

На правах рукописи

УДК: 631.84+631.86: 633.11

Накаряков Анатолий Михайлович

**ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ УДОБРЕНИЙ И
БИОПРЕПАРАТОВ ПОД ОЗИМУЮ ПШЕНИЦУ
НА СВЕТЛО-СЕРОЙ ЛЕСНОЙ ПОЧВЕ**

Специальность 06.01.04- агрохимия

Автореферат

**диссертация на соискание ученой степени
кандидата сельскохозяйственных наук**

Москва 2021

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном научном учреждении «Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д.Н. Прянишникова»

- Научный руководитель:** **Завалин Алексей Анатольевич**, академик РАН, доктор сельскохозяйственных наук, профессор
- Официальные оппоненты:** **Гармаш Нина Юрьевна**
доктор биологических наук, ФГБНУ Федеральный исследовательский центр «Немчиновка», лаборатория аналитических и регистрационных испытаний, главный научный сотрудник
- Каргин Василий Иванович**
доктор сельскохозяйственных наук, профессор, ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет имени Н.П. Огарёва», кафедра технологии производства и переработки сельскохозяйственной продукции, заведующий кафедрой
- Ведущая организация:** Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Верхневолжский федеральный аграрный научный центр

Защита диссертации состоится «23» декабря 2021 г. в 14.00 часов на заседании диссертационного совета Д 006.029.01 при ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д.Н. Прянишникова» по адресу: 127434, г. Москва, ул. Прянишникова, 31а.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке при ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д.Н. Прянишникова» по адресу: 127434, г. Москва, ул. Прянишникова, 31а и на сайте: https://vniia-pr.ru/upload/iblock/4d6/nakaryakov_diss_29_09_2021.pdf

Автореферат разослан «___» _____2021 г.

Приглашаем Вас принять участие в обсуждении диссертации на заседании диссертационного совета. Отзывы на автореферат в 2-х экземплярах, заверенные гербовой печатью учреждения, просим направлять по адресу: 127434, г. Москва, ул. Прянишникова, 31а, ученому секретарю диссертационного совета, e-mail: dissovet_vniia@mail.ru

Ученый секретарь
диссертационного совета _____ Никитина Любовь Васильевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность. Производство в России зерна – важнейшая задача по выполнению Доктрины продовольственной безопасности. Увеличение его объемов для удовлетворения потребностей внутреннего рынка и наращивания экспортного потенциала связано с получением стабильных урожаев зерна озимой пшеницы, продуктивность которой, наряду с использованием новых сортов, в значительной степени зависит от оптимизации минерального питания растений (Сандухадзе, 2020). Однако, в настоящее время из-за недостаточного использования в земледелии азотных и других удобрений сдерживается рост урожайности зерна, его качество не соответствует требованиям хлебопекарного, в почвах формируется отрицательный баланс элементом питания, что приводит к снижению плодородия почв (Сычев, 2019; Алтухов и др., 2020). Проблема может быть решена за счет применения биопрепаратов, созданных на основе активных штаммов азотфиксирующих и фитостимулирующих микроорганизмов, обеспечивающих дополнительное питание растений и улучшающих агроэкологическую ситуацию в агроценозах (Тихонович, Завалин, 2016). Актуальность применения биопрепаратов в посевах озимой пшеницы обусловлена расширением использования в Российской Федерации агротехнологий органического земледелия.

Степень разработанности темы. Проведенный обзор опубликованных работ начала XXI века, свидетельствует о том, что важнейшее значение в формировании урожайности и качества зерна озимой пшеницы принадлежит обеспеченности растений азотом. Современные вызовы выдвигают необходимость поиска дополнительных источников питания растений, среди которых расширяется использование биологических факторов интенсификации за счет применения биологических препаратов, созданных на основе различных микроорганизмов, обеспечивающих регулирование минерального питания растений и контролирующие фитосанитарное состояние посевов. Особенно это актуально при производстве зерна в органическом земледелии, где существенно ограничивается или вовсе исключается применение химических агрохимикатов, отдавая предпочтение биологическим.

Цель и задачи исследований. Цель работы заключается в агрохимической оценке эффективности использования различных биопрепаратов и удобрений для обоснования их применения в обычных и органических технологиях выращивания озимой пшеницы на светло-серой лесной почве. Для достижения обозначенной цели решали следующие задачи:

- изучить влияние биопрепаратов и удобрений на урожайность зерна озимой пшеницы;
- оценить показатели качества зерна и химический состав урожая при использовании удобрений и биопрепаратов;

- определить вынос урожая, эффективность использования азота, фосфора и калия и рассчитать их баланс при выращивании озимой пшеницы;
- исследовать условия минерального питания растений озимой пшеницы при использовании биопрепаратов и удобрений;
- дать экономическую оценку эффективности применения удобрений и биопрепаратов при выращивании озимой пшеницы на светло-серой лесной почве.

Объекты и методы исследований. В опыте изучали эффективность применения на озимой пшенице сорта Московская 39 обычных и биомодифицированных аммиачной селитры и мочевины, различных биопрепаратов и орано-минерального удобрения. Методологии проведения исследований основана на системном подходе к агрохимической оценке применения в агротехнологии выращивания озимой пшеницы удобрений и биопрепаратов с использованием современных методов агрохимических и биохимических анализов растений и почвы, статистического метода обработки экспериментальных результатов.

Достоверность экспериментальных данных и результатов их обобщения подтверждена использованием апробированных методик агрохимических исследований и ГОСТов, статистическим анализом экспериментальных данных с применением дисперсионного метода по программе STATVIA.

Основные положения, выносимые на защиту:

- урожайность и качество зерна озимой пшеницы при весеннем использовании биопрепаратов и удобрений;
- потребление и эффективность использования озимой пшеницы элементов питания;
- баланс элементов питания при использовании биопрепаратов и удобрений;
- диагностика азотного питания озимой пшеницы;
- экономическая оценка применения на озимой пшенице биопрепаратов и удобрений.

Научная новизна заключается в агрономической оценке применения в посеве озимой пшеницы биопрепаратов и удобрений. При размещении озимой пшеницы по пласту многолетних бобово-злаковых трав 2 года пользования за счет биологического азота урожайность зерна достигает 2,5 т/га. Применение биопрепаратов в фазу начала трубкования увеличивает урожай зерна до 2,80...3,15 т/га. Максимальная прибавка от биопрепаратов (0,81 т/га) получена по БисолбиСану, который по эффективности превосходит Экстра-сол, Альбит и V417. Весенняя подкормка озимой пшеницы Nм и Naа в дозе N30 увеличивает урожайность зерна на 1,1 т/га, от использования биомодифицированной Nм она возрастает по сравнению с обычной на 0,32 т/га. Био-

динамические препараты и гранулированное ОМУ повышают урожайность зерна на 0,47 т/га.

Биопрепараты, наравне с азотными удобрениями, повышают обеспеченность растений азотом и улучшают их фосфорное и калийное питание в фазу цветения, критическую для формирования урожая зерна и его качества. В результате улучшения условий азотного питания растений в зерне возрастает накопление белка с 11,5 до 12,2...12,8%, лучший эффект достигнут от биомодифицированной Nm. При использовании биопрепаратов и удобрений, за исключением БДП, формируется зерно, соответствующее 3 классу качества. При использовании биомодифицированных N-удобрений на 25-29% возрастает коэффициент использования растениями азота удобрений. При размещении озимой пшеницы по пласту бобово-злаковых трав 2 года пользования и применении биопрепаратов формируется слабо положительный баланс азота (+4,6...11,4 кг/га), при внесении N-удобрений его положительное значение возрастает до 13,5...18,8 кг/га. При выращивании озимой пшеницы формируется отрицательный баланс фосфора (-27...-45 кг/га) и калия (-28...-44 кг/га), его отрицательные значения возрастают при использовании биопрепаратов и азотных удобрений и снижаются при внесении ОМУ.

Практическая значимость работы включает обоснование эффективности использования новых биопрепаратов, биомодифицированных азотных удобрений, БДП и ОМУ в агротехнологии выращивания озимой пшеницы на светло-серой лесной почве, обеспечивающих производство зерна 3 и 4 класса качества. Оценка состояния баланса азота, фосфора и калия в почве при производстве зерна озимой пшеницы, позволяет обосновывать меры по его оптимизации. Результаты экономической эффективности применения биопрепаратов и удобрений позволяют товаропроизводителям оптимизировать ассортимент средств химизации при проектировании обычных или органических технологий производства зерна озимой пшеницы в Нечерноземье. Агрохимическая оценка эффективности использования новых биопрепаратов (V417) может быть использована в качестве результата регистрационных испытаний.

Апробация и публикации результатов исследований. Результаты работы заслушаны на заседании Секции ученого совета ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д.Н. Прянишникова» (27 мая 2021 г., г. Москва); Международном научном семинаре «Вызовы и возможности управления азотом в сельском хозяйстве» (23.03.2021, АФИ, Санкт-Петербург); 8-ой Международной конференции по органическому сельскому хозяйству Беларуси «Рынок органических зерновых культур. Тенденции и перспективы развития» (30.03.2021, онлайн-площадка ZOOM). Материалы диссертации опубликованы в 4 работах (личное участие автора 75%), в том числе 3 статьи в журналах списка ВАК.

Личный вклад автора заключается в разработке схемы опыта, программы проведения исследований и выполнения агрохимических исследований. Он лично закладывал полевой опыт, проводил отбор почвенных и растительных образцов, готовил их к выполнению агрохимических анализов. Определял структуру урожая озимой пшеницы. Выполнял статистическую обработку экспериментальных данных. Анализировал опубликованные работы по теме диссертации, осуществлял обобщение полученных результатов, готовил к публикации результаты исследований.

Объем и структура диссертации. Диссертационная работа изложена на 137 страницах компьютерного набора, состоит из введения, обзора литературы, условий и методики проведения исследований, включает 7 экспериментальных глав, выводы, практические предложения, список цитируемой литературы включает 178 отечественных и зарубежных работ, содержит 28 таблиц и 18 приложений.

Благодарности. Автор благодарен научному руководителю академику РАН, доктору сельскохозяйственных наук, профессору Алексею Анатольевичу Завалину за методическую помощь и научные консультации, доктору биологических наук Сергею Михайловичу Лукину за помощь при проведении анализов почв и растений.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Обзор опубликованных результатов

Обобщены результаты опубликованных работ по эффективности применения на озимой пшенице различных биопрепаратов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации, азотных удобрений на урожайность и качество зерна. Показано, что применение средств химизации и биологизации обеспечивает увеличение урожайности и улучшение показателей качества зерна. Однако, отсутствуют сведения по эффективности использования на озимой пшенице биомодифицированных азотных удобрений, новых биопрепаратов, созданных на основе активных штаммов микроорганизмов, их влияние на использование растениями элементов питания, формирование в почве баланса азота. Это послужило основой для выбора цели и задач работы, обоснования программы исследований по агрохимической оценке новых биопрепаратов и удобрений для обоснования их использования в агротехнологиях выращивания озимой пшеницы в Нечерноземье.

Объекты и методы исследований

Исследования проводили в 2017-2019 гг. в полевом опыте в ООО «Савинская Нива» в Калужской области. Перед закладкой опыта пахотный

0...40 сантиметровый слой светло-серой лесной среднесуглинистой почвы характеризовался агрохимическими показателями: гумус (по Тюрину) – 1,70...1,90%; pH_{KCL} – 5,7...5,9; подвижные формы P_2O_5 и K_2O (по Кирсанову) – 60...69 и 59...69 мг/кг; Нг (по Каппену)-1,56...1,64 мг-экв/100 г; минеральный азот (N- NO_3 – (ионометрическим методом), N- NH_4 – (фотоколориметрическим методом) – 4,1...7,2 мг/кг. По содержанию подвижного P_2O_5 и $N_{мин}$ почва относится к среднеокультуренной, подвижного K_2O – к низкоокультуренной, реакции почвенной среды – к повышенной. В Калужской области кислотность близкую к нейтральной имеют 25% пахотных земель, среднее содержание подвижного фосфора – 28% и низкое содержание подвижного калия – 39%, по содержанию гумуса таких почв 77%.

Озимую пшеницу сорта Московская 39 возделывания по принятой в хозяйстве технологии, предшественник озимой пшеницы – многолетние бобово-злаковые травы 2 года пользования.

В опыте оценивали эффективность использования различных препаратов, которыми обрабатывали посеы озимой пшеницы в фазу начало трубкования растений: **Альбит** включает полибетагидроксимасляную кислоту, бактерии *Bacillus megaterium* и *Pseudomonas aureofaciens*. В составе препарата содержатся сернокислый магний; карбамид; калий (фосфорнокислый двухзамещенный и азотнокислый). При опрыскивании в начале трубкования предотвращается развитие у растений корневых гнилей, бурой ржавчины и мучнистой росы. Расход препарата 0,04 л/га с объемом рабочей жидкости 200 л/га. Микробный жидкий препарат БисолбиСан характеризуется как фунгицид и бактерицид контактного действия Действующее вещество *Bacillus subtilis*, штамм Ч-13 + метаболиты, полученные в процессе культивирования штамма. Растения обрабатывали в фазу трубкования в дозе 1 л/га с расходом рабочей жидкости из расчета 200 л/га. Препарат **Экстрасол** создан на основе штамма *Bacillus subtilis* Ч-13, штамм обладает комплексом полезных свойств: способен синтезировать вещества, подавляющие развитие фитопатогенных грибов и бактерий, продуцирует стимулирующие соединения, положительно влияющие на растения. Растения опрыскивали в фазу кущения – начале трубкования при норме расхода препарата 1 л/га с объемом воды 200 л/га. **Препарат V417** создан на основе эндофитной бактерией штамма *Bacillus subtilis* штамм V417, Он обладает выраженной фунгицидной активностью против спектра фитопатогенных грибов ростстимулирующим эффектом по отношению к различным сельскохозяйственным культурам. Применяли препарат в дозе из расчета 1 л/га в виде водного раствора в объеме 200 л/га. Все изучаемые препараты могут фиксировать атмосферный азот, который после минерализации становится доступным для растений.

Для весенней подкормки озимой пшеницы в фазу начало весеннего кущения применяли обычные и биомодифицированные мочевины ($(NH_2)_2CO$) и аммиачную селитру (NH_4NO_3) в дозе N30. Обработку гранул азотных удоб-

рений микробным биопрепаратом проводили из расчета 10 г/кг удобрения. Препарат **БисолбиФит** создан на основе активного штамма бактерий *Bacillus subtilis Ч-13* с титром живых клеток не менее 100 млн. КОЕ/г.

Биодинамические препараты (БДП) 500 и 501 применяли до посева для опрыскивания почвы (БДП 500) и обрабатывали (БДП 501) вегетирующие растения в весеннее кущение. Они стимулирует процессы, происходящие в надземной части и положительно воздействует на развитие корневой системы. **Гранулированное органоминеральное удобрение** (ОМУ) изготовлено путем компостирования куриного помета с добавлением цеолита. При внесении в весеннюю подкормку ОМУ в дозе 0,5 т/га в почву поступает 10,0 кг/га общего азота, 17,5 кг/га общего фосфора и 16,5 кг/га общего калия.

Полевой опыт закладывали в четырехкратной повторности, площадь делянки 100 м², учетная- 36 м², размещение делянок рендомезированное. Учет урожая проводили сплошным методом с пересчетом на 14% влажность зерна и 100% чистоту. Образцы почв и растений отбирали с двух несмежных повторений, анализы их проводили в воздушно-сухом состоянии по соответствующим ГОСТам в аккредитованных испытательных лабораториях. Содержание общего азота в растении определяли по методу Кьельдаля (ГОСТ 13496.4-93), фосфор (P₂O₅) – колориметрически (ГОСТ 26657-97), калий (K₂O) – на пламенном фотометре (ГОСТ 30504-97); N-NO₃ –ионометрическим методом, N-NH₄ – фотоколориметрическим методом. Содержание в зерне белка – умножая содержание общего азота на коэффициент 5,7, содержание сырой клейковины определяли по ГОСТ Р 54478-2011; массу 1000 зерен определяли по ГОСТ 10842-89.

Окупаемость азотных удобрений прибавкой урожая зерна озимой пшеницы рассчитывали по методике ВНИИА, коэффициент использования растениями азота удобрений рассчитывали разностным методом; баланс элементов питания – по мелодикам ВИУА и Почвенного института; экономическую эффективность применения удобрений и препаратов – по методике ВНИИЭСХ.

Статистический анализ экспериментальных данных проводили дисперсионным методом с использованием программы STATVIUA, достоверность различий оценивали по F-критерию Фишера.

Погодные условия (по данным Мосальской метеостанции Калужской области) в период зимовки озимой пшеницы по температуре воздуха были теплее среднемноголетних значений и по количеству атмосферных осадков, практически соответствовала многолетней норме. В начале весны (март) в 2017 и 2019 гг. было на 3-5⁰С теплее обычного, в 2018 г., наоборот, холоднее нормы, при количестве осадков чуть меньше нормы во все годы проведения полевого опыта. В начале вегетации озимой пшеницы в середине апреля, температура воздуха соответствовала многолетней норме (2017 г.), или превышала её (2018 и 2019 гг.). Количество осадков, кроме 2017 г. (49 мм), со-

ставляло в 2018 г. (20 мм) и в 2019 г. (15 мм) меньше нормы (34 мм). В период активного нарастания фитомассы и формирования генеративных органов озимой пшеницы (май-июнь) среднесуточная температура воздуха превышала многолетние значения на 2,5...3°С при количестве осадков близким к многолетним значениям в 2017 и 2019 гг. Во время формирования и налива зерна в июле температура воздуха соответствовала многолетней норме (18,3°С), количество осадков превышало её (69 мм) во все годы. В период созревания зерна и уборки среднесуточная температура воздуха соответствовала климатической норме (16,9°С), при сумме осадков в 2017 г. и 2018 г. существенно меньше, в 2019 г. больше среднемноголетнего значения (72 мм). Таким образом, погодные условия во все годы проведения опыта соответствовали климатической норме, а отдельные колебания среднесуточной температуры воздуха и количества атмосферных осадков в целом не оказали существенного воздействия на растения озимой пшеницы.

1. Урожайность озимой пшеницы при использовании биопрепаратов и удобрений

Изменения урожайности зерна озимой пшеницы обусловлены накоплением в почве биологического азота, его влияние составляет 37,7%, применением средств биологизации и химизации, доля влияния которых составляет 40% и взаимодействием этих факторов – 6,5%. При выращивании озимой пшеницы по пласту многолетних бобово-злаковых трав 2 года пользования за счет накопленного в почве биологического азота урожайность зерна по годам исследований получена 2,1...2,6 т/га или 2,34 т/га в среднем за три года (табл. 1). Обработка биопрепаратами посевов в фазу начала трубкования обеспечила рост урожая зерна озимой пшеницы до 2,80...3,15 т/га или увеличение по сравнению с фоном без использования препаратов составило 1,2...1,3 раза. Максимальная прибавка урожая зерна (0,81 т/га) получена при использовании препарата БисолбиСан, который по эффективности превосходил Экстрасол, Альбит и V417.

Внесение в весеннюю подкормку обычных форм мочевины и аммиачной селитры в дозе N30 увеличивает урожайность зерна на 1,1 т/га или 48% по отношению к фону. Применение биомодифицированной мочевины повышает урожайность зерна на 0,32 т/га по сравнению с обычной формой. Положительный эффект от биомодификации аммиачной селитры оценивается как тенденция роста. Применение на озимой пшенице биодинамических препаратов и гранулированного удобрения обеспечивает увеличение урожайности зерна на 0,47 т/га или на 20%. В среднем за три года прибавки урожайности зерна озимой пшеницы от использования средств биологизации и химизации достигали 0,30...1,49 т/га или 13...62% по отношению к контролю. Максимальный уро-

жай зерна 3,80 т/га (прибавка к контролю составила 62%) получен при использовании в весеннюю подкормку биомодифицированной мочевины, затем следует биомодифицированная аммиачная селитра (прибавка 1,25 т/га или 53%) и обычные формы этих азотных удобрений (48%). Из биопрепаратов максимальная прибавка получена при использовании БисолбиСана (35%), затем следуют Альбит, Экстрасол, препарат V417, БДП и ОМУ, прибавки от применения которых составили 0,46...0,53 т/га или 20...23% к контролю.

Таблица 1. Влияние биопрепаратов и удобрений на урожайность зерна и массу соломы озимой пшеницы, т/га

Вариант	Зерно			Среднее за 3 года				Кхоз
	2017 г.	2018 г.	2019 г.	зерно		солома		
				масса	прибавка	масса	прибавка	
1. Контроль	2,10	2,28	2,65	2,34	0	3,07	0	0,45
2. БДП500 + БД501	2,55	2,74	3,12	2,80	0,46	3,02	-0,05	0,50
3.БДП500+БД501+Экстрасол	2,13	2,9	2,88	2,64	0,30	3,80	0,73	0,41
4. Экстрасол	2,47	2,81	3,13	2,8	0,46	3,62	0,55	0,45
5. N30 (Nм)	2,81	3,31	4,31	3,48	1,14	3,79	0,72	0,48
6. N30(Nм)+ БисолбиФит	3,14	3,78	4,49	3,80	1,49	4,09	1,02	0,48
7. N30 (Naa)	2,94	3,32	4,12	3,46	1,12	4,31	1,24	0,45
8. N30(Naa)+БисолбиФит	3,15	3,42	4,21	3,59	1,25	4,15	1,08	0,47
9. БисолбиСан	2,59	2,86	3,99	3,15	0,81	3,87	0,8	0,45
10. Альбит	2,47	2,72	3,32	2,84	0,50	3,89	0,82	0,43
11. V417	2,46	2,68	3,47	2,87	0,53	3,65	0,58	0,46
12. ОМУ	2,30	2,81	3,32	2,81	0,47	3,92	0,85	0,44
<i>P, %</i>	<i>5,1</i>	<i>4,7</i>	<i>4,5</i>	<i>3,2</i>		<i>4,2</i>		<i>3,6</i>
<i>HCP₀₅</i>	<i>0,18</i>	<i>0,39</i>	<i>0,45</i>	<i>0,27</i>		<i>0,44</i>		<i>0,04</i>

Превалирующее воздействие на массу соломы оказало содержание в почве биологического азота, с его увеличением по годам масса соломы формировалась в 1,4...2 раза больше. При использовании средств биологизации и химизации масса соломы в среднем за 3 года возросла с 3,07 до 4,31 т/га. Максимальное её количество (3,79...4,31 т/га) сформировалось при внесении обычных и биомодифицированных N-удобрений (прибавка к контролю 24...40%), а также при использовании БДП препаратов и Экстрасола (24%), БисолбиСана (26%), Альбита (27%) и ОМУ (28%).

Значение хозяйственного коэффициента в урожае озимой пшеницы составляет в среднем 0,46, при использовании биодинамических препаратов он возрастает до 0,50, и до 0,47...0,48 – по обеим формам мочевины и биомодифицированной аммиачной селитры.

2. Качество зерна и химический состав урожая озимой пшеницы

Качество зерна озимой пшеницы, согласно ГОСТ Р 52554-2006, оценивают по массовой доле белка, массовой доле сырой клейковины, показателю ИДК, натуре и стекловидности зерна и другим показателям (табл. 2).

Таблица 2. Показатели качества зерна озимой пшеницы

Вариант	Масса 1000 зерен, г	Содержание белка, %	Сырая клейковина, среднее за 2017 и 2019 гг.				Класс зерна
			содержание, %	ИДК, ед.	растяжимость, мм	степень гидратации, %	
	средние за 2017-2019 гг.						
1. Контроль	45,6	11,5	20,9	63	89	264	4
2. БДП500 + БД501	45,3	11,7	22,9	62	87	251	4
3. БДП500+БД501+Экстрасол	45,0	11,5	24,7	65	108	247	4
4. Экстрасол	44,6	12,7	25,7	64	108	239	3
5. N30 (Nm)	45,7	12,5	26,0	54	123	237	3
6. N30(Nm)+ БисолбиФит	46,3	12,8	25,2	63	108	260	3
7. N30 (Naa)	45,1	12,3	25,1	60	119	230	3
8. N30(Naa)+БисолбиФит	46,2	12,5	23,0	67	97	241	3
9. БисолбиСан	45,3	12,4	21,7	65	105	230	4
10. Альбит	46,5	12,4	26,5	68	100	279	3
11. V417	45,0	12,2	26,7	66	126	251	3
12. ОМУ	44,8	12,5	24,9	65	142	252	3
<i>P, %</i>	6,7	1,8					
<i>HCP₀₅</i>	1,3	0,6					

Дополнительным показателем используют массу 1000 зерен озимой пшеницы. Изучаемые препараты и азотные удобрения не изменяли массу 1000 зерен, которая составляла 44.6...46,5 г, но она снижалась с 47,0 до 44,1 г в годы проведения опыта с увеличением урожайности озимой пшеницы. Применение под озимую пшеницу биопрепаратов и азотных удобрений в результате улучшения условий азотного питания растений в зерне возрастает накопление белка с 11,5 до 12,2...12,8%. Больше его накапливается в зерне при использовании в подкормку азотных удобрений, при этом лучший эффект достигнут от биомодифицированной мочевины. За исключением БДП, изучаемые биопрепараты повышают в зерне на 0,7...1,0% массовую долю белка. Увеличение массовой доли белка существенно отразилось на классности зерна. При использовании под озимую пшеницу биопрепаратов и N-удобрений, за исключением БДП, зерно соответствовало 3 классу качества (массовая доля не менее 12,0%).

В оба года исследований (2017 и 2019) зерно, выращенное на контроле, а также при использовании БДП и БисолбиСана, соответствовало 4 классу качества, в остальных зерно по массовой доле сырой клейковины (не менее 23%) соответствовало третьему классу качества.

При использовании различных биопрепаратов и удобрений значение ИДК изменялось от 54 до 68 единиц, что соответствует второй группе качества сырой клейковины (20...100 ед.) и получаемое зерно озимой пшеницы по этому параметру соответствует третьему и четвертому классам. Значения растяжимости клейковины соответствует средней и короткой. Изменений степени гидратации клейковины от применения изучаемых биопрепаратов и удобрений не установлено.

При выращивании озимой пшеницы без применения удобрений и биопрепаратов или при внесении БДП как отдельно, так и совместно с Экстрасолом или только при использовании БисолбиСана, зерно соответствует 4 классу качества. Класс зерна возрастает до третьего при использовании на озимой пшенице Экстрасола в начале выхода в трубку, внесении в весеннюю подкормку обычных и биомодифицированных форм мочевины и аммиачной селитры, а также Альбита и препарат V417 в трубкование и ОМУ в кушение.

В зерне озимой пшеницы содержание P_2O_5 снижается с 1,0 до 0,91% при увеличении урожайности, используемые препараты и удобрения не изменяют его содержание, которое в среднем за годы исследований составляет 0,92...1,00%. Содержание в зерне K_2O не изменяется в годы проведения опыта от изучаемых биопрепаратов и удобрений и составляет 0,44...0,49% (табл. 3).

Таблица 3. Химический состав зерна и соломы озимой пшеницы. Среднее за 3 года, % на воздушно-сухое вещество

Вариант	Зерно		Солома		
	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O
1. Контроль	0,94	0,48	0,46	0,19	0,67
2. БДП500 + БД501	0,93	0,46	0,48	0,19	0,69
3. БДП500+БД501+ Экстрасол	0,92	0,47	0,43	0,22	0,68
4. Экстрасол	0,96	0,47	0,49	0,20	0,71
5. N30 (Nm)	0,91	0,45	0,44	0,20	0,71
6. N30(Nm)+ БисолбиФит	0,92	0,46	0,51	0,21	0,76
7. N30 (Naa)	0,92	0,44	0,46	0,20	0,74
8. N30(Naa)+БисолбиФит	0,98	0,46	0,51	0,25	0,76
9. БисолбиСан	1,00	0,48	0,50	0,23	0,75
10. Альбит	0,95	0,49	0,44	0,23	0,69
11. V417	0,95	0,48	0,45	0,21	0,68
12. ОМУ	0,92	0,46	0,47	0,21	0,67
<i>P, %</i>	8,2	-	4,4	3,9	2,0
<i>HCP₀₅</i>	0,22	-	0,06	0,02	0,04

В соломе озимой пшеницы содержание азота за три года составляло 0,44...0,51% и не изменялось по сравнению с контролем. Содержание P_2O_5 составляло 0,19...0,25%, повышалось от использования БДП, биомодифицированных форм азотных удобрений, БисолбиСана и Альбита. Содержание K_2O было в пределах 0,67...0,76%, повышалось при использовании Экстрасола, обычных и биомодифицированных азотных удобрений и БисолбиСана.

3. Вынос урожаем озимой пшеницы и эффективность использования азота, фосфора и калия

При применении различных биопрепаратов и азотных удобрений в урожае озимой пшеницы по сравнению с контролем возрастает накопление азота с 60,7 до 100 кг/га, фосфора с 26,7 до 44,9 кг/га и калия – с 28,2 до 44,3 кг/га или 1,6...1,7 раза. Накопление азота от внесения N-удобрений увеличивается на 54... 68%, при этом эффект от биомодификации Наа составляет 6,9 кг/га, Nm – 8,3 кг/га. Все изучаемые препараты достоверно повышают в урожае накопление азота, по эффективности они размещаются в следующем ряду: БисолбиСан (46%), Альбит (36%), препарат V417 (34%), Экстрасол (30%), ОМУ (29%) и замыкают ряд БДП (15...23%). Максимальный рост накопления в урожае фосфора получен от внесения N-удобрений (68...42%), от их биомодифицированных форм также получен положительный эффект. Препараты повышали накопление фосфора в урожае, размещаясь по эффективности в убывающем ряду: БисолбиСан (46%), Альбит (32%), Экстрасол и препарат V417 (27...26%), ОМУ и БДП (22...16%). Накопление в урожае калия более значимо возрастает от N-удобрений, эффект от биомодификации получен только по мочеvine. Достоверное увеличение накопления калия наблюдается по всем биопрепаратам за исключением БДП. По эффективности все препараты размещаются в убывающем ряду: БисолбиСан и Альбит (44...33%), препарат V417, БДП + Экстрасол и собственно Экстрасол (25...24%).

При использовании под озимую пшеницу обеих форм Nm, БДП и препарата V417 увеличивается значение азотного индекса, применение препаратов, в состав которых входят микроорганизмы, возрастает доля потребленного фосфора в соломе и снижается в зерне.

Коэффициент использования растениями азота возрастает при внесении биомодифицированной мочевины и аммиачной селитры на 16-20% при расчете по урожаю зерна и на 25-29% по биомассе (зерно+солома). Высокие значения КИН объясняются потреблением растениями из почвы экстра-азота, образующегося при внесении N-удобрений. При использовании в весеннюю

подкормку обычных Nм и Naa окупаемость кг азота достигает 42,3 и 37,7 кг зерна, за счет биомодификации она повышается на 7,4 и 4 кг.

Таблица 4. Вынос урожаем и баланс элементов питания при выращивании озимой пшеницы. Среднее за 3 года

Вариант	Вынос, кг/га			Затраты кг/кг зерна			Баланс, кг/га		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
1. Контроль	60,7	26,7	28,2	26,3	11,4	12,1	23,1	-26,7	-28,2
2. БДП500 + БД501	74,5	30,8	30,2	25,9	11,0	10,8	11,4	-30,8	-30,2
3. БДП500+БД501+ Экстрасол	70,0	32,1	35,0	25,7	12,0	13,2	15,2	-32,1	-35
4. Экстрасол	79,0	33,5	35,0	28,0	11,8	12,4	7,5	-33,5	-35
5. N30 (Nм)	94,0	37,9	38,8	25,8	10,5	10,8	18,8	-37,9	-38,8
6. N30(Nм)+ БисолбиФит	102,3	41,4	43,8	28,1	11,5	12,1	11,7	-41,4	-43,8
7. N30 (Naa)	93,3	39,6	42,7	27,0	11,4	12,3	19,4	-39,6	-42,7
8. N30(Naa)+ БисолбиФит	100,2	44,9	44,3	28,1	12,5	12,4	13,5	-44,9	-44,3
9. БисолбиСан	88,7	39,0	40,8	27,9	12,4	13,0	-0,7	-39,0	-40,8
10. Альбит	82,5	35,2	37,5	27,7	12,5	13,4	4,6	-35,2	-37,5
11. V417	81,2	33,8	35,3	27,3	11,8	12,3	5,7	-33,8	-35,3
12. ОМУ	78,6	32,6	35,2	28,4	11,6	12,5	15,9	-15,1	-18,7
<i>P</i> , %	2,8	2,4	4,6	2,1	2,8	5,8			
<i>HCP</i> ₀₅	4,6	2,4	4,8	1,6	0,9	2,0			

Максимально использовался потребленный азот на формирование прибавки зерна при использовании обычных и биомодифицированных азотных удобрений (11,9...13,5 кг), значительно меньше (4,9...9,2) при использовании различных биопрепаратов и ОМУ. По потребленному фосфору максимальная прибавка массы зерна получена при использовании в качестве удобрений мочевины и аммиачной селитры (27,8...33,0 кг), при применении различных биопрепаратов этот показатель снижается в 1,5...2 раза. Прибавки массы зерна на единицу потребленного растениями калия изменялись от 9,9 до 32,3 кг/кг. Минимальными они получены по биопрепаратам, максимальными – по обычным и биомодифицированным азотным удобрениям. Полученные данные свидетельствуют о преимущественном значении азотных удобрений в формировании урожая.

Вынос азота 1 т зерна с соответствующим количеством соломы составляет 26,0...28,4 кг/т, что соответствует действующему нормативу (27,7 кг/т). Вынос P₂O₅ 1 т зерна составляет около 12,0 кг/т и в 1,4 раза превышает действующий норматив (8,2 кг/т); вынос K₂O достигает 12,0-13,0 кг/т и ниже

действующего нормативом (17,2 кг/т). Удобрения и препараты слабо влияют на эти показатели.

При использовании под озимую пшеницу препаратов формируется слабо положительный баланс азота (+4,6...11,4 кг/га), внесение азотных удобрений повышает положительное значение баланса до 13,5...18,8 кг/га. Во всех вариантах формируется отрицательных баланс фосфора (-27...-45 кг/га) и калия (-28...-44 кг/га). Отрицательные значения баланса этих элементов возрастают при использовании препаратов и азотных удобрений и снижаются при внесении ОМУ. В среднем, за исключением ОМУ, отрицательное значение баланса составляет по фосфору -36 кг/га и по калию -37 кг/га.

4. Контроль минерального питания растений озимой пшеницы при использовании препаратов и удобрений

Оценку условий минерального питания растений проводили в фазу цветения озимой пшеницы по содержанию в слое почвы 0...40 см минерального азота и концентрации NPK в растениях. При использовании азотных удобрений и биопрепарата БисолбиСан в 0...20 сантиметровом слое светло-серой лесной почвы в фазу цветения увеличивается содержание минерального азота, причем в большей степени за счет нитратной формы, в слое 21...40 см содержание N-NH₄ от удобрений и препаратов, практически, не изменяется. Применение N-удобрений и биодинамических препаратов увеличивает содержание N-NO₃. Содержание N_{мин} в подпахотном слое почвы возрастает только при использовании азотных удобрений. Запасы N-NH₄ в 0...40 сантиметровом слое были максимальными при внесении в весеннюю подкормку обычных и биомодифицированных форм N-удобрений, при этом установлено явное преимущество последних. При использовании препаратов, как правило, запасы N-NH₄ снижаются по сравнению с контролем, что свидетельствует о его использовании растениями или переходе в нитратную форму под влиянием почвенных микроорганизмов. Содержание нитратного азота в слое почвы 0...40 см было существенно больше по сравнению с аммонийным и составляло в среднем по всем вариантам 74 кг/га. N-удобрения и биопрепараты, за исключением Экстрасола и ОМУ, увеличивали содержание N-NO₃ по сравнению с контролем, что свидетельствует об улучшении условий азотного питания озимой пшеницы. Суммарное содержание N-NH₄+N-NO₃ в среднем по вариантам опыта составило около 110 кг/га, что вполне обеспечивает формирование урожая озимой пшеницы. Максимальные запасы N_{мин} в 0...40 сантиметровом слое светло-серой лесной почвы получены при использовании N-удобрений, причем они достоверно повышались от биомодифицированных форм. При применении биопрепаратов, за исключением V417,

роста содержания минерального азота в 0...40 сантиметровом слое почвы не происходит, но его значение превышает контроль.

Таблица 5. Содержание минерального азота в 0...40 сантиметровом слое почвы и концентрация NPK в растениях озимой пшеницы в фазу цветения озимой пшеницы. Среднее за 3 года

Вариант	N-NH ₄	N-NO ₃	N _{мин}	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
	кг/га			%, на возд. сух. в-во		
1.Контроль	34	61	95	1,16	0,37	0,50
2. БДП500 + БД501	27	78	105	1,19	0,37	0,53
3. БДП500+БД501+Экстрасол	30	75	105	1,31	0,39	0,54
4. Экстрасол	29	68	97	1,21	0,44	0,54
5. N30 (Nm)	34	76	110	1,30	0,38	0,61
6. N30(Nm)+ БисолбиФит	48	85	133	1,29	0,44	0,64
7. N30 (Naa)	43	76	119	1,30	0,44	0,61
8. N30(Naa)+БисолбиФит	48	95	143	1,37	0,46	0,69
9. БисолбиСан	32	85	117	1,22	0,46	0,63
10. Альбит	29	75	104	1,21	0,45	0,61
11. V417	26	81	107	1,18	0,45	0,60
12. ОМУ	22	68	89	1,21	0,45	0,54
<i>P, %</i>	4,6	5,4	3,2	2,6	5,9	4,8
<i>HCP₀₅</i>	4	11	12	0,09	0,07	0,08

В фазу созревания озимой пшеницы по сравнению с цветением в 0...40 сантиметровом слое светло-серой лесной почвы содержание N-NH₄ снизилось с 34 до 30 кг/га, N-NO₃ существенно больше с 74 до 57 кг/га, поскольку он был использован для формирования урожая. Суммарное содержание минерального азота в слое почвы 0...40 см было выше контроля при внесении в подкормку N-удобрений и ОМУ, при использовании всех биопрепаратов его содержание соответствовало контролю.

При внесении в весеннюю подкормку обычных и биомодифицированных форм N-удобрений в растениях озимой пшеницы в фазу цветения на 0,13...0,21% возрастает концентрация общего азота, свидетельствующая об улучшении условий азотного питания растений. Препараты обеспечили тенденцию роста концентрации в растениях общего азота и увеличивают (Альбит, БисолбиСан и V417) накопление фосфора и калия. В фазу цветения фитомасса озимой пшеницы по сравнению с контролем возрастает с 5,06 т/га до 6,69 т/га, максимальное её увеличение получено при использовании в весеннюю подкормку биомодифицированных N-удобрений, далее по эффективности следуют обычные формы этих удобрений, а также биопрепараты, которые по эффективности были примерно равноценными. Накопление в фитомассе озимой пшеницы азота по сравнению с контролем возрастало на

10,2...34,5 кг/га, фосфора на 2...12,8 кг/га и калия на 4,8...22,2 кг/га. Максимальное их накопление в фитомассе происходит при весенней подкормке N-удобрениями, причем более эффективны были их биомодифицированные формы. Все изучаемые препараты примерно равноценно увеличивают накопление NPK в растениях в фазу цветения озимой пшеницы.

5. Оценка экономической эффективности использования удобрений и препаратов при выращивании озимой пшеницы на светло-серой лесной почве

Расчеты экономической эффективности использования различных биопрепаратов и азотных удобрений с учетом дополнительных затрат на их применение в агротехнологии выращивания озимой пшеницы свидетельствуют, что минимальная стоимость прибавки урожая зерна (6...10 тыс. руб./га) получена при применении БДП, Экстрасола, ОМУ и Альбита (табл. 6).

Таблица 6. Экономическая эффективность применения удобрений и препаратов на озимой пшенице. Среднее за 3 года

Вариант	Прибавка урожая зерна, т/га	Стоимость прибавки, руб./га	Дополнительные затраты, руб./га	Прибыль, руб./га
БДП500 + БД501	0,46	9200	4294	4906
БДП500+БД501+ Экстрасол	0,30	6000	5079	921
Экстрасол	0,46	9200	1901	7299
N30 (Nм)	1,14	17100	6445	10655
N30(Nм)+ БисолбиФит	1,49	22350	7470	14880
N30 (Naa)	1,12	16800	6254	10546
N30(Naa)+БисолбиФит	1,25	18750	7022	11728
БисолбиСан	0,81	16200	2531	13669
Альбит	0,50	10000	1813	8187
V417	0,53	10600	2027	8573
ОМУ	0,47	9400	29612	-20212

Стоимость прибавки возрастает до 16,2 тыс. руб./га при использовании БисолбиСана и максимальная (16,8...22,4 тыс. руб./га) она получена при использовании N-удобрений. Максимальные затраты (29,6 тыс. руб./га) были при внесении ОМУ, обусловленные его высокой ценой. С учетом низкой цены и затрат на применение снизились общие расходы на использование биопрепаратов. Внесение Nм и Naa в подкормку увеличило затраты до

6,25...7,47 тыс. руб./га. Максимальная прибыль (14,88 тыс. руб./га) получена при использовании в подкормку биомодифицированной мочевины. При применении обычных N-удобрений прибыль составляет около 10,5 тыс. руб./га, от биомодифицированной Naа она увеличивается до 11,7 тыс. руб./га. Высокая прибыль (13,7 тыс. руб./га) получена по БисолбиСану, уступают ему Альбит (8,2 тыс. руб./га), препарат V417 (8,6 тыс. руб./га), Экстрасол (7,3 тыс. руб./га) и БДП (4,9 тыс. руб./га). Использование гранулированного ОМУ в технологии выращивания озимой пшеницы на светло-серой лесной почве убыточное.

Заключение

В результате проведенных трех летних полевых исследований на светло-серой лесной почве с озимой пшеницей и выполнения агрохимических и биохимических анализов растений и почвы, статистической оценки экспериментальных данных выявлено положительное влияние биопрепаратов и минеральных и органического удобрений на урожайность и качество зерна, потребление и эффективность использования озимой пшеницей элементов питания; оценено состояние баланса элементов питания при использовании биопрепаратов и удобрений; проведена диагностика минерального питания растений и выполнена экономическая оценка использования на озимой пшенице средств биологизации и химизации. Это позволило сделать выводы и сформулировать практические предложения.

Выводы:

1. Без применения биопрепаратов и удобрений озимая пшеница формирует урожай зерна около 2,5 т/га при выращивании её по пласту многолетних бобово-злаковых трав. Обработка биопрепаратами посевов в фазу весеннего кущения-начала трубкования повышает урожай зерна до 2,80...3,15 т/га, максимальная прибавка (0,81 т/га) получена при использовании БисолбиСан, который по эффективности превосходит Экстрасол, Альбит и V417. При внесении биодинамических препаратов и гранулированного удобрения урожайность зерна возрастает на 0,47 т/га.

2. Внесение в весеннюю подкормку обычных форм мочевины и аммиачной селитры в дозе N30 увеличивает урожайность зерна на 1,1 т/га, за счет биомодификации мочевины прибавка возрастает на 0,32 т/га, от аммиачной селитры – получена тенденция роста.

3. Максимальный урожай зерна 3,80 т/га (прибавка к контролю 62%) получен при использовании в весеннюю подкормку биомодифицированной мочевины, затем следует биомодифицированная аммиачная селитра (прибавка 1,25 т/га или 53%) и обычные формы этих азотных удобрений (48%). Из биопрепаратов максимальная прибавка получена при использовании Бисол-

биСана (35%), затем следуют Альбит, Экстрасол, препарат V417, БДП и ОМУ, прибавки от применения которых составили 0,46...0,53 т/га или 20...23% к контролю.

4. Применение биопрепаратов и азотных удобрений увеличивает накопление в зерне белка с 11,5 до 12,2...12,8%, лучший эффект достигнут по биомодифицированной мочеvine. По содержанию белка зерно соответствует 3 классу при использовании биопрепаратов и N-удобрений, за исключением БДП. По содержанию сырой клейковины зерно, выращенное на контроле и при использовании БДП и БисолбиСана соответствует 4 классу, а при использовании N-удобрений и остальных биопрепаратов – 3 классу.

5. При применении биопрепаратов и азотных удобрений в урожае озимой пшеницы возрастает накопление азота с 60,7 до 100 кг/га, фосфора с 26,7 до 44,9 кг/га и калия – с 28,2 до 44,3 кг/га или 1,6...1,7 раза. Коэффициент использования растениями азота удобрений возрастает на 25-29% при внесении биомодифицированных мочеvine и аммиачной селитры, окупаемость кг азота N_m и N_{aa} составляет 42,3 и 37,7 кг зерна, за счет биомодификации она повышается на 7,4 и 4 кг.

6. При размещении озимой пшеницы по пласту бобово-злаковых трав 2 года пользования и применении биопрепаратов формируется слабо положительный баланс азота (+4,6...11,4 кг/га), при внесении N-удобрений его положительное значение возрастает до 13,5...18,8 кг/га. Баланс фосфора (-27...-45 кг/га) и калия (-28...-44 кг/га) отрицательный, его значение возрастает при использовании биопрепаратов и азотных удобрений, и снижаются при внесении ОМУ.

7. В фазу цветения, критическую для формирования урожая зерна и его качества, в 0...40 сантиметровом слое почвы содержание $N_{мин}$ составляет около 110 кг/га, максимальные его запасы получены при использовании N-удобрений, причем достоверно больше при внесении биомодифицированных форм. Биопрепараты, наравне с азотными удобрениями, повышают обеспеченность растений азотом и улучшают их фосфорное и калийное питание в фазу цветения.

8. При выращивании озимой пшеницы максимальная прибыль (14,88 тыс. руб./га) получена от использования в подкормку биомодифицированной мочеvine, при применении обычных N-удобрений прибыль составляет около 10,5 тыс. руб./га, от биомодифицированной N_{aa} она увеличивается до 11,7 тыс. руб./га. Высокая прибыль (13,7 тыс. руб./га) получена по БисолбиСану, уступают ему Альбит (8,2 тыс. руб./га), препарат V417 (8,6 тыс. руб./га), Экстрасол (7,3 тыс. руб./га) и БДП (4,9 тыс. руб./га).

Практические предложения

В обычных агротехнологиях выращивания озимой пшеницы на светло-серой лесной почве рекомендуется использовать в весеннюю подкормку озимой пшеницы, размещаемой по многолетним бобово-злаковым травам, биомодифицированные мочевины и аммиачную селитру, а в агротехнологиях органического земледелия рекомендуется применять биопрепараты, выбор которых может быть осуществлен на основе экономической оценки. Данные агрохимической оценки эффективности применения биопрепарата V417 могут быть использованы в качестве результата регистрационных испытаний. Для сохранения плодородия почвы, в части обеспеченности её фосфором и калием, при проектировании обычных агротехнологий возделывания озимой пшеницы необходимо предусмотреть внесение минеральных удобрений, а в органических – использование навоза, компостов и местных источников фосфатов.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

– в журналах, входящих в перечень ВАК Минобрнауки РФ:

1. Завалин А.А., Накаряков А.М. Эффективность применения биомодифицированных азотных удобрений под озимую пшеницу/А.А. Завалин, **А.М. Накаряков**// Агрохимический вестник. – 2021. – № 1. – С. 33-37.
2. Завалин А.А., Накаряков А.М. Эффективность применения биопрепаратов в посеве озимой пшеницы на светло-серой лесной почве/А.А. Завалин, **А.М. Накаряков**//Земледелие. – 2021. – № 1. – С. 27-30.
3. Накаряков А.М., Завалин А.А. Влияние биопрепаратов и удобрений на урожайность и качество зерна озимой пшеницы на светло-серой лесной почве /**А.М. Накаряков, А.А. Завалин**// Плодородие. – 2021. – № 4. – С. 26-30.

– в других научных изданиях:

1. Завалин А.А., **Накаряков А.М.** Баланс азота в агроценозе озимой пшеницы на светло-серой лесной почве/«Вызовы и возможности управления азотом в сельском хозяйстве»/ Материалы международного научного семинара, ФГБНУ АФИ, Санкт-Петербург, Россия 23 марта 2021 г. – СПб.: ФГБНУ АФИ, – 2021. – С. 24-27. –(84с.). ISBN 978-5-905200-45-8.