6,51 \text{ т/га}$ воздушно-сухой массы (зерно + солома) на основе применения расчётных норм минеральных удобрений и дополнительного использования в предпосевной подготовке семян бактериальных препаратов, особенно стимулятора роста Биостим Старт.

Итоговим результатом формирования листовой поверхности, листового фотосинтетического потенциала выступает чистая продуктивность фотосинтеза (ЧПФ), которая рассчитывается по формуле Кидда, Веста и Бриггса (Ничипорович А. А., 1956, 1972):

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

где B_2 и B_1 – сухая масса растений в конце и в начале учитываемого периода, $\text{г}/\text{м}^2$;

L_1 и L_2 – листовая площадь в начале и в конце учётного периода, м^2 ; n – период между двумя наблюдениями, сутки.

Проведённые измерения и расчёты показывают неоднозначность действия на чистую продуктивность фотосинтеза изучаемой культуры расчетных норм минеральных удобрений и применяемых биопрепаратов в предпосевной подготовке семян (таблица 13).

Таблица 13. Чистая продуктивность фотосинтеза агроценоза полбы в зависимости от минеральных удобрений, биопрепаратов и Биостим Старт (2020–2023 гг.)

| Удобрение (фактор А) | Препараты в предпосевной обработке семян (фактор В) | ЧПФ, $\text{г}/\text{м}^2$ в сутки | Прибавка, % | |
|---|--|---------------------------------------|-------------|---------------|
| | | | от НРК | от препаратов |
| Без удобрений (контроль) | Без обработки (контроль) | 6,9 | – | – |
| | Азотовит | 7,2 | – | 0,3 |
| | Ризоагрин | 7,3 | – | 0,4 |
| | Биостим Старт | 7,7 | – | 0,8 |
| $N_{59}P_{30}K_{48}$ (на урожай зерна 2,5 т/га) | Без обработки (контроль) | 7,4 | 0,5 | – |
| | Азотовит | 7,8 | 0,5 | 0,4 |
| | Ризоагрин | 7,9 | 0,6 | 0,5 |
| | Биостим Старт | 8,1 | 0,4 | 0,7 |
| $N_{71}P_{36}K_{58}$ (на урожай зерна 3,0 т/га) | Без обработки (контроль) | 8,2 | 1,3 | – |
| | Азотовит | 8,4 | 1,2 | 0,2 |
| | Ризоагрин | 9,0 | 1,7 | 0,8 |
| | Биостим Старт | 9,3 | 1,6 | 1,1 |

Инокуляция семян полбы ризобактериями (Азотовит – бактерии рода *Beijerinckia fluminensis* и Ризоагрин – *Agrobacterium radiobacter*) способствовала повышению чистой продуктивности фотосинтеза на 0,3–0,4 $\text{г}/\text{м}^2$ 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 $\text{г}/\text{м}^2$ в сутки, а на расчётном

фоне NPK 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 свидетельствует, 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:

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

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.

Таким образом, внесение расчётных норм минеральных удобрений на планируемую урожайность зерна полбы в 2,5 и 3,0 т/га в сочетании с использованием в предпосевной подготовке семян бактериальных препаратов Ризоагрин и Азотовит, стимулятора роста Биостим Старт увеличивает ассимилирующий аппарат растений, ЛФП и чистую продуктивность фотосинтеза.

4.5 Высота стеблестоя полбы

Высота растений имеет как положительное, так и отрицательное значение в формировании агрофитоценоза полбы. К примеру, чем выше стеблестой растительного сообщества, тем меньше остается жизненного пространства для роста и развития сорняков. Кроме того, чем выше высота растений, тем больше формиру-

ется листовая площадь с содержанием хлорофилла, при помощи которого происходит фотосинтез и образуется органическое вещество. Однако, чем больше высота растений, тем значительнее риск их полегания, которое становится не только причиной недобора урожая, но и снижения качества конечной продукции.

На посевах полбы между высоким стеблестоем и массой колосьев образуется дисбаланс, и ломкие стебли полбы, не выдержав нагрузку колоса, нередко переламываются.

В ходе исследований нами оценено влияние минеральных удобрений и современных биопрепаратов на высоту растений в целях возможного управления этим процессом при возделывании полбы в условиях производства (рисунок 12, Приложение Ж).

В ходе измерений установлено, что к концу кущения высота растений в зависимости от расчётных фонов минерального питания и способов предпосевной подготовки семян изменялась от 8,2 см контроле (без удобрений и без препаратов) до 15,7 см на варианте с предпосевной обработкой семян препаратом Биостим Старт с внесением NPK на планируемую урожайность зерна полбы 3,0 т/га. При этом отмечен аддитивный эффект от совместного действия удобрений и препарата Биостим Старт. В среднем за годы исследований в конце кущения высота растений возрастала на фоне внесения $N_{59}P_{30}K_{48}$ на 2,1 см, на фоне применения $N_{71}P_{36}K_{58}$ – на 4,0 см, от применения препарата Биостим Старт – 1,9 и 3,5 см соответственно.

Влияние Азотовита и Ризоагрина на высоту растений также чётко проявилось на фоне внесения расчётных норм минеральных удобрений на 2,5 и 3,0 т/га зерна полбы. Высота растений опережала контрольные варианты опыта на 1–1,3 и 1,0–1,1 см соответственно по расчётным фонам минерального питания.

Резкий скачок роста растений в высоту происходит в период «трубкование – колошение». В контрольном варианте (без удобрений и без биопрепаратов) высота растений в этом периоде была в 10 раз больше по сравнению с фазой «всходы – кущение». Вместе с тем, разница высоты растений на удобренных фонах и без внесения минеральных удобрений нивелируется.

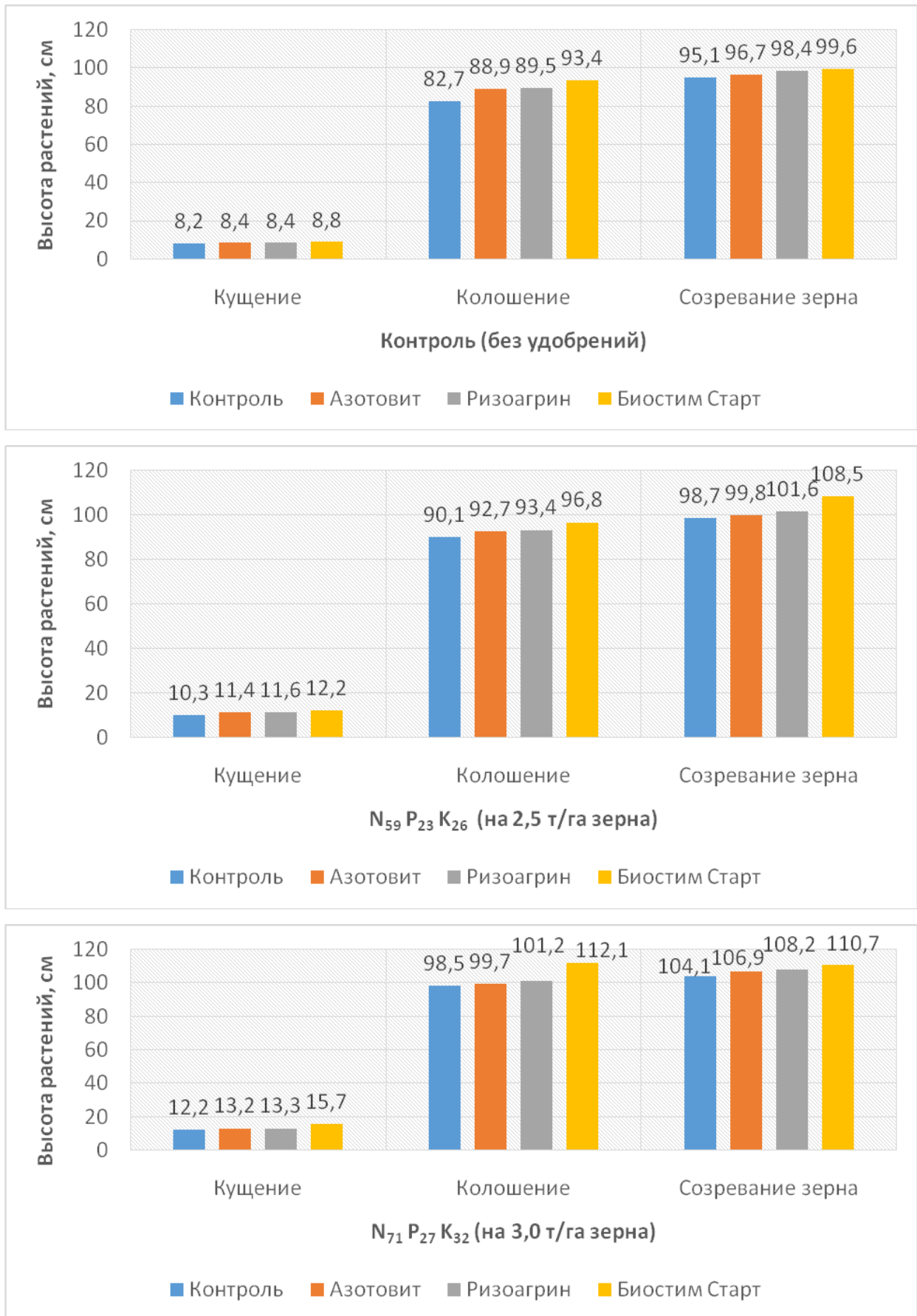


Рисунок 12– Динамика высоты растений полбы по фазам её развития

Так, в лучшем варианте опыта, где применяется Биостим Старт без внесения минеральных удобрений, высота растений полбы составила 93,4 см, против 96,8 см на фоне минерального питания $N_{59}P_{30}K_{48}$ (на урожай зерна 2,5 т/га) и 112,1 см – на фоне $N_{71}P_{36}K_{58}$ (на урожай зерна 3,0 т/га). Разница составила соответственно 3,4 и 18,7 см.

При оценке влияния на высоту растений расчётных норм минеральных удобрений на планируемые урожайности 2,5 и 3,0 т/га зерна и биопрепаратов является корреляционная зависимость от углубления корневой системы, особенно в период «трубкавание – колошение» (рисунок 13, 14).

Установленные коэффициенты корреляции $r = 0,947$ и $r = 0,944$ говорят о том, что между двумя исследуемыми величинами есть очень тесная положительная взаимосвязь. Точка максимума, рассчитанная в третьем блоке питания по формуле: $y = 4,8408x - 55,608$ достигается в варианте с препаратом Биостим Старт».

Следовательно, расчётные нормы минеральных удобрений и изучаемых препаратов, особенно Биостим Старт усиливают продуктивную кустистость полбы и способствуют формированию плотного высокорослого стеблестоя.

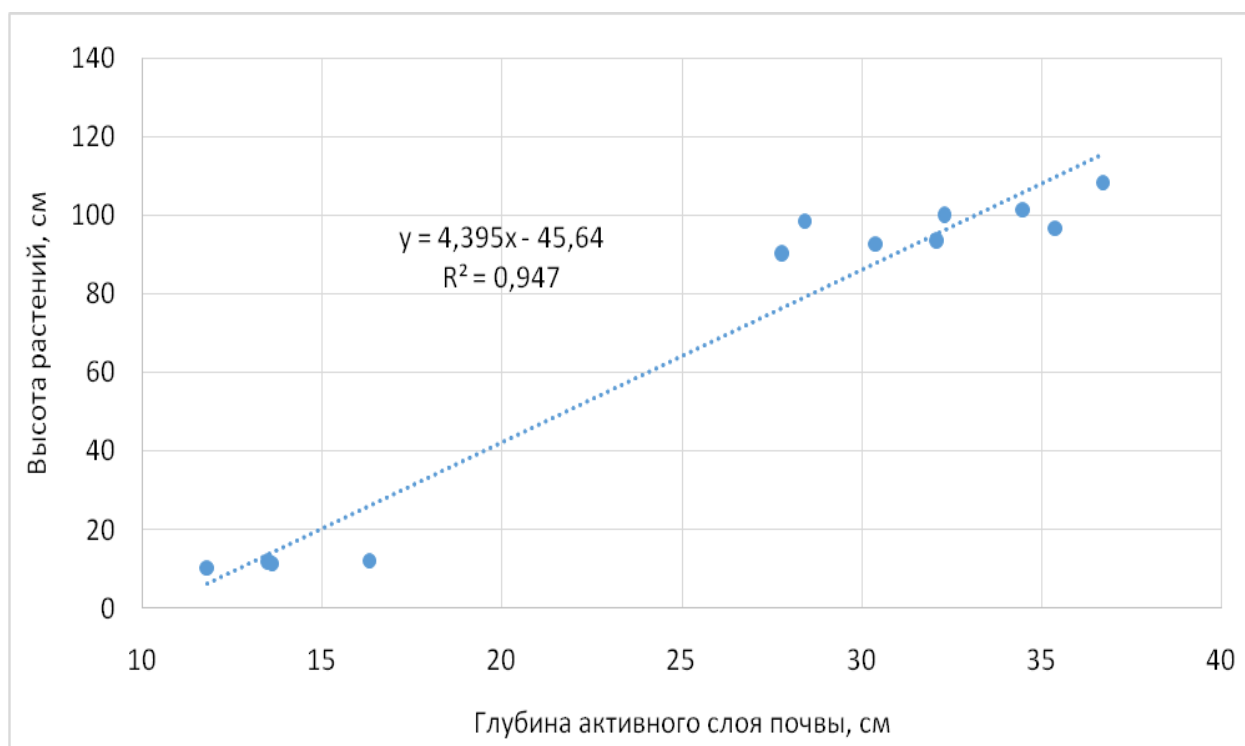


Рисунок 13 – Корреляционная зависимость между углублением корневой системы и высотой растений в блоке минерального питания $N_{59}P_{30}K_{48}$.

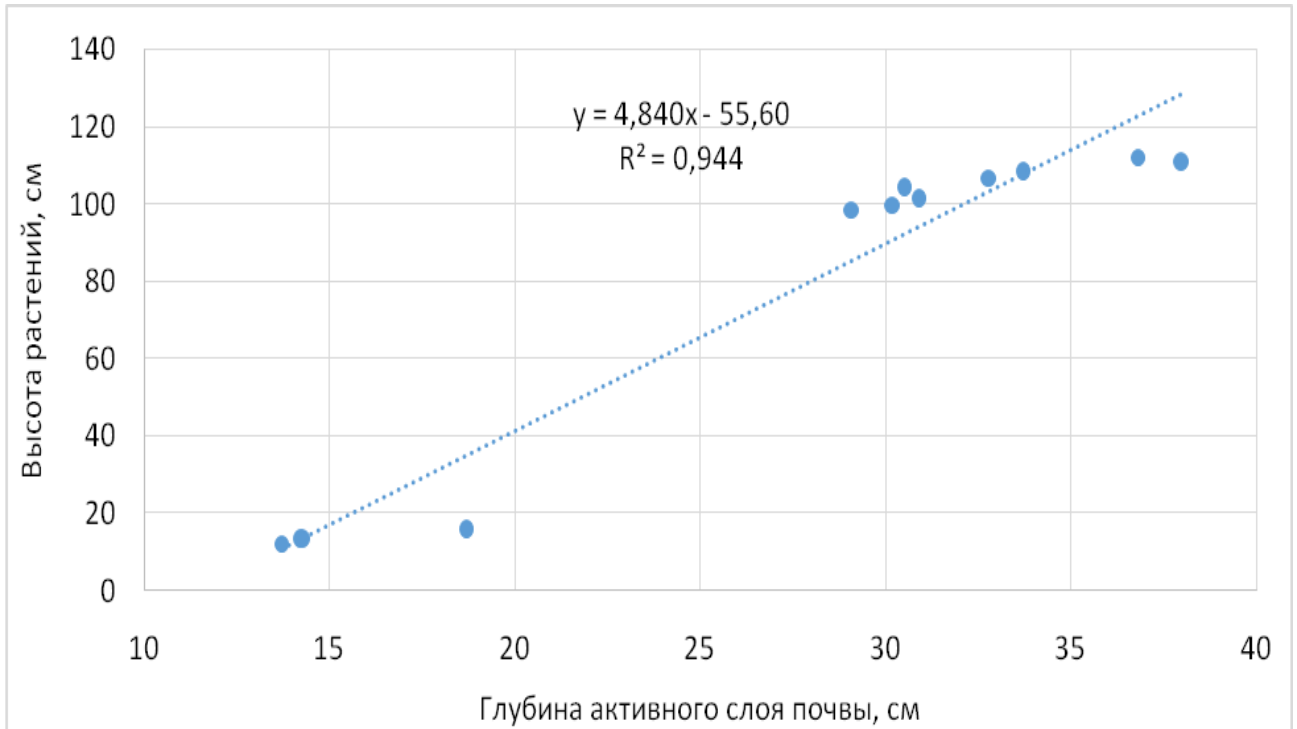


Рисунок 14 – Корреляционная зависимость между углублением корневой системы и высотой растений в блоке минерального питания $N_{71}P_{36}K_{58}$.

4.6 Элементы структурного состава урожая

Формирование высокопродуктивных агрофитоценозов яровых зерновых культур, в том числе и полбы (двузернянки), состоит из сложных многоступенчатых процессов, в которых участвуют различные взаимосвязанные между собой нерегулируемые, слабoreгулируемые и регулируемые внутренние и внешние факторы: генетический потенциал растений, климатические и почвенные условия, агротехнические приемы и многие другие.

Анализ структурного состава урожая позволяет выяснить, какие элементы структуры в большей мере влияют на формирование продуктивности полбы, поскольку плотность продуктивного стеблестоя, количество зёрен в колосе и крупность зерна (масса 1 000 зёрен) определяют, как биологическую урожайность, так и выход товарной продукции с 1 га пашни.

В таблице 14 приведены параметры отдельных элементов структуры урожая – количество зёрен в колосе и масса 1 000 зёрен в зависимости от изучаемых факторов – применения минеральных удобрений и препаратов.

Таблица 14. Параметры и структурный состав колоса полбы в зависимости от внесения расчётных норм минеральных удобрений и применения биопрепаратов и Биостим Старт в предпосевной подготовке семян (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 |

Для более объективной оценки влияния минеральных удобрений и биопрепаратов на структуру колоса, желательно рассмотреть их в отдельности. При этом чётко выясняется, что расчётные нормы минеральных удобрений оказывают меньше влияния на длину колоса по сравнению с биопрепаратом. Так, длина колоса в абсолютном контроле (без использования удобрений и без препаратов) составила 6,2 см против 6,7 см на расчётном фоне NPK на урожай зерна 2,5 т/га и 7,2 см – на фоне минерального питания, рассчитанного на получение 3,0 т/га зерна полбы с разницей 0,5 и 1,0 см. В тех же условиях внутри первого блока опыта (без удобрений) Ризоагрин способствовал увеличению длины колоса на 0,9 см (7,1 – 6,2 = 0,9 см), а Биостим Старт – на 1,3 см. Во втором блоке (NPK на 2,5 т/га зерна) данная разница возрастает до 1,2 см. То есть, эффект взаимодействия минеральных удобрений и биопрепаратов всегда выше по сравнению с отдельным их применением.

Количество зёрен в колосе внутри отдельного блока исследования по фонам минерального питания превышало наименьшую существенную разницу – 0,4 шт./колос. Например, без внесения минеральных удобрений количество зёрен в колосе возрастало

с 15,0 шт. в контроле (без биопрепаратов) до 16,2 шт. – в варианте предпосевной обработки семян биопрепаратом Биостим Старт, или на 1,2 шт./колос. Разница на фоне минерального питания $N_{59}P_{30}K_{48}$ составила 0,2 шт./колос ($21,2 - 21,0 = 0,2$ шт./колос), и на фоне $N_{71}P_{36}K_{58}$ отмечено достоверное снижение числа зёрен в колосе.

Таким образом, выполненность колоса полбы зерновками в большей степени зависит от применения минеральных удобрений и частично от сочетания их с использованием биопрепаратов.

Несколько иная картина наблюдалась по массе 1 000 зерен. В тех же условиях при внесении NPK -удобрений с расчётом получения 2,5 т/га зерна прибавка массы 1 000 зёрен была на уровне 1,0 г ($29,0 - 28,0 = 1,0$ г). Анализ данных свидетельствует, что возделывание полбы на фоне внесения $N_{59}P_{30}K_{48}$ увеличивало в среднем за четыре года исследований массу 1 000 зёрен на 2,8 г, на фоне применения $N_{71}P_{36}K_{58}$ – на 3,5 г. Что касается влияния изучаемых биопрепаратов на массу 1 000 семян полбы – оно было весьма скромное. Предпосевная обработка семян препаратами Азотовит и Ризоагрин увеличивали массу 1 000 зёрен всего на 0,4 г, препаратом Биостим Старт – на 0,6 г. При этом действие удобрений и изучаемых препаратов на массу 1 000 зёрен было аддитивным.

Вышеизложенные тенденции и закономерности чётко проявляются измерениями длины и ширины зёрен полбы (рисунок 15).

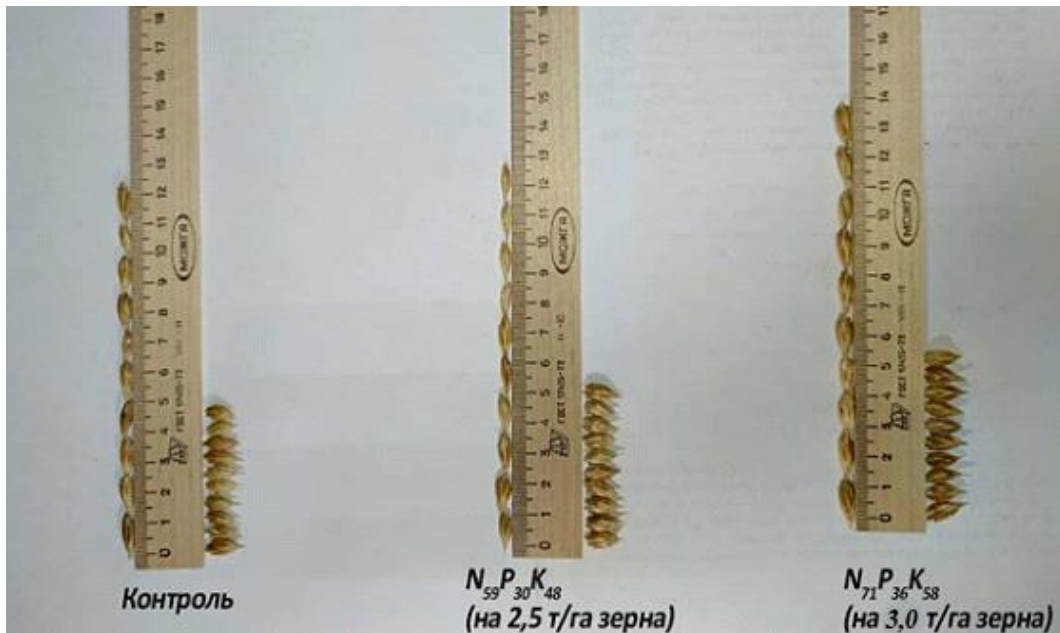


Рисунок 15 – Длина и ширина зерновок полбы в зависимости от внесения расчётных норм минеральных удобрений

Таким образом, применение минеральных удобрений и препаратов способствуют формированию бóльшего числа зёрен в колосе и более крупного зерна.

Располагая сопряженными данными урожайности зерна полбы и элементами структуры урожайности, количеством продуктивных стеблей, числом семян 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:

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

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

Качество растениеводческой продукции, как известно, представляет собой сложную, многомерную категорию. Основная продукция одного и того же растения оценивается по разным показателям качества: физическим, или технологическим (масса 1 000 зёрен, натурная масса, крупность, или сход с решёт 2,8 + 2,5 мм, выравненность и др.) и химическим (содержание белков, жиров, углеводов, аминокислотный состав белка и т. п.) показателям.

Общеизвестно, что внесение удобрений, использование различных препаратов, отдельные агротехнические приёмы, а также погодные условия периода вегетации растений оказывают определённое влияние не только на величину урожая, но и на показатели качества. Рассмотрим полученные в ходе исследования результаты.

5.1 Содержание белка и его аминокислотный состав

Белки – высокомолекулярные азотсодержащие, состоящие из альфа-аминокислот, соединённых в молекулярную цепь пептидной связью (–CO–NH–), выполняющие пластическую, энергетическую, каталитическую, гормональную, регуляторную, защитную, транспортную и другие функции (Овчинников Ю. А., 1987). Нет большой необходимости писать, что белки, или протеины, – важнейший класс биологически активных веществ. Они являются основными компонентами всех форм живой материи, включая микроорганизмы, растения и животных.

Общеизвестно, что рост и развитие любого живого организма-консумента, в том числе и человека, зависит от белковой обеспеченности, так как все ферменты и некоторые гормоны имеют белковый состав. Белки активно участвуют в выработке антител, обеспечивающие надёжную функциональную иммунную систему. Белки также участвуют в транспортировке многих соединений, необходимых для нормального функционирования организма человека. Белки выступают основой формирования энергетической способности живого организма. В связи с этим

среднесуточное потребление белковых веществ должно быть не менее 0,83 г/кг массы тела взрослого человека при смешанном рационе питания, а для пожилых людей – 1,2 г/кг (Нормы физиологических потребностей..., 2009).

Лучшими источниками белка животного происхождения являются куриное яйцо, мясо, молоко и молочные продукты, рыба и другие. Однако излишнее употребление белков животного происхождения приводит к накоплению холестерина, в результате которого возникают сердечнососудистые заболевания (Николаева Е. Н., 2017). В связи с этим часть белков, необходимых для роста и развития организма человека, должна поступать из продуктов питания растительного происхождения.

Особенно высоким содержанием белка отличаются зернобобовые культуры (соя, горох, бобы, чечевица), орехи, крупяные (гречиха, просо) и злаковые зерновые культуры (рис, пшеница, рожь, ячмень, овёс и полба).

Из числа возделываемых пшениц по количеству белка особо выделяется полба. Так, среднее содержание белка в зерне пшеницы мягкой (*Triticum aestivum* L.) составляет 12,7 %, в зерне пшеницы твёрдой (*Triticum durum* Desf.) – 12,5 % (Химический состав..., 1976), то в зерне полбы, по сведениям О. В. Чугуновой с соавт. (2015), 17,7 %, в исследованиях А. Н. Боровик (2016) в условиях Краснодарского края – 19,1 %, по данным Д. Х. Зиннатуллина (2019) в условиях лесостепи Среднего Поволжья в среднем 14,8 %.

Нами оценено влияние уровней минерального питания и предпосевной обработки семян на содержание белка в зерне полбы сорта *Руно* (таблица 15, Приложение Ж).

Полученные данные свидетельствуют, что применение минеральных удобрений и предпосевная обработка семян биопрепаратами увеличивают содержание белка в зерне полбы. При этом внесение $N_{59}P_{30}K_{48}$ (на урожай 2,5 т/га зерна) увеличивало в среднем по фону этот показатель на 1,5 %_{абс}, или на 10 %_{отн}. Эффект от применения $N_{71}P_{36}K_{58}$ (на урожай 3,0 т/га зерна) оказался меньшим: абсолютная прибавка белковости зерна составила 0,8 %, а относительная – 5 %.

Таблица 15. Содержание и валовой сбор белка в зависимости от изучаемых препаратов и фона минерального питания полбы (в среднем за 4 года, без плодовой оболочки)

| Удобрение (фактор А) | Препараты в предпосевной обработке семян (фактор В) | Содержа- ние белка, % | Валовой сбор белка, кг/га | Прибавка, кг/га | |
|--|---|-----------------------------|---------------------------------|-------------------|----------------------|
| | | | | от удоб- рений | от био- препарата |
| Без удобрений (контроль) | Без обработки (контроль) | 14,2 | 149,1 | – | – |
| | Азотовит | 14,7 | 159,9 | – | 10,8 |
| | Ризоагрин | 15,3 | 176,0 | – | 26,9 |
| | Биостим Старт | 15,8 | 190,7 | – | 41,6 |
| | Среднее по фону | 15,0 | 168,9 | – | 26,4 |
| N ₅₉ P ₃₀ K ₄₈ (на урожай зерна 2,5 т/га) | Без обработки (контроль) | 15,6 | 252,7 | 103,6 | – |
| | Азотовит | 16,1 | 279,6 | 119,7 | 26,9 |
| | Ризоагрин | 16,9 | 297,2 | 121,2 | 44,5 |
| | Биостим Старт | 17,3 | 318,3 | 127,1 | 65,6 |
| | Среднее по фону | 16,5 | 287,0 | 117,9 | 45,7 |
| N ₇₁ P ₃₆ K ₅₈ (на урожай зерна 3,0 т/га) | Без обработки (контроль) | 15,1 | 287,8 | 138,7 | – |
| | Азотовит | 15,6 | 315,2 | 155,3 | 27,4 |
| | Ризоагрин | 16,0 | 332,7 | 156,7 | 44,9 |
| | Биостим Старт | 16,5 | 354,1 | 163,4 | 66,3 |
| | Среднее по фону | 15,8 | 322,4 | 153,5 | 46,2 |

Предпосевная обработка семян биопрепаратами также увеличивала белковость зерна полбы. При этом эффективность препаратов по увеличению белковости зерна располагались в такой ряд:

Биостим Старт > Ризоагрин > Азотовит.

Лучший результат по увеличению белковости зерна (17,3 %_{абс}) отмечался при использовании аминокислотного биостимулятора Биостим Старт по фону внесения минеральных удобрений на урожайность зерна 2,5 т/га. В тоже время по фону применения минеральных удобрений в норме N₇₁P₃₆K₅₈ от обработки семян этим препаратом наблюдалось некоторое снижение белковости зерна полбы, вероятнее всего связанное с формированием бóльшего количества побочной продукции (соломы) и перераспределением пула доступного растениям азота не в пользу зерна.

Анализ рассеивания экспериментальных данных по содержанию белка в зерне полбы с использованием дисперсионного анализа показал, что в варьирова-

нии 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 равным. На остаточное варьирование, обусловленное случайными факторами и случайными ошибками, приходилось 7 %.

На основе данных по урожайности и белковости зерна полбы нами вычислен валовый сбор белка (см. таблицу 15). Подсчёты показали, что применение $N_{59}P_{30}K_{48}$ увеличило, независимо от использования биопрепаратов, сбор белка в среднем на 70 %, а внесение $N_{71}P_{36}K_{58}$ – на 91 %. Предпосевная обработка семян препаратом Азотовит увеличивала (независимо от уровня минерального питания) сбор белка на 9 %, препаратом Ризоагрин – на 17, аминокислотным биостимулятором Биостим Старт – на 25 %. Наибольший сбор белка зафиксирован на варианте $N_{71}P_{36}K_{58}$ + Биостим Старт.

Суждение о преимуществе полбы в сравнении с другими зерновыми и зернобобовыми культурами только по содержанию белка явно недостаточно, так как семена гороха, фасоли, чечевицы, сои на четверть и более состоят из белка. Так, в семенах гороха белок составляет 22,0–34,0 %, в семенах фасоли – 15,0–33,4, в семенах чечевицы – 24,6–34,1, в семенах сои – 29,4–50,4 % (Ивойлов А. В., Лукманов А. А., 2025).

Но кроме общего количества белка, содержащегося в семенах растений, важна его питательная ценность по аминокислотному составу.

Общеизвестно, что белки построены преимущественно из 20 базовых протеиногенных аминокислот (хотя общее число известных аминокислот насчитывают около 200) и двух амидов (Проскурина И. К., 2003). Особое значение имеет содержание в белках растений незаменимых аминокислот. Как известно, они не могут синтезироваться в организме человека и животных. Эти аминокислоты люди и животные получают только с растительными пищевыми продуктами и кормами. К незаменимым аминокислотам в питании людей чаще всего относят валин, изолейцин, лейцин, трионин, метионин, лизин, триптофан и фенилаланин, для детей

также и аргинин. Ещё 6 аминокислот относятся к группе частично заменимых – аргинин, цистеин, глицин, глутамин, пролин, тирозин (Лысиков Ю. А., 2012).

Нами был оценен аминокислотный состав зерна полбы с образцов, отобранных с разных фонов минерального питания растений (таблица 16). Следует отметить, что полученные нами значения вполне согласуются с данными, приведёнными на сайте FitAudit.ru (<https://fitaudit.ru/food/157979/amino>).

Таблица 16. Аминокислотный состав белка полбы (двузернянки) в зависимости от фона минерального питания, г/100 г (2023 г.)

| Аминокислота | Без удобрений | НPK на 2,5 т/га | НPK на 3,0 т/га |
|-----------------------|---------------|-----------------|-----------------|
| Аргинин | 0,40 | 0,44 | 0,42 |
| Лизин | 0,37 | 0,41 | 0,39 |
| Тирозин | 0,28 | 0,30 | 0,29 |
| Фенилаланин | 0,94 | 1,05 | 0,98 |
| Гистидин | 0,32 | 0,36 | 0,31 |
| Лейцин и изолейцин | 1,19 | 1,28 | 1,22 |
| Метионин | 0,22 | 0,24 | 0,23 |
| Валин | 0,85 | 0,89 | 0,88 |
| Пролин | 1,48 | 1,65 | 1,57 |
| Треонин | 0,22 | 0,37 | 0,36 |
| Серин | 0,60 | 0,62 | 0,61 |
| Аланин | 0,64 | 0,67 | 0,66 |
| Глицин | 0,53 | 0,57 | 0,55 |
| Цистеин | 0,20 | 0,21 | 0,21 |
| Глутаминовая кислота | 4,28 | 4,65 | 4,46 |
| Аспарагиновая кислота | 0,80 | 0,86 | 0,80 |
| Триптофан | 0,12 | 0,14 | 0,13 |

Результаты анализа образцов показали, что аминокислотный состав полбы характеризуется высоким содержанием незаменимых аминокислот, на долю которых на фоне естественного плодородия почвы (без применения удобрений) приходится 32 % от общего наличия аминокислот. На фоне внесения расчётных норм минеральных удобрений на планируемую урожайность зерна полбы 2,5 т/га долевое участие незаменимых аминокислот повышается до 34 % (4,89 г/кг белка), на фоне применения НPK с расчётом получения 3,0 т/га зерна – до 33 % (4,69 г/кг).

Для оценки качества белка зерна полбы нами рассчитана сбалансированность аминокислотного состава (таблица 17) (показатель аминокислотного сора, введённый ВОЗ/ФАО, 1990), по формуле:

$$A_c = (A_i/A_{i_0}) \times 100 \%,$$

где A_c – показатель аминокислотного сора; A_i – содержание в белке незаменимой кислоты, г/100 г белка; A_{i_0} – содержание незаменимой кислоты в идеальном белке, г/100 г белка.

Из данных, приведённых в таблицы 17 видно, что две аминокислоты – лизин и треонин, содержатся в зерне полбы меньше эталонных значений. Остальные аминокислоты превышают их. С этой точки зрения мы можем с большой вероятностью утверждать, что все необходимые аминокислоты для нормальной жизнедеятельности человека в зерне полбы присутствуют, и культура может стать важным компонентом функционального питания человека.

Таблица 17. Содержание незаменимых аминокислот и аминокислотный скор

| Аминокислоты | Содержание незаменимых аминокислот, г/100 г | | Аминокислотный скор, % |
|-----------------------|--|---------------------------|------------------------|
| | в эталонном белке (рекомендации ФАО/ВОЗ 2011 г.) | в зерне полбы $P_{уно}$ * | |
| Валин | 0,50 | 0,89 | 178 |
| Лейцин и изолейцин | 1,10 | 1,28 | 116 |
| Лизин | 0,55 | 0,41 | 75 |
| Метионин + цистеин | 0,35 | 0,45 | 129 |
| Треонин | 0,40 | 0,37 | 93 |
| Триптофан | 0,10 | 0,14 | 140 |
| Фенилаланин + тирозин | 0,60 | 1,35 | 225 |

Примечание. * – зерно с варианта НРК на урожайность зерна 2,5 т/га

5.2 Содержание сырого жира в зерне

Общеизвестно, что жиры и жироподобные вещества (липиды) входят в состав растительных клеток, наряду с белками, углеводами и другими жизненно важными соединениями. Жиры служат структурными компонентами цитоплазмы растительных клеток. Они участвуют в регуляции проницаемости клеточных

мембран (Шеуджен А. Х. и др., 2006). В живых организмах жиры и липиды выполняют множество функций, среди которых основными выступают энергетическая, структурная (при построении мембран), транспортная, защитная и регуляторная (Кольман Я. и др., 2019). В растениях жиры образуются из углеводов и накапливаются в основном в семенах и плодах. В вегетативных структурах растений их достаточно мало, часто менее 1 % (Красильникова Л. А. и др., 2004).

По содержанию жира и липидов в семенах зерновых культур накоплена большая информация. Так, по данным многочисленных источников, в зерне пшеницы мягкой содержится около 1,6 % жира, пшеницы твёрдой – 1,9, ржи – 1,6, ячменя – 2,0 %. Более высокое содержание жира отмечается у просо – 3,7–4 %, у кукурузы и овса – до 5 % (Кретович В. Л., 1991; Казаков Е. Д. и др., 2005 и др.). Сведений о содержании жира и липидов в зерне полбы намного меньше. Можно отметить, что практически они единичны, так как зерновые культуры не принято причислять к масличным растениям. Чаще всего в публикациях указано содержание жира в полбяной муке. Так, по данным О. В. Чугуновой и Е. В. Крюковой (2015), массовая доля жира в зерне полбы сорта *Волжская* составляло 2,43 %, а в муке из её зерна – $1,55 \pm 0,05$ %. В исследовании Д. Н. Королева с соавт. (2019) зерно полбы сорта *Руно* содержало 2,4 % жира, в исследовании П. И. Гуньковой с соавт. (2024) у того же сорта, выращенного в 2022 г. в Алтайском крае, – 3,2 %.

По утверждению В. В. Юкова (2005), Ю. В. Крюковой, Н. В. Лейберовой, Е. И. Лихачевой (2014) одно из преимуществ жира полбы – наличие в его составе мононасыщенных жирных кислот в количестве 0,890 г/100 г жира, полиненасыщенных – 1,223 г/100 г, и даже имеются следы жирных кислот омега-3 и омега-6.

Нами оценено содержание жира в очищенном зерне полбы сорта *Руно* в зависимости от уровня минерального питания и предпосевной обработки семенного материала биопрепаратами (рисунок 16, приложение И).

Установлено, что применение удобрений и препаратов способствует увеличению концентрации жира в зерне полбы. Так, если на варианте без использования удобрений и препаратов содержание жира в среднем за годы исследований составляло 2,86 %, то на варианте $N_{59}P_{30}K_{48}$ + Биостим Старт (с наибольшим содержанием жира) – 3,53 %.

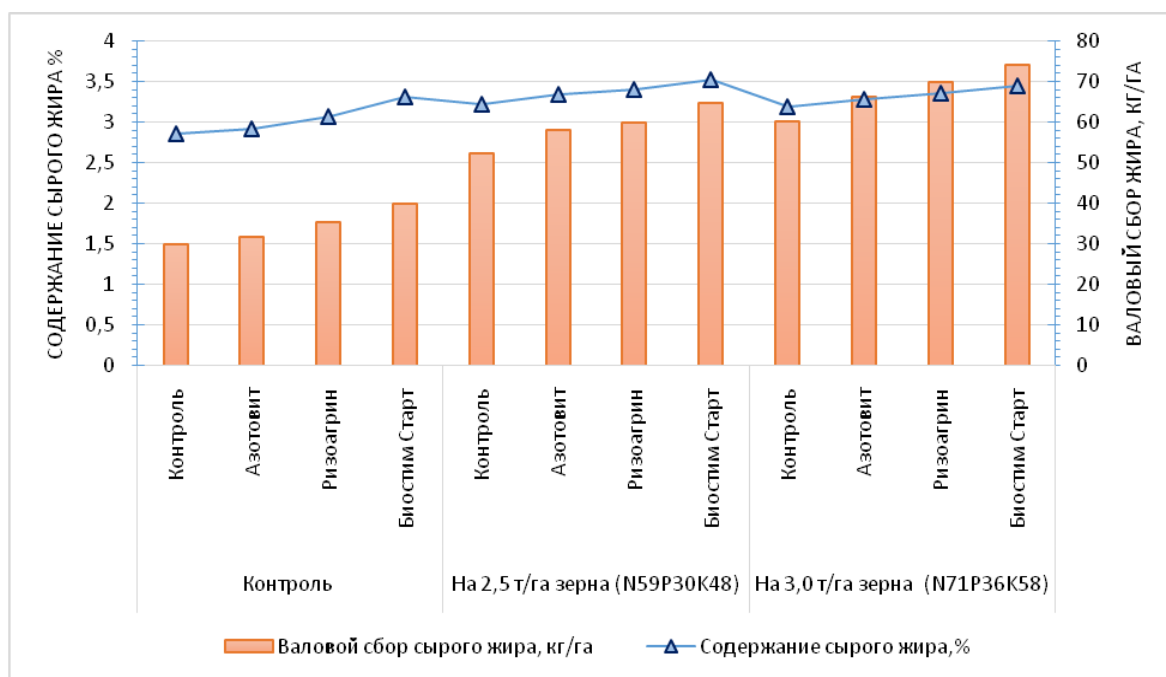


Рисунок 16 – Влияние уровней минерального питания и применение биопрепаратов на содержание жира в зерне полбы *Руно* и его выход с 1 га (2020–2023 гг.).

Внесение минеральных удобрений под полбу и предпосевная обработка семян по своему влиянию на повышение содержания жира в зерне было однонаправленным и аддитивным, то есть взаимодействие изучаемых факторов было нейтральным.

Выявлено, что на фоне естественного плодородия среднее содержание сырого жира в зерне независимо от предпосевной обработки семян составляло 3,04 %, то на фоне внесения удобрений на урожайность зерна 2,5 т/га – 3,38 %. На фоне расчётных доз удобрений на урожайность зерна 3,0 т/га концентрация сырого жира в зерне была несколько ниже, и составляла 3,32 %. 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. Обработка семян перед посевом препаратом Азотовит увеличивала, независимо от фона удобренности, содержание жира на 0,08 %, препаратом Ризоагрин – на 0,18 и аминокислотным биостимулятором Биостим Старт – на 0,33 %.

Расчёты показывают, что в результате применения удобрений и биопрепаратов происходило увеличение выхода сырого жира с единицы площади посева

(см. рисунок 16). Так, выход сырого жира с 1 га пашни на естественном фоне плодородии при использовании препарата Азотовит возрос на 1,8 кг, Ризоагрин – на 5,4, Биостим Старт – на 10,0 кг. На фоне расчётных норм минеральных удобрений на урожайность зерна 2,5 т/га и 3,0 т/га валовой сбор сырого жира был несколько выше – 5,8–12,6 и 6,0–14,0 кг/га соответственно.

5.3 Содержание углеводов в зерне полбы

Общеизвестно, что основная масса зерна хлебов первой группы, в которую входит полба, на две трети состоит из углеводов (Казаков Е. Д. и др., 2005). Они являются теми продуктами, которые образуются в зелёном растении в процессе фотосинтеза из диоксида углерода (CO_2) и воды за счёт энергии солнечного света и дают начало органическим веществам живых организмов (Мокроносов А. Т. и др., 2006). Углеводы в растительном организме выполняют энергетическую, пластическую (образование органических и нуклеиновых кислот, а из них – аминокислот, белков, липидов), защитную, опорную, регуляторную и запасную функции (Шеуджен А. Х. и др., 2006). К углеводам относят крахмал, целлюлозу (клетчатку), сахара, пектиновые вещества, инулин, камеди, слизи и другие широко распространённые соединения растительного происхождения (Кольман Я. и др., 2019).

В ходе исследований нами было изучено влияние предпосевной обработки семян полбы биопрепаратами при возделывании её на участках с различным уровнем удобренности на содержание углеводов в зерне без семенной оболочки (таблица 18).

Приведённые в таблице 18 данные свидетельствуют, что внесение удобрений и предпосевная обработка семян биопрепаратами сопровождается снижением содержания в зерне полбы углеводов. Так, на фоне применения $\text{N}_{59}\text{P}_{30}\text{K}_{48}$ содержание углеводов снизилось в среднем на 1,9 %, независимо от применения биопрепаратов, а на фоне $\text{N}_{71}\text{P}_{36}\text{K}_{58}$ – на 1,2 %. Предпосевная обработка семян препаратом Азотовит уменьшала концентрацию углеводов в зерне полбы на 0,6 %, препаратом Ризоагрин – на 1,4, аминокислотным биостимулятором Биостим Старт – на 2,0 %.

Таблица 18. Влияние биопрепаратов и расчётных норм минеральных удобрений на содержание углеводов в зерне полбы сорта *Руно*, 2020–2023 гг.

| Удобрение (фактор А) | Препараты в предпосевной обработке семян (фактор В) | Содержание углеводов, % | Валовой сбор углеводов | | |
|--|---|-------------------------------|------------------------|-------------------|----------------------|
| | | | всего | в т. ч. прибавка | |
| | | | | от удоб- рений | от биопре- парата |
| | | | кг/га | | |
| Без удобрений (контроль) | Без обработки (контроль) | 67,2 | 705,6 | – | – |
| | Азотовит | 66,7 | 727,0 | – | 21,4 |
| | Ризоагрин | 65,8 | 756,7 | – | 51,1 |
| | Биостим Старт | 65,1 | 787,7 | – | 82,1 |
| Среднее по фону | | 66,2 | 744,3 | – | 51,5 |
| N ₅₉ P ₃₀ K ₄₈ (на урожай зерна 2,5 т/га) | Без обработки (контроль) | 65,5 | 1 061,1 | 355,5 | – |
| | Азотовит | 64,7 | 1 125,8 | 398,8 | 64,7 |
| | Ризоагрин | 63,8 | 1 122,9 | 366,2 | 61,8 |
| | Биостим Старт | 63,3 | 1 164,7 | 377,0 | 103,6 |
| Среднее по фону | | 64,3 | 1 118,6 | 374,4 | 76,7 |
| N ₇₁ P ₃₆ K ₅₈ (на урожай зерна 3,0 т/га) | Без обработки (контроль) | 65,9 | 1 238,9 | 533,3 | – |
| | Азотовит | 65,3 | 1 319,1 | 592,0 | 80,1 |
| | Ризоагрин | 64,8 | 1 347,8 | 591,1 | 108,9 |
| | Биостим Старт | 64,2 | 1 380,3 | 592,6 | 141,4 |
| Среднее по фону | | 65,0 | 1 321,5 | 577,3 | 110,1 |

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 ($n = 12$, $r = -0.997$, $t_{\text{ф}} = 40,3 > t_{05} = 2,23$):

$$У = 85,31 - 1,28 \times Б.$$

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

Несмотря на то, что от применения удобрений и биопрепаратов концентрация углеводов в зерне полбы снижается, валовой их выход с единицы площади увеличивается в результате роста продуктивности культуры. При этом наибольший прирост выхода углеводов обеспечивает внесение минеральных удобрений. На их долю при внесении N₅₉P₃₀K₄₈ приходилось 89 % суммарной

прибавки, в то время как на изучаемые препараты – 11 %, при внесении $N_{71}P_{36}K_{58}$ – 92 и 8 % соответственно.

5.4 Пленчатость зерна полбы

Одним из основных недостатков плёнчатой полбы (им является сорт *Руно*), наряду с относительно низкой продуктивностью (по сравнению с сортами пшеницы мягкой интенсивного типа), ломкостью колоса после созревания, трудностью обмолота, полеганием на высоких агрофонах, является наличие плёнок, которые составляют около 25 % от массы зерна. В то же время, плодовые оболочки защищают зерно полбы от неблагоприятного влияния факторов внешней среды, в меньшей мере поражаются грибковыми заболеваниями, практически не подвержены энзимомикозному «стеканию зерна» (Темирбекова С. К., 2000; Кошкин Е. И., 2010; Чугунова О. В. и др., 2015 и др.).

Полученные нами данные свидетельствуют, что внесение минеральных удобрений и предпосевная обработка семян препаратами уменьшают плёнчатость зерна (таблица 19). При этом минеральные удобрения в меньшей степени оказывали воздействие на этот показатель, чем биопрепараты. Так, в среднем за годы исследований содержание плодовых оболочек в сравнении с естественным фоном снизилось по фону применения $N_{59}P_{30}K_{48}$ (на урожай зерна 2,5 т/га) на 1,0 %, по фону $N_{71}P_{36}K_{58}$ (на урожай 3,0 т/га зерна) – на 1,4 %. При этом, независимо от уровня удобренности, предпосевная обработка семян полбы препаратом Азотовит способствовала снижению плёнчатости зерна на 1,7 %, препаратом Ризоагрин – на 1,8, аминокислотным биостимулятором Биостим Старт – на 2,6 %. Наименьшее количество плодовых оболочек у зерновок полбы сорта *Руно* зафиксировано на варианте $N_{71}P_{36}K_{58}$ + Биостим Старт.

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.

Таблица 19. Плёнчатость зерна полбы и выход чистого зерна после обрушения (2020–2023 гг.)

| Удобрение (фактор А) | Препараты в предпосевной обработке семян (фактор В) | Плёнча- тость, % | Выход чистого зерна после обрушения, т/га | Прибавка, т/га | |
|--|---|---------------------|--|-------------------|--------------------|
| | | | | от удоб- рений | от пре- паратов |
| Без удобрений (контроль) | Без обработки (контроль) | 28,1 | 1,05 | – | – |
| | Азотовит | 27,5 | 1,09 | – | 0,04 |
| | Ризоагрин | 27,2 | 1,15 | – | 0,10 |
| | Биостим Старт | 26,4 | 1,21 | – | 0,16 |
| | Среднее по фону | 27,3 | 1,12 | – | 0,10 |
| N ₅₉ P ₃₀ K ₄₈ (на урожай зерна 2,5 т/га) | Без обработки (контроль) | 28,0 | 1,62 | 0,57 | – |
| | Азотовит | 26,1 | 1,74 | 0,65 | 0,12 |
| | Ризоагрин | 26,1 | 1,76 | 0,61 | 0,14 |
| | Биостим Старт | 25,1 | 1,84 | 0,63 | 0,22 |
| | Среднее по фону | 26,3 | 1,74 | 0,62 | 0,16 |
| N ₇₁ P ₃₆ K ₅₈ (на урожай зерна 3,0 т/га) | Без обработки (контроль) | 27,8 | 1,88 | 0,83 | – |
| | Азотовит | 26,0 | 2,02 | 0,93 | 0,14 |
| | Ризоагрин | 25,2 | 2,08 | 0,93 | 0,20 |
| | Биостим Старт | 24,7 | 2,15 | 0,94 | 0,27 |
| | Среднее по фону | 25,9 | 2,03 | 0,91 | 0,20 |
| HCP ₀₅ | А | | 0,18 | | |
| | В | | 0,14 | | |
| | АВ | | 0,20 | | |

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:

$$\text{Пл} = 38,44 - 0,4333 \times M_{1000} \quad (r = -0,624),$$

где Пл – плёнчатость, %; M_{1000} – 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

Погодно-климатические условия оказывают значительное влияние на продуктивность зерновых культур, включая темпы роста и развития растений, урожайность и качество зерна. Это обусловлено зависимостью основных агрономических показателей от количества выпавших во время роста растений осадков, от температурного режима и влажности почвы. Многие авторы подчеркивали важность метеорологических факторов в проявлении эффективности удобрений (Федосеев А. П., 1985; Иванова Т. И., 1987; Сиротенко О. Д. и др., 2009; Журавлев Д. Ю. и др., 2023). Особое внимание уделялось влиянию метеорологических условий на рост и развитие сельскохозяйственных культур в условиях неустойчивого увлажнения лесостепной зоны (Ивойлов А. В., 1995, 2015; Лукманов А. А., 2022; Демина И. Ф., 2022; Шарапов И. И. и др., 2023).

Несмотря на широкий спектр исследований, посвященных влиянию гидрометеорологических условий на продуктивность сортов пшеницы, изучение аналогичных вопросов применительно к культуре полбы остается недостаточным.

Анализ рассеивания экспериментальных данных с использованием дисперсионного анализа позволил нам вычленить долевое участие в варьировании урожайности зерна полбы погодных условий, уровня минерального питания и применения биопрепаратов (таблица 20). 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 %.

Таблица 20. 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 |

Незначительное доленое 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 доленое 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 (см. таблицу 20).

Для оценки связи между погодными условиями и урожаем полбы были взяты параметры в так называемые «критические» периоды развития культуры: продуктивные запасы влаги в мае с пахотного горизонта, запасы продуктивной влаги с горизонта 0–100 см за май – июнь, количество осадков за июнь-июль, среднесуточные температуры июня и май – июня, гидротермические коэффициенты по Селянинову Г.Т. за вегетационный период и отдельно за май. Кроме того, учитывались сроки прохождения фенологических фаз развития растений: продолжительность периода от всходов до полной спелости и число дней от всходов до выхода в трубку (таблица 21).

Таблица 21. Взаимосвязь между агрометеорологическими показателями и урожайностью зерна полбы (коэффициенты корреляции) (полевой опыт, 2020–2023 гг.).

| Показатель (аргумент) | Фон минерального питания | | |
|--|--------------------------|----------------------|--------|
| | без удобрений | на урожайность зерна | |
| | | 2,5 т/га | 3 т/га |
| Среднесуточная температура за май – июнь – T_{5-6} , °С | -0,69* | -0,82* | -0,88* |
| Среднесуточная температура июня – T_6 , °С | -0,43 | -0,70* | -0,72* |
| Запасы продуктивной влаги в мае, слой 0–20 см – PV_5 , мм | 0,44 | 0,55* | 0,59* |
| Запасы продуктивной влаги в мае – июне, слой 0–50 см, PV_{5-6} , мм | 0,46 | 0,55* | 0,66* |
| Сумма осадков за июнь – июль – O_{6-7} , мм | 0,71* | 0,61* | 0,67* |
| Значение гидротермического коэффициента за вегетацию – ГТК | 0,64* | 0,72* | 0,76* |
| Значение гидротермического коэффициент за май – ГТК ₅ | 0,74* | 0,77* | 0,84* |
| Продолжительность периода от всходов до созревания зерна – Φ , дни | 0,30 | 0,66* | 0,64* |
| Продолжительность периода от всходов до выхода в трубку – Φ_6 , дни | 0,67* | 0,77* | 0,81* |

Примечание. * – достоверно на 5%-м уровне значимости.

Наиболее высокая отрицательная связь ($r = -0,82 \dots -0,88$) отмечена между урожайностью и среднесуточной температурой воздуха за май – июнь и сильная положительная ($r = +0,77 \dots +0,84$) между урожайностью и значениями гидротермического коэффициента (ГТК) за май. Связь между урожайностью с ГТК за вегетационный период была положительной и менее выраженной – $r = +0,64 \dots +0,76$, но также была статистически значимой.

Подтверждена положительная тесная связь урожайности по всем фонам минерального питания с количеством осадков за июнь – июль ($r = 0,61 \dots 0,71$) и с продолжительностью периода от всходов до выхода в трубку ($r = 0,67 \dots 0,81$). Вместе с тем выявлена низкая значимость запасов продуктивной влаги в почве на начало сезона, что объясняется большим влиянием летних осадков на продуктивность растений полбы (Шарков И. Н. и др., 2020). Тем не менее, внесение NPK на 3 т/га зерна заметно повышает достоверность указанной связи.

Конечно, предсказать заранее гидротермические условия затруднительно, но все же целесообразно построить регрессионное уравнение для прогноза урожайности зерна полбы (Упр, т/га) на основании полученных данных множественного корреляционного анализа, включающего учёт внесенного количества NPK:

$$\begin{aligned} \text{Упр} = & 7,1571 + 0,0071 \times \text{NPK} - 0,8382 \times T_{5-6} + 0,536 \times T_6 - 0,03293 \times O_{6-7} + \\ & + 0,4805 \times \text{ГТК} + 0,0173 \times F_6, \quad R^2 = 0,917. \end{aligned}$$

На основе уравнения множественной регрессии можно сделать вывод, что наибольшее влияние на урожайность полбы оказывает количество внесенных минеральных удобрений (коэффициент уравнения регрессии 0,0071). Повышение среднесуточной температуры воздуха за май – июнь оказывает негативное воздействие на урожайность (коэффициент уравнения регрессии $-0,8382$).

7 ВЛИЯНИЕ УДОБРЕНИЙ И ПРЕПАРАТОВ НА ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПОЛБЫ И ВЫНОС ПИТАТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Известно, что применение удобрений и биопрепаратов оказывают влияние не только на режим питания, рост и развитие возделываемой культуры, величину и качество урожая, но и на содержание основных элементов питания в растениях. Знание содержания питательных элементов необходимо для оценки параметров абсолютного и относительного их выноса с урожаем возделываемой культуры в целях мониторинга почвенного плодородия и при расчёте норм удобрений на планируемый уровень урожайности (Сычёв В. Г., 2019).

К настоящему времени накоплен огромный материал по содержанию основных элементов питания в зерне и соломе озимой и яровой пшеницы, преимущественно мягкой (*Triticum aestivum*), и относительном выносе их с урожаем. Эти данные вошли в учебные и справочные издания (Максимов Н. А., 1958; Карпачевский О. Л., 1997; Лапа В. В. и др., 2006; Практикум по агрохимии, 2008; Вильдфлуш И. Р. и др., 2019; Ивойлов А. В. и др., 2025 и др.). Также имеются публикации не только о химическом составе в целом по культуре пшеницы мягкой, но и в разрезе сортов (Шафран С. А. и др., 2024). В то же время данных о содержании основных питательных элементов в надземной части растений полбы-двузернянки и показатели абсолютного и относительного выноса N, P₂O₅ и K₂O с урожаем единичны. Так, в опыте Н. С. Рогозиной (2019), в зерне голозёрной полбы сорта *Псковитянка* в условиях Псковской области содержание азота (N) варьировало от 2,57 до 3,69 %, фосфора (P₂O₅) – от 0,275 до 0,473, калия (K₂O) – от 1,00 до 1,39 %. В соломе концентрация азота изменялось с 0,48 до 0,68 %, фосфора – с 0,186 до 0,219 и калия – с 1,75 до 3,48 %. При этом прослеживалась общая для определяемых питательных элементов закономерность: содержание азота, фосфора и калия в зерне и соломе увеличивалось по мере роста вносимых доз удобрений.

Рассмотрим результаты наших исследований по содержанию основных питательных элементов в надземной части полбы – зерне и соломе.

7.1 Содержание питательных элементов в надземной части растений

Результаты лабораторных анализов свидетельствуют, что на содержание в зерне и соломе полбы значительное влияние оказывало как использование в технологии возделывания минеральных удобрений и препаратов, так и метеорологические условия периода вегетации (таблица 22, 23). Так, 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. 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 (K_2O). Содержание фосфора (P_2O_5) в зерне полбы достоверно увеличивалось (на 0,06 %_{абс}) лишь на вариантах с использованием биостимулятора Биостим Старт.

Наибольшая концентрация азота в зерне полбы отмечалась в 2021 г., фосфора и калия – в 2022 г.

В связи с тем, что на разных вариантах опыта выход основной и побочной продукции было различным, нами определено средневзвешенное содержание питательных элементов в целом растении – зерно + солома (таблица 24)

Данные таблицы 24 свидетельствуют, что внесение минеральных удобрений оказало существенное влияние на увеличение содержание азота в растениях полбы. Так, в среднем по фону внесения $N_{59}P_{30}K_{48}$ на планируемую урожайность зерна на 2,5 т/га концентрация азота по сравнению с фоном естественного плодородия почвы (без применения удобрений) увеличилась на 0,24 %_{абс}, по фону внесения $N_{71}P_{36}K_{58}$ на урожайность зерна 3,0 т/га – на 0,28 %_{абс}. В то же время концентрация фосфора и калия в растениях полбы при внесении минеральных удобрений уменьшалась, особенно фосфора, что можно объяснить так называемым эффектом «ростового разбавления», которые отмечают многие исследователи (Завалин А. А. и др., 2001; Ефимов В. Н. и др., 2002).

Таблица 22. Содержание минеральных веществ в зерне полбы, %

| Удобрение (фактор А) | Препараты в предпо- севной обработке семян (фактор В) | 2020 г. | | | 2021 г. | | | 2022 г. | | | 2023 г. | | | Среднее за 2020–2023 гг. | | |
|--|---|---------|-------------------------------|------------------|---------|-------------------------------|------------------|---------|-------------------------------|------------------|---------|-------------------------------|------------------|-----------------------------|-------------------------------|------------------|
| | | N | P ₂ O ₅ | K ₂ O | N | P ₂ O ₅ | K ₂ O | N | P ₂ O ₅ | K ₂ O | N | P ₂ O ₅ | K ₂ O | N | P ₂ O ₅ | K ₂ O |
| Без удобрений (контроль) | Без обработки (контроль) | 2,47 | 0,55 | 0,37 | 2,88 | 0,59 | 0,40 | 2,35 | 0,70 | 0,50 | 2,49 | 0,58 | 0,20 | 2,55 | 0,61 | 0,37 |
| | Азотовит | 2,53 | 0,58 | 0,34 | 2,86 | 0,60 | 0,37 | 2,63 | 0,82 | 0,40 | 2,58 | 0,55 | 0,42 | 2,65 | 0,64 | 0,38 |
| | Ризоагрин | 2,74 | 0,68 | 0,40 | 3,02 | 0,63 | 0,35 | 2,68 | 0,56 | 0,40 | 2,68 | 0,55 | 0,34 | 2,78 | 0,60 | 0,37 |
| | Биостим Старт | 2,72 | 0,66 | 0,40 | 3,04 | 0,64 | 0,38 | 2,82 | 0,84 | 0,50 | 2,77 | 0,56 | 0,37 | 2,84 | 0,67 | 0,41 |
| Среднее по фону | | 2,62 | 0,62 | 0,38 | 2,95 | 0,62 | 0,38 | 2,62 | 0,73 | 0,45 | 2,63 | 0,56 | 0,33 | 2,70 | 0,63 | 0,38 |
| N ₅₉ P ₃₀ K ₄₈ (на урожай зерна 2,5 т/га) | Без обработки (контроль) | 2,84 | 0,55 | 0,42 | 2,91 | 0,59 | 0,35 | 2,77 | 0,75 | 0,50 | 2,74 | 0,57 | 0,42 | 2,82 | 0,61 | 0,42 |
| | Азотовит | 3,00 | 0,71 | 0,34 | 2,98 | 0,58 | 0,40 | 2,81 | 0,68 | 0,50 | 2,82 | 0,55 | 0,34 | 2,90 | 0,63 | 0,40 |
| | Ризоагрин | 3,12 | 0,58 | 0,34 | 3,14 | 0,59 | 0,41 | 2,96 | 0,65 | 0,50 | 2,96 | 0,54 | 0,37 | 3,05 | 0,59 | 0,41 |
| | Биостим Старт | 3,12 | 0,68 | 0,34 | 3,26 | 0,71 | 0,40 | 3,02 | 0,83 | 0,50 | 3,04 | 0,67 | 0,34 | 3,11 | 0,72 | 0,40 |
| Среднее по фону | | 3,02 | 0,63 | 0,36 | 3,07 | 0,62 | 0,39 | 2,89 | 0,73 | 0,50 | 2,89 | 0,58 | 0,37 | 2,97 | 0,64 | 0,41 |
| N ₇₁ P ₃₆ K ₅₈ (на урожай зерна 3,0 т/га) | Без обработки (контроль) | 2,75 | 0,57 | 0,40 | 2,82 | 0,57 | 0,39 | 2,68 | 0,88 | 0,60 | 2,65 | 0,63 | 0,37 | 2,73 | 0,66 | 0,44 |
| | Азотовит | 2,88 | 0,64 | 0,35 | 2,89 | 0,60 | 0,38 | 2,75 | 0,88 | 0,50 | 2,74 | 0,60 | 0,46 | 2,82 | 0,68 | 0,42 |
| | Ризоагрин | 2,91 | 0,63 | 0,35 | 3,00 | 0,57 | 0,39 | 2,82 | 0,90 | 0,40 | 2,81 | 0,59 | 0,37 | 2,89 | 0,67 | 0,38 |
| | Биостим Старт | 2,93 | 0,64 | 0,35 | 3,14 | 0,66 | 0,39 | 2,86 | 0,81 | 0,40 | 2,89 | 0,64 | 0,34 | 2,96 | 0,69 | 0,37 |
| Среднее по фону | | 2,87 | 0,62 | 0,36 | 2,96 | 0,60 | 0,39 | 2,78 | 0,87 | 0,48 | 2,77 | 0,62 | 0,38 | 2,85 | 0,68 | 0,40 |

Таблица 23. Содержание минеральных веществ в соломе полбы, %

| Удобрение (фактор А) | Препараты в предпосев- ной обработке семян (фактор В) | 2020 г. | | | 2021 г. | | | 2022 г. | | | 2023 г. | | | Среднее за 2020–2023 гг. | | |
|--|---|---------|-------------------------------|------------------|---------|-------------------------------|------------------|---------|-------------------------------|------------------|---------|-------------------------------|------------------|-----------------------------|-------------------------------|------------------|
| | | N | P ₂ O ₅ | K ₂ O | N | P ₂ O ₅ | K ₂ O | N | P ₂ O ₅ | K ₂ O | N | P ₂ O ₅ | K ₂ O | N | P ₂ O ₅ | K ₂ O |
| Без удобрений (контроль) | Без обработки (контроль) | 0,45 | 0,47 | 2,37 | 0,42 | 0,50 | 2,10 | 0,60 | 0,55 | 1,96 | 0,38 | 0,57 | 1,74 | 0,46 | 0,52 | 2,04 |
| | Азотовит | 0,40 | 0,56 | 2,07 | 0,40 | 0,37 | 2,03 | 0,45 | 0,52 | 1,98 | 0,35 | 0,55 | 2,23 | 0,40 | 0,50 | 2,08 |
| | Ризоагрин | 0,27 | 0,61 | 1,96 | 0,32 | 0,56 | 2,16 | 0,27 | 0,50 | 2,10 | 0,26 | 0,47 | 2,01 | 0,28 | 0,54 | 2,06 |
| | Биостим Старт | 0,26 | 0,42 | 2,09 | 0,30 | 0,50 | 2,05 | 0,24 | 0,49 | 2,35 | 0,25 | 0,53 | 1,74 | 0,26 | 0,49 | 2,06 |
| Среднее по фону | | 0,34 | 0,52 | 2,12 | 0,36 | 0,48 | 2,08 | 0,39 | 0,52 | 2,10 | 0,31 | 0,53 | 1,93 | 0,35 | 0,51 | 2,06 |
| N ₅₉ P ₃₀ K ₄₈ (на урожай зерна 2,5 т/га) | Без обработки (контроль) | 0,41 | 0,36 | 2,00 | 0,50 | 0,37 | 2,23 | 0,51 | 0,38 | 2,10 | 0,44 | 0,35 | 1,66 | 0,46 | 0,37 | 2,00 |
| | Азотовит | 0,37 | 0,42 | 2,00 | 0,42 | 0,26 | 2,35 | 0,39 | 0,38 | 1,57 | 0,33 | 0,42 | 2,10 | 0,38 | 0,37 | 2,01 |
| | Ризоагрин | 0,22 | 0,40 | 2,07 | 0,28 | 0,34 | 2,03 | 0,29 | 0,34 | 2,12 | 0,22 | 0,56 | 2,00 | 0,25 | 0,41 | 2,06 |
| | Биостим Старт | 0,22 | 0,37 | 2,07 | 0,25 | 0,29 | 1,73 | 0,21 | 0,29 | 2,51 | 0,24 | 0,32 | 1,99 | 0,23 | 0,32 | 2,08 |
| Среднее по фону | | 0,30 | 0,39 | 2,04 | 0,36 | 0,32 | 2,08 | 0,35 | 0,35 | 2,08 | 0,31 | 0,41 | 1,94 | 0,33 | 0,37 | 2,04 |
| N ₇₁ P ₃₆ K ₅₈ (на урожай зерна 3,0 т/га) | Без обработки (контроль) | 0,48 | 0,26 | 1,86 | 0,62 | 0,28 | 1,65 | 0,64 | 0,28 | 2,40 | 0,47 | 0,17 | 1,53 | 0,55 | 0,25 | 1,86 |
| | Азотовит | 0,61 | 0,31 | 1,80 | 0,55 | 0,20 | 2,17 | 0,45 | 0,20 | 1,60 | 0,49 | 0,41 | 2,26 | 0,52 | 0,28 | 1,96 |
| | Ризоагрин | 0,46 | 0,30 | 1,96 | 0,51 | 0,20 | 2,19 | 0,48 | 0,20 | 2,03 | 0,41 | 0,33 | 1,67 | 0,46 | 0,26 | 1,96 |
| | Биостим Старт | 0,43 | 0,29 | 1,65 | 0,48 | 0,29 | 2,00 | 0,48 | 0,29 | 2,39 | 0,43 | 0,22 | 2,04 | 0,45 | 0,27 | 2,02 |
| Среднее по фону | | 0,50 | 0,28 | 1,82 | 0,54 | 0,24 | 2,00 | 0,51 | 0,24 | 2,10 | 0,45 | 0,28 | 1,88 | 0,49 | 0,26 | 1,95 |

Таблица 24. Среднее содержание основных минеральных веществ в общей биомассе полбы (зерно + солома), % (2020–2023 гг.)

| Удобрение (фактор А) | Препараты в предпосевной обработке семян (фактор В) | N | P ₂ O ₅ | K ₂ O |
|---|---|------|-------------------------------|------------------|
| Без удобрений (контроль) | Без обработки (контроль) | 3,01 | 1,13 | 2,41 |
| | Азотовит | 3,05 | 1,14 | 2,46 |
| | Ризоагрин | 3,06 | 1,14 | 2,43 |
| | Биостим Старт | 3,10 | 1,16 | 2,47 |
| | Среднее по фону | 3,06 | 1,14 | 2,44 |
| N ₅₉ P ₃₀ K ₄₈ (на урожай зерна 2,5 т/га) | Без обработки (контроль) | 3,28 | 0,98 | 2,42 |
| | Азотовит | 3,28 | 1,00 | 2,40 |
| | Ризоагрин | 3,30 | 1,00 | 2,46 |
| | Биостим Старт | 3,34 | 1,04 | 2,47 |
| | Среднее по фону | 3,30 | 1,00 | 2,44 |
| N ₇₁ P ₃₆ K ₅₈ (на урожай зерна 3,0 т/га) | Без обработки (контроль) | 3,28 | 0,91 | 2,30 |
| | Азотовит | 3,34 | 0,96 | 2,38 |
| | Ризоагрин | 3,35 | 0,93 | 2,34 |
| | Биостим Старт | 3,41 | 0,96 | 2,39 |
| | Среднее по фону | 3,34 | 0,94 | 2,35 |

7.2 Хозяйственный вынос, баланс и коэффициенты использования элементов питания из почвы и удобрений

Как известно, основная задача агрохимии заключается в оценке направленности круговорота биогенных элементов и интенсивности воздействия на баланс питательных веществ в агрофитоценозе, что влияет на систему почва – растение. Применение удобрений не только влияет на выход и качество сельскохозяйственной продукции, но и на обогащение или истощение почвы питательными элементами (Прянишников Д. Н., 1965; Лукманов А. А. и др., 2023).

Соответствующие 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 25). Порядок выноса питательных элементов из почвы, как известно, определяется биологическими особенностями возделывае-

мой культуры, и для полбы, как и для других пшениц – мягкой и твёрдой, – он составляет такой ряд: $N > K_2O > P_2O_5$.

Таблица 25. 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 |

Внесение N₅₉P₃₀K₄₈ (на урожайность зерна 2,5 т/га) увеличивало в среднем, независимо от применения биопрепаратов, 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 %. Ещё бóльший вынос основных питательных элементов отмечался при внесении N₇₁P₃₆K₅₈ (на урожайность зерна 3,0 т/га): азота по сравнению с фоном естественным плодородия почвы он 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.

Свою лепту в повышение абсолютного выноса азота, фосфора и калия с урожаем полбы вносили биопрепараты. Так, предпосевная обработка семян препаратом Азотовит увеличивала хозяйственный вынос азота, независимо от уровня удобренности, 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.

Полученные в нашем опыте показатели относительного выноса питательных элементов полбой сорта *Руно* для серой лесной почвы отличаются от значений, приводимых другими авторами. Так, в среднем по нашему опыту с 1 т зерна с учётом побочной продукции вынос азота составлял 32,3 (30,1...34,1) кг/т, фосфора – 10,2 (9,1...11,6) и калия – 24,0 (22,9...24,7) кг/т, а в исследованиях М. Ф. Амирова с соавт. (2024) – 37,5 кг/т, 3,2 и 18,0 т/га соответственно. Эти показатели можно использовать как нормативные по сорту полбы *Руно* для условий Республики Татарстан и соседних регионов со сходными почвенно-климатическими условиями.

На основе экспериментальных данных нами рассчитан хозяйственный баланс основных питательных элементов (таблица 26). 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. При внесении $N_{59}P_{30}K_{48}$ и $N_{71}P_{36}K_{58}$ 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 (Лукманов А. А. и др., 2024, с. 40).

Приведённые в таблице 26 данные свидетельствуют о незначительном участии биопрепаратов в улучшении азотного питания растений при оценке их вкла-

да разностным методом (Афендулов К. П. и др., 1973 и др.). Так, предпосевная обработка семян препаратом Азотовит равноценна замене 2–3 кг д. в./га азотных удобрений, препарата Ризоагрин – 5–6, аминокислотным биостимулятором Биостим Старт – 8–9 кг д. в./га. Это значительно ниже показателей, приводимых в специальной литературе (Завалин А. А. и др., 2019, 2024 и др.). По всей видимости, это можно объяснить погодными условиями периода вегетации полбы и уровнем плодородия почвы. Известно, что при недостатке атмосферных осадков, особенно в критические фазы роста и развития растений, урожайность возделываемых культур от инокуляции не повышается.

Таблица 26. Баланс питательных веществ на посевах полбы сорта *Руно* 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 |

Результаты опыта позволили рассчитать с применением разностного метода коэффициенты использования основных питательных элементов из почвы (КИП) и минеральных удобрений (КИУ) (таблица 27, 28).

Определённые нами коэффициенты использования питательных веществ из почвы отличаются по азоту и фосфору от значений, встречающихся в публикаци-

ях. 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 27. 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 28. Коэффициенты использования питательных веществ из минеральных удобрений на посевах полбы, % (2020–2023 гг.)

| Удобрение (фактор А) | Препараты в предпосевной обработке 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 из удобрений варьировали по азоту (N) от 51 до 66 %, по фосфору (P₂O₅) – от 19 до 23, по калию (K₂O) – 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 двух норм, N₅₉P₃₀K₄₈ и N₇₁P₃₆K₅₈, увеличение показателя КИУ_N составило в среднем 10 %, КИУ_{P₂O₅} – 1 %, КИУ_{K₂O} – 4 %.

Отмечено, что предпосевная обработка семян полбы препаратом Биостим Старт однозначно увеличивала коэффициенты использования основных питательных элементов из почвы: азота по фону внесения расчётной нормы удобрения на урожайность зерна полбы 2,5 т/га на 3 %, фосфора – на 3, калия – на 2 %, по фону применения туков на урожайность зерна 3,0 т/га – на 6 %, 2 и 4 % соответственно. Препараты Азотовит и Ризоагрин оказывали по сравнению с абсолютным контролем (фон естественного плодородия почвы) незначительное и неоднозначное влияние на коэффициенты использования основных питательных элементов из удобрений (см. таблицу 28).

8 ИЗМЕНЕНИЕ СВОЙСТ ПОЧВЫ ПРИ ВНЕСЕНИИ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ И ПРИМЕНЕНИИ ПРЕПАРАТОВ

Известно, что применение удобрений (минеральных, органических, известковых) оказывает существенное влияние не только на величину и качество урожая возделываемой культуры, но и на изменения агрохимических и агрофизических свойств почвы, на её микробиологическую активность, на истощение или обогащение почвы питательными веществами (Петербургский А. В., 1979; Войтович Н. В. и др., 2002; Сычёв В. Г., 2019; Лукманов А. А., 2024 и др.). В связи с этим нами было изучено влияние минеральных удобрений и препаратов на основные агрохимические показатели серой лесной тяжелосуглинистой почвы. Как известно из многочисленных публикаций по этому вопросу, более существенно эти изменения прослеживаются при систематическом применении удобрений в длительных и многолетних полевых опытах. В то же время и в краткосрочных опытах можно оценить направленность процессов по изменению тех или иных свойств почвы.

8.1 Влияние минеральных удобрений и изучаемых препаратов на рН и содержание питательных веществ в пахотном слое почвы

Исследованиями установлено, что содержание гумуса в пахотном слое почвы оставалось неизменным. Внесение минеральных удобрений незначительно повысило кислотность почвы, хотя изменение рН на 0,1–0,2 ед. находилось в пределах погрешностей анализа (таблица 29).

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 расчётных норм удобрений на урожайность зерна полбы 2,5 т/га несколько повышало содержание подвижных форм фосфора в пахотном слое на 3–5 мг/кг почвы, на урожайность зерна 3,0 т/га – на 1–3 мг/кг почвы, и эти изменения находились в пределах ошибки определений.

Таблица 29. 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 |

Несмотря на отрицательный хозяйственный баланс калия в опыте (см. таблицу 26), отмечено некоторое увеличение содержания его подвижных форм в почве: по фону внесения N₅₉P₃₀K₄₈ на 1–2 мг/кг почвы, по фону N₇₁P₃₆K₅₈ – 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 положительном хозяйственном балансе калия содержания его подвижных форм в пахотном слое в первых ротациях севооборота, как правило, возрастает. В последующем содержание подвижных форм калия стабилизируется на определённом уровне или даже снижается за счёт перехода подвижных форм в необменные. При отрицательном балансе на почвах тяжёлого гранулометрического состава наблюдается обратная закономерность, т. е. переход необменных форм калия в подвижные. Ещё ранее 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 тяжёлоуглинистой почвы можно объяснить улучшением азотного питания растений полбы в результате применения минеральных удобрений и инокуляции семян ассоциативными азотфиксаторами.

8.2 Микробиологическая активность почвы

Процессы трансформации пожнивно-корневых остатков, синтеза и разложения гумуса, биохимических превращений вносимых в почву удобрений, а также мобилизации труднодоступных для питания растений веществ напрямую связаны с деятельностью почвенной микрофлоры (Мишустин Е. Н., 1972; Туев Н. А., 1989; Тейт Р., 1991; Емцев В. Т. и др., 2006; Нетрусов А. И. и др., 2007 и др.). В этой связи исследование биологической активности почвы на фоне применения минеральных удобрений и биопрепаратов, увеличения поступления в почву пожнивно-корневых остатков представляют определённый научно-практический интерес.

В нашем исследовании микробиологическую активность почвы мы оценили аппликационным методом посредством разложения льняной ткани, помещённой в почву на глубину пахотного слоя.

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 (таблица 30, рисунок 17). 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 увеличивала разложение льняного полотна на 3,5–8,6 %_{абс}, или на 15–17 %_{отн}. Наибольшее разложение полотна отмечалось на варианте $N_{71}P_{36}K_{58}$ + Биостим Старт. По отношению к абсолютному контролю деструкция целлюлозы льна возросла на 13,0 %_{абс}, или на 68 %_{отн}. Действие удобрений и препаратов было аддитивным.

Таблица 30. Влияние минеральных удобрений и изучаемых препаратов, применяемых на посевах полбы на биоактивность серой лесной почвы (2020–2023 гг.)

| Удобрение (фактор А) | Препараты в предпосевной обработке семян (фактор В) | Разложение льняной ткани, % _{абс} | Прибавка, % _{отн} | |
|--|--|--|----------------------------|------------------|
| | | | от удобрений | от биопрепаратов |
| Без удобрений (контроль) | Без обработки (контроль) | 21,6 | – | – |
| | Азотовит | 24,7 | – | 14 |
| | Ризоагрин | 25,8 | – | 19 |
| | Биостим Старт | 28,5 | – | 32 |
| | Среднее по фону | 25,2 | | 17 |
| N ₅₉ P ₃₀ K ₄₈ (на урожай зерна 2,5 т/га) | Без обработки (контроль) | 23,2 | 7 | – |
| | Азотовит | 26,8 | 8 | 16 |
| | Ризоагрин | 28,6 | 11 | 23 |
| | Биостим Старт | 32,4 | 14 | 40 |
| | Среднее по фону | 27,8 | 10 | 26 |
| N ₇₁ P ₃₆ K ₅₈ (на урожай зерна 3,0 т/га) | Без обработки (контроль) | 24,9 | 15 | – |
| | Азотовит | 28,7 | 16 | 15 |
| | Ризоагрин | 31,1 | 20 | 25 |
| | Биостим Старт | 34,6 | 21 | 39 |
| | Среднее по фону | 29,8 | 18 | 26 |



Рисунок 17 – Влияние биопрепаратов на интенсивность разложения льняной ткани в контрольном варианте опыта, без удобрений (сентябрь 2023 г.).

Таким образом, применение минеральных удобрений и изучаемых препаратов для предпосевной обработки семян увеличивает биологическую активность почвы. При этом биопрепараты способствуют более активному разложению целлюлозы, чем минеральные удобрения.

8.3 Плотность сложения и коэффициент структурности почвы

Известно, что удобрения оказывают в большинстве случаев косвенное влияние на физические и водно-физические свойства почвы – плотность её сложения, структурность и др. В бóльшей мере на эти свойства влияют внесение органических, известковых удобрений и цеолитов. Действие удобрений на физические и водно-физические свойства при этом может быть разнонаправленным – применение туков может улучшать или ухудшать их (Лыков А. М., 1985; Кротов Д. Г. и др., 2015; Иванов А. И. и др., 2017; Зайцева Г. А. и др., 2025 и др.). Несмотря на то, что влияние удобрений на физические свойства почвы изучается не один десяток лет, до сих пор нет на этот счёт однозначного ответа. В связи с этим нами изучено влияние применения минеральных удобрений и биопрепаратов на плотность сложения и структурность серой лесной тяжёлосуглинистой почвы при возделывании полбы.

Проведённые нами исследования показали, что изучаемые в опыте факторы – применение расчётных норм минеральных удобрений и предпосевная обработка семян полбы азотофиксирующими препаратами и органо-минеральным препаратом – оказывали незначительное влияние на плотность сложения серой лесной тяжёлосуглинистой почвы (таблица 31).

Измерения плотности сложения серой лесной почвы под посевами полбы методом цилиндров оценивались по градации С. И. Долгова – 1,15–1,25 г/см³ – уплотнённая почва, более 1,25 г/см³ – сильно уплотнённая почва. В среднем за годы исследований достоверное снижение плотности сложения почвы отмечалось, независимо от уровня удобренности, лишь для слоя 20–30 см на вариантах с протравливанием семян полбы препаратами Азотовит и Ризоагрин.

Таблица 31. Влияние минеральных удобрений и биопрепаратов на плотность сложения почвы (2020–2023 гг.)

| Удобрение (фактор А) | Препараты в предпосевной обработке семян (фактор В) | Плотность сложения почвы, г/см ³ | | |
|--|--|---|----------|----------|
| | | 0–10 см | 10–20 см | 20–30 см |
| Без удобрений (контроль) | Без обработки (контроль) | 1,19 | 1,27 | 1,38 |
| | Азотовит | 1,18 | 1,28 | 1,36 |
| | Ризоагрин | 1,17 | 1,26 | 1,35 |
| | Биостим Старт | 1,19 | 1,28 | 1,37 |
| Среднее по фону | | 1,18 | 1,27 | 1,36 |
| N ₅₉ P ₃₀ K ₄₈ (на урожай зерна 2,5 т/га) | Без обработки (контроль) | 1,18 | 1,26 | 1,36 |
| | Азотовит | 1,17 | 1,26 | 1,34 |
| | Ризоагрин | 1,17 | 1,25 | 1,34 |
| | Биостим Старт | 1,18 | 1,26 | 1,35 |
| Среднее по фону | | 1,18 | 1,26 | 1,35 |
| N ₇₁ P ₃₆ K ₅₈ (на урожай зерна 3,0 т/га) | Без обработки (контроль) | 1,18 | 1,25 | 1,32 |
| | Азотовит | 1,17 | 1,24 | 1,30 |
| | Ризоагрин | 1,16 | 1,25 | 1,31 |
| | Биостим Старт | 1,17 | 1,24 | 1,33 |
| Среднее по фону | | 1,17 | 1,25 | 1,32 |
| HCP ₀₅ | А | 0,02 | 0,02 | 0,02 |
| | В | 0,01 | 0,01 | 0,01 |
| | АВ | 0,02 | 0,02 | 0,02 |

Таким образом, результаты опыта свидетельствует о незначительной тенденции снижения плотности сложения серой лесной тяжёлосуглинистой почвы под влиянием удобрений и биопрепаратов.

Общеизвестно, что потенциальное плодородие почвы определяется не только её агрохимическими и биологическими характеристиками, но и агрофизическими свойствами. Одним из ключевых агрофизических показателей плодородия является структура почвы, которая представляет собой совокупность агрегатов различной величины, формы, порозности, механической прочности и водопрочности, характерных для каждой почвы и её горизонтов (Качинский Н. А., 1965). С агрономической точки зрения, структурой принято считать почву, в которой преобладают так называемые агрономически ценные агрегаты размером от 0,25 до 10 мм (Медведев В. В., 2008). Для оценки агрегатного состояния почвы чаще все-

го используется коэффициент структурности, который рассчитывается как отношение мезоагрегатов (0,25–10 мм) к сумме макро- (> 10 мм) и микроагрегатов (< 0,25 мм) в почве (Вадюнина А. Ф., Корчагина З. А., 1986).

Имеется неисчислимое число публикаций по влиянию различных приёмов и способов обработки почвы, а также возделываемых культур на коэффициент структурности. В то же время значительно меньше работ по воздействию удобрений и биопрепаратов на этот важный с позиций агрономии показатель, причём большинство из них выполнены не на серых лесных почвах (Девятова Т. А. и др., 2010; Кураченко Н. Л. и др., 2011; Арефьев А. Н. и др., 2014; Володина Т. Н. и др., 2014; Матюк Н. С. и др., 2015; Швед И. М. и др., 2015; Боронтов О. К. и др., 2019; Ильясов М. М. и др., 2019; Минакова И. А. и др., 2023 и др.).

Рассмотрим результаты по влиянию удобрений и использованию биопрепаратов на коэффициент структурности почвы, полученные в нашем исследовании (таблица 32).

Результаты сухого просеивания отобранных образцов почвы показали, что применение минеральных удобрений в расчёте на урожайность зерна полбы 2,5 и 3,0 т/га ($N_{59}P_{30}K_{48}$ и $N_{71}P_{36}K_{58}$ соответственно) увеличивает содержание в почве агрономических ценных агрегатов. При этом внесение минеральных удобрений в большей мере способствовало формированию ценных с точки зрения агрономии почвенных агрегатов, чем предпосевная обработка семян биопрепаратами. Так, количество агрегатов размером 0,25–10 мм на фоне внесения $N_{59}P_{30}K_{48}$ увеличивалась на 5 %, на фоне $N_{71}P_{36}K_{58}$ – на 9 %, в то время как от применения в предпосевной обработке семян препарата Азотовит этот показатель увеличился на 1 %, препарата Азотовит – на 5 и биостимулятора Биостим Старт – на 3 %.

Аналогичная картина наблюдалась в отношении коэффициента структурности почвы (см. таблицу 32). Как видно из приведённых данных, при внесении минеральных удобрений и использовании биопрепаратов агрегатное состояние почвы из разряда «хорошее» переместилось в разряд «отличное агрегатное состояние» (Теория и методы физики почв, 2007, с. 98).

Таблица 32. Влияние минеральных удобрений и предпосевной обработки семян биопрепаратами на коэффициент структурности почвы (2020–2023 гг.).

| Удобрение (фактор А) | Препараты в предпосевной обработке семян (фактор В) | Содержание агрегатов размером 0,25–10 мм, % | Коэффициент структурности | ± к контролю | |
|---|---|---|---------------------------|--------------|------------------|
| | | | | от удобрений | от биопрепаратов |
| Без удобрений (контроль) | Без обработки (контроль) | 53 | 1,13 | – | – |
| | Азотовит | 55 | 1,22 | – | 0,09 |
| | Ризоагрин | 58 | 1,38 | – | 0,25 |
| | Биостим Старт | 56 | 1,27 | – | 0,14 |
| | Среднее по фону | 56 | 1,25 | | 0,16 |
| N ₅₉ P ₃₀ K ₄₈ (на урожай зерна 2,5 т/га) | Без обработки (контроль) | 58 | 1,38 | 0,25 | – |
| | Азотовит | 61 | 1,56 | 0,34 | 0,18 |
| | Ризоагрин | 64 | 1,78 | 0,40 | 0,40 |
| | Биостим Старт | 62 | 1,63 | 0,36 | 0,25 |
| | Среднее по фону | 61 | 1,59 | 0,34 | 0,28 |
| N ₇₁ P ₃₆ K ₅₈ (на урожай зерна 3,0 т/га) | Без обработки (контроль) | 62 | 1,63 | 0,50 | – |
| | Азотовит | 65 | 1,86 | 0,64 | 0,23 |
| | Ризоагрин | 68 | 2,12 | 0,74 | 0,49 |
| | Биостим Старт | 66 | 1,94 | 0,67 | 0,31 |
| | Среднее по фону | 65 | 1,89 | 0,64 | 0,34 |

Коэффициент структурности почвы в среднем по фону внесения расчётных норм удобрений на урожайность зерна полбы 2,5 т/га увеличивался на 0,34, по фону расчётных норм туков на урожайность зерна 3,0 т/га – на 0,64. Предпосевная обработка семян препаратом Азотовит приводила к росту коэффициента структурности независимо от уровня удобренности на 0,17, препаратом Ризоагрин – на 0,38 и препаратом Биостим Старт – на 0,23. Совместное влияние удобрений и биопрепаратов на коэффициент структурности почвы было аддитивным. Лучшая в опыте агрономически ценная структура почвы отмечалась на варианте N₇₁P₃₆K₅₈ + Ризоагрин.

9 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ И ПРЕПАРАТОВ ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ ПОЛБЫ

9.1 Экономическая эффективность

Общеизвестно, что применение удобрений эффективно в том случае, если затраты на их применение (приобретение, хранение, внесение, уборку, перевозку и подработку дополнительной продукции) окупаются стоимостью прибавки урожая с приемлемым для простого воспроизводства в 20–25 % уровнем рентабельности и в 60–70 % – для расширенного (Баранов Н. Н. и др., 1974; Шарипов С. А. и др., 1998; Богдевич И. М. и др., 2010, Пилипенко Н. Г. и др., 2012 и др.).

Экономическая эффективность использования минеральных удобрений и биопрепаратов при выращивании полбы сорта *Руно* рассчитана нами на основе технологических карт возделывания пшеницы-двузернянки и сложившихся на 2023 г. цен на зерно полбы, удобрения, препараты, топливно-смазочные материалы и соответствующие работы по агротехнике культуры. Необходимо отметить, что цена реализации зерна яровой пшеницы мягкой в зависимости от его качества подвержена значительным колебаниям (или, как ныне модно писать, – подвержена волатильности): в высокоурожайном 2022 г. она упала до 8–10 тыс. руб./т против 14–15 тыс. руб./т в острозасушливом 2021 г. Между тем, цена реализации зерна полбы в последние 5 лет в Республике Татарстан практически не меняется и составляет 16,5 тыс. руб./т без НДС, что сказывается положительно на рентабельности возделывания полбы.

Расчёты экономической эффективности свидетельствуют, что без применения удобрений возделывание полбы рентабельно (таблица 33). Применение минеральных удобрений и биопрепаратов повышает рентабельность производства зерна культуры от 2 до 20 % в зависимости от их сочетаний при совместном применении. При этом отмечается снижение себестоимости единицы продукции с 13,5 до 11,6 тыс. руб./т. Наилучшие экономические показатели отмечались на варианте внесения расчётных норм удобрений на урожайность зерна полбы 3,0 т/га с предпосевной обработкой семян аминокислотным биостимулятором Биостим Старт.

Таблица 33. Экономические показатели применения минеральных удобрений и изучаемых препаратов в технологии возделывания полбы *Руно* (2020–2023 гг.)

| Удобрение (фактор А) | Препараты в предпосев- ной обработке семян (фактор В) | Стоимость валовой продукции | Общие затраты | Чистая прибыль | Рен- та- бель- ность, % | Себе- стои- мость тыс. руб./т |
|--|---|-----------------------------------|------------------|-------------------|-------------------------------------|---|
| | | тыс. руб./га | | | | |
| Без удобрений (контроль) | Без обработки (контроль) | 23,9 | 19,6 | 4,3 | 22 | 13,5 |
| | Азотовит | 24,8 | 20,0 | 4,8 | 24 | 13,3 |
| | Ризоагрин | 26,1 | 20,8 | 5,3 | 26 | 13,2 |
| | Биостим Старт | 27,1 | 21,2 | 5,9 | 28 | 12,9 |
| N ₅₉ P ₃₀ K ₄₈ (на урожай зерна 2,5 т/га) | Без обработки (контроль) | 37,1 | 28,6 | 8,5 | 30 | 12,7 |
| | Азотовит | 38,8 | 29,6 | 9,2 | 31 | 12,6 |
| | Ризоагрин | 39,3 | 29,9 | 9,4 | 31 | 12,6 |
| | Биостим Старт | 40,8 | 30,2 | 10,6 | 35 | 12,2 |
| N ₇₁ P ₃₆ K ₅₈ (на урожай зерна 3,0 т/га) | Без обработки (контроль) | 43,6 | 31,8 | 11,8 | 37 | 12,0 |
| | Азотовит | 45,0 | 32,4 | 12,6 | 39 | 11,9 |
| | Ризоагрин | 45,9 | 32,5 | 13,4 | 41 | 11,7 |
| | Биостим Старт | 47,0 | 33,0 | 14,0 | 42 | 11,6 |

Анализ полученных результатов также показывает, что внесение N₅₉P₃₀K₄₈ увеличивает чистую прибыль без использования биопрепаратов на 4,2 тыс. руб./га, а уровень рентабельности производства – на 8 %. Предпосевная обработка семян биопрепаратами улучшает эти показатели на 0,7–2,1 тыс. руб./га и 1–4 % соответственно. Внесение расчётной нормы удобрений на 3,0 т/га повышает рентабельность на 15 % по сравнению с неудобренным вариантом, увеличивая чистую прибыль на 7,5 тыс. руб./га. По фону применения N₇₁P₃₆K₅₈ предпосевная обработка семян полбы биопрепаратами способствует дальнейшему росту чистой прибыли (на 0,8–2,2 тыс. руб./га) и рентабельности (на 2–5 %).

В структуре общих затрат (с учётом расходов на уборку, транспортировку и подработку дополнительного урожая) на минеральные удобрения приходится: при использовании N₅₉P₃₀K₄₉ 9,0 тыс. руб./га, или 31,4 %, при внесении N₇₁P₃₆K₅₈ – 38,4 %.

Нами рассчитан вклад минеральных удобрений и биопрепаратов в увеличение чистой прибыли: от внесения N₅₉P₃₀K₄₉ он составил в среднем 4,35 тыс. руб./га, от применения N₇₁P₃₆K₅₈ – 7,88 тыс. руб./га. Вклад биопрепаратов был ниже:

от использования препарата Азотовит в среднем он составил 0,67 тыс. руб./га, от препарата Ризоагрин – 1,17, от препарата Биостим Старт – 1,97 тыс. руб./га.

Аналогичная картина наблюдалась и по показателю уровня рентабельности: от расчётной нормы удобрений на сбор зерна 2,5 т/га прирост рентабельности в среднем составил 7 %, от нормы удобрений на урожайность зерна 3,0 т/га – 15 %, от применения препарата Азотовит – 1 %, препарата Ризоагрин – 3 и от препарата Биостим Старт – 5 %.

Совместное действие удобрений и биопрепаратов на показатели «чистая прибыль» и «уровень рентабельности» было аддитивным, или суммирующим. Положительного (синергизм) или отрицательного (антагонизм) взаимодействия не наблюдалось.

9.2 Энергетическая оценка возделывания полбы

Характерной чертой современного земледелия является его двойственная природа в глобальном энергетическом обмене. С одной стороны, оно выступает трансформатором солнечной энергии, аккумулируя ее в фитомассе и почвенном гумусе, благодаря фотосинтезу. С другой стороны, является крупнейшим потребителем антропогенной энергии, требуя значительных затрат топливных ресурсов, техники, рабочей силы, вложений в удобрения, пестициды. В связи с этим нередко при производстве растениеводческой продукции прибегают к энергетической оценке технологий (Булаткин Г. А., 1986; Сысуев В. А., Мухамадьяров Ф. Ф., 2001 и др.).

Расчёт энергетических затрат и накопление энергии с урожаем полбы нами выполнен по методике РАСХН (Оценка энергетической эффективности..., 1994) с привлечением технологических карт и соответствующих нормативных показателей (Базаров Е. И. и др., 1983; Зезюков Н. И. и др., 1993; Миндрин А., 1996; Мухамадьяров Ф. Ф. и др., 1997; Сысуев В. А. и др., 2001; Методология и методика..., 2007 и др.).

В ходе расчётов выявлено, что энергетическая эффективность возделывания полбы сорта *Руно* определялась, главным образом, урожайностью зерна (таблица 34), о чём свидетельствует уравнение линейной регрессии между коэффициентом биоэнергетической эффективности ($K_{ээ}$) и урожайностью полбы ($У$):

$$K_{ээ} = 1,71 + 0,7105 \cdot У \quad (r = 0,670; t_{\text{факт}} = 2,85 > t_{05} = 2,23).$$

Таблица 34. Влияние минеральных удобрений и изучаемых препаратов на энергетические показатели производства зерна полбы (2020–2023 гг.)

| Удобрение (фактор А) | Препараты в предпосевной обработке семян (фактор В) | Затраты совокупной энергии | Валовой сбор обменной энергии | Биоэнергетический коэффициент | Концентрация обменной энергии, мДж/кг зерна |
|--|--|-------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------|---|
| | | ГДж/га | | | |
| Без удобрений (контроль) | Без обработки (контроль) | 6,81 | 16,34 | 2,40 | 11,27 |
| | Азотовит | 7,14 | 17,70 | 2,48 | 11,80 |
| | Ризоагрин | 7,62 | 22,55 | 2,96 | 14,27 |
| | Биостим Старт | 8,03 | 25,53 | 3,18 | 15,56 |
| N ₅₉ P ₃₀ K ₄₈ (на урожай зерна 2,5 т/га) | Без обработки (контроль) | 8,02 | 23,09 | 2,88 | 10,30 |
| | Азотовит | 8,26 | 26,68 | 3,23 | 11,35 |
| | Ризоагрин | 8,42 | 28,96 | 3,44 | 12,17 |
| | Биостим Старт | 8,82 | 32,72 | 3,71 | 13,25 |
| N ₇₁ P ₃₆ K ₅₈ (на урожай зерна 3,0 т/га) | Без обработки (контроль) | 9,41 | 28,42 | 3,02 | 10,76 |
| | Азотовит | 9,60 | 34,94 | 3,64 | 12,80 |
| | Ризоагрин | 9,93 | 37,53 | 3,78 | 13,50 |
| | Биостим Старт | 10,15 | 42,22 | 4,16 | 14,81 |

Внесение минеральных удобрений и предпосевная обработка семян полбы изучаемыми препаратами увеличивала энергетическую эффективность возделывания полбы. Так, на абсолютном контроле (без внесения удобрений и использования биопрепаратов) коэффициент биоэнергетической эффективности был равен 2,40, тогда как при внесении расчётной нормы удобрений на урожайность зерна 2,5 т/га он увеличился на 0,48 ед., а при внесении минеральных удобрений на урожайность 3,0 т/га – на 0,62 ед.

Предпосевная обработка семян полбы биопрепаратами при посеве их на почве с естественным плодородием (без внесения удобрений) по-разному влияли

на энергетическую эффективность культуры: препарат Азотовит увеличивал коэффициент энергетической эффективности на 0,08 ед., Ризоагрин – на 0,56, Биостим Старт – на 0,78 ед.

Оценка характера взаимодействия удобрений и препаратов по алгоритму Ф. Йетса по влиянию на энергетическую эффективность производства зерна полбы свидетельствует, что между минеральными удобрениями и препаратами Азотовит и Биостим Старт наблюдается синергетический эффект, а между удобрениями и препаратом Ризоагрин – аддитивный.

Наилучшие показатели по валовому сбору обменной энергии (42,22 ГДж/га) и коэффициенту энергетической эффективности (4,16) отмечались в опыте на варианте с внесением расчётных норм минеральных удобрений на урожайность зерна 3,0 т/га и предпосевной обработкой семян аминокислотным биостимулятором Биостим Старт.

9.3 Сравнительная оценка окупаемости экономических и энергетических затрат на посевах полбы

Нами проведена сравнительная оценка окупаемости экономических и энергетических затрат при возделывании полбы сорта *Руно* (таблица 35). Такой анализ обусловлен тем, что нормативы для расчёта энергетической эффективности не подвержены колебаниям, они стабильны, в то время как экономические зависят от конъюнктуры рынка – спроса и предложения, и существующего несоответствия аграрных и промышленных цен (Суровцев М. Е., 2014; Кони́на Е. А. и др., 2023). Иными словами, использование энергетической оценки позволяет более объективно сравнивать технологии, применяемые в растениеводстве (Воробьев В. А. и др., 2015; Богомолова Ю. А. и др., 2018; Жарова Т. Ф., 2018 и др.). Более того, диспаритет цен на сельскохозяйственную технику и удобрения также складывается не в пользу сельскохозяйственной продукции, что является причиной низкой окупаемости в денежном выражении затрат, вложенных в технологию возделывания сельскохозяйственных культур.

Из приведённых в таблице 35 данных видно, что возделывание полбы даже без внесения удобрений и предпосевной обработки экономически выгодно, так

как окупаемость затрат составляет 1,22 руб./руб., что соответствует уровню рентабельности в 22 %. Внесение под культуру минеральных удобрений в расчёте на получения урожая зерна 3,0 т/га ($N_{71}P_{36}K_{58}$) и предпосевная обработка семян биопрепаратами незначительно повышает окупаемость затрат за счёт роста зерновой продуктивности полбы – до 1,39–1,42 руб./руб. (уровень рентабельности равен 39–42 %). Эти показатели окупаемости затрат и уровни рентабельности соответствуют простому воспроизводству.

Таблица 35. Сравнительная оценка окупаемости экономических и энергетических затрат на посевах полбы *Руно* (2020–2023 гг.)

| Удобрение (фактор А) | Препараты в предпосевной обработке семян (фактор В) | Окупаемость затрат | |
|---|---|-------------------------|----------------------------|
| | | экономических, р./р. | энергетических, ГДж/ГДж |
| Без удобрений (контроль) | Без обработки (контроль) | 1,22 | 2,40 |
| | Азотовит | 1,23 | 2,48 |
| | Ризоагрин | 1,25 | 2,96 |
| | Биостим Старт | 1,28 | 3,18 |
| $N_{59}P_{30}K_{48}$ (на урожай зерна 2,5 т/га) | Без обработки (контроль) | 1,30 | 2,88 |
| | Азотовит | 1,31 | 3,23 |
| | Ризоагрин | 1,31 | 3,44 |
| | Биостим Старт | 1,35 | 3,71 |
| $N_{71}P_{36}K_{58}$ (на урожай зерна 3,0 т/га) | Без обработки (контроль) | 1,37 | 3,02 |
| | Азотовит | 1,39 | 3,64 |
| | Ризоагрин | 1,41 | 3,78 |
| | Биостим Старт | 1,42 | 4,16 |

Несколько иная картина наблюдается по окупаемости энергетических затрат: она была выше по сравнению с экономической окупаемостью. И эффект от внесения удобрений, и использования препаратов был существеннее, но это легко объяснимо. Так, при определении валового сбора обменной энергии учитывалась не только урожайность полбы, но и качество зерна, что не учитывалось при определении экономической эффективности изучаемых в опыте факторов.

В результате сравнительной оценки экономической и энергетической окупаемости удобрений и изучаемых препаратов лучший вариант в опыте – $N_{71}P_{36}K_{58}$ + Биостим Старт.

10 ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ ПРОВЕРКА И ВНЕДРЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

10.1 Производственная проверка

Производственная проверка результатов исследований проводилась в 2023–2024 гг. в отделении «Сатышево» ООО «Саба», в котором в последние годы возделывают полбу *Руно* на площади 80–100 га.

Почвенный покров участка, на котором проводилась производственная проверка, соответствовал средним агрохимическим показателям, типичным для серых лесных почв Республики Татарстан: содержание гумуса по Тюрину составляло 3,4–3,5 %, подвижных форм фосфора и калия (по Кирсанову) – 121–128 и 129–134 мг/кг почвы соответственно, реакция почвенного раствора слабокислая (рН солевой вытяжки 5,4–5,5).

Схема производственной проверки включала 4 варианта: 1) без удобрений и без предпосевной обработки семян биопрепаратом (контроль); 2) $N_{71}P_{36}K_{58}$ (средняя расчётная норма на урожайность зерна 3,0 т/га); 3) $N_{71}P_{36}K_{58}$ + Ризоагрин; 4) $N_{71}P_{36}K_{58}$ + Биостим Старт. Площадь каждого варианта опыта составляла 5 га.

При возделывании полбы применялись традиционные приёмы агротехники, сложившиеся в хозяйстве в процессе производственной деятельности. Предшественником её служила озимая рожь, высеваемая по чистому пару. После уборки предшественника проводилось двукратное дискование бороной БД-4 на глубину 10–12 см. Весенняя обработка почвы заключалась в закрытии влаги в 2 следа агрегатом ДТ-75 + БЗТУ-1+ СП-11. Минеральные удобрения вносились весной под предпосевную обработку почвы с помощью разбрасывателя удобрений. Культивацию почвы с выравниванием выполняли на глубину 6–8 см широкозахватным культиватором КПШ-8. Посев осуществляли рядовым способом на глубину 4–6 см

сеялкой СЗ-3,6 нормой высева 4,5 млн всх. семян/га 27 апреля в 2023 г. и 2 мая в 2024 г. После посева проводили послепосевное прикатывание (КЗК-9).

Урожайность зерна полбы учитывали в фазу полной спелости комбайном Дон-1500 на каждом варианте производственной проверки с трёх учётных полос площадью 0,504 га (36 м × 140 м) с взвешиванием зерновой массы на току на автомобильных весах с последующим приведением к базисным показателям Буинского перерабатывающего завода «Полба-М» (влажность 13–14 %, засорённость – не более 2 %).

Данные, полученные в условиях производства, показали, что расчётные нормы минеральных удобрений на урожайность зерна полбы 3,0 т/га и предпосевная обработка семян препаратом Биостим Старт при соблюдении агротехники культуры обеспечивает сборы зерна на планируемом уровне (таблица 36). Внесение минеральных удобрений обеспечивало прирост урожайности в 1,11 т/га, или 79 % к абсолютному контролю, с оплатой 1 кг д. в. NPK6,7 кг зерна. Предпосевная обработка семян полбы препаратом Биостим Старт также увеличивала сбор зерна с единицы площади, но в меньшей мере, чем применение минеральных удобрений. Так, на долю минеральных удобрений приходилось 68–74 % от общего вклада в повышение зерновой продуктивности полбы, от применения Ризоагрин – 26 %, Биостим Старт – 32 %.

Таблица 36. Результаты производственной проверки

| Вариант | Урожайность зерна, т/га | | | Прибавка, т/га | |
|---|-------------------------|---------|---------|----------------|--------------|
| | 2023 г. | 2024 г. | средняя | от NPK | от препарата |
| Без удобрений и биопрепарата (контроль) | 1,42 | 1,37 | 1,40 | – | – |
| N ₇₁ P ₃₆ K ₅₈ | 2,53 | 2,48 | 2,51 | 1,11 | – |
| N ₇₁ P ₃₆ K ₅₈ + Ризоагрин | 2,95 | 2,86 | 2,91 | – | 0,40 |
| N ₇₁ P ₃₆ K ₅₈ + Биостим Старт | 3,12 | 2,93 | 3,03 | – | 0,52 |
| <i>HCP</i> ₀₅ , т/га | 0,22 | 0,21 | | | |

Таким образом, производственная проверка подтвердила результаты, полученные в полевом опыте о том, что совместное применение минеральных удобрений и препарата Биостим старт эффективно.

10.2 Внедрение результатов исследований

Результаты исследований были внедрены в 2022–2023 гг. в отделении «Сатышево» ООО «Саба» на площади 160 га (по 80 га/год). Для этого за 10 дней до посева семена полбы сорта *Руно*, соответствующие второму классу качества, были обработаны рабочим раствором, состоящим из 10 л/т семян воды, 0,5 л/т протравителя Доспех 3, КС (д. в. – тебуконазол + тиабендазол + имазалил, 60 + 60 + 40 г/л) и 1 л/т аминокислотного биостимулятора Биостим Старт.

Система основной и предпосевной подготовки почвы состояла из осенней плоскорезной обработки на глубину 22 см, ранневесеннего закрытия влаги в два следа, предпосевной культивации на глубину 6–8 см, перед проведением которой внесли расчётные нормы минеральных удобрений на планируемую урожайность зерна полбы 3,0 т/га. Следом провели посев зерновыми сеялками и прикатывание. Уход за посевами включал довсходовое и после всходовое (в фазу начала кущения, код 21–22 по шкале ВВСН) боронование сетчатыми облегчёнными боронами БСО-4 поперёк посева через 4–5 дней после посева для уничтожения всходов однолетних ранних и поздних сорных растений в фазе «белых ниточек».

Размещение полбы после озимой ржи, возделываемой по чистому пару, качественная основная и предпосевная обработка почвы, уход за посевами способствовали формированию высокопродуктивного агрофитоценоза полбы сорта *Руно* с относительно слабой засоренностью (до 10 шт./м²) по шкале В. В. Исаева (1990), что не потребовало гербицидной обработки посевов. Так как плёнчатый сорт *Руно* отличался высокой устойчивостью к болезням, то и защитных мероприятий от болезней и вредителей не проводили.

В результате внедрения наших рекомендаций, в среднем за 2 года урожайность зерна полбы составила 2,95 т/га, что выше среднерайонных показателей на 0,32 т/га, в результате чего было получено дополнительно зерна полбы на сумму 422,4 тыс. руб./год, или 5,28 тыс. руб./га.

Акты внедрения прилагаются (Приложение Р).

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 пожнивно-корневых 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), ассими-

ляционного 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 минеральных 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 содержанием белка 16,5 % и 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 ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агрометеорологический бюллетень по Республике Татарстан, ФГБУ «Управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды Республики Татарстан». – Казань, 2020–2022.
2. Алексейчук, Г. Н. Физиологическое качество семян сельскохозяйственных культур и методы его оценки / Г. Н. Алексейчук, Н. А. Ламан. – Минск : Право и экономика, 2005. – 48 с.
3. Алесина, Н. В. Изучение смены бактериальных компонентов в ризосфере и ризоплане в процессе вегетации растения на примере овса (*Avena sativa*) / Н. В. Алесина // Вестник Московского государственного областного университета. Серия: Естественные науки. – 2010. – № 1. – С. 5–9.
4. Алферов, А. А. Ассоциативный азот, урожай и устойчивость агроэкосистемы. – М. : РАН, 2020. – 184 с.
5. Алферов, А. А. Влияние почвенно-климатических условий на эффективность биопрепаратов и азотных удобрений при выращивании ячменя / А. А. Алферов // Агрехимический вестник. – 2017. – № 6. – С. 38–42.
6. Алферов, А. А. Роль ассоциативного азота и удобрений в продуктивности яровых зерновых культур и устойчивости агроэкосистемы: дис. ... д-ра биол. наук : 06.01.04 / Алферов Алексей Анатольевич. – М., 2018. – 318 с.
7. Алферов, А. А. Оценка эффективности действия азотного удобрения при использовании ризоагрина на яровой пшенице / А. А. Алферов, Л. С. Чернова, Н. Я. Шмырева, А. А. Завалин // Плодородие. – 2016. – № 6(93). – С. 4–6.
8. Алферов, А. А. Эффективность применения биопрепаратов на яровой пшенице / А. А. Алферов // Плодородие. – 2017. – № 5. – С. 5–7.
9. Амиров, М. Ф. Влияние биологических и минеральных удобрений на продуктивность яровой пшеницы / М. Ф. Амиров, Л. Г. Сагитов, Р. Н. Салаватуллин // Зерновое хозяйство России. – 2017. – № 2. – С. 6–9.
10. Амиров, М. Ф. Отзывчивость сортов пшеницы полбы на расчётные дозы и сочетание макроэлементов в условиях Предкамья Республики Татарстан /

М. Ф. Амиров, П. Г. Семенов, Г. С. Миннуллин, М. Ю. Гилязов // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2024. – Т. 19, № 2 (74). – С. 5–11.

11. Арефьев, А. Н. Изменение агрофизических свойств чернозёма выщелоченного при использовании природных цеолитов и удобрений / А. Н. Арефьев, Е. Н. Кузин // Нива Поволжья. – 2014. – № 3 (32). – С. 8–14.

12. Афанасьев, Р. А. Содержание подвижного калия в почвах при длительном применении удобрений / Р. А. Афанасьев, Г. Е. Мёрзлая // Агрохимия. – 2013. – № 6. – С. 5–11.

13. Афендулов, К. П. Удобрения под планируемый урожай / К. П. Афендулов, А. И. Лантухова. – М. : Колос, 1973. – 237 с.

14. Баженова, И. А. Исследование технологических свойств зерна полбы и разработка кулинарной продукции с его использованием : дис. ... канд. техн. наук : 05.18.15 / Баженова Ирина Анатольевна. – СПб., 2004. – 149 с.

15. Базаров, Е. И. Методика биоэнергетической оценки технологий производства продукции растениеводства / Е. И. Базаров, Е. В. Глинка. – М. : [б. и.], 1983. – 44 с.

16. Баранов, Н. Н. Экономика использования удобрений / Н. Н. Баранов, Д. А. Кореньков, Н. Н. Михайлов [и др.] ; под ред. Н. Н. Баранова. – М. : Колос, 1974. – 320 с.

17. Батыев, С. Г. Географическая характеристика административных районов Татарской АССР / С. Г. Батыев, А. В. Ступишен. – Казань : Изд-во КГУ, 1972. – 254 с.

18. Беззубенкова, О. Е. Микрофлора ризосферы и ризопланы и её влияние на растительный организм / О. Е. Беззубенкова, М. Н. Юхлимова, Н. И. Нестерова // Естественные и технические науки. – 2012. – Т. 4. – С. 99–102.

19. Бердников, В. В. Влияние удобрений и биопрепаратов на продуктивность яровой пшеницы в условиях Республики Марий Эл : дис. ...канд. с.-х. наук : 06.01.04 / Бердников Виталий Валентинович. – Йошкар-Ола, 2002. – 163 с.

20. Беспалова, Л. А. Экономическая эффективность производства зерна на основе новых сортов озимой пшеницы селекции КНИИСХ им. П. П. Лукьяненко / Л. А. Беспалова, А. А. Романенко, Д. В. Котляков // Достижения науки и техники АПК. – 2016. – Т. 30, № 3. – С. 15–18.

21. Биологизация земледелия в России / Н. В. Парахин, В. Т. Лобков, Н. К. Кружков, Н. Н. Лысенко, Т. Ф. Макеева, С. И. Дегтярева. – Орёл : Изд-во Орел-ГАУ. – 2000. – 175 с.
22. Блаватский, В. Д. Земледелие античных государств Северного Причерноморья / В. Д. Блаватский. – М. : Изд-во АН СССР, 1953. – 208 с.
23. Богатырёва, Т. Г. Использование полбяной муки в технологии хлебобулочных изделий / Т. Г. Богатырёва, Е. В. Иунихина, А. В. Степанова [и др.] // Хлебобродукты. – 2013. – № 2. – С. 41–42.
24. Богдевич, И. М. Методика определения агрономической и экономической эффективности минеральных и органических удобрений / И. М. Богдевич, Г. М. Сафроновская, Н. Д. Терещенко, Г. С. Цытрон, Т. М. Серая, И. А. Царук. – Минск : Ин-т почвовед. и агрохимии, 2010. – 24 с.
25. Богомолова, Ю. А. Энергетическая и экономическая эффективность выращивания сельскохозяйственных культур в ротации зернового севооборота при использовании различных систем обработки светло-серой лесной почвы и применения удобрений и биопрепарата в условиях Волго-Вятского региона / Ю. А. Богомолова, А. П. Саков, А. В. Ивенин // Аграрная наука. – 2018. – № 4. – С. 49–54.
26. Боровик, А. Н. Селекция и возвращение в культуру исчезающих и редких видов пшеницы: шарозёрной (*Triticum sphaerococcum* Prerc.), полбы (*Triticum dicoccum* (Schrank.) Schuebl.), твёрдой (*Triticum durum* Desf.) и создание тритикале шарозёрной (*Triticale sphaerococcum*) для диверсификации производства высококачественного зерна : автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук : 06.01.05 / Боровик Александр Николаевич. – Краснодар, 2016. – 49 с.
27. Боронтов, О. К. Влияние основной обработки и удобрений на питательный режим и физические свойства почвы при возделывании свёклы / О. К. Боронтов, П. А. Косякин, Е. Н. Манаенкова // Земледелие. – 2019. – № 2. – С. 33–35.
28. Булаткин, Г. А. Эколого-энергетические аспекты продуктивности агроценозов / Г. А. Булаткин. – Пушкино : ОНЦБИ АН СССР, 1986. – 209 с.
29. Вавилов, Н. И. Азия – источник видов / Н. И. Вавилов // Растительные ресурсы. – 1966. – Т. 2, вып. 4. – С. 577–580.

30. Вадюнина, А. Ф. Методы исследования физических свойств почв / А. Ф. Вадюнина, З. А. Корчагина. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Агропромиздат, 1986. – 416 с.
31. Вильдфлуш, И. Р. Агрохимия. Удобрение и их применение в современном земледелии / И. Р. Вильдфлуш, В. В. Лапа, О. И. Мишура. – Горки : БГСХА, 2019. – 405 с.
32. Виноградова, Л. В. Роль ассоциативных diaзотрофов в формировании урожая сортов яровой пшеницы : автореф. дис. ... канд. биол. наук : 03.00.12 / Виноградова Любовь Владимировна. – М., 1999. – 17 с.
33. Войтович, Н. В. Формы минеральных удобрений при длительном применении / Н. В. Войтович, Я. В. Костин, И. Н. Чумаченко, Б. А. Сушеница. – М. : ЦИНАО, 2002. – 208 с.
34. Володина, Т. И. Влияние различных систем удобрения на физико-химические и агрофизические показатели дерново-подзолистой почвы в условиях Северо-Запада России / Т. И. Володина, Г. А. Романов, А. Н. Левченкова // Агрохимия. – 2014. – № 3. – С. 12–21.
35. Востров, И. С. Определение биологической активности почвы различными методами / И. С. Востров, А. Н. Петрова // Микробиология. – 1961. – Т. 30, вып. 4. – С. 665–672.
36. Воробейников, Г. А. Продуктивность полбы и мягкой яровой пшеницы / Г. А. Воробейников, С. В. Кондрат // Земледелие. – 2007. – № 5. – С. 27–111.
37. Воробьев, В. А. Энергетическая эффективность возделывания яровой пшеницы в зависимости от фона минерального питания и предшественника в условиях лесостепного Предуралья / В. А. Воробьев, Н. П. Комельских // Аграрный вестник Урала. – 2015. – № 8 (138). – С. 6–9.
38. Гамзиков, Г. П. Агрохимия азота в агроценозах / Г. П. Гамзиков. – Новосибирск : РАСХН, СО; НовосибирскГАУ, 2013. – 790 с.
39. Гилев, С. Д. Полба – перспективная культура для органического земледелия / С. Д. Гилев, И. Н. Цымбаленко, А. Н. Копылов, Е. А. Филиппова, Т. А. Козлова // Зерновое хозяйство России. – 2018. – № 4. – С. 6–11.

40. Гилязов, М. Ю. Влияние возрастающих доз минерального азота на эффективность применения биопрепарата ризоагрин на посевах яровой пшеницы / М. Ю. Гилязов, А. М. Зиганшин // Современные проблемы отрасли растениеводства и их практические решения : материалы науч.-практ. конф. – Мичуринск, 2007. – С. 172–177.
41. Гомер. Илиада ; Одиссея / Гомер ; пер. с древнегреч. Н. И. Гнедича, В. А. Жуковского ; гл. ред. Д. В.Тевекелян. – М. : Слово, 2010. – 780 с.
42. Гончаров, Н. П. Происхождение, domestикация и эволюция пшениц / Н. П. Гончаров, Е. Я. Кондратенко // Вестник ВОГиС. – 2008. – Т. 12, № 1–2. – С. 159–179.
43. Гордеева, Т. Х. Формирование микробно-растительных сообществ ризосферы в онтогенезе зерновых культур / Т. Х. Гордеева, С. Н. Масленникова, Т. П. Гажеева // Научный журнал КубГАУ. – 2012. – № 81(07). – С. 1–10.
44. ГОСТ 10840-2017 Зерно. Метод определения природы. – М. : Стандартинформ, 2019. – 13 с.
45. ГОСТ 10846-91 Зерно и продукты его переработки. Метод определения белка. – М. : Стандартинформ, 2009. – 8 с.
46. ГОСТ 12038-84 Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести. – М. : Стандартинформ, 2011. – 31 с.
47. ГОСТ 12042-80 Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения массы 1 000 семян. – М. : Стандартинформ, 2011. – 4 с.
48. ГОСТ 17.4.4.01-84 Охрана природы. Почвы. Методы определения ёмкости катионного обмена. – М. : Стандартинформ, 2008. – 7 с.
49. ГОСТ 26212-91 Почвы. Определение гидролитической кислотности по методу Каппена в модификации ЦИНАО. – М. : Изд-во стандартов, 1992. – 7 с.
50. ГОСТ 26213-2021 Почвы. Методы определения органического вещества. – М. : Российский институт стандартизации, 2021. – 14 с.
51. ГОСТ 26483-85 Почвы. Приготовление солевой вытяжки и определение её рН по методу ЦИНАО. – М. : Изд-во стандартов, 1985. – 5 с.
52. ГОСТ 26489-85 Почвы. Определение обменного аммония по методу ЦИНАО. – М. : Изд-во стандартов, 1985. – 5 с.

53. ГОСТ 26490-85 Почвы. Определение подвижных форм серы по методу ЦИНАО. – М. : Изд-во стандартов, 1985. – 4 с.

54. ГОСТ 26657-97 Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения содержания фосфора. – Минск : Изд-во стандартов, 1998. – 12 с.

55. ГОСТ 26951-86 Почвы. Определение нитратов ионометрическим методом. – М. : Изд-во стандартов, 1986. – 10 с.

56. ГОСТ 27821-2020 Почвы. Определение суммы поглощенных оснований по методу Каппена. – М. : Стандартиформ, 2020. – 12 с.

57. ГОСТ 30504-97 Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Пламенно-фотометрический метод определения содержания калия. – Минск : Изд-во стандартов, 1998. – 11 с.

58. ГОСТ 54478-2011 Зерно. Методы определения количества и качества клейковины в пшенице. – М. : Стандартиформ, 2012. – 23 с.

59. ГОСТ Р 50682-94 Почвы. Определение подвижных соединений марганца по методу Пейве и Ринькиса в модификации ЦИНАО. – М. : Изд-во стандартов, 1994. – 14 с.

60. ГОСТ Р 50684-94 Почвы. Определение подвижных соединений меди по методу Пейве и Ринькиса в модификации ЦИНАО. – М. : Изд-во стандартов, 1994. – 14 с.

61. ГОСТ Р 50686-94 Почвы. Определение подвижных соединений цинка по методу Крупского и Александровой в модификации ЦИНАО. – М. : Изд-во стандартов, 1994. – 16 с.

62. ГОСТ Р 50687-94 Почвы. Определение подвижных соединений кобальта по методу Пейве и Ринькиса в модификации ЦИНАО. – М. : Изд-во стандартов, 1994. – 16 с.

63. ГОСТ Р 50688-94 Почвы. Определение подвижных соединений бора по методу Бергера и Труога в модификации ЦИНАО. – М. : Изд-во стандартов, 1994. – 16 с.

64. ГОСТ Р 50689-94 Почвы. Определение подвижных соединений молибдена по методу Григга в модификации ЦИНАО. – М. : Изд-во стандартов, 1994. – 12 с.

65. ГОСТ Р 54650-2011 Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО. – М. : Стандартинформ, 2013. – 8 с.

66. ГОСТ Р 55569-2013 Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Определение протеиногенных аминокислот методом капиллярного электрофереза. – М. : Стандартинформ, 2014. – 18 с.

67. Государственный доклад «О состоянии природных ресурсов и об охране окружающей среды Республики Татарстан в 2024 году» : ред. колл. : А. В. Шадриков, И. И. Губайдуллин, Н. Х. Газеев [и др.]. – Казань : [б. и.], 2025. – 388 с.

68. Гуляев, Б. И. Фотосинтез, продукционный процесс и продуктивность растений / Б. И. Гуляев, И. И. Рожко, А. Д. Рогаченко, К. Н. Голик, Б. А. Митрофанов, В. А. Борисюк ; отв. ред. Л. К. Островская. – Киев : Наук. думка, 1989. – 152 с.

69. Гунькова, П. И. Перспективность полбы как сырья для альтернативных напитков / П. И. Гунькова, А. А. Трофимов, А. С. Бучилина, Н. В. Баракова, А. Л. Ишевский, Н.Н. Максимюк // Аграрная наука. – 2024. – № 382 (5). – С. 108–116.

70. Давлятшин, И. Д. Агрохимические факторы, атмосферные осадки и урожайность яровой пшеницы в лесостепи Среднего Поволжья (на примере Пестречинского муниципального района Республики Татарстан) / И. Д. Давлятшин, А. А. Лукманов. – Казань : Изд-во Казан. гос. ун-та, 2016. – 200 с.

71. Давыдова, Н. В. Формирование урожайности яровой мягкой пшеницы в условиях Центрального Нечерноземья в зависимости от густоты стеблестоя / Н. В. Давыдова, А. О. Казаченко, А. В. Широколава, В. А. Нардид, А. М. Резепкин, А. В. Грачева, Е. С. Романова // Аграрная наука. – 2019. – № 7–8. – С. 32–34.

72. Даминова, А. И. Влияние совместного внесения органических и минеральных удобрений на продуктивность пшеницы двузернянки (полба *Triticum dicocum* Schark) в условиях Предкамья Республики Татарстан / А. И. Даминова, Р. И. Гараев, Ф. Ш. Шайхутдинов, И. М. Сержанов // Агробиотехнологии и цифровое земледелие. – 2024. – № 4. – С. 25–30.

73. Девятова, Т. А. Изменение физических и водно-физических свойств почвы при внесении соломы / Т. А. Девятова, А. К. Свиридов, Я. В. Шумилова //

Вестник Воронежского государственного университета. Серия «География. Геоэкология». – 2010. – № 2. – С. 50–51.

74. Дедкова, О. С. Разнообразие и происхождение европейской популяции *Triticum dicocum* (Schrank) Schuebl. на основании хромосомного анализа / О. С. Дедкова, Е. Д. Бадаева, А. В. Амосова [и др.] // Генетика. – 2009. – Т. 45, № 9. – С. 1234–1243.

75. Дёмина, И. Ф. Влияние погодных условий на урожайность и качество зерна яровой пшеницы в лесостепи Среднего Поволжья / И. Ф. Дёмина // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2022. – Т. 23, № 4. – С. 433–440.

76. Дорофеев, В. Ф. Культурная флора СССР. Т. 1. Пшеница / В. Ф. Дорофеев, А. А. Филатенко, Э. Ф. Мигушова, Р. А. Удачин, М. М. Якубцинер ; ред. В. Ф. Дорофеев, О. Н. Коровина. – Л. : Колос. Ленинград. отд-ние, 1979. – 346 с.

77. Дорофеев, В. Ф. Пшеницы Закавказья: ботанический состав, эволюция и роль в селекции / В. Ф. Дорофеев // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. – 1972. – Т. 47, вып. 1. – С. 3–202.

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

79. Дятлова, М. В. Сортовая агротехника возделывания полбы сорта Псковитянка / М. В. Дятлова, Т. В. Шайкова, Е. С. Волкова // Аграрный научный журнал. – 2023. – № 3. – С. 27–34.

80. Емцев, В. Т. Микробиология / В. Т. Емцев, Е. Н. Мишустин. – М. : Дрофа, 2006. – 448 с.

81. Ефимов, В. Н. Система удобрения / В. Н. Ефимов, И. Н. Донских, В. П. Царенко ; под ред. В. Н. Ефимова. – М. : КолосС, 2002. – 320 с.

82. Жарова, Т. Ф. Экономическая и энергетическая эффективность возделывания предшественников в полевых севооборотах / Т. Ф. Жарова // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2018. – № 2. – С. 147–151.

83. Жуковский, П. М. Культурные растения и их сородичи: Систематика, география, цитогенетика, иммунитет, экология, происхождение, использование / П. М. Жуковский. – 3-е изд., перераб. и доп. – Л. : Колос, 1971. – 751 с.
84. Журавлев, Д. Ю. Влияние гидротермических условий на урожайность яровой мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) при применении минеральных удобрений в засушливом Поволжье / Д. Ю. Журавлев, Т. М. Ярощенко, Н. Ф. Климова, В. А. Куликова // Аграрный научный журнал. – 2023. – № 6. – С. 26–33.
85. Завалин, А. А. Ассоциативная азотфиксация и практика применения биопрепаратов в посевах сельскохозяйственных культур / А. А. Завалин, А. А. Алфёров, Л. С. Чернова // Агрохимия. – 2019. – № 8. – С. 83–96.
86. Завалин, А. А. Биологический и минеральный азот в земледелии России / А. А. Завалин. – М. : ВНИИА им. Д. Н. Прянишникова, 2022. – 256 с.
87. Завалин, А. А. Биопрепараты, удобрения и урожай / А. А. Завалин. – М. : ВНИИА, 2005. – 302 с.
88. Завалин, А. А. Влияние ассоциативных diaзотрофов на формирование урожая сортов яровой пшеницы / А. А. Завалин, Л. В. Виноградова // Агрохимия. – 2000. – № 10. – С. 38–44.
89. Завалин, А. А. Роль биологического азота в земледелии России / А. А. Завалин, Л. А. Свиридова // Агрохимия. – 2024. – № 8. – С. 3–8.
90. Завалин, А. А. Эффективность инокуляции зерновых культур *Agrobacterium radiobacter* в зависимости от азотного удобрения, почвенных и метеорологических условий / А. А. Завалин, М. В. Чистотин, А. П. Кожемяков [и др.] // Агрохимия. – 2001. – № 2. – С. 31–35.
91. Завалин, А. А. Эффективность применения ассоциативных diaзотрофов в различных почвенно-климатических условиях / А. А. Завалин // Микробиология почв и земледелие : материалы Всерос. конф., СПб., 13–17 апреля 1998 г. – СПб. : [б. и.], 1998. – С. 33.
92. Зайцева, Г. А. Влияние минеральных удобрений на общие физические свойства лугово-чернозёмной почвы и урожайность полевых культур [Электронный ресурс] / Г. А. Зайцева, О. М. Ряскова // Наука и Образование. Научный ре-

цензурируемый электронный журнал. — 2025. — Т. 8, № 2. — Режим доступа: <https://opusmgau.ru/index.php/see/article/view/7589>

93. Зверев, С. В. Исследование свойств полбы / С. В. Зверев, И. А. Панкратьева, Л. В. Чиркова, О. В. Политуха, И. С. Витол, А. А. Старченков // Хлебопродукты. — 2016. — № 1. — С. 66–67.

94. Зезюков, Н. И. Методические указания по расчёту энергетической эффективности агротехнологий с использованием ПЭВМ / Н. И. Зезюков, Н. И. Придворов, А. В. Дедов. — Воронеж : [б. и.], 1993. — 40 с.

95. Зиганшин, А. А. Современные технологии и программирование урожайности / А. А. Зиганшин. — Казань : Изд-во Казан. ун-та, 2001. — 172 с.

96. Зиннатуллин, Д. Х. Совершенствование технологии возделывания яровой пшеницы полбы (*Triticum dicoccum* Schubl.) в северной лесостепи Среднего Поволжья : дис. ... канд. с.-х. наук : 06.01.01 / Зиннатуллин Дамир Халимуллович. — Казань, 2019. — 183 с.

97. Зыкин, В. А. Экология пшеницы / В. А. Зыкин, В. П. Шаманин, И. А. Белан. — Омск : Изд-во ОмГАУ, 2000. — 124 с.

98. Иванова, Т. И. Возможности корректировки оптимальных доз удобрений с учетом погодных условий / Т. И. Иванова, С. В. Плешакова // Агрохимия. — 1987. — № 9. — С. 143 – 154.

99. Иванов, А. И. Оптимизация агрофизических свойств лёгкой дерново-подзолистой почвы посредством применения нового органо-минерального удобрения / А. И. Иванов, И. А. Фрейдкин, Ж. А. Иванова // Агрофизика. — 2017. — № 3. — С. 20–26.

100. Ивойлов, А. В. Агрохимия в цифрах / А. В. Ивойлов, А. А. Лукманов. — Казань : Логос Пресс, 2025. — 192 с.

101. Ивойлов, А. В. Влияние погодных условий на продуктивность яровой пшеницы и ячменя, эффективность отдельных видов и сочетаний удобрений в зоне неустойчивого увлажнения / А. В. Ивойлов // Агрохимия. — 1995. — № 11. — С. 58–62.

102. Ивойлов, А. В. Эффективность удобрения и известкования выщелоченных черноземов / А. В. Ивойлов. — Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 2015. — 264 с.

103. Ильясов, М. М. Влияние минимизации основной обработки и органоминеральной системы удобрений на агрофизические свойства чернозёмной почвы / М. М. Ильясов, И. М. Суханова, И. А. Яппаров, Л. М.-Х. Биккинина // Агрофизика. – 2019. – № 3. – С. 8–13.
104. Исайчев, В. А. Формирование продуктивности зерновых культур при применении минеральных удобрений и регуляторов роста в условиях Среднего Поволжья / В. А. Исайчев, Н. Н. Андреев, Е. В. Провалова, В. Г. Половинкин. – Ульяновск : ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ, 2023. – 258 с.
105. Иунихина, Е. В. Совершенствование технологии хлебобулочных изделий для здорового питания на основе применения нетрадиционного сырья : автореф. дис. ... канд. тех. наук : 05.18.01 / Иунихина. Елена Владимировна. – М., 2015. – 26 с.
106. Казаков, Е. Д. Биохимия зерна и хлебопродуктов / Е. Д. Казаков, Г. П. Карпиленко. – 3-е изд., перераб. и доп. – СПб. : ГИОРД, 2005. – 512 с.
107. Казеев, К. Ш. Биодиагностика почв: методология и методы исследований / К. Ш. Казеев, С. И. Колесников. – Ростов-н/Д. : Южный Федеральный ун-т, 2012. – 257 с.
108. Карпачевский, Л. О. Динамика свойств почв / Л. О. Карпачевский. – М. : ГЕОС, 1997. – 170 с.
109. Качинский, Н. А. Физика почв / Н. А. Качинский. – М. : Высш. шк., 1965. – Ч. 1. – 323 с.
110. Кирюшин, В. И. Принципы формирования адаптивно-ландшафтных систем земледелия / В. И. Кирюшин // Аграрная наука. – 1993. – № 3. – С. 7–11.
111. Кирюшин, В. И. Теория адаптивно-ландшафтного земледелия и проектирование агроландшафтов / В. И. Кирюшин. – М. : Колос, 2011. – 443 с.
112. Климатические условия и ресурсы Республики Татарстан / Ю. П. Переведенцев, Б. Г. Шерстюков, Э. П. Наумов [и др.]. – Казань : Изд-во Казан. ун-та, 2008. – 288 с.

113. Кожемяков, А. П. Перспективы использования ассоциаций азотфиксирующих бактерий для инокуляции важнейших сельскохозяйственных культур / А. П. Кожемяков, А. А. Белимов // Труды ВПИИСХМ. – 1991. – Т. 61. – С. 7–18.

114. Кольман, Я. Наглядная биохимия / Я. Кольман, К.-Г. Рём ; пер. с англ. Т. П. Мосоловой. – 6-е изд. – М. : Лаборатория знаний, 2019. – 514 с.

115. Конарев, В. Г. Молекулярно-биологические исследования генофонда культурных растений в ВИРе (1967–2007 гг.) / сост. В. В. Сидорова, А. В. Конарев. – 2-е доп. – СПб. : ВИР, 2007. – 134 с.

116. Кондрат, С. В. Действие бактериальных препаратов на формирование структурных элементов продуктивности полбы / С. В. Кондрат // Формирование гражданской идентичности как фактор закрепления молодых кадров в регионе : сб. материалов Междунар. науч.-практ. конф., Курган, 8–10 ноября 2021 г. – Курган : Изд-во Курган. гос. ун-та, 2021. – С. 258–261.

117. Кондрат, С. В. Рост и продуктивность полбы *Triticum dicoccum* (Schrank) Schuebl при инокуляции семян ассоциативными штаммами бактерий и внесении возрастающих доз минерального азота : дис. ... канд. биол. наук : 06.01.01 / Кондрат Софья Владимировна. – СПб., 2007. – 206 с.

118. Кондрат, С. В. Ростовые процессы, продуктивность и качество зерна полбы при инокуляции семян ассоциативными штаммами ризобактерий / С. В. Кондрат // Известия Российского государственного педагогического университета им. А. И. Герцена. – 2006. – Т. 5, № 23. – С. 95–99.

119. Кони́на, Е. А. Диспаритет цен как одна из проблем агропромышленного комплекса России [Электронный ресурс] / Е. А. Кони́на, А. А. Шаронова // Актуальные исследования. Международный научный журнал. – 2023. – № 16 (146). – Режим доступа: <https://apni.ru/article/6050-disparitet-tsen-kak-odna-iz-problem-agroprom>.

120. Коновалов, Ю. Б. Формирование продуктивности колоса яровой пшеницы и ячменя / Ю. Б. Коновалов. – М. : Колос, 1981. – 175 с.

121. Королев, Д. Н. Разработка технологии пшеничного хлеба с использованием полбяной муки / Д. Н. Королев, Е. В. Хмелева, Ю. В. Пенькова // Научные труды СКФНЦСВВ. – 2019. – Т. 26. – С. 57–64.

122. Кошкин, Е. И. Физиология устойчивости сельскохозяйственных культур / Е. И. Кошкин. – М. : Дрофа, 2010. – 638 с.

123. Красильникова, Л. А. Биохимия растений / Л. А. Красильникова, О. А. Авксентьева, В. В. Жмурко, Ю. А. Садовниченко. – Ростов н/Д : Феникс; Харьков : Торсинг, 2004. – 224 с

124. Кретович, В. Л. Биохимия зерна и хлеба / В. Л. Кретович. – М. : Наука, 1991. – 136 с.

125. Кротов, Д. Г. Влияние разных уровней сельскохозяйственных нагрузок на физические свойства агросерой почвы / Д. Г. Кротов, Т. Н. Початкова, В. П. Самсонова, А. Д. Чепурных // Агрехимический вестник. – 2015. – № 5. – С. 32–35.

126. Крюкова, А. Г. Морфобиологические особенности растений подвидов *Triticum dicoccum* (Schrank) Schuebl : автореф. дис. ... канд. биол. наук : 03.00.05 / Крюкова Антонина Геннадьевна. – СПб., 2005. – 20 с.

127. Крюкова, Е. В. Исследование химического состава полбяной муки / Е. В. Крюкова, Н. В. Лейберова, Е. И. Лихачева // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии. – 2014. – № 2(2). – С. 75–81. – Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/sechlh>.

128. Кудеяров, В. Н. Современное состояние почв агроценозов России, меры по их оздоровлению и рациональному использованию / В. Н. Кудеяров, М. С. Соколов, А. П. Глинушкин // Агрехимия. – 2017. – № 6. – С. 3–11.

129. Кузнецова, Е. А. Технология хлеба из диспергированного зерна *Triticum dicoccum* / Е. А. Кузнецова, Л. В. Шаяпова, Я. Бриндза // Электронный сетевой политематический журнал «Научные труды КубГТУ». – 2019. – № S9. – С. 341–350.

130. Кулуев, А. Р. Современные представления о родственных взаимоотношениях в пшенично-эгилопсном альянсе / А. Р. Кулуев, Р. Т. Матниязов, Д. А. Чемерис, А. В. Чемерис // Биомика. – 2016. – Т. 8, № 4. – С. 297–310.

131. Кумаков, В. А. Физиология яровой пшеницы / В. А. Кумаков. – М. : Колос, 1980. – 207 с.

132. Кумаков, В. А. Эволюция показателей фотосинтетической деятельности яровой пшеницы в процессе селекции и их связь с урожайностью и биологическими особенностями растений : автореф. дис. ... д-ра биол. наук : (101) / Кумаков Вадим Андреевич. – Л., 1971. – 51 с.

133. Кураченко, Н. Л. Влияние систем удобрения на изменение агрофизических свойств тёмно-серой лесной почвы / Н. Л. Кураченко, О. А. Ульянова, В. В. Чупрова // *Агрохимия*. – 2011. – № 4. – С. 22–29.

134. Курдюков, Ю. Ф. Влияние весенних запасов продуктивной влаги в почве и осадков на продуктивность зерновых культур в зоне засушливой чернозёмной степи / Ю. Ф. Курдюков, М. Ю. Васильева, С. И. Пряхина // *Известия Саратовского университета*. – 2007. – Т. 7, сер. Науки о Земле, вып. 1. – С. 16–20.

135. Куркиев, У. К. К происхождению лёгкого обмолота в роде *Triticum* / У. К. Куркиев // *Ботаника в современном мире : труды XIV съезда Русского ботанического общества и конференции «Ботаника в современном мире»*. – Махачкала : Алеф, 2018. – Т. II. – С. 378–380.

136. Ламан, Н. А. Биолого-экологические основы формирования высокопродуктивных ценозов хлебных злаков; технологические аспекты / Н. А. Ламан, В. Н. Прохоров // *Известия аграрных наук Республики Беларусь*. – 1999. – № 2. – С. 32–39.

137. Ландшафты Республики Татарстан. Региональный ландшафтно-экологический анализ / О. П. Ермолаев, М. Е. Игонин, А. Ю. Бубнов, С. В. Павлова. – Казань : Слово, 2007. – 411 с.

138. Лапа, В. В. Применение удобрений и качество урожая / Ин-т почвоведения и агрохимии НАН Беларуси / В. В. Лапа, В. Н. Босак. – Минск : [б. и.], 2006. – 120 с.

139. Лебедев, В. Н. Сравнительная эффективность способов бактериальной инокуляции на продуктивность сурепицы и полбы / В. Н. Лебедев, С. В. Кондрат, Г. А. Ураев // *Известия Дагестанского государственного педагогического университета. Естественные и точные науки*. – 2021а. – Т. 15, № 2. – С. 20–27.

140. Лебедев, В. Н. Формирование структурных элементов продуктивности злаковых и капустных культур при использовании ризобактерий / В. Н. Лебедев,

С. В. Кондрат, Г. А. Ураев // Успехи современного естествознания. – 2021б. – № 9. – С. 13–19.

141. Лекомцев, П. В. Влияние азотных удобрений и биопрепаратов на формирование продуктивности чистых и смешанных посевов яровой пшеницы и гороха : дис. ... канд. биол. наук : 06.01.04 / Лекомцев Пётр Валентинович. – М., 2002. – 192 с.

142. Лукманов, А. А. Аккумулятор знаний по агрохимии. В 2 ч. Ч. 2: Система удобрений / А. А. Лукманов, А. В. Ивойлов ; под ред. А.В. Ивойлова. – Казань : ФГБОУ ВО «Казанский ГАУ», 2023. – 168 с.

143. Лукманов, А. А. Динамичные агрохимические свойства и моделирование продуктивности агроценозов яровой пшеницы на уровне муниципального Буинского района Республики Татарстан / А. А. Лукманов, И. Д. Давлятшин // Агрохимическое обеспечение цифрового земледелия : материалы Междунар. науч. конф., Москва, 01–02 октября 2019 г / под ред. В. Г. Сычева. – М. : ВНИИА, 2019. – С. 110–115.

144. Лукманов, А. А. Динамика ресурсного потенциала выщелоченных черноземов Среднего Поволжья и прогнозирование урожайности яровой пшеницы во временном ряду : дис. ... д-ра с.-х. наук : 06.01.04 / Анас Ахтямович Лукманов. – Казань, 2022. – 326 с.

145. Лукманов, А. А. Эколого-агрохимические основы плодородия почв Республики Татарстан / А. А. Лукманов. – Казань : Логос-Пресс, 2024. – 272 с.

146. Лыков, А. М. Воспроизводство плодородия почв в Нечернозёмной зоне / А. М. Лыков. – М. : Россельхозиздат, 1982. – 143 с

147. Лыков, А. М. Гумус и плодородие почв / А. М. Лыков. – М. : Моск. рабочий, 1985. – 192 с.

148. Лысиков, Ю. А. Аминокислоты в питании человека / Ю. А. Лысиков // Экспериментальная и клиническая гастроэнтерология. – 2012. – № 2. – С. 88–105.

149. Максимов, Н. А. Краткий курс физиологии растений / Н. А. Максимов. 9-е изд., перераб. – М. : Сельхозгиз, 1958. – 559 с.

150. Максимов, И. В. Стимулирующие рост растений микроорганизмы как альтернатива химическим средствам защиты от патогенов (обзор) / И. В. Макси-

мов, Р. Р. Абизгильдина, Л. И. Пусенкова // Прикладная биохимия и микробиология. – 2011. – Т. 47, № 4. – С. 1–4.

151. Мамедов, К. С. Технология выращивания полбы / К. С. Мамедов // Вестник науки и образования. – 2022. – № 3(123). – С. 19–21.

152. Матюк, Н. С. Изменение агрофизических свойств почвы под действием приёмов обработки и удобрений / Н. С. Матюк, В. Д. Полин, В. А. Николаев // Владимирский земледелец. – 2015. – № 2 (72). – С. 12–14.

153. Медведев, В. В. Структура почвы: методы, генезис, классификация, эволюция, география, мониторинг, охрана / В. В. Медведев. – Харьков : 13-я типография, 2008. – 406 с.

154. Медведев С. С. Физиология растений : учеб. / С. С. Медведев. – СПб. : Изд-во С.-Петербург. ун-та, 2004. – 336 с.

155. Мергель, А.А. Роль корневых выделений растений в трансформации азота и углерода в почве / А. А. Мергель, А. В. Тимченко, В. Н. Кудеяров // Почвоведение. – 1996. – № 10. – С. 1234–1239.

156. Мережко, А. Ф. О перспективах селекции голозерной полбы / А. Ф. Мережко // Пшеница и тритикале : материалы науч.-практ. конф. – Краснодар : Советская Кубань, 2001. – С. 547.

157. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Вып. 1. Общая часть. – М. : [б. и.], 2019. – 329 с.

158. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Вып. 2. Зерновые, крупяные, зернобобовые, кукуруза и кормовые культуры. – М. : [б. и.], 1989. – 197 с.

159. Методические рекомендации комплексной оценки эффективности сельскохозяйственного производства / ВНИИЭСХ, ВАСХНИЛ; Исполн. В. А. Свободин, Р. К. Болтаев. – М. : ВНИЭСХ, 1983. – 102 с.

160. Методология и методика энергетической оценки агротехнологий в агроландшафтах / Российский ГАУ – МСХА им. К. А. Тимирязева. – М. : [б. и.], 2007. – 21 с.

161. Минакова, О. А. Влияние удобрений и основной обработки почвы на показатели плодородия в посевах культур севооборота / О. А. Минакова, П. А. Косякин, Д. С. Мирзликينا // Сахарная свёкла. – 2023. – № 6. – С. 26–28.

162. Миндрин, А. Энергетические эквиваленты производства продовольствия / А. Миндрин // Международный сельскохозяйственный журнал. – 1996. – № 2. – С. 42–45.

163. Мишустин, Е. Н. Микроорганизмы и продуктивность земледелия / Е. Н. Мишустин. – М. : Наука, 1972. – 342 с.

164. Мокроносов, А. Т. Фотосинтез. Физиолого-экологические и биохимические аспекты / А. Т. Мокроносов, В. Ф. Гавриленко, Т. В. Жигалова. – М. : Академия, 2006. – 448 с.

165. Монастырский, О. А. Проблема обеспечения продовольственной независимости и безопасности России и пути ее решения / О. А. Монастырский, А. Г. Глинушкин, М. С. Соколов // Агрехимия. – 2016. – № 11. – С. 3–11.

166. Мурашев, В. В. Структурная организация пшеницы двузернянки (полбы обыкновенной, эммер) – *Triticum dicoccum* (Schrank) Schübl., 1789. Геном AuВ; $2n = 28$ / В.В. Мурашев, З.А. Морозова // Наука и образование в XXI веке : сб. науч. тр. по материалам Междунар. науч.-практ. конф., Тамбов, 28 февраля 2018 г. – Тамбов : Консалтинговая компания Юком, 2018. – С. 122–136.

167. Муслимов, М. Г. Полба – ценная зерновая культура / М. Г. Муслимов, А. Б. Исмагилов // Зерновое хозяйство России. – 2012. – № 3. – С. 40–42.

168. Мухамадьяров, Ф. Ф. Методическое пособие по определению энергозатрат при производстве продовольственных ресурсов и кормов для условий Северо-Востока европейской части Российской Федерации / Ф. Ф. Мухамадьяров, В. А. Фигурин, В. П. Ашихмин [и др.]. – Киров : [б. и.], 1997. – 62 с.

169. Нетрусов, А. И. Микробиология / А. И. Нетрусов, И. Б. Котова ; под ред. А. И. Нетрусова. – М. : Академия, 2007. – 349 с.

170. Нижельская, К. В. Пищевая ценность и использование пророщенного зерна полбы / К. В. Нижельская, О. Г. Чижикова, Л. О. Коршенко // Вестник РГАТУ. – 2018. – № 3 (39). – С. 151–156.

171. Никитишен, В. И. Роль почвы и удобрения в обеспечении калийного питания культур севооборота / В. И. Никитишен, Л. К. Дмитракова, В. И. Личко // *Агрохимия*. – 2000. – № 12. – С. 30–35.

172. Николаева, Е. Н. Относительный избыток животного белка в питании – инициатор развития атеросклеротического процесса / Е. Н. Николаева // *Атеросклероз и дислипидемии*. – 2017. – № 2. – С. 91–102

173. Ничипорович А. А. Показатели и процессы фотосинтетической деятельности, задачи и методы их контроля в работах по повышению продуктивности растений / А. А. Ничипорович // *Методические указания по учету и контролю важнейших процессов фотосинтетической деятельности растений в посевах*. – М. : Наука, – 1969 – 24 с.

174. Ничипорович, А. А. Фотосинтез и теория высоких урожаев / А. А. Ничипорович. – М. : Изд-во АН СССР, 1956. – 92 с.

175. Ничипорович, А. А. Фотосинтетическая деятельность растений и пути повышения их продуктивности / А. А. Ничипорович // *Теоретические основы фотосинтетической продуктивности*. – М. : Наука, 1972. – С. 511–527.

176. Новохатин, В. В. Первичная корневая система яровой мягкой пшеницы / В. В. Новохатин // *Вестник РАСХН*. – 2015. – № 1. – С. 35–39.

177. Новохатин, В. В. Проникающая способность корней мягкой яровой пшеницы в условиях недостаточного влагообеспечения (Часть I) / В. В. Новохатин // *Агрофизика*. – 2019. – № 2. – С. 44–53.

178. Овчинников, Ю. А. Биоорганическая химия / Ю. А. Овчинников. – М. : Просвещение, 1987. – 815 с.

179. Оценка энергетической эффективности возделывания сельскохозяйственных культур / РАСХН, Моск. с.-х. акад. им. К. А. Тимирязева. – М. : Россельхозакадемия, 1994. – 66 с.

180. Парахин, Н. В. Экологическая устойчивость и эффективность растениеводства: теоретические основы и практический опыт / Н. В. Парахин. – М. : Колос, 2002. – 197 с.

181. Переведенцев, Ю. П. Агроклиматические условия на территории Республики Татарстан в период 1966–2021 гг. / Ю. П. Переведенцев, В. Н. Павлова, К. М. Шанталинский, Н. А. Мирсаева, А. А. Николаев, М. Ш. Тагиров // Гидрометеорологические исследования и прогнозы. – 2022. – № 4 (386). – С. 96–113.

182. Переведенцев, Ю. П. Основные особенности климата последних десятилетий на территории Татарстана / Ю. П. Переведенцев, Б. Г. Шерстюков, Э. П. Наумов [и др.] // Ученые записки Казанского государственного университета. Серия: Естественные науки. – 2008. – Т. 150, № 4. – С. 21–33.

183. Петербургский, А. В. Круговорот и баланс питательных веществ в земледелии / А. В. Петербургский. – М. : Наука, 1979. – 168 с.

184. Петров, С. В. Агробиологические основы формирования урожая яровой пшеницы полбы в Предкамье Республики Татарстан : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук : 06.01.01 / Петров Сергей Владимирович. – Пенза, 2015. – 19 с.

185. Петров, С. В. Возрождение пшеницы-двузернянки (полба) как продовольственной культуры в Республике Татарстан / С. В. Петров, И. М. Сержанов, В. Тимофеев, Ф. Шайхутдинов, И. Туктамышев // Главный агроном. – 2016. – № 11.

186. Петров, С. В. Формирование урожая яровой пшеницы *Dicoscirt* (полба) в условиях Предкамской зоны Республики Татарстан / С. В. Петров, И. М. Сержанов, Ф. Ш. Шайхутдинов // Зерновое хозяйство России. – 2014. – № 6. – С. 31–38.

187. Пилипенко, Н. Г. Эффективность ресурсосберегающих технологий предпосевной обработки почвы в полевом севообороте / Н. Г. Пилипенко, В. Н. Днепровская // Земледелие. – 2012. – № 4. – С. 29–30.

188. Плеханова, И. О. Влияние ризосферных бактерий на фракционный состав соединений тяжёлых металлов в системе почва – растение / И. О. Плеханова, В.О. Куликов, В.П. Шабаев // Почвоведение. – 2022. – № 9. – С. 1179–1186.

189. 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.

190. 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 современной земледелии : сб. науч. тр. по материалам II Междунар. науч.-практ. конф., посвященной 105-летию Института агробиотехнологий и землепользования, Казань, 29 ноября 2024 г. – Казань, 2024.

191. 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", 2024а. – С. 154–160.

192. 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 // Агрехимический вестник. – 2025. – № 2. – С. 3–7.

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

194. Полба – содержание аминокислот [Электронный ресурс] // FitAudit.ru. – Режим доступа: <https://fitaudit.ru/food/157979/amino>.

195. Пономарева, М. Л. Нетрадиционные культуры. Полба / М. Л. Пономарева // Селекция и семеноводство сельскохозяйственных растений в Республике Татарстан. – Казань : Изд-во «Фэн», 2013. – С. 403–410.

196. Попова, Н. М. Биологические особенности и селекционное значение полбы в условиях Красноярской лесостепи / Н. М. Попова, А. А. Чураков // Вестник Красноярского ГАУ. – 2024. – № 11. – С. 49–57.

197. Практикум по агрохимии / В. В. Кидин, И. П. Дерюгин, В. И. Кобзаренко [и др.] ; под ред. В. В. Кидина. – М. : КолосС, 2008. – 599 с.

198. Проскурина, И. К. Биохимия / И. К. Проскурина. – М. : Владос-Пресс, 2003. – 240 с
199. Прошкин, В. А. Моделирование эффективности минеральных удобрений по показателям агрохимических свойств почв / В.А. Прошкин // Агрохимия. – 2012. – № 7. – С. 16–27.
200. Прянишников, Д. Н. Избранные сочинения. В 3 т. Т. 3: Общие вопросы земледелия и химизации / Д. Н. Прянишников ; сост. П. Г. Найдин. – М. : Колос, 1965. – 639 с.
201. Рогозина, Н. С. Влияние норм высева и доз удобрений на продуктивность и химический состав полбы голозёрной / Н. С. Рогозина // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве : сб. докл. науч.-практ. конф. (Великие Луки, 11–12 апреля 2019 г.). – Великие Луки : Изд-во Великолук. ГСХА, 2019. – С. 58–63.
202. Романов, Б. В. Сравнительная оценка продукционных показателей *Triticum dicossum* var. *tricossum* с полбой обыкновенной / Б. В. Романов, К. И. Пимонов, Н. Н. Вошедский // Вестник Донского государственного аграрного университета. – 2018. – № 4-1(30). – С. 28–33.
203. Сабирова, Т. П. Влияние биопрепаратов на продуктивность сельскохозяйственных культур / Т. П. Сабирова, Р. А. Сабиров // Вестник АПК Верхневолжья. – 2018. – № 3(43). – С. 18–22.
204. Савин, Т. В. Минеральный состав зерна диких сородичей и интрогрессивных форм в селекции пшеницы / Т. В. Савин, А. И. Абугалиева, И. Чакмак, К. Кожахметов // Вавиловский журнал генетики и селекции. – 2018. – № 1. – С. 88–96.
205. Селянинов, Г. Т. Требования пшениц к климату / Г. Т. Селянинов // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. – Ленинград, 1960. – Т. 32, вып. 2. – С. 183–198.
206. Селянинов, Г. Т. О сельскохозяйственной оценке климата / Г. Т. Селянинов // Труды по сельскохозяйственной метеорологии. – 1928. – Вып. 20. – С. 169–178.
207. Семенов, П. Г. Влияние некорневых подкормок на урожайность и качество зерна пшеницы двузернянки (полбы) в условиях Предкамья Республики Та-

тарстан / П. Г. Семенов, М. Ф. Амиров // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. – 2024. – № 3. – С. 10–18.

208. Семенов, П. Г. Особенности формирования урожайности яровой пшеницы двузернянки (*Triticum dicocum* Schrank) в почвенно-климатических условиях Предкамья Республики Татарстан : дис. ... канд. с.-х. наук : 4.1.1 / Семенов Павел Геннадьевич. – Казань, 2024. – 148 с.

209. Семенова, Е. Б. Влияние нормы высева на продуктивность полбы сорта *Руно* в условиях Среднего Урала / Е. Б. Семенова, В. А. Чулков // Молодёжь и наука. – 2022. – № 9.

210. Серегина, И. И. Влияние биопрепаратов на элементы продуктивности, урожайность и качество зерна яровой пшеницы на разных уровнях азотного питания / И. И. Серегина, М. И. Анка, Е. А. Мещерякова // Journal of Agriculture and Environment. – 2024. – № 10(50). – Режим доступа: <https://jae.cifra.science/archive/10-50-2024-october/10.60797/JAE.2024.50.4>.

211. Сержанов, И. М. Продуктивность пшеницы полбы сорта *Руно* при различных уровнях минерального питания, нормы высева и глубины заделки семян в условиях Предкамской зоны Республики Татарстан / И. М. Сержанов, Ф. Ш. Шайхутдинов, Р. И. Ибяттов, Р. И. Гараев, Д. Х. Зиннатуллин, А. А. Валиев // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2017. – № 4 (47). – С. 63–67.

212. Сиротенко, О. Д. Оценка и прогноз эффективности минеральных удобрений в условиях изменяющегося климата / О. Д. Сиротенко, В. А. Романенков, В. Н. Павлова, М. П. Листова // Агрoхимия. – 2009. – № 7. – С. 26–33.

213. Система земледелия Республики Татарстан. Инновации на базе традиций. Ч. 1. Общие аспекты системы земледелия / И. Х. Габдрахманов, Д. И. Файзрахманов, И. Р. Валеев [и др.]; под ред. И. Х. Габдрахманова [и др.]. – Казань : Логос, 2014. – 166 с.

214. Смекалова, Т. Н. Новый подвид пшеницы *Triticum dicoccon* (Schrank) Schuebl. subsp. *nudicoccon* Kobyl. et Smekal. / Т. Н. Смекалова, В. Д. Кобылянский // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. – 2019. – Т. 180, № 4. – С. 148–151.

215. Смутнев, П. А. Перспективы создания сортов яровой полбы для засушливых условий Нижнего Поволжья на основе использования мировой коллекции ВНИИР им. Н. И. Вавилова / П. А. Смутнев, И. Н. Маркова // Научно-агрономический журнал. – 2019. – № 1(104). – С. 45–48.

216. Соболева, О. М. Роль ризосферных бактерий в повышении экологизации агроценозов / О. М. Соболева // Достижения науки и техники АПК. – 2018. – Т. 32, № 5. – С. 19–22.

217. Сологуб, Д. Б. Эффективность применения ризосферных diaзотрофов под зерновые в зависимости от содержания органического вещества в почве : автореф. дис. ... канд. биол. наук : 06.01.04 / Сологуб Дмитрий Борисович. – М., 2005. – 23 с.

218. Справочник агрохимика Республики Татарстан / М. Ю. Гилязов, А. А. Лукманов, А. В. Ивойлов [и др.] ; под ред. А. В. Ивойлова. – Изд. 3-е, перераб. – Казань : Логос-Прогресс, 2024. 372 с.

219. Степанова, Л. П. Влияние биопрепаратов и микроудобрений на продукционный процесс яровой пшеницы / Л. П. Степанова, В. Н. Стародубцев, Е. А. Коренькова, Е.И. Степанова, И.М. Тихойкина // Вестник Орел ГАУ. – 2013. – № 1(40). – С. 17–23.

220. Столетова, Е. А. Полба-эммер (*Triticum dicoccum* Shrank) / Е. А. Столетова // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. – 1924–1925. – Т. 14, вып. 1. – С. 27–111.

221. Сурин, Н. А. Биологические особенности пленчатой и голозерной полбы в условиях Красноярского края / Н. А. Сурин, Н. М. Попова // Достижения науки и техники АПК. – 2016. – Т. 30, № 6. – С. 15–17.

222. Суровцев, М. Е. Диспаритет цен и тенденции развития сельского хозяйства России / М. Е. Суровцев // Вестник АПК Верхневолжья. – 2014. – № 2 (26). – С. 3–8.

223. Сысуев, В. А. Методы повышения агробиоэнергетической эффективности растениеводства / В. А. Сысуев, Ф. Ф. Мухамадьяров. – Киров : НИИСХ Северо-Востока, 2001. – 216 с.

224. Сычѳв, В. Г. Приемы оптимизации фосфатного режима почв в агротехнологиях / В. Г. Сычѳв, Н. А. Кирпичников ; ВНИИ агрохимии им. Д. Н. Прянишникова РАСХН. – М., 2009. – 176 с.
225. Сычѳв, В. Г. Современное состояние плодородия почв и основные аспекты его регулирования / В. Г. Сычѳв. – М. : РАН, 2019. – 328 с.
226. Сычѳв, В. Г. Тенденции изменения агрохимических показателей плодородия почв Европейской части России / В. Г. Сычѳв ; под ред. В. Г. Минеева. – М. : ЦИНАО, 2000. – 187 с.
227. Тарасова, Л. В. Продуктивность полбы в условиях южной лесостепи Западной Сибири / Л. В. Тарасова, Н. А. Рендов, Ю. В. Фризен, С. И. Мозылева // Вестник Омского государственного аграрного университета. – 2019. – № 4(36). – С. 75–81.
228. Тейт, Р. Органическое вещество почвы: Биологические и экологические аспекты / Р. Тейт ; пер. с англ. О. Д. Масловой и Д. С. Орлова. – М. : Мир, 1991. – 400 с.
229. Темирбекова, С. К. Использование древних видов пшеницы для укрепления иммунной системы детского организма / С. К. Темирбекова, Э. Ф. Ионов, Н. Э. Ионова, Ю. В. Афанасьева // Аграрный вестник Юго-Востока. – 2014. – № 1–2. – С. 46–48.
230. Темирбекова, С. К. О проблеме энзимо-микозного истощения семян («истекания зерна») в растениеводстве / С. К. Темирбекова. – М. : Россельхозиздат, 2000. – 306 с.
231. Теории и методы физики почв / Под ред. Е. В. Шеина и Л. О. Карпочевского. – М. : «Граф и К», 2007. – 616 с.
232. Тихонович, И. А. Биопрепараты в сельском хозяйстве. Методология и практика применения микроорганизмов в растениеводстве и кормопроизводстве / И. А. Тихонович, А. П. Кожемяков, В. К. Чеботарь, Ю. В. Круглов, Н. В. Кандыбин, Г. Ю. Лаптев. – М. : ВНИИСХМ, 2005. – 154 с.
233. Тихонович, И. А. Перспективы использования азотфиксирующих и фитостимулирующих микроорганизмов для повышения эффективности агропро-

мышленного комплекса и улучшения агроэкологической ситуации РФ / И. А. Тихонович, А.А. Завалин // Плодородие. – 2016. – № 5. – С. 28–32.

234. Трофимов, Н. В. Методика разделения территории Республики Татарстан на агроландшафтные районы на основе зонирования природно-климатических условий / Н. В. Трофимов, С. В. Сочнева, М. В. Панасюк // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2019. – Т. 14, № S4-1(55). – С. 127–131.

235. Трофимова, С. С. Археоботанические исследования памятника Рождественское городище / С. С. Трофимова, Н. Б. Крыласова, А. Н. Сарапулов // Труды Камской археолого-этнографической экспедиции. – 2019. – № 15. – С. 18–24.

236. Туганаев, А. В. Природа и растения Волжско-Камской Булгарии по материалам письменных и археологических источников / А. В. Туганаев, В. В. Туганаев // Ботанический журнал. – 2008. – Т. 93, № 4. – С. 610–620.

237. Туев, Н. А. Микробиологические основы гумусообразования / Н. А. Туев. – М. : Агропромиздат, 1989. – 239 с.

238. Тюнин, В. А. Ценная зерновая культура полба / В. А. Тюнин, Е. Р. Шрейдер, Н. П. Бондаренко, Г. В. Гунько, Н. Н. Совков // АПК России. – 2017. – Т. 24, № 3. – С. 649–654.

239. Удачин, Р. А. Полба – забытая в России зерновая культура / Р. А. Удачин // Земля русская. – 2002. – № 2. – С. 8–15.

240. Умаров, М. М. Ассоциативная азотфиксация / М. М. Умаров. – М. : Изд-во Москов. ун-та, 1986. – 133 с.

241. Федосеев, А. П. Погода и эффективность удобрений / А.П. Федосеев. – Л. : Гидрометеиздат, 1985. – С. 13–17.

242. Феоктистова, Н. В. Ризосферные бактерии / Н. В. Феоктистова, А. М. Марданова, Г. Ф. Хадиева, М. Р. Шарипова // Учёные записки Казанского университета. Серия: Естественные науки. – 2016. – Т. 158, кн. 2. – С. 207–224.

243. Физиология сельскохозяйственных растений. В 12 т. Т. II. Минеральное питание. Рост и развитие. Эмбриогенез и органогенез / отв. ред. тома П. А. Генкель. – М. : Изд-во Москов. ун-та, 1967. – 482 с.

244. Фляксбергер, К. А. Древнеегипетская и современная полба – эммера (*Triticum dicocum* Schrank.) / К. А. Фляксбергер // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. – 1928. – Т. 19, № 1. – С. 497–518.
245. Формирование урожая основных сельскохозяйственных культур / пер. с чеш. З. К. Благовещенской. – М. : Колос, 1984. – 367 с.
246. Химический состав пищевых продуктов : под ред. акад. А. А. Покровского. – М. : Пищевая промышленность, 1976. – 228 с.
247. Хмелева, Е. В. Полба в технологии зернового хлеба / Е. В. Хмелева, Н. А. Березина // Актуальные вопросы совершенствования технологии производства и переработки продукции сельского хозяйства : материалы Междунар. науч.-практ. конф. (Йошка-Ола, , 23–24 марта 2023 г., Мосоловские чтения). – Вып. XXV. – Йошкар-Ола : Изд-во Маар. ун-та, 2023. – С. 239–241.
248. Хмелева, Е. В. Технологические решения по применению зерна полбы для производства зернового хлеба / Е. В. Хмелева, Н. А. Березина, В. Ю. Жуков // Хлебопродукты. – 2017. – № 5. – С. 50–55.
249. Хомяков, Ю. В. Роль корневых выделений растений в формировании биохимических свойств корнеобитаемой среды : автореф. дис. ... канд. биол. наук : 06.01.03 / Хомяков Юрий Викторович. – СПб., 2009. – 22 с.
250. Чеботарь, В. К. Микробные препараты на основе эндофитных и ризобактерий, перспективные для повышения продуктивности и эффективности использования минеральных удобрений у ярового ячменя (*Hordeum vulgare* L.) и овощных культур / В. К. Чеботарь, А. Н. Заплаткин, А. В. Щербаков, Н. В. Мальфанова, А. А. Старцева, Я. В. Костин // Сельскохозяйственная биология. – 2016. – Т. 51, № 3. – С. 335–342.
251. Чевердин, А. Ю. Влияние биопрепаратов на основе ассоциативных бактерий на микробиологическую активность чернозёма сегрегационного / А. Ю. Чевердин, Ю. И. Чевердин, В. И. Турусов // Агрехимия. – 2019. – № 12. – С. 22–31.
252. Чугунова, О. В. Агрономические свойства полбы, как нетрадиционного сырья для производства мучных кондитерских изделий / О. В. Чугунова, Е. В. Крюкова // Научный вестник. – 2015. – № 3(5). – С. 90-100.

253. Чухина, О. В. Влияние удобрений и микропрепаратов на урожайность и вынос элементов питания культурами звена полевого севооборота / О. В. Чухина, В. В. Суров // Плодородие. – 2014. – № 3(78). – С. 18-22.

254. Шабаев, В. П. Оптимизация минерального питания зерновых культур и ярового рапса инокуляцией ризосферными бактериями, стимулирующими рост растений / В. П. Шабаев // Агрехимия. – 2011. – № 9. – С. 29–42.

255. Шабаев, В. П. Роль биологического азота в системе «почва – растение» при внесении ризосферных микроорганизмов : автореф. дис. ... д-ра биол. наук : 06.01.04 / Шабаев Валерий Павлович. – М., 2004. – 45 с.

256. Шайкова, Т. В. Влияние агротехнических факторов на продуктивность полбы в условиях Северо-Запада РФ / Т. В. Шайкова, М. В. Дятлова, А. А. Кузьмин // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2024. – № 6. – С. 1009–1018.

257. Шайтанов, О. Л. Оценка влияния глобального потепления на климат Татарстана / О. Л. Шайтанов, Р. М. Низамов, Е. И. Захарова // Зернобобовые и крупяные культуры. – 2021. – № 4(40). – С. 102–112.

258. Шайхутдинов, Ф. Ш. Агробиологические основы формирования высококачественного урожая яровой пшеницы в лесостепи Поволжья : автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук / Шайхутдинов Фарит Шарипович. – Кинель, 2004. – 37 с.

259. Шайхутдинов, Ф. Ш. Влияние приёмов агротехники на урожай и качество зерна пшеницы полбы (двузернянки) в условиях Предкамья Республики Татарстан / Ф. Ш. Шайхутдинов, И. М. Сержанов, Р. И. Ибяттов, Д. Х. Зиннатуллин, Р. И. Гараев, В. В. Аксакова, А. А. Валиев // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2018. – Т. 13, № 4 (51). – С. 103–108.

260. Шайхутдинов, Ф. Ш. Влияние фона питания, сроков сева и предшественников на рост и развитие и урожай пшеницы двузернянки (полба) в условиях Предкамской зоны Республики Татарстан / Ф. Ш. Шайхутдинов, И. М. Сержанов, Д. Х. Зиннатуллин, Р. И. Гараев // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2017. – Т. 12, № 4–2(47). – С. 100–105.

261. Шарапов, И. И. Влияние метеоусловий на урожайность и содержание белка в зерне озимой пшеницы / И. И. Шарапов, Ю. А. Шарапова, М. Р. Абдряев // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2023. – Т. 53, № 9. – С. 40–48.
262. Шарипов, С. А. Рынок и производство зерна / С. А. Шарипов, И. В. Гареев. – Казань : Татарское кн. изд-во, 1998. – 448 с.
263. Шарков, И. Н. Влияние погодных условий вегетационного периода на урожайность яровой пшеницы и эффективность азотного удобрения в лесостепи Приобья / И. Н. Шарков, С. А. Колбин // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2020. – № 1(54). – С. 33–41.
264. Шатилов, И. С. Агрофизические, агрометеорологические и агротехнические основы программирования урожаев / И. С. Шатилов, А. Ф. Чудновский. – Л. : Гидрометеиздат, 1980. – 320 с.
265. Шафран, С. А. Влияние сорта на потребление и вынос питательных веществ зерновыми культурами / С. А. Шафран, С. Б. Виноградова // Агрохимия. – 2024. – № 7. – С.36–47.
266. Швед, И. М. Влияние способов основной обработки почвы и систем удобрений на агрофизические свойства дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы / И. М. Швед, Е. Ф. ВалеЙша // Вестник Белорусской ГСХА. – 2015. – № 1. – С. 77–83.
267. Шеуджен, А. Х. Агрохимия / А. Х. Шеуджен, В. Т. Куркаев, Н. С. Котляров. – 2-е изд., перераб. и доп. – Майкоп : Афиша, 2006. – 1075 с.
268. Шотт, П. Р. Биологическая фиксация азота в однолетних агроценозах лесостепной зоны Западной Сибири : дис. ... д-ра с.-х. наук : 06.01.04 / Шотт Петр Рейнгольдович. – Барнаул, 2007. – 287 с.
269. Юков, В. В. Аминокислотный состав протеина Волжской полбы / В.В. Юков, Е.И. Лихачева // Комбикорма. – 2004. – № 7. – С. 40–42.
270. Arzani, A. Cultivated Ancient Wheats (*Triticum* spp.): A Potential Source of Health-Beneficial Food Products / A. Arzani, M. Ashraf // Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. – 2017. – Vol. 16. – P. 477–488.

271. Baffes, J. Yield growth patterns of food commodities: Insights and challenges. / J. Baffes, X. Etienne // PLoS ONE. – 2024. – Vol. 19, no. 11. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0313088>.
272. Barber, D. A. Microbial growth in the rhizosphere / D. A. Barber, J. M. Lynch // Soil Biology & Biochemistry. – 1977. – Vol. 9. – P. 305–308.
273. Basu, A. Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) as green bioinoculants: Recent developments, constraints, and prospects / A. Basu, P. Prasad, S. N. Das, S. Kalam, R. Z. Sayyed, M. S. Reddy, H. E. Enshasy // Sustainability. – 2021. – Vol. 13, No. 3. – P. 1–20.
274. Bezzubenkova, O. E. Microflora of the rhizosphere and rhizoplane and its influence on the plant organism / O. E. Bezzubenkova, M. N. Yukhlimova, N. I. Nesterova // Natural Sciences and Engineering. – 2012. – Vol. 4. – P. 99–102.
275. Cazzato, E. Forage yield and quality of emmer (*Triticum dicoccum* Schübler) and spelt (*Triticum spelta* L.) as affected by harvest period and nitrogen fertilization / E. Cazzato, V. Tufarelli, V. Laudadio, A. M. Stellacci, M. Selvaggi, B. Leoni, C. Troccoli // Acta Agriculturae Scandinavica, Section B – Soil & Plant Science. – 2013. – Vol. 63, iss. 7. – P. 571–5787.
276. Chen J. M. Defining leaf area index for non-flat leaves / J. M. Chen, T. A. Black // Agricultural and Forest Meteorology. – 1992. – Vol. 57. – P. 1–12.
277. Čurná, V. Chemical Composition and Nutritional Value of Emmer Wheat (*Triticum dicoccon* Schrank) / V. Čurná, M. Lacko-Bartošová // Journal of Central European Agriculture. – 2017. – Vol. 18, iss. 1. – Pp. 117–134.
278. Dhanavath, S. Nutritional and Nutraceutical Properties of *Triticum dicoccum* Wheat and Its Health Benefits: An Overview / S. Dhanavath, U. J. S. Prasada Rao // Journal of Food Science. – 2017. – Vol. 82, iss. 10. – Pp. 2243–2250.
279. FAO/WHO. Expert consultation on protein quality evaluation. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.1990. 51 p.
280. García-Fraile, P. Role of bacterial biofertilizers in agriculture and forestry / P. García-Fraile, E. Menéndez, R. Rivas // AIMS Bioengineering. – 2015. – Vol. 2, No 3. – P. 183–205.

281. Giambanelli, E. A comparative study of bioactive compounds in primitive wheat populations from Italy, Turkey, Georgia, Bulgaria and Armenia. / E. Giambanelli, F. Ferioli, B. Koçaoglu, M. Joriadze, I. Alexieva, N. Darbinyan, F. D'Antuono // *Journal of the Science of Food and Agriculture*. – 2013. – Vol. 93, iss. 14. – P. 3490–3501.

282. Jarrige, T. F. The antedecents of civilization in the indus valley / T. F. Jarrige, R. H. Meadow // *Scientific American*. – 1980. – Vol. 243, iss. 2. – P. 122–123.

283. Johnson, M. P. Photosynthesis / M. P. Johnson // *Essays in Biochemistry*. – 2016. Vol. 60, iss. 3. – P. 255–273.

284. Kissing, L. Evaluation of wheat and emmer varieties for artisanal baking, pasta making, and sensory quality / L. Kissing, E. Dyck, J. Russel, L. Clark, J. Hamelman, S. Burns-Leader, S. Senders, J. Jones, D. Benscher, M. Davis, G. Roth, S. Zwinger, M. E. Sorrells, J. C. Dawson // *Journal of Cereal Science*. – 2017. – Vol. 74. – P. 19–27.

285. Kraska, P. Reaction of spelt wheat cultivars (*Triticum aestivum* ssp. *spelta*) to foliar applications of fertilizers / P. Kraska, S. Andruszczak, E. Kwiecińska-Poppe // *Agronomy Science*. – 2019. – Vol. LXXIV, iss. 2. – Режим доступа: <http://dx.doi.org/10.24326/as.2019.2.4>.

286. Kuznetsova, E. Composition, quality characteristics and microstructure of the grain *Triticum dicoccum* / E. Kuznetsova, L. Shayapova, E. Klimova, G. Nasrullaeva, J. Brindza, M. Stolyarov, G. Zomiteva, T. Bychkova, V. Gavrilina, E. Kuznetsova // *Potravinárstvo Slovak Journal of Food Sciences*. – 2019. – Vol. 13, iss. 1. – P. 933–940.

287. Lachman, J. Antioxidant activity of grain of einkorn (*Triticum monococcum* L.), emmer (*Triticum dicoccum* Schuebl [Schrank]) and springwheat (*Triticum aestivum* L.) varieties // J. Lachman, M. Orsák, V. Pivek, K. Jírů // *Plant Soil Environment*. – 2012. – Vol. 58. – P. 15–21.

288. Lacko-Bartosova, M. Nutritional characteristics of emmer wheat varieties / M. Lacko-Bartosova, V. Curna // *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Science*. – 2015. – Vol. 4, iss. 3. – P. 95–98.

289. Laghetti, G. Agronomic and nutritional characteristics in emmer and spelt / G. Laghetti, A. R. Piergiovanni, P. Perrino, A. Blanco // *Proceedings of the 9th International Wheat Genetic Symposium*. – Saskatoon, Canada, 1998. – P. 270–272.

290. Luo, V.-C. The structure of wild and domesticated emmer wheat populations, gene flow between them, and the site of emmer domestication / V.-C. Luo, Z.-L. Yang, F. M. You, T. Kawahara, J. G. Waines, J. Dvorak // *Theoretical and Applied Genetics*. – 2007. – Vol. 114. – P. 947–959.

291. Lynch, J. M. The rhizosphere – form and function / J. M. Lynch // *Applied Soil Ecology*. – 1994. – Vol. 1, iss. 3. – P. 193–198.

292. Nesbitt, M. From staple crop to extinction? The archaeology and history of the hulled wheats / M. Nesbitt, D. Samuel // *Hulled Wheats. Proc. 1st Intern. Workshop on Hulled Wheats (21–22 July 1995, Castelvecchio Pascoli, Tuscany, Italy)* / Eds S. Padulosi, K. Hammer, J. Heller. – Rome : IPGRI, 1996. – P. 41–100.

293. Örne Akeret. Plant remains from a Bell Beaker site in Switzerland, and the beginnings of *Triticum spelta* (spelt) cultivation in Europe / Örne Akeret // *Vegetation History and Archaeobotany*. – 2005. – Vol. 14, iss. 4. – Pp. 279–286.

294. Ozkan, H. AFLP analysis of a collection of tetraploid wheat indicated the origin of emmer and hard wheat domestication in southeastern Turkey / H. Ozkan, A. Brandolini, R. Schäfer-Pregl, F. Salamini // *Molecular Biology and Evolution*. – 2002. – Vol. 19. – P. 1797–1801.

295. Paul, D. Plant-growth-promoting rhizobacteria to improve crop growth in saline soils: a review / D. Paul, H. Lade // *Agronomy for Sustainable Development*. – 2014. – Vol. 34, iss. 4. – P. 737–752.

296. Peng, J. Wild emmer wheat, *Triticum dicoccoides*, occupies a pivotal position in wheat domestication process / J. Peng, D. Sun, E. Nevo // *Australian Journal of Crop Science*. – 2011. – Vol. 5, iss. 9. – P. 1127–1143.

297. Perkins, J. H. *Wheat, People, and Plant Breeding* / J. H. Perkins // *Geopolitics and the Green Revolution: Wheat, Genes, and the Cold War*. – New York : Oxford University Press, 1997. – P. 26–27.

298. Petkova, Z. Comparison of some bioactive components of emmer wheat [*Triticum dicoccum* (Schrank) Schübler] cultivars from two different origins grown under the same conditions / Z. Petkova, M. Stoyanova, S. Stankov, H. Fidan, M.

Dzhivoderova, A. Pahopoulou, P. Merdzhanov, A. Koleva, S. Ercişli, A. Stoyanova // *Food and Health*. – 2019. – Vol. 5, iss. 3. – P. 160–167.

299. Petrenko, V. Evaluation of three wheat species (*Triticum aestivum* L., *T. spelta* L., *T. dicoccum* (Schrank) Schuebl) commonly used in organic cropping systems, considering selected parameters of technological quality./ V. Petrenko, R. Spychaj, O. Prysiashniuk, T. Sheiko, L. Khudolii // *Romanian Agricultural Research*. – 2018. – Vol. 35. – P. 255–264.

300. Piergrovani, A.R. Characteristics of Meal from Hulled Wheats (*Triticum dicoccon* Schrank and *T. spelta* L.)– an Evaluation of Selected Accessions / A. R. Piergrovani, G. Laghetti, P. Perrino // *Cereal Chemistry*. – 1996. – Vol. 73, iss. 6. – P. 732–735.

301. Pospíšil, A. The Effect of Organic Fertilizers on the Spelt Yield and the Yield of its Components / A. Pospíšil, M. Pospíšil // *Poljoprivreda*. – 2021. – Vol. 27, iss. 1. – P. 37–43.

302. Şahin, Y. Chemical Composition of Einkorn (*Triticum monococcum* ssp. *monococcum*), Emmer (*Triticum dicoccum*), and Spelt (*Triticum spelta*) / Y. Şahin, F.P. Karakas // *Ancient Wheats*. – Cham : Springer, 2022. – P. 119–145.

303. Shewry, P. R. Do "ancient" wheat species differ from modern bread wheat in their contents of bioactive components? / P. R. Shewry, S. Hey // *Journal of Cereal Science*. – 2015. – Vol. 65. – P. 236–243.

304. Skonieski, F. R. Effect of seed inoculation with *Azospirillum brasilense* and nitrogen fertilization rates on maize plant yield and silage quality / F. R. Skonieski et al. // *Revista Brasileira de Zootecnia*. – 2017. – Vol. 46, iss. 9. – P. 722–730.

305. Sugár, E. Spelt Wheat: An Alternative for Sustainable Plant Production at Low N-Levels / E. Sugár, N. Fodor, R. Sándor, P. Bónis, G. Vida, T. Árendás. // *Sustainability*. – 2019. – Vol. 11, iss. 23. – 6726.

306. Vacheron, J. Plant growth-promoting rhizobacteria and root system functioning / J. Vacheron, G. Desbrosses, M.-L. Bouffaund, B. Touraine, Y. Moëgne-Loccoz, D. Muller, L. Legendre, F. Wisniewski-Dyé, C. Prigent-Combaret // *Frontiers in Plant Science*. – 2013. – Vol. 4. – Article 356. – P. 1–19.

307. Wojtkowiak, K. Nutritive value of spelt (*Triticum aestivum* spp. *spelta* L.) as influenced by the foliar application of copper, zinc and manganese / K. Wojtkowiak, A. Stepień // *Zemdirbyste*. – 2015. – Vol. 102, iss. 4. – P. 389–396.

308. Zaharieva, M. Cultivated emmer wheat (*Triticum dicoccon* Schrank), an old crop with promising future: a review / M. Zaharieva, N. G. Ayana, A. Al Hakimi, S. C. Misra, Ph. Monneveux // *Genetics Resources and Crop Evolution*. – 2010. – Vol. 57, iss. 6. – P. 937–962.

309. Zheng, M. Community dynamics in rhizosphere microorganisms at different development stages of wheat growing in confined isolation environments / M. Zheng, Y. Zhihao, B. Kaanuru, F. Yuming, L. Hong // *Applied Microbiology and Biotechnology*. – 2021. – Vol. 105. – Pp. 3843–3857.

Приложение А
(справочное)

Метеорологические данные по метеостанции «Арск» Республики Татарстан

| Год | Показатель | Май | | | | Июнь | | | | Июль | | | | Август | | | | За вегета- цию |
|-------------|---------------------|------|----------------|------|-------|------------|------|------|-------|------------|-------|-------|-------|------------|-------|-------|-------|-------------------|
| | | I | II | III | месяц | I | II | III | месяц | I | II | III | месяц | I | II | III | месяц | |
| 2020 | Сумма эф t°C >5 | 112 | 170 | 270 | 270 | 377 | 503 | 593 | 593 | 772 | 946 | 1 107 | 1 107 | 1 242 | 1 327 | 1 468 | 1 468 | 1 468 |
| | Сумма эф t°C >10 | | 73 | 118 | 118 | 176 | 252 | 291 | 291 | 420 | 544 | 651 | 651 | 735 | 771 | 856 | 856 | 856 |
| | Средняя T°C | 14,6 | 10,8 | 14,2 | 13,2 | 15,7 | 17,5 | 13,9 | 15,7 | 22,9 | 22,5 | 19,7 | 21,7 | 18,5 | 13,6 | 17,8 | 16,7 | 16,8 |
| | Отклонение от нормы | 4 | -2 | 0 | 1 | 0 | 1 | -4 | -1 | 4 | 3 | 1 | 3 | 1 | -3 | 3 | 0 | 0 |
| | Осадки, мм | 3 | 23 | 16 | 42 | 33 | 0,3 | 11 | 44 | 12 | 5 | 16 | 33 | 13 | 34 | 7 | 54 | 173 |
| | % от нормы | 27 | 192 | 133 | 120 | 165 | 2 | 52 | 73 | 52 | 22 | 73 | 49 | 65 | 170 | 35 | 90 | 90 |
| | ГТК* | | 20 дней | | | 1,5 | | | | 0,9 | | | | 0,5 | | | | 1,0 |
| 2021 | Сумма эф t°C >5 | 135 | 316 | 442 | 442 | 564 | 719 | 942 | 942 | 1 108 | 1 285 | 1 439 | 1 439 | 1612 | 1798 | 1945 | 1 945 | 1 945 |
| | Сумма эф t°C >10 | 35 | 166 | 237 | 237 | 309 | 414 | 586 | 586 | 702 | 830 | 928 | 928 | 1051 | 1187 | 1280 | 1 280 | 1 280 |
| | Средняя T°C | 13,3 | 23,7 | 16,4 | 17,8 | 17,3 | 20,4 | 27,3 | 21,7 | 21,6 | 22,8 | 19,3 | 21,2 | 22,4 | 23,7 | 18,4 | 21,5 | 20,6 |
| | Отклонение от нормы | 3 | 11 | 2 | 5 | 2 | 4 | 9 | 5 | 3 | 4 | 0 | 2 | 4 | 7 | 3 | 5 | 5 |
| | Осадки, мм | 8 | 0,4 | 19 | 27 | 14 | 15 | 4 | 33 | 40 | 3 | 22 | 65 | 12 | 2 | 9 | 23 | 148 |
| | % от нормы | 73 | 3 | 158 | 78 | 70 | 75 | 19 | 54 | 174 | 13 | 100 | 96 | 60 | 10 | 45 | 38 | 38 |
| | ГТК* | | 29 дней | | | 0,5 | | | | 0,5 | | | | 1,0 | | | | 0,3 |
| 2022 | Сумма эф t°C >5 | 81 | 127 | 175 | 175 | 299 | 426 | 545 | 545 | 686 | 854 | 1 035 | 1 035 | 1212 | 1363 | 1566 | 1 566 | 1 566 |
| | Сумма эф t°C >10 | 10 | 10 | 16 | 16 | 90 | 167 | 236 | 236 | 327 | 445 | 571 | 571 | 699 | 810 | 948 | 948 | 948 |
| | Средняя T°C | 9,1 | 9,6 | 9,3 | 9,3 | 17,3 | 17,7 | 16,8 | 17,3 | 19,2 | 21,8 | 21,4 | 20,8 | 22,8 | 20 | 23,5 | 22,1 | 17,4 |
| | Отклонение от нормы | -1 | -3 | -5 | -3 | 1 | 0 | -2 | 0 | 0 | 2 | 1 | 1 | 4 | 2 | 8 | 5 | 5 |
| | Осадки, мм | 6 | 30 | 5 | 41 | 18 | 20 | 7 | 45 | 29 | 40 | 17 | 86 | 0,3 | 0 | 0 | 0 | 172 |
| | % от нормы | 55 | 250 | 42 | 116 | 100 | 100 | 30 | 77 | 91 | 333 | 100 | 175 | 2 | | 1 | 1 | 1 |
| | ГТК* | | 20 дней | | | 2,2 | | | | 0,9 | | | | 1,3 | | | | 0,0 |
| 2023 | Сумма эф t°C >5 | 207 | 303 | 477 | 477 | 582 | 683 | 798 | 798 | 982 | 1 122 | 1 297 | 1 297 | 1474 | 1652 | 1746 | 1 746 | 1 746 |
| | Сумма эф t°C >10 | 66 | 103 | 231 | 231 | 286 | 337 | 402 | 402 | 535 | 626 | 745 | 745 | 873 | 1000 | 1040 | 1 040 | 1 040 |
| | Средняя T°C | 10 | 14,6 | 20,5 | 15,0 | 15,5 | 15,1 | 16,6 | 15,7 | 23,3 | 18,9 | 20,9 | 21 | 22,8 | 22,7 | 13,6 | 19,7 | 17,9 |
| | Отклонение от нормы | -1 | | 6 | 2 | -1 | -3 | -3 | -2 | 4 | -1 | 1 | 1 | 4 | 5 | -2 | 2 | 2 |
| | Осадки, мм | 27 | 3,3 | 18 | 48 | 2 | 0,3 | 17 | 19 | 1 | 3 | 30 | 34 | 0 | 2 | 5 | 7 | 108 |
| | % от нормы | 300 | 25 | 129 | 133 | 11 | 2 | 74 | 29 | 3 | 25 | 176 | 68 | 0 | 13 | 25 | 13 | 13 |
| | ГТК* | | 20 дней | | | 1,6 | | | | 0,4 | | | | 0,5 | | | | 0,1 |

Примечание. При расчете ГТК в мае учтены только дни со среднесуточной температурой воздуха выше +10° С

Приложение В
(справочное)

Расчёт норм минеральных удобрений на планируемую урожайность зерна полбы на 2,5 т/га с учётом побочной продукции

| Показатель | N | P ₂ O ₅ | K ₂ O |
|--|------|-------------------------------|------------------|
| Вынос питательных веществ на 1 т основной продукции, кг | 35 | 12 | 30 |
| Вынос питательных веществ с урожаем, кг/га | 87,5 | 30 | 75 |
| Содержание подвижных питательных веществ в почве, мг/кг | – | 127 | 138 |
| Запасы подвижных питательных веществ в пахотном слое почвы, кг | – | 335 | 375 |
| Коэффициент использования питательных веществ растениями из почвы, % | 60 | 7 | 12 |
| Количество питательных веществ, поглощаемых растениями из почвы, кг/га | 45,9 | 23,5 | 45 |
| Количество питательных веществ, которое требуется внести с минеральными удобрениями, кг/га | 41,6 | 6,6 | 30 |
| Коэффициент использования растениями питательных веществ из удобрений, % | 70 | 22 | 62 |
| Количество питательных веществ, которое требуется внести с минеральными удобрениями с учетом коэффициента использования, кг/га | 59 | 30 | 48 |

Примечание. Плотность почвы – 1,2 г/см³; глубина пахотного – 0,22 м; содержание гумуса – 3,4 %

Приложение Г
(справочное)

Расчёт норм минеральных удобрений на планируемую урожайность зерна полбы на 3,0 т/га с учётом побочной продукции

| Показатель | N | P ₂ O ₅ | K ₂ O |
|--|------|-------------------------------|------------------|
| Вынос питательных веществ на 1 т основной продукции, кг | 35 | 12 | 30 |
| Вынос питательных веществ с урожаем, кг/га | 105 | 36 | 90 |
| Содержание подвижных питательных веществ в почве, мг/кг | – | 127 | 138 |
| Запасы подвижных питательных веществ в пахотном слое почвы, кг | – | 335 | 375 |
| Коэффициент использования питательных веществ растениями из почвы, % | 60 | 7 | 12 |
| Количество питательных веществ, поглощаемых растениями из почвы, кг/га | 45,9 | 23,5 | 45 |
| Количество питательных веществ, которое требуется внести с минеральными удобрениями, кг/га | 59,1 | 12,5 | 45 |
| Коэффициент использования растениями питательных веществ из удобрений, % | 83 | 35 | 77 |
| Количество питательных веществ, которое требуется внести с минеральными удобрениями с учетом коэффициента использования, кг/га | 71 | 36 | 58 |

Примечание. Плотность почвы – 1,2 г/см³; глубина пахотного – 0,22 м; содержание гумуса – 3,4 %

Приложение Д
(справочное)

Динамика формирования корневой системы полбы по фазам развития

| Удобрение (фактор А) | Препараты в предпосевной обработке семян (фактор В) | Посев – всходы | Всходы – кущение | Трубкование – колошение | Колошение – созревание зерна |
|--|---|----------------|------------------|----------------------------|---------------------------------|
| Без удобрений (контроль) | Без обработки (контроль) | 9,1 | 14,7 | 29,6 | 30,4 |
| | Азотовит | 9,1 | 16,8 | 31,7 | 32,8 |
| | Ризоагрин | 9,1 | 16,6 | 32,1 | 33,7 |
| | Биостим Старт | 9,4 | 18,1 | 34,3 | 35,6 |
| N ₅₉ P ₃₀ K ₄₈ (на урожай зерна 2,5 т/га) | Без обработки (контроль) | 9,2 | 15,8 | 31,8 | 32,4 |
| | Азотовит | 9,2 | 17,6 | 34,4 | 36,3 |
| | Ризоагрин | 9,2 | 17,5 | 36,1 | 38,5 |
| | Биостим Старт | 9,7 | 20,3 | 39,4 | 40,7 |
| N ₇₁ P ₃₆ K ₅₈ (на урожай зерна 3,0 т/га) | Без обработки (контроль) | 9,1 | 17,7 | 33,1 | 34,5 |
| | Азотовит | 9,1 | 18,3 | 34,2 | 36,8 |
| | Ризоагрин | 9,1 | 18,2 | 34,9 | 37,7 |
| | Биостим Старт | 9,8 | 22,7 | 40,8 | 42,0 |
| HCP ₀₅ | А | 1,1 | 1,2 | 2,3 | 2,3 |
| | В | 1,2 | 1,3 | 2,8 | 2,9 |
| | АВ | 1,2 | 1,3 | 3,1 | 3,3 |

Приложение Е
(справочное)

Влияние минеральных удобрений и препаратов на динамику накопления листовой площади полбы
по фазам развития и годам исследований, тыс. м²/га

| Удобрение (фактор А) | Препараты в предпосевной об- работке семян (фактор В) | 2020 г. | | | 2021 г. | | | 2022 г. | | | 2023 г. | | | Среднее 2020–2023 гг. | | |
|---|--|---------|-----------|------------|---------|-----------|------------|---------|-----------|------------|---------|-----------|------------|-----------------------|-----------|------------|
| | | кущение | колошение | созревание | кущение | колошение | созревание | кущение | колошение | созревание | кущение | колошение | созревание | кущение | колошение | созревание |
| Без удобрений (контроль) | Без обработки (контроль) | 9,0 | 22,8 | 6,0 | 8,3 | 21,7 | 4,4 | 12,1 | 28,8 | 7,0 | 9,8 | 22,8 | 6,8 | 9,8 | 24,6 | 6,1 |
| | Азотовит | 9,1 | 25,6 | 7,0 | 9,0 | 22,3 | 4,8 | 12,8 | 28,9 | 7,0 | 10,3 | 24,0 | 6,8 | 10,3 | 25,2 | 6,4 |
| | Ризоагрин | 10,7 | 25,9 | 7,1 | 10,5 | 22,4 | 5,4 | 13,2 | 29,4 | 7,8 | 12,4 | 25,9 | 6,9 | 11,7 | 25,9 | 6,8 |
| | Биостим Старт | 12,3 | 26,6 | 7,7 | 11,3 | 22,9 | 5,4 | 13,9 | 30,3 | 8,0 | 12,9 | 26,6 | 7,3 | 12,6 | 26,6 | 7,1 |
| N ₅₉ P ₃₀ K ₄₈ (на урожай зерна 2,5 т/га) | Без обработки (контроль) | 10,4 | 25,8 | 6,8 | 11,8 | 21,9 | 6,1 | 13,3 | 28,8 | 6,8 | 12,1 | 26,3 | 7,1 | 11,9 | 25,7 | 6,7 |
| | Азотовит | 13,2 | 26,4 | 6,8 | 12,0 | 22,7 | 6,1 | 14,8 | 29,2 | 7,0 | 13,6 | 26,9 | 7,7 | 13,4 | 26,3 | 6,9 |
| | Ризоагрин | 13,8 | 27,0 | 7,8 | 13,4 | 23,1 | 6,2 | 15,2 | 30,5 | 8,0 | 13,8 | 27,4 | 8,0 | 14,1 | 27,0 | 7,5 |
| | Биостим Старт | 14,7 | 28,6 | 7,8 | 13,8 | 23,5 | 7,0 | 15,9 | 21,0 | 8,1 | 14,0 | 29,3 | 8,3 | 14,6 | 25,6 | 7,8 |
| N ₇₁ P ₃₆ K ₅₈ (на урожай зерна 3,0 т/га) | Без обработки (контроль) | 13,5 | 26,8 | 7,0 | 12,6 | 22,7 | 6,5 | 14,1 | 28,6 | 8,3 | 13,8 | 27,5 | 7,0 | 13,5 | 26,4 | 7,2 |
| | Азотовит | 14,8 | 27,8 | 8,6 | 14,1 | 24,1 | 6,3 | 14,7 | 29,8 | 7,5 | 14,8 | 28,3 | 8,8 | 14,6 | 27,5 | 7,8 |
| | Ризоагрин | 15,0 | 28,9 | 9,0 | 14,7 | 24,3 | 6,5 | 15,0 | 30,4 | 8,3 | 14,9 | 30,8 | 9,0 | 14,9 | 28,6 | 8,2 |
| | Биостим Старт | 15,9 | 29,9 | 9,1 | 15,0 | 24,9 | 6,8 | 16,1 | 31,7 | 8,0 | 15,8 | 30,7 | 9,3 | 15,7 | 29,3 | 8,3 |

Приложение Ж
(справочное)
Содержание белка в зерне полбы и его валовой сбор
(без плодовой оболочки)

| Удобрение (фактор А) | Препараты в предпосевной обработке семян (фактор В) | 2020 г. | | 2021 г. | | 2022 г. | | 2023 г. | | Среднее за 2020–2023 гг. | |
|---|---|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|--------------------------|---------------------|
| | | Содержание белка, % | Валовой сбор, кг/га | Содержание белка, % | Валовой сбор, кг/га | Содержание белка, % | Валовой сбор, кг/га | Содержание белка, % | Валовой сбор, кг/га | Содержание белка, % | Валовой сбор, кг/га |
| Без удобрений (контроль) | Без обработки (контроль) | 14,1 | 146,0 | 16,4 | 155,6 | 13,4 | 160,9 | 12,9 | 126,1 | 14,2 | 149,1 |
| | Азотовит | 14,4 | 153,5 | 16,3 | 158,4 | 15,0 | 180,5 | 13,1 | 145,3 | 14,7 | 159,9 |
| | Ризоагрин | 15,6 | 182,8 | 17,2 | 177,8 | 15,3 | 198,3 | 13,8 | 158,7 | 15,3 | 176,0 |
| | Биостим Старт | 15,5 | 183,7 | 17,3 | 188,4 | 16,1 | 213,3 | 14,3 | 175,8 | 15,8 | 190,7 |
| N ₅₉ P ₃₀ K ₄₈ (на урожай зерна 2,5 т/га) | Без обработки (контроль) | 16,2 | 272,9 | 16,6 | 236,6 | 15,8 | 273,0 | 13,7 | 224,9 | 15,6 | 252,7 |
| | Азотовит | 17,1 | 315,9 | 17,0 | 261,3 | 16,0 | 293,2 | 14,3 | 247,3 | 16,1 | 279,6 |
| | Ризоагрин | 17,8 | 330,2 | 17,9 | 279,1 | 16,9 | 314,7 | 15,0 | 263,8 | 16,9 | 297,2 |
| | Биостим Старт | 17,8 | 338,6 | 18,6 | 310,7 | 17,2 | 341,4 | 15,6 | 287,4 | 17,3 | 318,3 |
| N ₇₁ P ₃₆ K ₅₈ (на урожай зерна 3,0 т/га) | Без обработки (контроль) | 15,7 | 311,7 | 16,1 | 269,7 | 15,3 | 311,5 | 13,3 | 256,4 | 15,1 | 287,8 |
| | Азотовит | 16,4 | 348,3 | 16,5 | 294,3 | 15,7 | 335,8 | 13,8 | 280,8 | 15,6 | 315,2 |
| | Ризоагрин | 16,6 | 357,6 | 17,1 | 317,2 | 16,1 | 357,7 | 14,3 | 298,4 | 16,0 | 332,7 |
| | Биостим Старт | 16,7 | 363,4 | 17,9 | 350,4 | 16,3 | 379,3 | 15,1 | 320,6 | 16,5 | 354,1 |

Приложение И
(справочное)
Содержание сырого жира в зерне полбы и его валовой сбор
(среднее за 2020–2023 гг.)

| Удобрение (фактор А) | Препараты в предпосев- ной обработке семян (фактор В) | Содер- жание сырого жира, % | Валовой сбор сы- рого жи- ра, кг/га | Прибавка, кг/га | |
|--|---|--------------------------------------|--|--------------------|----------------------|
| | | | | от пре- паратов | от удобре- ний |
| Без удобрений (контроль) | Без обработки (контроль) | 2,86 | 30,0 | – | – |
| | Азотовит | 2,92 | 31,8 | 1,8 | – |
| | Ризоагрин | 3,08 | 35,4 | 5,4 | – |
| | Биостим Старт | 3,31 | 40,0 | 10,0 | – |
| N ₅₉ P ₃₀ K ₄₈ (на урожай зерна 2,5 т/га) | Без обработки (контроль) | 3,23 | 52,3 | – | 12,3 |
| | Азотовит | 3,34 | 58,1 | 5,8 | 26,3 |
| | Ризоагрин | 3,41 | 60,0 | 7,7 | 24,6 |
| | Биостим Старт | 3,53 | 64,9 | 12,6 | 24,9 |
| N ₇₁ P ₃₆ K ₅₈ (на урожай зерна 3,0 т/га) | Без обработки (контроль) | 3,20 | 60,2 | – | 30,2 |
| | Азотовит | 3,28 | 66,2 | 6,0 | 34,4 |
| | Ризоагрин | 3,36 | 69,9 | 9,7 | 34,5 |
| | Биостим Старт | 3,45 | 74,2 | 14,0 | 34,2 |

Приложение К
(обязательное)

Дисперсионный анализ урожайности зерна полбы (2020 г.)

| | | | |
|--------------------|------------------------|-------------------------|-------------|
| Культура : | полба | Год исследований: | 2020 |
| Фактор А: | фон питания | Исследуемый показатель: | урожайность |
| Фактор В: | предпосевная обработка | Единица измерения: | т/га |
| Градации фактора А | 3 | | |
| Градации фактора В | 4 | | |

| Фактор А | Фактор В | Повторности | | | Сумма | Средние |
|----------|----------|-------------|-------|-------|-------|---------|
| | | 1 | 2 | 3 | | |
| 1 | 1 | 1,35 | 1,56 | 1,42 | 4,33 | 1,44 |
| | 2 | 1,37 | 1,55 | 1,49 | 4,41 | 1,47 |
| | 3 | 1,55 | 1,67 | 1,61 | 4,83 | 1,61 |
| | 4 | 1,55 | 1,6 | 1,68 | 4,83 | 1,61 |
| 2 | 1 | 2,31 | 2,39 | 2,33 | 7,03 | 2,34 |
| | 2 | 2,31 | 2,65 | 2,54 | 7,50 | 2,50 |
| | 3 | 2,48 | 2,56 | 2,48 | 7,52 | 2,51 |
| | 4 | 2,43 | 2,67 | 2,52 | 7,62 | 2,54 |
| 3 | 1 | 2,66 | 2,8 | 2,8 | 8,26 | 2,75 |
| | 2 | 2,83 | 2,94 | 2,84 | 8,61 | 2,87 |
| | 3 | 2,69 | 3,07 | 2,89 | 8,65 | 2,88 |
| | 4 | 2,85 | 2,92 | 2,89 | 8,66 | 2,89 |
| Суммы Р | | 26 | 28,38 | 27,49 | 82,25 | 2,28 |

| Источ. вариации | Сумма кв. | ст. свободы | Дисперсия | Fфакт | Fтаб095. |
|-------------------|-----------|-------------|-----------|---------|----------|
| Общее | 11,436 | 35,000 | | | |
| Повторений | 0,167 | 2,000 | | | |
| Вариантов | 11,188 | 11,000 | 1,017 | 277,375 | 2,300 |
| Случайное | 0,081 | 22,000 | 0,004 | | |
| Фактор А | 11,01 | 2 | 5,51 | 1501,47 | 3,44 |
| Фактор В | 0,15 | 3 | 0,05 | 13,95 | 3,05 |
| Взаимодействие АВ | 0,02 | 6 | 0,00 | 1,10 | 2,55 |

| | |
|---|------|
| <i>HCP</i> ₀₅ частных различий | 0,11 |
| <i>HCP</i> ₀₅ фактора А | 0,05 |
| <i>HCP</i> ₀₅ фактора В | 0,06 |
| <i>HCP</i> ₀₅ факторов АВ | 0,24 |

Приложение Л
(обязательное)
Дисперсионный анализ урожайности зерна полбы (2021 г.)

| | | | |
|--------------------|------------------------|-------------------------|-------------|
| Культура : | полба | Год исследований: | 2021 |
| Фактор А: | фон питания | Исследуемый показатель: | урожайность |
| Фактор В: | предпосевная обработка | Единица измерения: | т/га |
| Градации фактора А | 3 | | |
| Градации фактора В | 4 | | |

| Фактор А | Фактор В | Повторности | | | Сумма | Средние |
|----------|----------|-------------|-------|-------|-------|---------|
| | | 1 | 2 | 3 | | |
| 1 | 1 | 1,29 | 1,32 | 1,35 | 3,96 | 1,32 |
| | 2 | 1,33 | 1,33 | 1,36 | 4,02 | 1,34 |
| | 3 | 1,37 | 1,45 | 1,44 | 4,26 | 1,42 |
| | 4 | 1,48 | 1,46 | 1,5 | 4,44 | 1,48 |
| 2 | 1 | 1,8 | 2 | 2,14 | 5,94 | 1,98 |
| | 2 | 2,15 | 2,07 | 2,02 | 6,24 | 2,08 |
| | 3 | 2,1 | 2,13 | 2,1 | 6,33 | 2,11 |
| | 4 | 2,2 | 2,39 | 2,1 | 6,69 | 2,23 |
| 3 | 1 | 2,28 | 2,33 | 2,35 | 6,96 | 2,32 |
| | 2 | 2,38 | 2,42 | 2,43 | 7,23 | 2,41 |
| | 3 | 2,45 | 2,51 | 2,48 | 7,44 | 2,48 |
| | 4 | 2,55 | 2,6 | 2,65 | 7,8 | 2,6 |
| Суммы Р | | 23 | 24,01 | 23,92 | 71,31 | 1,98 |

| Источ.вариации | Сумма кв. | ст.свободы | Дисперсия | Fфакт | Fтаб095. |
|-------------------|-----------|------------|-----------|--------|----------|
| Общее | 7,43 | 35 | | | |
| Повторений | 0,02 | 2 | 0,01 | 1,94 | 3,44 |
| Вариантов | 7,30 | 11 | 0,66 | 133,38 | 2,28 |
| Случайное | 0,11 | 22 | 0,00497 | | |
| Фактор А | 7,03 | 2 | 3,51 | 706,44 | 3,44 |
| Фактор В | 0,26 | 3 | 0,09 | 17,17 | 3,05 |
| Взаимодействие АВ | 0,01 | 6 | 0,00 | 0,47 | 2,55 |

| | |
|-----------------------------|------|
| HCP_{05} частных различий | 0,06 |
| HCP_{05} фактора А | 0,06 |
| HCP_{05} фактора В | 0,07 |
| HCP_{05} факторов АВ | 0,25 |

Приложение М
(обязательное)
Дисперсионный анализ урожайности зерна (2022 г.)

| | | | |
|--------------------|------------------------|-------------------------|-------------|
| Культура : | полба | Год исследований: | 2022 |
| Фактор А: | фон питания | Исследуемый показатель: | урожайность |
| Фактор В: | предпосевная обработка | Единица измерения: | т/га |
| Градация фактора А | 3 | | |
| Градация фактора В | 4 | | |

| Фактор А | Фактор В | Повторности | | | Сумма | Средние |
|------------|----------|-------------|-------|-------|-------|---------|
| | | 1 | 2 | 3 | | |
| 1 | 1 | 1,52 | 1,69 | 1,8 | 5,01 | 1,67 |
| | 2 | 1,62 | 1,66 | 1,7 | 4,98 | 1,66 |
| | 3 | 1,78 | 1,72 | 1,84 | 5,34 | 1,78 |
| | 4 | 1,75 | 1,86 | 1,79 | 5,40 | 1,80 |
| 2 | 1 | 2,39 | 2,37 | 2,44 | 7,20 | 2,40 |
| | 2 | 2,45 | 2,47 | 2,52 | 7,44 | 2,48 |
| | 3 | 2,5 | 2,57 | 2,49 | 7,56 | 2,52 |
| | 4 | 2,61 | 2,59 | 2,75 | 7,95 | 2,65 |
| 3 | 1 | 2,78 | 2,85 | 2,83 | 8,46 | 2,82 |
| | 2 | 2,86 | 2,88 | 2,93 | 8,67 | 2,89 |
| | 3 | 2,9 | 2,93 | 3,08 | 8,91 | 2,97 |
| | 4 | 3,07 | 3,12 | 3,08 | 9,27 | 3,09 |
| Суммы Р | | 28 | 28,71 | 29,25 | 86,19 | 2,39 |

| Источ. вариации | Сумма кв. | ст. свободы | Дисперсия | Fфакт | Fтаб095. |
|-------------------|-----------|-------------|-----------|---------|----------|
| Общее | 9,48 | 35 | | | |
| Повторений | 0,04 | 2 | 0,02 | 7,65 | 3,44 |
| Вариантов | 9,38 | 11 | 0,85 | 300,51 | 2,28 |
| Случайное | 0,06 | 22 | 0,00284 | | |
| Фактор А | 9,11 | 2 | 4,55 | 1605,82 | 3,44 |
| Фактор В | 0,24 | 3 | 0,08 | 28,71 | 3,05 |
| Взаимодействие АВ | 0,02 | 6 | 0,00 | 1,30 | 2,55 |

| | |
|-----------------------------|------|
| HCP_{05} частных различий | 0,09 |
| HCP_{05} фактора А | 0,05 |
| HCP_{05} фактора В | 0,05 |
| HCP_{05} факторов АВ | 0,22 |

Приложение Н
(обязательное)
Дисперсионный анализ урожайности зерна (2023 г.)

| | | | |
|--------------------|------------------------|-------------------------|-------------|
| Культура : | полба | Год исследований: | 2023 |
| Фактор А: | фон питания | Исследуемый показатель: | урожайность |
| Фактор В: | предпосевная обработка | Единица измерения: | т/га |
| Градация фактора А | 3 | | |
| Градация фактора В | 4 | | |

| Фактор А | Фактор В | Повторности | | | Сумма | Средние |
|----------|----------|-------------|-------|-------|-------|---------|
| | | 1 | 2 | 3 | | |
| 1 | 1 | 1,4 | 1,36 | 1,33 | 4,09 | 1,36 |
| | 2 | 1,58 | 1,52 | 1,49 | 4,59 | 1,53 |
| | 3 | 1,57 | 1,52 | 1,65 | 4,74 | 1,58 |
| | 4 | 1,6 | 1,69 | 1,72 | 5,01 | 1,67 |
| 2 | 1 | 2,30 | 2,22 | 2,32 | 6,84 | 2,28 |
| | 2 | 2,33 | 2,37 | 2,32 | 7,02 | 2,34 |
| | 3 | 2,39 | 2,35 | 2,4 | 7,14 | 2,38 |
| | 4 | 2,4 | 2,48 | 2,5 | 7,38 | 2,46 |
| 3 | 1 | 2,69 | 2,67 | 2,65 | 8,01 | 2,67 |
| | 2 | 2,74 | 2,72 | 2,79 | 8,25 | 2,75 |
| | 3 | 2,77 | 2,74 | 2,86 | 8,37 | 2,79 |
| | 4 | 2,77 | 2,81 | 2,88 | 8,46 | 2,82 |
| Суммы Р | | 27 | 26,45 | 26,91 | 79,90 | 2,22 |

| Источ.вариации | Сумма кв. | ст.свободы | Дисперсия | Fфакт | Fтаб095. |
|-------------------|-----------|------------|-----------|-----------|----------|
| Общее | 9,6292 | 35,0000 | | | |
| Повторений | 0,0099 | 2,0000 | | | |
| Вариантов | 9,5747 | 11,0000 | 0,8704 | 429,7685 | 2,3000 |
| Случайное | 0,0446 | 22,0000 | 0,0020 | | |
| Фактор А | 9,3362 | 2,0000 | 4,6681 | 2304,8369 | 3,4000 |
| Фактор В | 0,2140 | 3,0000 | 0,0713 | 35,2189 | 3,0000 |
| Взаимодействие АВ | 0,0246 | 6,0000 | 0,0041 | 2,6405 | 2,6000 |

| | |
|-----------------------------|------|
| HCP_{05} частных различий | 0,08 |
| HCP_{05} фактора А | 0,05 |
| HCP_{05} фактора В | 0,04 |
| HCP_{05} факторов АВ | 0,20 |

Приложение П
(обязательное)

Дисперсионный анализ плотности стеблестоя (2020–2023 гг.)

| | | | |
|--------------------|------------------------|-------------------------|----------------------|
| Культура : | полба | Год исследований: | 2020-2023 |
| Фактор А: | фон питания | Исследуемый показатель: | плотность стеблестоя |
| Фактор В: | предпосевная обработка | Единица измерения: | шт./м ² |
| Градация фактора А | 3 | | |
| Градация фактора В | 4 | | |

| Фактор А | Фактор В | Повторности | | | | Сумма | Средние |
|----------|----------|-------------|------|---------|------|----------|---------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | | |
| 1 | 1 | 389 | 388 | 420 | 407 | 1604,00 | 401,00 |
| | 2 | 391 | 399 | 422 | 412 | 1624,00 | 406,00 |
| | 3 | 390 | 401 | 426 | 423 | 1640,165 | 410,04 |
| | 4 | 415 | 425 | 431 | 429 | 1700 | 425,00 |
| 2 | 1 | 398 | 409 | 421 | 412 | 1640 | 410,00 |
| | 2 | 400 | 409 | 430 | 425 | 1664 | 416,00 |
| | 3 | 415 | 412 | 431 | 418 | 1676 | 419,00 |
| | 4 | 431 | 415 | 436 | 430 | 1712 | 428,00 |
| 3 | 1 | 407 | 411 | 428 | 414 | 1660 | 415,00 |
| | 2 | 431 | 414 | 436 | 431 | 1712 | 428,00 |
| | 3 | 436 | 425 | 443 | 460 | 1764 | 441,00 |
| | 4 | 462 | 445 | 468 | 457 | 1832 | 458,00 |
| Суммы Р | | 4965,00 | 4953 | 5192,00 | 5118 | 20228,00 | 421,42 |

| Оценка существенности различий | | | |
|--------------------------------|-------|------|-------|
| Фактор | Fфакт | F05 | Вывод |
| А | 51,97 | 3,09 | дост. |
| В | 41,77 | 2,03 | дост. |
| АВ | 3,35 | 1,85 | дост. |

| | |
|--------------------------------------|-------|
| <i>HCP</i> ₀₅ фактора А | 6,132 |
| <i>HCP</i> ₀₅ фактора В | 5,181 |
| <i>HCP</i> ₀₅ факторов АВ | 9,486 |

Приложение Р
(справочное)

УТВЕРЖДАЮ:

Первый проректор – проректор
по научной работе и инновационной
деятельности ФГБОУ ВО
«Казанский государственный
аграрный университет»
Калимуллин М.Н.



УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель заказчика
Директор ООО «Саба»
Сабинского муниципального
района Республики Татарстан
Билалов А.А.



АКТ

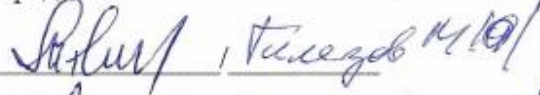

внедрения результатов научно-исследовательской работы

Мы, нижеподписавшиеся, представители федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Казанский государственный аграрный университет» начальник управления научно-инновационной деятельностью, доцент Калимуллин М.Н., соискатель Погодина А.В. с одной стороны, и представители ООО «Саба» Сабинского муниципального района Республики Татарстан, главный агроном Газизянов Р.Г., с другой стороны, составили настоящий акт о том, что в 2022-2023гг. результаты исследований соискателя на тему: «Эффективность действия азотфиксирующих инокулянтов, БиостимСтарта и расчетных норм минеральных удобрений на посевах полбы (*Triticum Dicocum*) в почвенно-климатических условиях Среднего Поволжья» были внедрены на площади 160 га.

Средняя урожайность составила 2,95 т/га. В результате внедрения получен технико-экономический эффект на сумму 422,4 тыс. руб/год.

Предложения по дальнейшему внедрению: расширить посевные площади этой культуры и применить рекомендуемую технологию в более широких масштабах.

Представители Казанского ГАУ

Представители предприятия





Приложение С
(справочное)

УТВЕРЖДАЮ:

Первый проректор – проректор
по научной работе и инновационной
деятельности ФГБОУ ВО
«Казанский государственный
аграрный университет»
Калимуллин М.Н.



УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель заказчика
Директор
АО «Кукморагрохимсервис»
Кукморского муниципального
района Республики Татарстан
Тимофеев В.Ф.



АКТ


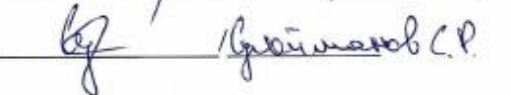
внедрения результатов научно-исследовательской работы

Мы, нижеподписавшиеся, представители федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Казанский государственный аграрный университет» начальник управления научно-инновационной деятельностью, доцент Калимуллин М.Н., соискатель Погодина А.В. с одной стороны, и представители АО «Кукморагрохимсервис» Кукморского муниципального района Республики Татарстан, главный агроном Тимофеев Р.А., с другой стороны, составили настоящий акт о том, что в 2023 г. результаты исследований соискателя на тему: «Эффективность действия азотфиксирующих инокулянтов, Биостим Старта и расчетных норм минеральных удобрений на посевах полбы (*Triticum Dicoccum*) в почвенно-климатических условиях Среднего Поволжья» были внедрены на площади 55 га.

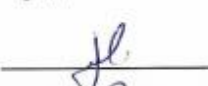

Урожайность составила 2,72 т/га. В результате внедрения получен технико-экономический эффект на сумму 246,7 тыс. руб.

Предложения по дальнейшему внедрению: расширить посевные площади этой культуры и применить рекомендуемую технологию в широких масштабах.

Представители Казанского ГАУ

Представители предприятия

 /Тимофеев Р.А.
 /Федорова Е.Н.



Приложение Т
(справочное)

УТВЕРЖДАЮ:

Первый проректор – проректор
по научной работе и цифровой
трансформации ФГБОУ ВО
«Казанский государственный
аграрный университет»
_____ Калимуллин М.Н.



УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель заказчика
Директор
ООО «Венета»
Арского муниципального
района Республики Татарстан
_____ Ибрафилов Б.С.



АКТ

внедрения результатов научно-исследовательской работы

Мы, нижеподписавшиеся, представители федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Казанский государственный аграрный университет» начальник управления научно-инновационной деятельностью, доцент Калимуллин М.Н., соискатель Погодина А.В. с одной стороны, и представители ООО «Венета» Арского муниципального района Республики Татарстан, главный агроном Садрин А.Г., с другой стороны, составили настоящий акт о том, что в 2024 г результаты исследований соискателя на тему: «Эффективность действия азотфиксирующих инокулянтов, Биостим Старта и расчетных норм минеральных удобрений на посевах полбы (*Triticum Dicocum*) в почвенно-климатических условиях Среднего Поволжья» были внедрены на площади 40 га.

Урожайность составила 2,65 т/га. В результате внедрения получен технико-экономический эффект на сумму 133,1 тыс. руб.

Предложения по дальнейшему внедрению: расширить посевные площади этой культуры и применить рекомендуемую технологию в широких масштабах.

Представители Казанского ГАУ

Садрин А.Г. | Губельников С.Р.
Погодина А.В. | Тихонов М.В.

Представители предприятия

Садрин А.Г. | Садрин А.Г.

