

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования «Российский университет дружбы народов
имени Патриса Лумумбы»

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии
имени Д.Н. Прянишникова»

На правах рукописи

НЬЯМБОСЕ ДЖОЗЕФ

**ВЛИЯНИЕ УДОБРЕНИЯ И БИОПРЕПАРАТОВ НА ИСПОЛЬЗОВАНИЕ
АЗОТА, ВЕЛИЧИНУ И КАЧЕСТВО УРОЖАЯ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ**

4.1.3. Агрохимия, агропочвоведение, защита и карантин растений

4.1.1. Земледелие и растениеводство

Диссертация
на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Научные руководители:
Завалин Алексей Анатольевич,
доктор сельскохозяйственных наук,
профессор, академик РАН
Введенский Валентин Валентинович,
кандидат сельскохозяйственных наук,
доцент

Москва – 2024

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
Глава 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРЕПАРАТОВ И УДОБРЕНИЙ ПОД ЯРОВУЮ ПШЕНИЦУ.....	8
Глава 2. УСЛОВИЯ И МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	31
2.1 Характеристика изучаемых биопрепаратов, удобрений, сорта яровой пшеницы и плодородия темно-серой лесной почвы.	31
2.2. Погодные условия во время проведения полевого опыта	36
2.3. Методы исследований почвы и растений	39
Глава 3. УРОЖАЙНОСТЬ ЗЕРНА ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ БИОПРЕПАРАТОВ И АЗОТНОГО УДОБРЕНИЯ.....	42
Глава 4. КАЧЕСТВО ЗЕРНА, ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ОСНОВНОЙ И ПОБОЧНОЙ ПРОДУКЦИИ.....	61
Глава 5. КОНТРОЛЬ МИНЕРАЛЬНОГО ПИТАНИЯ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ В ФАЗУ ЦВЕТЕНИЯ.....	73
Глава 6. НАКОПЛЕНИЕ В УРОЖАЕ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АЗОТА, ФОСФОРА И КАЛИЯ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЕЙ	83
Глава 7. ПОТОКИ АЗОТА В АГРОЦЕНОЗЕ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ (ИССЛЕДОВАНИЯ С ¹⁵N).....	98
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	112
ВЫВОДЫ.....	113
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	116
Приложение А (обязательное). Прибавки урожая зерна яровой пшеницы от внесения азотного удобрения и инокуляции семян различными микробными препаратами, 2020–2022 гг.	132
Приложение Б (обязательное). Потoki ¹⁵N при внесении азотного удобрения под яровую пшеницу в фазу полной спелости.....	134

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Российская Федерация в последние годы производит 130–150 млн. т зерна. В общем объеме производимого зерна пшеница занимает 75–100 млн. тон (Сельское хозяйство..., 2022). Из этого объема доля зерна озимой пшеницы составляет около 70%, яровой пшеницы около 30%. При производстве зерна важное значение придается его качеству, которое регулируется различными приемами агротехнологии (Научные основы..., 2018). Среди факторов, влияющих на урожайность и качество зерна яровой пшеницы, наряду с сортовыми особенностями, важное значение имеют условия азотного питания (Завалин, Соколов, 2018), которые регулируются внесением азотных удобрений (Шафран, 2022), а также применением микробных биопрепаратов (Тихонович и др., 2005). Микроорганизмы воздействуют на растения за счет продуцирования физиологически активных веществ и обеспечения растений азотом в результате биологической азотфиксации (Завалин, 2005). Актуальность наших исследований заключается в агрономической оценке инокуляции семян яровой пшеницы новыми микробными биопрепаратами эндофитных бактерий на различных фонах удобренности, определении их влияния на урожайность и качество зерна, накопление в растениях элементов питания, а также выявлении закономерностей потоков азота в системе удобрение – почва – растения с использованием меченого ^{15}N азотного удобрения, определении размеров использования растениями азота удобрений, азота почвы и биологического азота для формирования урожая и оценке устойчивости агроценоза яровой пшеницы.

Степень разработанности темы исследования. «Обзор опубликованных работ начала XXI века показывает, что важнейшая роль в формировании урожайности и качества зерна яровой пшеницы принадлежит обеспечению растений азотом. Современные вызовы выдвигают необходимость поиска дополнительных источников питания растений, среди которых предусмотрено использование биологических факторов интенсификации за счет применения препаратов на основе различных микроорганизмов, обеспечивающих регулирование минерального питания

растений. Это особенно актуально для производства зерна в органическом земледелии, где применение химических агрохимикатов ограничивают или исключают совсем, отдавая предпочтение биологическим средствам» [Накаряков А. М., 2021].

Цель и задачи исследований. Цель работы заключается в агрохимической оценке эффективности использования новых микробных биопрепаратов и азотного удобрения для обоснования их применения в обычных и органических технологиях выращивания яровой пшеницы на темно-серой лесной почве. Для достижения обозначенной цели решали следующие задачи:

- изучить влияние биопрепаратов и азотного удобрения на урожайность зерна яровой пшеницы;
- оценить показатели качества зерна и химический состав основной и побочной продукции яровой пшеницы при использовании азотного удобрения и биопрепаратов;
- провести контроль минерального питания растений яровой пшеницы при использовании биопрепаратов и азотного удобрения;
- определить вынос урожая, эффективность использования азота, фосфора и калия при выращивании яровой пшеницы;
- изучить потоки азота в агроценозе яровой пшеницы при использовании азотного удобрения (^{15}N) и биопрепаратов.

Объекты исследования. Яровая пшеница сорта Злата. Сорт характеризуется быстрым ростом после всходов, устойчивостью к полеганию, поражению бурой ржавчиной, мучнистой росой и септориозом, имеет хорошие и стабильные по годам хлебопекарные качества зерна.

Штамм *Bacillus amyloliquefaciens* V167 «создан на основе эндофитной бактерией, выделен из внутренних тканей черенков винограда (*Vitis vinifera* L.), штамм *Bacillus amyloliquefaciens* V167 обладает фунгицидной активностью против фитопатогенных грибов *Alternaria alternata*, *Fusarium culmorum*, *Fusarium graminearum*, *Fusarium sporotrichioides*»

Микробиологический препарат V417 создан на основе эндофитных бактерий выделенных из внутренних тканей черенков винограда (*Vitis vinifera*) сорта Мускат. Бактерии охарактеризованы как штамм *Bacillus subtilis* V417

Предмет исследования. В опыте изучали реакцию яровой пшеницы сорта Злата при использовании новых эндофитных препаратов и меченого азотного удобрения (аммиачной селитры).

Методы исследований. В опыте изучали реакцию яровой пшеницы сорта Злата при использовании новых эндофитных препаратов и меченого азотного удобрения (аммиачной селитры). Методологии проведения исследований основана на системном подходе по агрохимической оценке применения в агротехнологии яровой пшеницы азотного удобрения и эндофитных бактерий с использованием современных методов агрохимических и биохимических анализов растений и почвы, статистической 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 STATVIEW.

Основные положения, выносимые на защиту:

- урожайность зерна яровой пшеницы при использовании эндофитных бактерий и азотного удобрения;
- качество зерна и химический состав основной и побочной продукции;
- контроль минерального питания яровой пшеницы в фазу цветения;
- накопление в урожае и эффективность использования азота, фосфора и калия яровой пшеницей;
- потоки азота в агроценозе яровой пшеницы с использованием стабильного изотопа ^{15}N .

Научная новизна заключается в агрономической оценке применения на яровой пшенице эндофитных бактерий и азотного удобрения на средне окультуренной темно-серой лесной почве. Прибавки массы зерна от эндофитов на РК-фоне составили 21–39%, максимальная прибавка получена от препарата на основе штамма

V417, от штамма V167 – 30%, оба эти штамма превышали стандартный Ч-13. В результате инокуляции семян возрастает продуктивная кустистость и длина колоса яровой пшеницы. Применение эндофитных бактерий на РК-фоне повышают на 2,8–3,8 г массу 1000 зерен, обеспечивает тенденцию роста содержания в зерне белка и сырой клейковины. При использовании биопрепаратов урожай на 20% формировался за счет биологического азота, при этом наибольшее его накопление (24,8%) происходило при использовании V 417. При использовании биопрепаратов в растениях накапливается около 8,5% «экстра»-N, наибольшая его доля (11,5...12,1%) зафиксировано при внесении Naa. Азот минерального удобрения преимущественно накапливается в зерне (95...96%) и только 4...5% – в соломе яровой пшеницы. При внесении N45 и N90 растения используют соответственно 46 и 42% азота удобрения, применение биопрепаратов повышает величину этого показателя до 51...53%. В почве закрепляется 33...36% от внесенной дозы ^{15}N , при использовании биопрепаратов – до 30%. Потери ^{15}N достигают 33...36%, при внесении биопрепаратов они снижаются до 17...19%.

При внесении N-удобрения в дозах N45 и N90 агроценоз яровой пшеницы находится в резистентности и уровень воздействия предельно допустимый. При использовании биопрепаратов значение РИ: М составляет 25–31%, что соответствует предельно допустимому уровню воздействия. При использовании биопрепаратов на основе штаммов Ч-13 и V167 режим функционирования агроэкосистемы оценивается как стрессовый, а уровень воздействия становится допустимым. При применении биопрепарата V417 режим функционирования переходит в резистентный, а уровень воздействия предельно допустимый.

Теоретическая и практическая значимость. Теоретическая значимость работы заключается в агрономической оценке действия биопрепаратов, созданных на основе эндофитных бактерий, и азотного удобрения на использование растениями азота, его потоки в агроценозе, величину и качество урожая зерна яровой пшеницы на темно-серой лесной почве. Практическая значимость работы оценивается в научном обосновании агрономической эффективности использования эндофитных бактерий и азотного удобрения (аммиачной селитры) в агротехнологии яровой

пшеницы на темно серой лесной почвы, обеспечивающих получение зерна 3 класса качества. Агрохимическая оценка эффективности применения новых биопрепаратов могут быть использованы в качестве результата регистрационных испытаний новых эндофитных биопрепаратов.

Апробация и публикации результаты исследований. Результаты работы заслушаны на 56-й Всероссийской научно-практической конференции с международным участием молодых ученых' специалистов-агрохимиков и экологов' посвященной 150-летию со дня рождения академика К.К Гедройца во «Всероссийском научно-исследовательском институте агрохимии имени Д.Н. Прянишникова», 30.11.2022, г. Москва; XIII Международной научно-практической конференции молодых ученых «Инновационные процессы в сельском хозяйстве», 22-23.04.2021, РУДН, Москва; Международной научно-практической конференции «Современные проблемы почвозащитного земледелия», 5-7.10.2022, Курск; XIV Международной научно-практической конференции молодых ученых «Инновационные процессы в сельском хозяйстве».

Материалы диссертации опубликованы в 7 работах, в том числе 3 статьи в журналах списка ВАК.

Личный вклад автора заключается в разработке, участии в составлении схемы опыта, подготовке программы проведения исследований и выполнения агрохимических исследований. Аспирант лично закладывал микрополевой опыт, проводил отбор почвенных и растительных образцов, готовил их к выполнению агрохимических анализов. Определял структуру урожая, содержание в зерне сырой клейковины и ее качество. Выполнял статистическую обработку экспериментальных данных. Анализировал опубликованные работы по теме диссертации, осуществлял обобщение полученных результатов, готовил материал к публикации.

Глава 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРЕПАРАТОВ И УДОБРЕНИЙ ПОД ЯРОВУЮ ПШЕНИЦУ

Яровая пшеница (*Triticum aestivum* L.) является одним из наиболее важных видов зерновых культур в мире. В мировом производстве, этот вид занимает третье место после риса и кукурузы. Большое преимущество выращивания пшеницы обусловлено благодаря высокому уровню урожайности, ценному химическому составу, широкими возможностями использования зерна для потребительских целей, в частности для производства муки, на хлебопекарные, а также на кормовые цели (Jasińska & Kotecki, 2003). Более 36% населения мира напрямую зависят от использования пшеницы для удовлетворения своих потребностей в калориях. Она обеспечивает 21% потребностей в калориях и 20% потребностей в белках для около 4,5 млрд человек в мире, и большинство из них принадлежат к развивающимся странам (Braun, Payne & Reynolds 2010). В 2019 году пшеница возделывалась на площади 215,9 млн. га в мире и было произведено 765,8 млн. тонн зерна при средней урожайности 3,5 т/га соответственно (FAO 2020).

«В Российской Федерации озимая и яровая пшеница возделывается на площади более 27 млн. га при урожайности около 3,0 т/га» (Агропромышленный комплекс..., 2018).

«Яровая пшеница (род *Triticum*) относится к семейству мятликовых. Корневая система яровой пшеницы – стержневая, состоящая из первичных (зародышевых) и вторичных (узловых) корней. Первичные корни образуются во время прорастания зерна; их бывает 5, реже 3-4. Вторичные корни появляются через 12–18 суток после прорастания, их количество зависит от условий произрастания и сорта. Корни снабжают растения питанием, влагой и служат опорой» (Кузнецов 1980).

«Стебель яровой пшеницы – соломина, состоит из узлов и междоузлий. Узлы – это утолщение на стебле, междоузлия – участки стебля между узлами. Стебель имеет от 4 до 7 узлов. Длина междоузлий книзу постепенно уменьшается. Верхнее междоузлие длиннее нижнего в 6–12 раз. Высота стебля варьируется от 0,2 до 2 м в

зависимости от биологических особенностей и условий выращивания. В средней части стебель имеет наибольшую толщину, в нижней – меньшую и в верхней – самую меньшую. Стебли бывают разной прочности, что зависит от строения и состава механической ткани» (Кузнецов 1980).

«Яровая пшеница имеет два типа листьев прикорневые и стеблевые. Прикорневые листья возникают из подземных узлов, их бывает 4-5; стеблевые листья формируются у надземной части стебля в количестве 3–5. Прикорневые листья выполняют функцию накопителей питательных веществ для последующего развития корневой системы и закладки колоса. По мере роста стебля и формирования стеблевых листьев питание растения происходит уже за их счет, а прикорневые листья постепенно отмирают. Продолжительность роста отдельных листьев колеблется от 6 до 16 суток, одновременно растет обычно не более двух листьев. Оптимальная площадь листьев в период наибольшего их развития для получения высокого урожая при хорошей обеспеченности пищей и влагой составляет 35–40 тыс/м² на 1 га, а при недостаточном увлажнении – 15–25 тыс/м²» (Бараев, 1978).

«Зерно яровой пшеницы при попадании во влажную почву набухает и прорастает. Мягкая пшеница при прорастании поглощает 50–60% воды от массы семени. Прорастание семян яровой пшеницы начинается при температуре почвы 1–2 °С, но протекает очень медленно. Оптимальная температура почвы для прорастания и появления дружных всходов составляет – 12–15 °С при достаточной влажности почвы. При таких режимах всходы появляются на 6–7 день после посева» (Ленточкин, 2011).

«Всходы яровой пшеницы переносят заморозки до минус – 5–6 °С. Урожай яровой пшеницы зависит от мощности развития корневой системы и глубины ее проникновения в почву. Более высокий урожай зерна формируется при наличии хорошо развитых вторичных корней. При хороших условиях возделывания масса первичных корней составляет 20–30%, а вторичных – 70–80% общей массы корней» (Посыпанов и др., 2006).

«Лучшее развитие корней и более высокие урожаи зерна яровая пшеница дает на почвах с нейтральной реакцией почвенной среды (рН 6,7–7,5). Следует отметить, что корневая система яровой пшеницы развивается слабо. В связи с этим ее нужно размещать по хорошим предшественникам» (Нарушев, 2013).

«После разворачивания третьего, а иногда и четвертого листа начинается новая фаза роста и развития растений – кущение, о чем свидетельствует появление верхушки первого бокового побега. Узел кущения у яровой пшеницы находится на глубине примерно 1–2 см от поверхности почвы. Кущение яровой пшеницы оптимально при наличии влаги в почве и температуре почвы 10–12 °С. Количество всех стеблей на одном растении принято называть общей кустистостью, а количество колосоносных стеблей на одном растении – продуктивной кустистостью. Степень кустистости зависит от условий влаго- и теплообеспеченности и сорта. В среднем общая кустистость яровой пшеницы составляет от 2 до 3 и более стеблей, а продуктивная кустистость – от 1,2 до 1,5 и более стеблей на растение» (Даштоян, Щеглова, Степанов, 2004).

«В начале кущения формируется стебель с междоузлиями и зачаточный колос. Затем формируется первое междоузлие, за ним следуют последующие междоузлия, и постепенно формируется стебель, что приводит к фазе стеблевания. В этой фазе требуется повышенная влажность почвы. Фаза колошения начинается, когда последний лист выходит из влагалища. Колошение у яровой пшеницы начинается через 50–60 дней после посева и продолжается в течение 10–12 дней в зависимости от сорта и климатических погодных условий. Наиболее оптимальная температура в этот период составляет 20–25 °С. Наиболее интенсивный рост вегетативной массы растений происходит в период кущения и колошения» (Павлов, 1984), при этом потребляется большое количество азота (50–60% от общего его количества, потребляемого культурой за вегетационный период) (Павлов, 1984).

«При благоприятных погодных условиях цветение яровой пшеницы происходит через 3–5 дней после появления колоса, а при прохладной погоде – через 8–10 дней» (Воробьев, 2006). Цветение начинается с цветков, расположенных немного ниже середины колоса, а затем продолжается на выше- и нижележащие.

«Фаза цветения у яровой пшеницы более интенсивна в утренние и вечерние часы. Продолжительность цветения одного колоса составляет 3–5 дней, а всего поля обычно 5–7 дней. Яровая пшеница – самоопыляющаяся культура» (Воробьев, 2006), но возможно и перекрестное опыление. Снижение влажности и высокая температура воздуха в это время уменьшают степень оплодотворения цветка, что снижает количество зерен в колосе.

Формирование и созревание зерен происходит «после оплодотворения завязи, когда начинается приток питательных веществ и постепенный рост завязи» (Бареев, 1978). Фаза созревания проходит в три этапа, которые включают: «молочную, восковую и полную зрелость. Молочная зрелость наступает через 8–18 дней после цветения. На этой стадии ядра имеют нормальную длину; при надавливании на зерно выделяется густая белая жидкость. Влажность зерна высокая, колеблется от 72 до 47 процентов. Восковая спелость наступает через 10–14 дней после молочной спелости. Зерно приобретает желтоватый цвет, а его содержимое, как и воск, хорошо режется ногтем» (Бареев, 1978). На этой стадии спелости зерно содержит «32–25% воды. Полная спелость характеризуется потерей воды в зерне до 18–15%, оно приобретает характерный цвет, твердость, и его невозможно разрезать ногтем» (Бареев, 1978).

«Пшеница – одна из немногих культур, которые можно выращивать в широком диапазоне теплового, светового и почвенного режимов. В умеренной зоне она возделывается от жарких степных районов до холодных северных. Здесь преобладают скороспелые холодостойкие сорта озимых (примерно 3 /4 от всех площадей умеренной зоны) и яровых пшениц. Им достаточно для прорастания семян и становления всходов температуры 12–14 °С, причем всходы выдерживают кратковременные заморозки. Во время кущения яровая пшеница также малотребовательна к теплу. Для прохождения генеративных фаз (стеблевание, колошение, цветение, созревание) пшеница требует последовательного возрастания среднесуточных температур от 18 до 28 °С. Сумма активных температур (выше 10 °С) за период вегетации должна быть не ниже 1200–1700 °С» (Васильчук и др., 2006).

«Для неорошаемой яровой пшеницы оптимальное количество осадков за период вегетации составляет 180–200 мм. Однако при благоприятном распределении осадков она может давать хорошие урожаи и при меньшей сумме осадков» (Жуковский, 1982).

«Пшеница может расти на разных почвах, но лучшие для нее — нейтральные, плодородные, воздухопроницаемые с хорошей водоудерживающей способностью. Яровая пшеница, как более скороспелая по сравнению с озимой, требовательнее к доступным в почве питательным элементам. Потребность в них питательных веществах зависит от возраста растений. Например, азот используется в период от интенсивного роста стеблей до начала налива семян, фосфор — во время побегообразования, а калий — от колошения до налива» (Васильчук и др., 2006; Дорофеев и др., 1987).

Управление плодородием почвы и использование питательных веществ для растений в достаточном и сбалансированном количестве остается одним из «ключевых факторов повышения урожайности сельскохозяйственных культур» (Diaso *et al.*, 2013). «Содержание азота в растениях оценивается в 1–3%, уступая углероду, водороду и кислороду. Но низкая урожайность многих сельскохозяйственных культур чаще всего определяется именно недостатком азота» (Шеуджен и др., 2007). «Запасы азота на Земле достаточно велики. Основная его часть в почве (до 99% от общего содержания) находится в органической форме. Поэтому его содержание определяется запасами гумуса» (Лебедев, 1988).

Достаточное количество азота является ключевым фактором для достижения высокого потенциала урожайности яровой пшеницы. Известно, что азотные удобрения «влияют на количество продуктивных стеблей на единице площади, высоту растений, массу 1000 зерен и урожайность зерна яровой пшеницы» (Piccinin *et al.*, 2013). В работе (Scursoni *et al.*, 2012) показано, что пшеница по разному реагирует на различные дозы азотных удобрений и «самый высокий урожай зерна (5,8 т/га) достигнут при внесении азотного удобрения в дозе 160 кг N/га» (Scursoni *et al.*, 2012).

Роль и значение азота в сельском хозяйстве исследовали: Ф. В. Турчин (1972), Н. А. Сапожников (1973), П. М. Смирнов (1977), Д. Н. Прянишников (1952, 1976), Д. А. Кореньков (1999). Важность вопросов использования азота в сельском хозяйстве сохраняется и в настоящее время (Завалин, Соколов, Гамзиков, 2013, 2016; Кудеяров, 2015; 2018, 2020), так как невозможно обеспечение азотного питания растений только за счет применения минеральных удобрений. Д. Н. Прянишников, основоположник российской агрохимической науки в России, подчеркивал, что бездефицитный баланс азота в сельском хозяйстве может быть достигнут путем «обеспечения техническим азотом наиболее ценных культур, а недостающие потребности культур могут быть достигнуты за счет увеличения использования биологического азота» (Прянишников, 1976).

Такое утверждение поддерживают другие ведущие ученые (Завалин и др., 2016, 2019; Тихонович, Проворов, 2011). Сравнивая с 1990 годом, уменьшаются объемы применения минеральных удобрений в сельском хозяйстве России (с 83 до 57 кг/га)» (Кудеяров и др., 2017), вследствие «поиска дополнительных источников питательных веществ для растений, особенно азота. Недостаточное применение азотных удобрений при необходимости повышения продуктивности сельскохозяйственных культур и стремлении снизить энергетические затраты на производство продукции растениеводства требуют комплексного применения минерального и биологического азота» [Накаряков А. М., 2021], см. также (Завалин и др., 2016, 2019; Тихонович, Проворов, 2011; Тихонович и др., 2005; Кудеяров, 2015; Сычев и др., 2012).

Для получения высоких урожаев зерна яровой пшеницы необходимо вносить высокие дозы азотного удобрения, однако сегодня не каждый товаропроизводитель может позволить применять такое их количество. В этой связи осуществляется «поиск дополнительных источников азотного питания растений, который может быть решен за счет использования биопрепаратов (биоудобрений), созданных на основе активных штаммов микроорганизмов» (Тихонович и др., 2005).

В то же время «основным источником азота для питания растений являются соли азотной кислоты, которые составляют лишь около одного процента от общего

запаса» (Тихонович и др., 2005). Примерно 180–195 млн. т азота регистрируется из приземного слоя атмосферы (Мишустин Е. Н., Черепков Н. И., 1982). Доля азота, поступающая с сельскохозяйственных угодий, оценивается в «99–110 млн т. В то же время потребление азота растениями из почвы при урожайности сельскохозяйственных культур достигает 110 млн. тонн в год. Соответственно, до 80% азота в урожае относится к "биологическому" азоту, остальная часть представлена минерализацией органического вещества почвы и деятельностью почвенной биоты» (Умаров, 1985). «Доля биологического азота в мировом сельскохозяйственном азоте приходится на минеральные удобрения (FAO soils, 1982).

«Наиболее важными агентами фиксации азота в сельскохозяйственных системах являются симбиотические ассоциации между пищевыми и кормовыми бобовыми культурами и ризобияльными бактериями. Среднегодовая молекулярная фиксация азота составляет 3,00–106 т для зернобобовых и 20,0–106 т для бобово–масличных культур. Эти показатели существенно возрастают при добавлении фиксации в посевах риса, сахарного тростника, зерновых и масличных (не бобовых) культур, а если учесть фиксацию в лесах, пастбищах, то она составляет 60–80–106 т. (Herridge D. F. et al., 2008). Азот (N) служит ключевым элементом, необходимым большинству небобовых культур, включая яровую пшеницу (Azeez, 2009). Основная роль N в растении заключается в его присутствии в структуре белка и нуклеиновых кислотах. Кроме того, N содержится в хлорофилле, который позволяет растению передавать энергию солнечного света в процессе фотосинтеза. Поступивший азот в растение влияет на образование белка, аминокислот, хлорофилла. Кроме того, азот влияет на размер клеток, площадь листьев и фотосинтетическую активность (Namvar et al., 2012).

Фосфор является строительным блоком многих органических соединений, «фосфор входит в состав ферментов и витаминов, а также участвует в энергетическом обмене. Максимальное потребление фосфора растениями происходит в фазы всходов, колошения и цветения яровой пшеницы. Фосфор участвует в энергетическом метаболизме растений» [Накаряков А. М., 2021].

«Калий улучшает фотосинтез, углеводный и белковый обмен, а также движение углеводов в растениях. Поступление калия в растения начинается на стадии всходов и продолжается до цветения. Наибольшее потребление калия происходит в фазах всходов, колошения и цветения» [Накаряков А. М., 2021], см. также (Алабушев и др., 2001; Васин, 2003; Тюпаков и Бровкина, 2008; Ториков, 1995).

Биологические азотфиксирующие препараты широко используются в сельском хозяйстве. Согласно выводам, сделанным Завалиным и соавт. (2000; 2001, 2010), Кожемяковым и соавт. (2004) «в условиях Российской Федерации, установлено, что в южных районах России урожайность от использования биологических препаратов повышалась: у озимой пшеницы (флавобактерин) – на 15%; кукурузы (мобилин) на 10,0%, (флавобактерин) на 15,4%; риса (мобилин) – на 15,2%, (агрофил) – на 13,6%» (Завалиным и др. 2010).

«На Северном Кавказе эксперименты по изучению азотфиксирующих бактерий были начаты еще в 20-м веке. В 1970-х годах фиксация атмосферного азота микроорганизмами, контактирующими с корнями небобовых растений, была названа ассоциативной азотфиксацией. Она представляет собой взаимодействие азотфиксирующих бактерий и архей с растениями без образования узелков, но с положительным влиянием на онтогенез этих растительных организмов. В процессе вегетации корни растений выделяют разнообразные экзометаболиты, такие как аминокислоты, сахара и минеральные соли. Многие представители ризосферных микроорганизмов не только питаются за счет продукции растения-хозяина, но и оказывают положительное влияние на его рост, развитие и продуктивность. Использование ассоциативных азотфиксаторов, помимо положительного влияния на растения, способствует сокращению применения агрохимикатов, сохранению и воспроизводству плодородия почвы. Они оказывают положительное влияние на экологическое состояние окружающей среды и экономическую эффективность сельскохозяйственного предприятия» [Ващенко А. В., 2021], см. также (Умаров и др., 1985; Умаров, 2009; Асатулова и др., 2013; Лебедев, Ураев, 2015).

Фиксация атмосферного азота – экологически безопасный способ обеспечения растений азотом, требующий относительно небольших инвестиций

для стимуляции азотфиксаторов в почве (Ягодин и др., 2003). По этой причине биологическая фиксация азота является «самым дешевым и безопасным способом снабжения растений азотом. Основная часть азота, содержащегося в живых организмах, населяющих нашу планету, обязана своим происхождением деятельности уникальной группы микроорганизмов, способных усваивать молекулярный азот атмосферы, переводя его в состояние NH_3 , тем самым делая его доступным для высших растений. Процесс связывания атмосферного молекулярного азота этими организмами называется биологической азотфиксацией. Биологическая фиксация азота воздуха микроорганизмами – это уникальный биологический процесс, который не свойственен ни животным, ни высшим растениям. Как симбиотические, так и ассоциативные микроорганизмы характеризуются этой способностью фиксировать молекулярный азот из воздуха. Процесс может происходить в почве, на поверхности корней (ассоциативная азотфиксация), внутри корней растений (в клубеньках бобовых и некоторых не бобовых растений – симбиотическая азотфиксация), на стеблях и листьях, в пресной и морской воде, в морских отложениях. Основным сырьем (около 1,3%) при фиксации азота являются остатки органического вещества (корневые остатки и растительные остатки)» [Ващенко А. В., 2021], см. также (Завалин и др., 2019; Посыпанов, 2006; Klemedtsson L., 1987; Rose S., Parker M., Punja Z.K., 2003; (Vlassak K., Reynders L., 1981).

«Применение биопрепаратов может снизить использование химических удобрений и уменьшить их возможное негативное воздействие на окружающую среду. Биоудобрения играют важную роль в фиксации атмосферного N и производстве веществ, стимулирующих рост растений. Таким образом, при разработке и освоении устойчивых приемов ведения сельского хозяйства, биоудобрения имеют ключевое значение для устойчивого функционирования агроценозов» (Завалин и др., 2019; Завалин, Соколов, 2016; Тихонович, Проворов, 2011).

«При применении микробных биопрепаратов, содержащих активные штаммы микроорганизмов, с учетом почвенно-климатических условий можно

вовлечь в агроценозы от 30 до 60 кг/га азота воздуха). Микроорганизмы, используемые для инокуляции семян сельскохозяйственных культур, могут стимулировать рост и развитие растений, повышать устойчивость к биотическим и абиотическим факторам, ограничивая повреждение выращиваемых культур фитопатогенами» [Накаряков А. М., 2021], см. также (Воробейков и др., 2011; Тихонович и Завалин, 2016; Пищик и др., 2015; Ruby et al., 2011; Rothballer et al., 2009).

«Использование микробных препаратов на основе diaзотрофов не получило широкого распространения в сельскохозяйственном производстве из-за недооценки практической значимости ассоциативной азотфиксации и ее роли в регулировании плодородия почвы и устойчивости агроэкосистем» (Алферов А. А., 2020). «Фактором, препятствующим широкому использованию бактериальных препаратов в сельском хозяйстве, следует также считать нерегулярную воспроизводимость результатов инокуляции, что не позволяет надежно прогнозировать ответную реакцию растений» [Алфёров А. А., 2018], см. также (Шабаев, 2004; Тихонович и др., 1989, 2005; Умаров и др., 2007, 2009; Skonieski et al., 2017).

В ряде публикаций имеются сведения, что ростостимулирующая активность бактерий входит в состав биопрепаратов значительно может различаться по влиянию на урожайность сельскохозяйственных культур, отмечается далее негативный эффект (Клоерпер et al., 1980; Chandel et al., 2019). Обусловлено это тем, что бактериальные препараты применяются без учета свойств почв.

В исследованиях В. П. Щабаева (2021) показано, что использование бактерий было неэффективным на почвах с максимальными значениями азотфиксации и при низкой приживаемости бактерий. Максимальным эффектом инокуляции наблюдается на почвах, в которых наблюдается минимальное значение активности азотфиксации. «Использование бактерии на почвах почвенных смесях, характеризующихся низкой азотфиксирующей активностью, не обеспечивало увеличение урожая до максимального уровня, несмотря на значительно усиление активности азотфиксации. Вероятно, лимитирующим фактором в повышении

массы растений до максимального уровня выступает уровень других показателей плодородия этих почв и почвенных смесей. Использование бактерий на аллювиальной агротемно-гумусовой почв, усиливая азотфиксирующую активность, увеличило урожай, в том числе корнеплодов, до максимального уровня, как и внесение навоза на аллювиальной агротемно-гумусовой почве без бактерий» (Щабаев, 2021).

«Основными показателями для оценки технологических качеств зерна пшеницы, регламентированными ГОСТ Р 52554-2006 (<http://docs.cntd.ru/document/gost-r-52554-2006>), являются: массовая доля белка (протеина), массовая доля сырой клейковины, качество сырой клейковины, натура и ряд других. Кроме перечисленных параметров представляет интерес определение массы 1 000 зерен. Все эти показатели качества зерна злаков являются сложными полигенными признаками, в зависимости от ряда морфологических и физиологических свойств растительного организма. Определение содержания сырой клейковины в зерне проводится ручными или механическими методами, которые являются трудоемкими и характеризуются низкой производительностью. Для решения этой проблемы Пасынковым и соавт. был предложен метод прогнозирования содержания сырой клейковины в зерне пшеницы, который позволяет с вероятностью 82% определить вес 1000 зерен и содержание в них белка (общего азота)» [Алфёров А. А., 2018], см. также (Колмаков, 2007; Пасынков и др., 2020; Завалин и Соколов, 2018; Павлов, 1984).

«В зависимости от значений показателей зерно озимой и яровой пшеницы подразделяется на 1...5-й классы. Качество зерна пшеницы зависит от почвенно-климатических условий, сорта, предшественника, сроков посева, удобрений и других факторов. Однако наиболее действенным фактором являются условия азотного питания, которые регулируются применением прежде всего азотный удобрений. Снижение доз азотных удобрений или их полное отсутствие приводит к снижению белка в зерне и сырой клейковины. Одним из путей решения проблемы является оптимизация азотного питания яровой пшеницы, которая может быть достигнута за счет использования дополнительных источников, в частности

микробных препаратов, органоминеральных удобрений и регуляторов роста» [Алфёров А. А., 2018], см. также (Научные основы..., 2018; Завалин и Соколов, 2016; Милащенко и др., 2015; Ерошенко и др., 2020; Никитин, 2017; Тихонович, Завалин, 2016).

«В последние годы в Европейском Союзе наметилась тенденция к сокращению использования пестицидов в сельском хозяйстве и расширению применения органического земледелия. В соответствии с планами по сокращению выбросов парниковых газов практически до нуля к середине XXI века, Европейская комиссия планирует к 2030 году вдвое сократить использование химических пестицидов в сельском хозяйстве и обеспечить расширение 25% сельскохозяйственных земель для применения технологий органического земледелия по сравнению с 8% в настоящее время. Широко известно, что здоровая почва с хорошо развитой корневой системой растений может удерживать значительное количество углерода. По мнению Международной группы экспертов по изменению климата, сельское хозяйство имеет уникальные возможности для сокращения выбросов парниковых газов за счет устойчивых агротехнологий управления потоками углерода в агроценозах»¹.

«Среди факторов биологического земледелия и расширения органического сельского хозяйства микробные биопрепараты занимают значительное место. В Российской Федерации зарегистрировано около 70 марок микробиологических удобрений. Особенностью рынка микробиологических удобрений является большое количество зарегистрированных препаратов, которые не производятся в значительных промышленных объемах»². «Микробные удобрения рекомендуются для применения на различных культурах (зерновые, зернобобовые, многолетние зерновые, овощи, плодово-ягодные и декоративные культуры). Исключение составляют препараты на основе симбиотических микроорганизмов, которые применяются только на бобовых культурах»³.

¹ URL: <https://propozitsiya.com/es-planiruet-sokratit-ispolzovanie-pesticidov-i-prodvigat-organicheskoe-fermerstvo>); <https://www.agroxxi.ru/mirovye-agronovosti/novyi-standart-vozobnovljaemogo-organicheskogo-selskogo-hozjaistva-dlja-borby-s-globalnym-potepleniem-startuet-v-2020-godu.html>.

² URL: <http://www.mcx.ru>

³ Там же.

«*Rhizobium* и *Bradyrhizobium* используются в качестве активных агентов для инокуляции различных бобовых культур в жидкой и твердой (торфяной) форме. Жидкая форма предусматривает наличие действующих веществ в количестве 2×10^9 КОЕ/мл; торф – $3-5 \times 10^8$ КОЕ/г. На российском рынке спрос на микробиологические препараты на основе *Bradyrhizobium* формируется за счет использования импортных поставок. Значительный интерес представляют препараты на основе ассоциативных азотфиксирующих (*Azotobacter chroococcum*, *Flavobacterium* sp., *Agrobacterium radiobacter*), фосформобилизующих и силикатных бактерий (*Bacillus megaterium*, *Bacillus mucilaginosus*). Основными преимуществами таких препаратов являются не только обеспечение растений азотным и фосфорным питанием, но и защита от патогенных микроорганизмов и обеспечивает ростостимулирующий эффект» [Накаряков А. М., 2021].

«На российском рынке микробиологических удобрений также представлены препараты, содержащие одновременно несколько видов бактерий, грибов и актиномицетов. Структура потребления микробиологических удобрений, как и средств защиты растений, во многом определяется характером растениеводства в стране и структурой посевных площадей. Микробиологические удобрения успешно применяются как для предпосевной обработки семян, так и в период вегетации. Комплексное использование позволяет получить хороший экономический эффект по урожайности и качеству продукции. Основными объектами для применения микробиологических удобрений являются зерновые (для препаратов на основе ассоциативных и свободноживущих бактерий) и бобовые (для препаратов на основе симбиотических микроорганизмов)» (Тихонович, Завалин, 2016).

«Биопрепарат на основе *Bacillus subtilis* штамм Ч-13 применяется при нанесении на гранулы аммиачной селитры, в результате чего улучшается азотное питание растений, что положительно влияет на повышение урожайности зерна, причем биопрепарат более эффективен при обработке гранул аммиачной селитры, внесенной в дозе 45 кг/га. Применение азотных удобрений под зерновые культуры, обработанные биологическим препаратом БисолбиФит, повышает коэффициент

использования азота удобрений растениями, увеличивается накопление не только азота, но и фосфора и калия в урожае. Использование биопрепаратов на основе эндофитных, которые колонизируют внутренние ткани растения, не оказывая негативного влияния на его развитие и не вызывая заболеваний. Полезные для растений эндофитные микроорганизмы используют внутреннюю среду растения (эндосферу) как уникальную экологическую нишу, колонизируя межклеточные пространства, которые защищают их от воздействия параметров окружающей среды» [Накаряков А. М., 2021], см. также (Алферов и др., 2017; Завалин и др., 2014; Чеботарь и др., 2014; Щербаков и др. 2013; Chebotar et al., 2016; Compant et al., 2011; Ryan et al., 2008).

«Эти бактерии способны преобразовывать атмосферный азот в доступные для усвоения формы, что улучшает азотное питание и повышает устойчивость растений к фитопатогенам. Другими важными способностями эндофитных микросимбионтов является синтез фитогормонов, которые стимулируют усиленный рост корневой системы растений и, следовательно, приводят к улучшению минерального питания» [Накаряков А. М., 2021], см. также (Barraquío et al., 1997; Chebotar, Shcherbakov et al., 2015, 2016; Rothballer et al., 2009; Ruby et al., 2011; Triplett et al., 1996).

«Эндофитные бактерии играют важную роль в регулировании минерального питания растений» [Чеботарь В. К., Щербаков А. В., Масленникова С. Н. и др. 2016]. «Установлено, что наряду с фиксацией атмосферного азота и улучшением азотного питания эндофитные микросимбионты синтезируют фитогормоны-фуксины, цитокинины и гиббереллины» [Чеботарь В. К., Щербаков А. В., Масленникова С. Н. и др., 2016]. «Стимулирующий эффект бактерий заключается в том, что экзогенные фитогормоны вызывают усиленный рост корневой системы растения, что приводит к улучшению минерального питания сельскохозяйственных культур. Это выражается в приросте биомассы, в том числе и корневой системы. Многие бактерий, ассоциированные с растениями, вырабатывают гормоны, стимулирующие рост, вместе с тем могут наблюдаться значительные различия в количестве вырабатываемых веществ между различными

штаммами внутри одного вида. Отдельные штаммы микроорганизмов могут продуцировать большое количество фитогормонов, а некоторые вообще их не синтезируют» (Ivanova et al., 2008).

«К активными продуцентам антибиотиков относятся представители рода *Bacillus*, которые синтезируют широкий круг антибактериальных и антифунгальных веществ. Кроме того, эндофитные бактерий способны синтезировать ферменты, разрушающие клеточную стенку фитопатогенных грибов и бактерий. Интерес к эндофитных бактерий связан с перспективой их практического применения в сельском хозяйстве, это связано с экологической нашей, где находятся эндофитные микроорганизмы. Растение-хозяин защищает их от биотических и абиотических стрессов, снабжает необходимым питанием, получая взамен от микроорганизмов те возможности и продукты, которое само не имеет. Эндофитные бактерии, находясь внутри растения хозяина, могут стимулировать рост растений прямым или косвенным путем. Прямая стимуляция роста растений связана с продукцией фитогормонов, либо с улучшением его питания. Косвенная стимуляция роста растений от микроорганизмов может быть связана с присутствием фитопатогенов, поллютантов или других стрессовых условий. Следовательно, становится понятным и тот набор возможных микробных препаратов с заданными функциональными свойствами для растений. Так, наиболее востребованы будут микробные препараты с биоконтрольной функцией (антибиоз и индуцированная системная устойчивость) используемых эндофитных бактерий, которые будут защищать растение-хозяина изнутри. Другой востребованной группой микробных препаратов будут препараты, обеспечивающие растения фитогормонами и улучшающие их питание минеральными веществами» [Чеботарь В. К., Щербаков А. В., Масленникова С. Н. и др., 2016], см. также (Grosch et al., 2005; Koumoutsi et al., 2004; Mercado-Blanco, Lugtenberg, 2014; Nejad, Johnson, 2000; Priet et al., 2009; Sessitsch et al., 2004; Чеботарь и др., 2015).

«При этом следует учитывать, что многие эндофитные бактерии обладают комплексом полезных функций для растений и здесь важно выделить какой фактор является определяющим. При разработке технологии производства

микробных препаратов на био заводах на основе эндофитных бактерий следует подобрать технологические режимы, при которых обеспечивается высокая численность бактерий, длительный срок хранения, удобную форму для применения (жидкость, порошок, гранулы). Очень важно разработать регламент применения биопрепаратов в реальной сельскохозяйственной практике, выявить преимущества по сравнению с химическими препаратами [Чеботарь В. К., Щербаков А. В., Масленникова С. Н. и др., 2016], см. также (Kamilova, Bruyne., 2013; Malfanova et al., 2011).

«Преимущество применения микробных препаратов в сравнения с химическими препаратами заключается в том, что микробы является гораздо более эффективными при применении их активных соединений. Они производят вторичные метаболиты практически только на поверхности корней растений или внутри растений, тогда как основное количество внесенных в почву химических соединений даже не успеет войти в контакте с растением, а только загрязнит окружающую среду Это преимущество эндофитов, которые находятся под защитой-растений хозяев, получая питание и выделяя необходимые метаболиты используются для производства новых микробных препаратах для сельского хозяйства» [Чеботарь В. К., Щербаков А. В., Масленникова С. Н. и др., 2016], см. также (Алферов и др., 2017; Mercado-Blanco, Lugtenberg, 2014).

«Изучение возможности использования биопрепаратов, повышающих азотфиксирующую способность почв, было начато в 20-х годах двадцатого века» (Базилинская М. В. 1989).

«Было доказано, что наиболее высокого уровня для почв умеренного климатического пояса (Краснодарский край) ассоциативная азотфиксация достигает в рисовых чеках на лугово-болотных черноземах почвах. За месяц фиксируется 12–29 кг/га азота. На лугово-черноземных почвах Краснодарского края установлено, что растения риса, развивающиеся в условиях затопления, в течение первого года вегетации усваивают до 30% азота, фиксированного несимбиотическими микроорганизмами. Внесение азотных удобрений в почву заметно увеличивало усвоение биологического азота растениями. Основной вынос

биологического азота осуществлялся рисом в первый год» (Калининская Т. А. и др., 1973).

В результате развития в Российской Федерации высокоточной масс-спектрометрии, стало возможным изучать потоки азота в агроэкосистеме (Завалин и др., 2021). «В мировой практике агрохимических исследований где естественное соотношение изотопов ^{14}N и ^{15}N в почвах и в растениях используется для изучения процессов трансформации соединений азота в почвах, определения источников азотного питания растений и оценки вклада симбиотической азотфиксации в азотный баланс экосистемы» (Dowson et al., 2002), см. также (Hogberg, 1997; Robinson, 2001; Zhao, Ozaki, 2002).

В России получены экспериментальные данные по изотопному составу азота и его пространственному варьированию в некоторых типах почв, природных ценозах (Завалин и др., 2021; Меняйло, Хангейт, 2006), а также при разных способах обработки почвы и применения различных удобрений (Кореньков и др., 1989, Муравин и др., 2001;2002).

«Наблюдения за процентным содержанием ^{15}N в почве показали, что к концу второго вегетационного сезона оно стабилизировалось на уровне около 50% от первоначального содержания и в дальнейшем существенно не изменялось» [Ващенко А. В., 2021], см. также (Калининская и др., 1979).

«Было показано, что при инокуляции семян яровой пшеницы биопрепаратом (Ризоагрин) возрастало потребление на 5–9% растениями азота минерального удобрения. Использование биопрепаратов эндофитных микроорганизмов увеличивает накопление в урожая яровой пшеницы азота из минерального удобрения на 8–12%» [Завалин А. А., Алферов А. А., Чернова Л. С., 2019], см. также (Comprant et al., 2005; Алферов и др., 2017).

«Азот минерального удобрения включается в минерализационно-ремобилизационные превращения в почве. Высокая иммобилизация азота удобрения в различных почвах следует считать ключевым процессом устойчивости агроэкосистемы. Размеры иммобилизации меченого азота минерального удобрения составляют 16–32% от внесенного количества, и они могут повышаются до 18–38%

при использовании в качестве удобрения. При внесении сидерата горчицы размеры иммобилизации азота в структуре баланса составляют $52\pm 7\%$. Инокуляция биопрепаратами как ризосферными diaзотрофами (ризоагрин), так и эндофитными микроорганизмами слабо воздействует на иммобилизацию азота минерального удобрения в почве, а на иммобилизацию азота из сидерата наблюдается положительная тенденция. Неучтенные потери меченого азота минерального удобрения составляют 19–50% от внесенного количества в учетом погодных условий, вегетационного периода. Потери азота снижаются на 6–9% (до 10–14%) при внесении под яровую пшеницы органического и минерального удобрений и при инокуляции семян яровой пшеницы Ризоагрином. Потери меченого азота сидерата при различных метеорологических условиях вегетации колеблются в пределах 17–37% от внесенной дозы. [Завалин А. А., Алферов А. А., Чернова Л. С., 2019], см. также (Алферов, 2017, 2018; Алферов и др., 2018; Завалин, 2005).

«Инокуляции семян яровой пшеницы Ризоагрином повышает потребление растениями азота N-удобрений и создает условия для закрепления в почве азота и снижает газообразные потери на 4–6%. Применение биопрепаратов для инокуляции семян положительно влияют на коэффициент использования яровой пшеницей азота минеральных удобрений. Коэффициент использования растениями азота возрастает на дерново-подзолистых почвах с 36–50% до 39–60%, серых лесных почвах – с 29 до 31% и черноземах – с 28 до 46%. При возделывания ячменя соответственно с 39–49% до 46–58%, с 39 до 52%, с 31 до 36%. Инокуляция семян биопрепаратами повышает окупаемость азота минерального удобрения прибавкой урожая в посевах яровой пшеницы: на черноземах в 2,3 раза, на дерново-подзолистых почвах 1,5–2,1, на серных лесных – в 2,1 раза, ячмень – соответственно в 2,4, 1,6–2,0 и в 1,8 раза. В этом случае дополнительное использование азота яровыми пшеницы и ячмень при применении для инокуляции семян биопрепаратов составляет на дерново-подзолистых суглинистых и серых лесных почвах до 10 кг/га, черноземах – до 12 кг/га» [Завалин А. А., Алферов А. А., Чернова Л. С., 2019], см. также (Алферов и др., 2017, 2018; Алферов, 2017, 2018; Гамзиков, 2017; Завалин, 2005; Шотт, 2007).

«Применение в исследованиях стабильного азота ^{15}N дает возможность с высокой точностью выявить источники азота в формировании урожая зерна, инокулированы микробными. Было установлено, что формирование урожая яровой пшеницы на дерново-подзолистой почве происходит в подавляющем количестве за счет азота почвы, доля которого составляет 4/5 общего его потребления растениями при применении минеральных удобрений. Вклад азота сидеральных культур, которые все больше используются в земледелии в формирование урожая яровой пшеницы, определяется погодными условиям вегетационного периода. При благоприятных погодных условия он возрастает, а недостатке атмосферных осадков или при повышенном увлажнении – снижается на 5–8% доля участия «экстра»-азота, образующейся при внесенным азотного удобрения, его накопления в урожая яровой пшеницы 15% от общего при внесении азотного удобрения или при сочетании его внесением биомассы горчицы. При инокуляции семян биопрепаратом Ризоагрином наблюдается дополнительное использование яровой пшеницей фиксированного биологического азота на дерново- подзолистой почве, которое достигает 8–13 кг/га. Этот объём изменяется с учетом различных метеорологических условий от 2 до 30 кг/га (минимум – в засушливых условиях и максимум – при достаточном увлажнении. [Завалин А. А., Алферов А. А., Чернова Л. С., 2019], см. также (Алферов, 2017; Гамзиков, 2017; Завалин, 2005; Шотт, 2007).

«На опытном поле ВНИИЗК им. И.Г. Калининко зерноградского района Ростовской области, на обыкновенном тяжелосуглинистом черноземе, проводились полевые исследования по использованию биопрепаратов под сельскохозяйственные культуры. Для исследований были взяты: ассоциативные ризобактерии (Мизорин ш. 7, Азоризин шт. 6 и шт. 8, Ризоагрин шт. 204, Флавобактерин шт. 30 и *Pseudomonas* sp. шт. 25-5). Использовались следующие сорта растений: кукуруза – "Зерноградский 282 МБ", "Зерноградский 330 МБ"; яровая пшеница – "Харьковская-23". Установлено, что на кукурузе наибольший эффект дает совместное применение Азоризина с Микроэмолем, прибавка здесь достигла 31% от контроля. Наибольшие прибавки урожая яровой пшеницы получены при использовании биопрепаратов Флавобактерин, Мизорин, прирост к

контролю варьировал в пределах 20,7–21,5% в зависимости от штамма. При использовании вермикулита в качестве носителя обеспечивается более высокая эффективность симбиотических и ассоциативных биопрепаратов ризобактерий» [Ващенко А. В., 2021], см. также (Лактионов, 2010).

«Согласно Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации, планируется увеличить использование биологических форм удобрений в сельском хозяйстве¹, что может быть достигнуто за счет использования эффекта ассоциативной азотфиксации, осуществляемой в ризосфере и ризопласте сельскохозяйственных растений» (Завалин и др., 2019).

«Систематическое внесение в почву органических и (или) органоминеральных удобрений повышает ее реальное и потенциальное плодородие. Это происходит за счет улучшения агрохимических и физико-химических свойств почвы, увеличивается количество поглощенных оснований и степень насыщенности почвы основаниями, снижается обменная и гидролитическая кислотность, увеличиваются запасы питательных веществ, емкость поглощения и буферная способность почвы» [Накаряков А. М., 2021], см. также (Воронкова, Барабанова, 2013; Зинчук, Бойцова 2012; Карабутов, Уваров 2011; Леднев и др., 2012; Лукин, 2009; Скрыльник и др., 2002).

«При использовании удобрений в наукоемких технологиях возделывания пшеницы важнейшим показателем эффективности их применения должен быть критерий их окупаемости прибавкой урожая» (Кирюшин, 2010).

«В опытах Московского НИИ сельского хозяйства квалифицированное применение удобрений и других средств интенсификации привело к повышению урожайности яровой пшеницы на 1,3 т/га; содержание белка увеличилось с 12,2 до 13,8%; количество сырой клейковины в муке с 34,3 до 37,0%; качество клейковины с 78 до 82 ед. ИДК; сила муки от 223 до 310 е. а.; объемный выход хлеба от 924 до 983 см³/100 г муки. Также показано, что эффективность азотных удобрений на почвах с низким содержанием подвижного фосфора малоэффективна, действие азотных удобрений значительно возрастает при содержании подвижного фосфора

¹ URL: Consultant.ru/law/hotdocs/48053.html

в почве более 50 мг/кг, при этом возможна высокая урожайность зерна при меньших дозах внесения азотных удобрений. Применение азотных удобрений для подкормок растений как в жидкой, так и в твердой форме способствует росту урожайности зерна и увеличению его белковости. Применение оптимальных доз азотных, фосфорных и калийных удобрений обеспечивает урожайность зерна озимой пшеницы около 6 т/га при хороших показателях качества, причем новые сорта более эффективно реагируют на удобрения по сравнению с теми, которые выращивались ранее» [Накаряков А. М., 2021], см. также (Войтович, Никифоров, 2009; 2012; Есаулко и др., 2020; Нестеренко, Лапушкин, 2019; Рогулев и др., 2018; Семенова и Пироженко, 2020).

«Важнейшим параметром оценки использования минеральных удобрений в агротехнологиях возделывания яровой и озимой пшеницы является показатель их окупаемости прибавкой урожая. Этот показатель зависит от многих факторов: почвенно-климатических условий вегетационного периода, доз удобрений, величины урожайности культуры, использования других факторов интенсификации, в том числе применения биологических препаратов. Об этом свидетельствуют результаты многолетнего опыта на дерново-подзолистой почве, где при комплексном применении химических средств защиты растений и минеральных удобрений урожайность зерна озимой пшеницы достигала 60–70 ц/га, а их окупаемость с учетом доз и сочетаний азота, фосфора и калия в удобрениях составляла от 15 до 27 кг зерна на килограмм внесенных удобрений» (Кирюшин, 2016), см. также (Завалин, Соколов, 2016; Кирпичников, 2018; Сычев, 2019).

В исследованиях с различными сортами пшеницы (Хокесфорд, 2014) было установлено, что урожайность зерна изменяется в диапазоне от 2,1 до 11,8 т/га, содержание в зерне общего азота от 1,1 до 2,8% (на абсолютно сухое вещество), выход зерна на 1 кг потреблению растениями азота от 27 до 77 кг N. Выход зерна на 1 кг выноса азота надземной биомассой получен на 24–42% больше с учетом применяемой дозы азотного удобрения. Этим же автором установлена изменчивость урожайности зерна пшеницы главным образом от распределения

осадков в течение вегетационного сезона, что сказывается преимущественно с продолжительностью периода налива зерна.

Резюме

«Обзор опубликованных данных, полученных в основном в начале XXI века, показывает, что наиболее важная роль в формировании урожайности зерна пшеницы и регулировании его качества принадлежит азотным удобрениям с оптимальным обеспечением фосфором и калием» [Накаряков А. М., 2021]. У растений пшеницы образуются два типа стеблей – главный стебель и разное количество побегов. На формирование стеблей оказывают условия питания растений фосфором и азотом. При чрезмерном уплотнении почвы, недостатке фосфора или азота, глубоком посеве растения могут испытывать стресс, что приводит к снижению скорости кущения. Негативное влияние на весь процесс развития растений может оказать дефицит фосфора в начале вегетационного периода. Это означает, что в более поздние периоды растение будет не получить хороший урожай зерна, даже если фосфор будет присутствовать в достаточном количестве в будущем.

«В технологиях возделывания пшеницы для регулирования фитосанитарного состояния посевов используются различные химические средства, которые снижают поражение растений болезнями. Современные вызовы обуславливают необходимость расширения использования биологических факторов интенсификации земледелия, среди которых значительное место в агротехнологиях возделывания яровой пшеницы должны занимать биологические препараты для регулирования минерального питания растений, обеспечивающие фитосанитарное состояние посевов. Это особенно актуально для производства зерна в органическом земледелии, где значительно ограничивают или полностью исключается применение химических агрохимикатов, отдавая предпочтение биологическим» [Накаряков А. М., 2021].

Таким образом, анализ опубликованных печатных работ показывает, что урожайность зерна яровой пшеницы и его качество определяется обеспеченностью растений азотом, которое регулируется внесением минеральных удобрений и

применением биопрепаратов. Биопрепараты положительно воздействуют на усвоение растениями дополнительного биологического азота, почвенного азота и азота из минеральных удобрений. Спектр применения биопрепаратов на яровой пшенице может быть довольно широким, в том числе созданным на основе различных активных штаммов микроорганизмов: ассоциативных и эндофитных. Однако, в литературе недостаточно сведений по эффективности комплексного использования азотного минерального удобрения и биопрепаратов, созданных на основе ассоциативных и эндофитных микроорганизмов, для научного обоснования их применения в агротехнологиях возделывания яровой пшеницы. Для этого необходимо оценить влияние биопрепаратов на величину и качество зерна, использование растениями азота минерального удобрения, выявить потоки азота в системе удобрения–почва–растение, исследовать баланс азота с использованием стабильного азота ^{15}N , что и стало целью нашей работы.

Глава 2. УСЛОВИЯ И МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

2.1 Характеристика изучаемых биопрепаратов, удобрений, сорта яровой пшеницы и плодородия темно-серой лесной почвы.

В микрополевом эксперименте оценивали различные биопрепараты, разрешенные к применению и новые биопрепараты, а также азотное удобрение – аммиачную селитру.

Штамм *Bacillus amyloliquefaciens* V167 «создан на основе эндофитной бактерией, выделен из внутренних тканей черенков винограда (*Vitis vinifera* L.), штамм *Bacillus amyloliquefaciens* V167 обладает фунгицидной активностью против фитопатогенных грибов *Alternaria alternata*, *Fusarium culmorum*, *Fusarium graminearum*, *Fusarium sporotrichioides*» [Накаряков А. М., 2021], и фитостимулирующим эффектом по отношению к различным сельскохозяйственным культурам (редис, горох, кукуруза, салат, вико овсяная смесь, яровая пшеница).

«Микробиологический «препарат V417 создан на основе эндофитных бактерий выделенных из внутренних тканей черенков винограда (*Vitis vinifera*) сорта Мускат. Бактерии охарактеризованы как штамм *Bacillus subtilis* V417. Этот активный штамм обладает доказанной фунгицидной активностью против спектра фитопатогенных грибов р. *Fusarium*, *Alternaria*, *Phytium*; бактерицидной активностью против фитопатогенных бактерий *Clavibacter michiganensis* subsp. *sepedonicus*, *Erwinia carotovora* subsp. *atroseptica*, *Pseudomonas syringae* и ростостимулирующим эффектом против различных культур (яровая пшеница, кукуруза, сахарная свекла, картофель)» (Chebotar et al. 2016). Микроорганизмы, входящие в состав биопрепарата способны фиксировать азот атмосфере.

«Технология применения исследуемых биопрепаратов, заключается в следующем:

1. Предпосевная обработка семян для подавления семенных инфекций (гельминтоспориоз, фузариоз и др.) и заселения семян полезной микрофлорой. Обработку проводят за 1–30 дней до посева. Доза биопрепарата составляет 1 литр на 1 тонну семян (10% рабочий раствор). Для обработки можно использовать любое

оборудование для протравливания семян (ПС-10 и др.). Препарат совместим с химическими протравителями семян.

2. Вегетативная обработка посевов для стимуляции роста растений и защиты от болезней листьев (бурая ржавчина, мучнистая роса, снежная плесень и т.д.). Доза обработки составляет 2 литра на гектар. Обработку проводят опрыскивателями (ОП-2000 и др.), обеспечивающими распыление рабочего раствора биопрепарата в количестве 100–200 л/га. Биопрепарат совместим с гербицидами, микроэлементами и химическими удобрениями. Рекомендуется проводить две обработки: в фазах кущения и колошения» [Накаряков А. М., 2021].

В качестве стандартного биопрепарата применяли

Микробиологический биопрепарат Экстрасол – он «создан на основе штамма *Bacillus subtilis* Ch-13, который обладает высокой конкурентоспособностью по отношению к другим почвенным микроорганизмам. Штамм *Bacillus subtilis* Ch-13 обладает широким спектром полезных свойств: способностью синтезировать вещества, индуцирующие рост растений, подавлять развитие фитопатогенных грибов и патогенных бактерий»¹. «Синтезирует вещества, которые подавляют развитие патогенных грибов, а стимулирующие соединения, продуцируемые этим штаммом, положительно влияют на растения. В результате активной колонизации корней растений бактерии улучшают развитие корневых волосков и увеличивают их поглощательную способность фосфора, а также улучшают поглощение растениями элементов питания из удобрений. Они также повышают иммунитет растений и устойчивость к пониженным температурам и засухе, способен фиксировать атмосферный азот» [Накаряков А. М., 2021], см. также (Chebotar et al., 2000; Чеботарь и др., 2007; Тихонович и др., 2005).

Исследования выполняли с использованием меченого минерального азотного удобрения аммиачной селитры, обогащенного стабильным изотопом ¹⁵N, в микрополевым опыте на Центральной опытной станции ВНИИ агрохимии им. Д.Н. Прянишникова в Московской области. Избыток обогащения около 20 ат. %.

¹ URL: <http://kniga.seluk.ru/k-mehanika/1095608-1-effektivnost-primeneniya-biopreparata-ekstrasol-moskva-2007-rossiyskaya-akademiya-selskochozyaystvennih-nauk-vser.php>



Рисунок 2.1 – Вид опыта перед набивкой сосудов почвой



Рисунок 2.2 – Внесимем вид опыта: всходы яровой пшеницы

СХЕМА ОПЫТА

1. Фон 1: P45K45(Ф1)

2. Ф1 + Экстрасол Ч-13– стандарт
3. Ф1 + эндофит штамм V 167
4. Ф1 + эндофит штамм 417
5. Фон 2: N45P45K45 (Ф2)
6. Ф2+ Экстрасол Ч-13– стандарт
7. Ф2 + эндофит штамм V 167
8. Ф2 + эндофит штамм 417
9. N90P45K45

Опыт закладывали в пластиковых сосудах квадратного сечения 0,25*0,25 м, площадь сосуда равна 0,0625 м².

Высевали среднеспелый сорт яровой пшеницы Злата. Сорт характеризуется быстрым ростом после всходов, устойчивостью к полеганию, поражению бурой ржавчиной, мучнистой росой и септориозом, имеет хорошие и стабильные по годам хлебопекарные качества зерна. Сила муки 250...350 е.а., содержание сырой клейковины может достигать – 35...38%. Средняя урожайность сорта составляет около 3,02 т/га, максимальная – 5,38 т/га (Elektronnyjresurs: <https://agroserver.ru/b/yarovaya-pshenitsa-zlata-es-1460389.htm>. Data obrashcheniya 04.04.2022).

«Сорт пшеницы яровой Злата включен в Государственный реестр селекционных достижений с 2004 года, рекомендован к использованию в регионах Российской Федерации: Северный — Мурманская и Архангельская области, Республики Карелия и Коми; 3. Центральный — Тульская, Смоленская, Рязанская, Калужская, Ивановская, Владимирская, Брянская и Московская области; 4. Волго-Вятский — Кировская, Нижегородская области, Пермский край, Республика Марий Эл, Свердловская область, Удмуртская и Чувашская Республики; 7. Средневожский — Пензенская область, Республики Мордовия и Татарстан, Самарская и Ульяновская области» (URL: <https://agroserver.ru/b/yarovaya-pshenitsa-zlata-es-1460389.htm>)/

Агрохимические параметры почвы, на которой проводилось исследование, приведены в Таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Агрохимические показатели 0–20 сантиметрового слоя темно-серой лесной среднесуглинистой почвы пред закладкой опыта

Год	Гумус, %	Nобщ., %	P ₂ O ₅	K ₂ O	N-NO ₃	N-NH ₄	pH _{KCL}	Hг,
			мг/кг					мг-экв/ 100 г
2020	2,92	0,199	120	131	2,7	11	5,9	1,12
2021	3,00	0,218	132	140	3,1	10	6,2	1,24
2022	2,91	0,195	140	120	3,4	8	6,0	1,28
Средние	2,93	0,204	131	130	3,1	9,7	6,0	1,21

Исследуемая темно-серая «лесная среднесуглинистая почва по степени агрохимической окультуренности некарбонатных, в частности, по содержанию подвижного фосфора и калия относится к средне окультуренной» (Шафран, 2019), по содержанию минерального азота (сумма N-NO₃ + N-NH₄) относится к среднеокультуренным по реакции почвенной среды к оптимальной.

В качестве азотного удобрения использовали аммиачную селитру с количеством азота 45 и 90 кг/га или 4,5 и 9,0 г/м², что составляет 0,2812 г и 0,563 г N/сосуд соответственно. «Действующее вещество аммиачной селитры – азот, массовая доля которого составляет 30–35%. Изготавливают нитрат аммония по ГОСТу 2 2013, согласно которому происходит взаимодействие чистого синтетического вещества безводного аммиака NH₄ и концентрата азотной кислоты NO₃» (URL: <https://domopravitelnitsa.com/sad-i-ogorod/udobrenie-ammiachnaya-selitra.html>).

Для оптимизации фосфорно-калийного питания растений фоном вносили двойной суперфосфат и хлористый калий по 45 кг/га действующего вещества или 0,28 г P₂O₅ и K₂O/сосуд.

Двойной суперфосфат Ca(H₂PO₄)₂ – «высококонцентрированное фосфорное удобрение, содержащее до 45% и выше P₂O₅. Фосфор присутствует в нем в виде монокальция фосфата и свободной фосфорной кислоты до 2,5%» (Минеев, Сычев, Гамзиков и др., 2017).

Хлористый калий ($KCl - 63,2\% K_2O$) – «это главное калийное удобрение в России. Представляет собой белый мелкокристаллический продукт, имеет незначительную гигроскопичность, часто слеживается. В технических сортах, идущих на удобрение, содержится 50–60% K_2O » (Минеев, Сычёв, Гамзиков и др., 2017).

2.2. Погодные условия во время проведения полевого опыта

«Климат Московской области характеризуется теплым летом, умеренно холодной зимой с устойчивым снежным покровом и хорошо выраженными переходными сезонами. Годовой приход солнечной радиации (суммарной) на территории Московской области составляет примерно 87 ккал/см^2 в виде рассеянной радиации. Температура воздуха самого теплого месяца – июля до $18,5^\circ\text{C}$ на юго-востоке. Температура воздуха самого холодного месяца января на западе области 10°C , на востоке 11°C . Годовая амплитуда среднемесячной температуры $27\text{--}28,5^\circ\text{C}$. Первая половина зимы заметно теплее второй, наиболее холодное время года сдвинуто на вторую половину января и начало февраля» (URL: <http://yadyra.ru/attachments/kursovaya-meteorologiya-moskovskaya-oblast>).

«В отдельные годы возможно понижение температуры до минус $43 - \text{минус } 48^\circ\text{C}$, а в котловинах и защищенных местах до минус $49 - \text{минус } 54^\circ\text{C}$ (1910 г.). Летом же наблюдалось повышение температуры до $36\text{--}38^\circ\text{C}$, а на юге области до 39°C (1936 и 1938 гг.). Однако такие высокие и низкие температуры наблюдаются очень редко, менее чем в 5% лет. В 90% лет абсолютный минимум бывает $27\text{--}30^\circ\text{C}$, а абсолютный максимум $29\text{--}32^\circ\text{C}$. Период с положительной среднесуточной температурой длится в среднем $206\text{--}216$ суток (переход температуры через 0°C к более высоким значениям весной происходит в первой половине апреля, к более низким – в первой декаде ноября). Наименьшая продолжительность этого периода 160 суток, наибольшая – 230 суток. Безморозный период длится $120\text{--}140$ суток, в отдельные годы $65\text{--}180$ суток» (URL: <http://yadyra.ru/attachments/kursovaya-meteorologiya-moskovskaya-oblast>).

«Московская область относится к зоне достаточного увлажнения. Годовая сумма осадков в среднем $550\text{--}650$ мм, с колебанием в отдельные годы примерно от

270 до 900 мм. Две трети осадков в году выпадает в виде дождя, одна треть – в виде снега. В теплую часть года преобладают дожди средней интенсивности, хорошо увлажняющие почву. Ливневые дожди нередко сопровождаются грозами, а иногда и градом. В среднем за теплый период бывает 21–25 суток с грозой и один-два с градом. Устойчивый снежный покров образуется обычно в конце ноября. Самая ранняя и самая поздняя даты образования устойчивого снежного покрова отмечены соответственно 23 октября и 28 января. К концу зимы высота снежного покрова достигает в среднем 30–45 см. Наибольший запас воды в снеге составляет в среднем 80–105 мм» (URL: <http://yadyra.ru/attachments/kurosovaya-meteorologiya-moskovskaya-oblast>).

В работе использовали данные метеостанции, расположенной на Центральной опытной станции ВНИИ агрохимии (Московская область) (Рисунок 2.3). Метеоусловия в годы исследований несколько различались. В период закладки эксперимента (2020 год) и вегетации все климатические показатели были в пределах нормы, температура воздуха в мае месяце составила 10,3°C, что несколько ниже среднегодовой температуры. Наибольший диапазон температур наблюдался в июне и июле, что несколько выше среднегодовой температуры на 0,5 °C для июня и 1,5 °C для июля (Рисунок 2.2). Увеличилось количество осадков в июле месяце, превысив среднегодовое количество осадков на 100 мм. В мае и июне 2021 года выпало избыточное количество осадков (179 и 155 мм) при среднемноголетней норме 49 и 63 мм соответственно. За весенне-летний период температура воздуха отличалась несильно от средних многолетних значений. В целом вегетационный период 2020 года оказался более благоприятным, что сказалось на урожайности яровой пшеницы.

Во время закладки опыта (2022 год) и вегетационного периода все климатические условия были в пределах нормы и благоприятными. Средняя температура воздуха в мае месяце составила 9,8, что ниже среднемноголетней нормы температуры на 3,6 °C. Самая высокая средняя температура воздуха была зафиксирована в июле и августе (19,3 °C и 20,0 °C), при среднемноголетней норме 17,7 °C и 16,0 °C

соответственно. Количество осадков в июле месяце было очень большим и составило 192 мм, превысив среднемноголетней норме значение на 114 мм (Рисунок 2.3). В июне количество осадков уменьшилось, было зарегистрировано всего 43 мм, что на 20 мм меньше среднемноголетней норме показателя. В мае количество осадков было выше среднемноголетней нормы. В период активного роста и развития яровой пшеницы (в июнь–июль) среднесуточная температура воздуха незначительно изменилась по сравнению с 2020 годом. Значительная разница наблюдается в количестве осадков, полученных в период с 2020 по 2022 год. Например, в 2020 году в июне выпало 61 мм осадков, а в 2022 году в том же месяце – 43 мм. Значительная разница в количестве осадков между двумя годами также наблюдается в июле и августе (Рисунок 2.3).

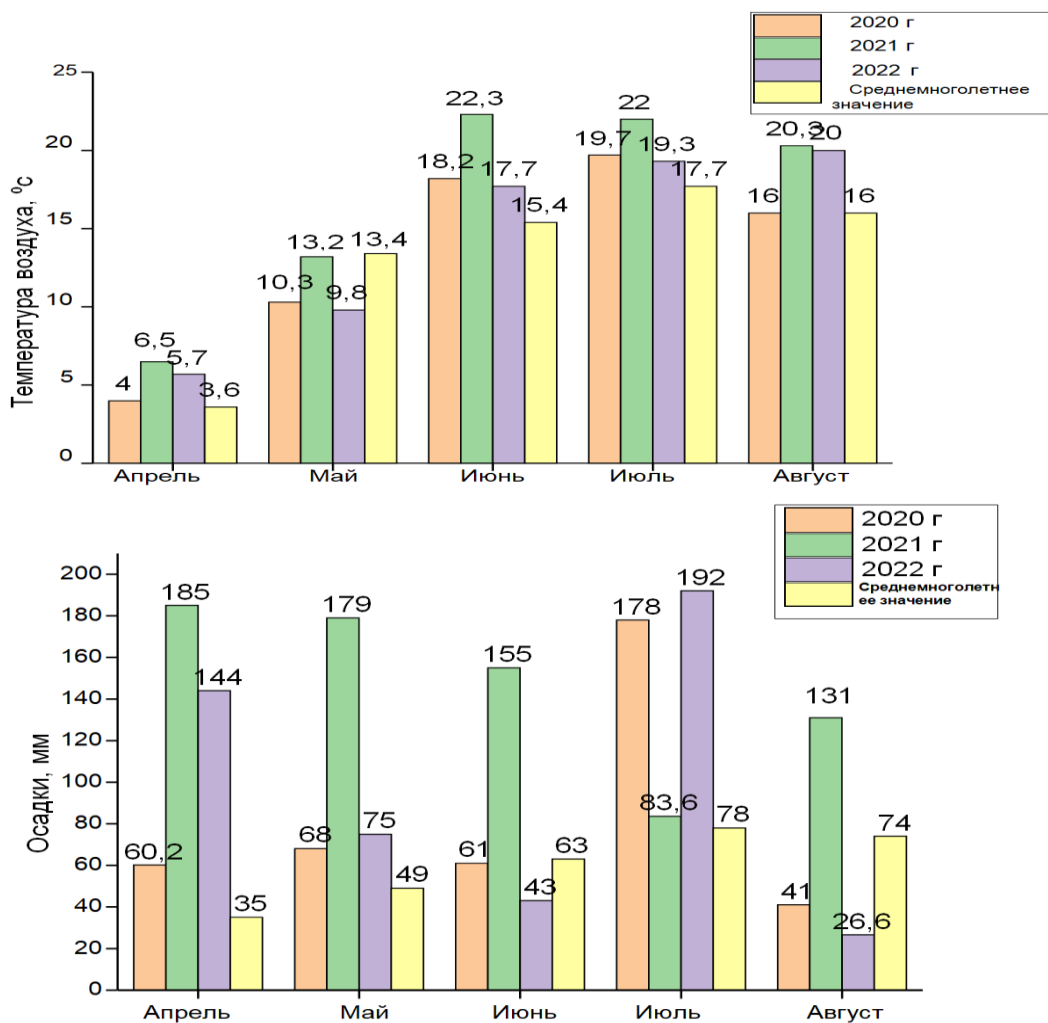


Рисунок 2.3 – Среднесуточная температура воздуха и среднемесечное количество осадков на Центральной опытной станции Всероссийского научно-исследовательского института агрохимии (Московская область)

В целом, во все годы микрополевого эксперимента метеорологические условия в годы проведения полевых исследований достаточно сильно не различались. Вегетационный период 2020 года характеризовался повышенными температурами воздуха и умеренным количеством осадков. Погодные показатели в 2020–2021 годах в достаточной степени позволили собрать зерно яровой пшеницы с высоким содержанием сырого протеина. В вегетационный период 2020 года погодные показатели были с достаточным количеством осадков и умеренными температурами, что положительно повлияло на урожай яровой пшеницы, обеспечив качество зерна второго класса по содержанию белка.

Сезон 2021 года характеризовался обильными осадками, выпавшими в мае и июне, и повышенными температурами воздуха, что отразилось на результатах исследований, в частности, на низкой урожайности, а в вегетационный период 2022 года погодные показатели были с достаточным количеством осадков и умеренными температурами, что положительно повлияло на урожай яровой пшеницы.

2.3. Методы исследований почвы и растений

«Образцы почв и растений в эксперименте для лабораторного анализа за годы исследований были взяты из двух несмежных повторений, их анализы проводились согласно соответствующим стандартам ГОСТ в аккредитованных испытательных лабораториях. Использовали общепринятые методы анализа образцов почвы и растений. Реакцию почвенного раствора определяли в солевом экстракте KCL – потенциметрически (ГОСТ 26483-85), содержание гумуса по методу Тюрина в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26213-91), -содержание общего азота N общ.) – по Кьельдалю–Ийолбауеру; подвижного фосфора и калия в вытяжке 0,2 HCl по Кирсанову в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26207-91). Для определения содержания минерального азота в почве во время и в конце вегетационного периода растений яровой пшеницы были взяты пробы почвы. Определение нитратного азота (N-NO₃) в воздушно-сухих образцах проводили ионометрическим методом (ГОСТ 26951-86), аммония (N-NH₄) – фотоколориметрическим (ГОСТ 26489-85)». [Накаряков А. М., 2021]

«Общий азот в растениях (зерно, солома) определяли по методу Къельдаля согласно ГОСТ 13496.4-93, фосфор (P_2O_5) колориметрически (ГОСТ 26657-97), калий (K_2O) на пламенном фотометре (ГОСТ 30504-97). Содержание белка в зерне определяли по ГОСТ 10846-91 (рассчитывали путем умножения общей концентрации азота на коэффициент 5,7). Содержание сырой клейковины определяли в соответствии с ГОСТ 54478-2011 Зерно. Методы определения количества и качества клейковины в пшенице» [Накаряков А. М., 2021].

Использование метода меченого стабильного изотопа ^{15}N , позволило проследить трансформацию азота минерального удобрения и азота почвы, использование его растениями, закрепление в почве и потери. Изотопный состав азота почвенных и растительных образцов определяли на масс-спектрометре Delta V Advantage. Используемые методы соответствует современному уровню исследований в агрохимии, а применение стабильного изотопа азота ^{15}N является уникальным методом в РФ.

Коэффициент использования азота из удобрения (%) определяли по формуле:

$$КИ = [\text{ат. \% } ^{15}N \text{ в растении}] / [\text{ат. \% } ^{15}N \text{ в удобрении}] * 100.$$

Для определения использования остаточного количества азота удобрений применяется формула Смитта:

$$КИ = [\text{ост. Кол-во N в растении} / \text{общее кол-во N в растений}] / \text{ост. кол-во N в почве} / \text{общее кол-во N в почве}].$$

Расчет количеств меченого азота удобрения в растениях и почве производили по уравнению:

$$N_{уд} = \text{общ} * (c - v) / (a - v),$$

где $N_{уд}$ – количество азота меченого удобрения в растениях (почве);

$N_{общ}$ – количество общего азота в растениях (почве);

a – ат. % в азоте меченого удобрения;

v – ат. % в азоте немеченых растений (= 0,365) или почвы (= 0,390);

c – ат. % в азоте меченых растений (почвы).

Определяли использование растениями биологического азота за счет инокуляции семян яровой пшеницы соответствующими биопрепаратами, осуществляю-

щим за счет входящих эндофитных бактерии фиксацию атмосферного азота. Установили биоконтрольное действие и продуцирование физиологически активных веществ, микроорганизмами, входящими в состав биопрепаратов. Определяли потоки азота в агроэкосистеме: минеральное удобрение–почва–растения–атмосфера, позволяющими установить устойчивость ее функционирования (Кореньков, 1999).

Массу 1000 зерен определяли по ГОСТ 10842-89. На базе методик Почвенного института и ЦИНАО рассчитывали статьи элементов питания баланса (Методические рекомендации..., 1986, 1987, 2000).

«Статистический анализ экспериментальных данных проводили дисперсионным методом с использованием программы STATVIEW, достоверность различий оценивали по F-критерию Фишера» [Накаряков А. М., 2021].

Глава 3. УРОЖАЙНОСТЬ ЗЕРНА ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ БИОПРЕПАРАТОВ И АЗОТНОГО УДОБРЕНИЯ

Продуктивность любой культуры оценивается по массе зерна и составляющим элементам структуры урожая. К ним относятся соотношение основной и побочной продукции, это соотношение определяет долю зерна в общебиологическом урожае, чем больше зерна, тем эффективнее используется биологический потенциал генотипа пшеницы (Хлесткина и др., 2017). Определение структуры урожая яровой пшеницы дает возможность выявить за счет, каких его элементов происходит увеличение массы зерна (Руководство..., 2018). Исследования влияния факторов внешней среды, к которым в нашем опыте относятся дозы азотного удобрения и инокулянты (биопрепараты), а также погодные условия показатели, что урожайность зерна яровой пшеницы изменяюсь от 269 до 546 г/м² (Таблица 3.1).

Таблица 3.1 – Урожайность зерна яровой пшеницы при использовании биопрепаратов и азотного удобрения, г/м²

Вариант	2020 г.	2021 г.	2022 г.	Средняя
Фон 1: P45K45(Ф1)	354	269	362	328
Ф1+Экстрасол Ч-13- стандарт	417	362	413	397
Ф1+ эндофит штамм V 167	464	353	458	425
Ф1+эндофит штамм 417	507	380	482	456
Фон 2: N45P45K45 (Ф2)	528	382	528	479
Ф2+ Экстрасол Ч-13- стандарт	546	413	533	497
Ф2 + эндофит штамм V 167	522	407	530	486
Ф2 + эндофит штамм 417	515	385	539	480
N90P45K45	546	422	583	517
P, %	4,3	4,7	2,14	2,16
НСР ₀₅	60	24	30	28

Несмотря на то что в годы проведения опыта, погодные условия несколько различались, более благоприятным был 2020 год, а менее благоприятным 2021 год, среднегодовая урожайность составила в 2020 году – 489 г/м²,

в 2021 году – 375 г/м², в 2022 году – 492 г/м². Во все годы преобладающим фактором влияния на урожайность зерна были изучаемые параметры, а именно азотное удобрение и используемые для инокуляции микробные биопрепараты, относящиеся как ассоциативным (Ч-13), так и к эндофитным бактериям (V167 и V417).

Методом дисперсионного анализ выявлена доля влияния различных факторов на урожайность зерна яровой пшеницы (Рисунок 3.1) Средняя за 3 года урожайность в опыте составила 454 г/м², основное влияние на изменение урожайности зерна оказали исследуемые факторы (варианты), составляющие 89,1%. При этом на долю условий минерального питания, которым были азотное удобрение и биопрепараты, приходилось 45%, на долю погодных условия года – 40,6%, на их взаимодействие – 3,5%

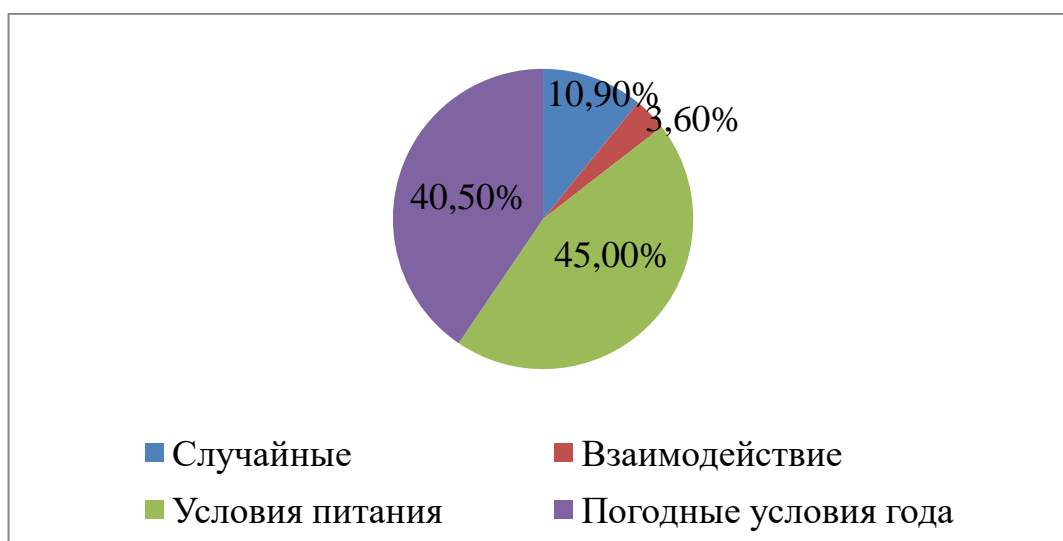


Рисунок 3.1 – Доля влияния факторов на урожайность зерна яровой пшеницы в годы проведения опыта, %

Урожайность зерна яровой пшеницы в 2020 г. получена в пределах 354–546 г/м², общая прибавка от использования биопрепаратов и азотного удобрения составила от 63 до 192 г/м² или от 18–54% относительно к фону с внесением фосфорных и калийных удобрений (Приложение А, Таблица А.1). В этот год от биопрепаратов урожай зерна на РК – фоне возрос на 18–43%. Максимальный эффект 43% получен от использования биопрепарата на основе штамма V417 и прибавка урожая зерна соответствовала внесению под культуру азотного удобрения в дозе N45. Увеличение дозы азотного удобрения в этот год не повысило прибавку масса зерна, которая

составила 192 г/м². В этот год эффекта от использования всех биопрепаратов на фоне с внесением азотного удобрения в дозе N45 не получено (Приложение А, Таблица А.1).

Во второй год проведения исследований при сложившихся погодных условиях урожайность зерна яровой пшеницы получена несколько ниже, по сравнению с 2020 годом и она изменялась от 269 до 422 г/м² (Таблица 3.1) В 2021 году результате инокуляции семян биопрепаратами урожайность зерна увеличилось на 84–111 г/м² или на 24–29% по отношению к фосфорно-калийном фону (Приложение А, Таблица А.2). Эффект от применения биопрепаратов на основе штамма V417 соответствовал внесению под яровой пшеницы азотного удобрения в дозе N45. Действие препаратов на основе штаммов Ч-13 и V167 уступало препарату на основе V417 и азотному удобрению в дозе N45. Удвоение дозы внесения азотного удобрения в 2021 году достоверно повысило урожайность зерна, прибавка составила 40 г/м² при значении наименьшей существенной разницы (НСР) 24 г/м² (Приложение А, Таблица А.2). На фоне с внесенным азотного удобрения в дозе N45 положительный эффект (прибавка выше значения НСР) получен от биопрепаратов, созданных на основе штаммов Ч-13 и V 167.

В третий год проведения опыта (2022 г.) урожайность зерна яровой пшеницы составила по вариантам опыта от 362 до 583 г/м², максимальный урожай 583 г/м² получен при внесении под яровую пшеницу N45 (Таблица 3.1) Прибавка от использования N45 составила 166 г/м², или 31% к РК-фону, и она уступала дозе азотного удобрения N90, где прибавка достигла 221 г/м² или 38% (Приложение А, Таблица А.3). Достоверная прибавка получена от всех изучаемых биопрепаратов, которая составила от 51 до 120 г/м² или 12–25% к РК-фону. В этот год биопрепараты на основе штаммов V167 и V417 превышали действие стандартного препарата Ч-13, и их эффект от обоих случаях получен равным.

В 2022 году в начале вегетационного периода наблюдалось избыточное увлажнение при незначительном количестве суммы положительных температур. В этих условиях применение биопрепаратов для инокуляции семян обеспечило положительный эффект на фоне с внесением азотного удобрения в дозе N45, прибавка

от инокуляции составили от 57 до 120 г/м² или 18–33%. Максимальная прибавка получена от биопрепарата, изготовленного на основе штамма Ч-13, действие биопрепаратов полученных на основе эндофитных бактерии уступало стандартному (Приложение А, Таблица А.3).

И так, результаты полевых исследований, проведенные в отдельные годы по оценке действия азотного удобрения и биопрепаратов показали их положительное влияние на увеличение урожая зерна яровой пшеницы и во все годы исследований максимальные прибавки (25–43%) получены от биопрепарата на основе эндофитного штамма V417. На фоне с внесением полного минерального удобрения (NPK) эффект от инокуляции семян определялся погодными условиями. При недостатке тепла и избытке атмосферных осадков в первую половину вегетации действие препаратов выше.

При обобщении полевых опытов по действию биопрепаратов было установлено, что наиболее полное представление об их действии дают результаты, полученные за несколько лет (Завалин, 2005; Алферов, 2020). Кроме того, существующая методология агрохимических исследований (Минеев и др., 2017) предусматривает проведение и обобщение результатов не менее двух лет, при этом, конечно, предпочтительнее данные, полученные в течение трех лет проведения опыта. Это дает возможность сгладить воздействие погодных и почвенных факторов на эффект, от применения удобрений и биопрепаратов.

В среднем за три года проведения микрополевого опыта на РК-фоне урожайность зерна яровой пшеницы на среднеокультуренной темно-серой лесной почве составила 328 г/м² и за счет регулирования условий питания при внесении азотного удобрения урожайность зерна возросла до 479–517 г/м² (Таблица 3.1). При инокуляции семян различными биопрепаратами урожайность зерна на РК-фоне достигла 397–456 г/м², на фоне с внесенным NPK- удобрений – 490– 497 г/м². Прибавка от применения биопрепаратов на РК-фоне составили 69–128 г/м² или 21–39%, при этом максимальная прибавка 128 г/м² (39%) получена от V417, затем следует штамм V167. Оба эти штамма по эффективности действия на урожайность зерна яровой пшеницы превышают стандартный, изготовленный с использованием

штамма Ч-13 (Таблица 3.2). Исходя из значения НСР, равного 20 г/м², действие препарата на основе штамма V417 на РК-фоне равноценно внесению под яровую пшеницу азотного удобрения в дозе N45. Увеличение дозы до N90 обеспечило дальнейшее достоверное увеличение урожайность зерна яровой пшеницы (прибавка составило 38 г/м²). И это закономерно, поскольку повышение доз азотного удобрения, как правило, обеспечивает рост прибавок урожая зерна яровой пшеницы (Шафран, 2022).

Таблица 3.2. – Прибавки урожая зерна яровой пшеницы от внесения азотного удобрения и инокуляции семян различными микробными препаратами, в среднем за три года

Вариант	Общая прибавка		Прибавка от N удобрения		Прибавка от биопрепарата	
	г/м ²	%	г/м ²	%	г/м ²	%
Фон 1: P45K45(Ф1)	0	0	–	–	–	–
Ф1+Экстрасол Ч-13– стандарт	69	21	–	–	69	21
Ф1+ эндофит штамм V 167	97	30	–	–	97	30
Ф1+эндофит штамм 417	128	39			128	39
Фон 2: N45P45K45 (Ф2)	151	46	151	46	–	–
Ф2+ Экстрасол Ч-13– стандарт	169	52	–	–	100	30
Ф2 + эндофит штамм V 167	158	48	–	–	61	19
Ф2 + эндофит штамм 417	152	46	–	–	24	7
N90P45K45	189	58	189	58	–	–
НСР ₀₅	20					

На фоне с внесенным полным минеральным удобрением максимальный эффект получен от использования стандартного биопрепарата, изготовленного на основе штамма Ч-13, где прибавка составила 100 г/м² или 30%, затем следует препарат на основе штамма V167 - 61 г/м² или 19%. На фоне с азотным удобрением от использования биопрепарата V417 достоверной прибавка урожая зерна не получено.

Масса побочной продукции яровой пшеницы при внесении под культуру азотного удобрения и при инокуляции семян биопрепаратами так же, как и зерна

возрастала (Таблица 3.3). Она различались по годам проведения опыта, что связано с воздействием на рост и развитие растений погодных условий вегетационного периода. Среднегодовая масса соломы составила 588 г/м², основное влияние на ее формирование оказали изученные факторы, в частности биопрепараты и удобрения, а также погодные условия (рис. 3.2) Действие последних было определяющим и составляло более семидесяти процентов.

На долю влияния условий минерального питания приходилось на порядок меньше 7,7%. Более высокое значение массы соломы было в 2020 и 2022 годах, меньше она была в 2021 году.

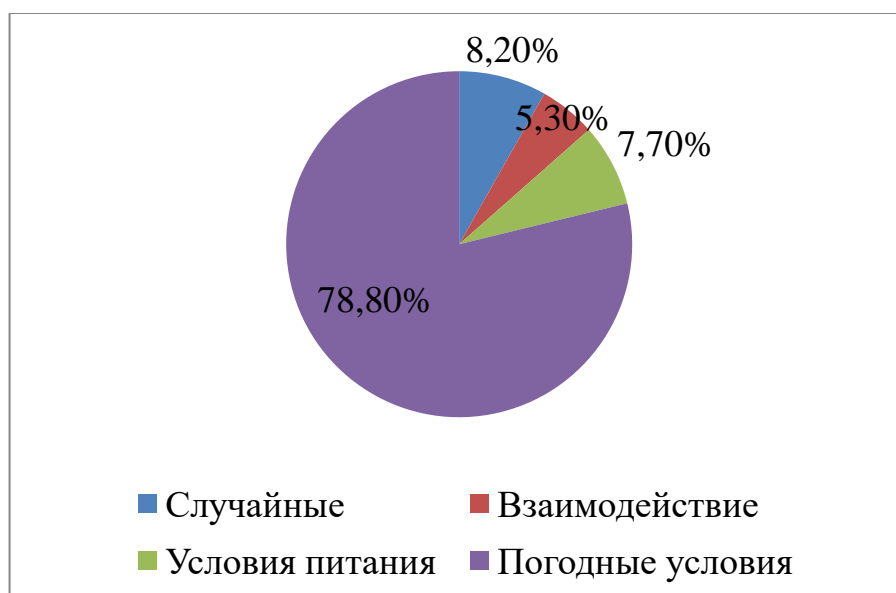


Рисунок 3.2 – Влияние факторов на изменение массы соломы яровой пшеницы в годы проведения опыта

Однако, остановимся на анализе данных, полученных в среднем за три года проведения опыта, где масса соломы под воздействием биопрепаратов и азотного удобрения повышалась с 499 г/м² (РК-фон) до 623–627 г/м². Инокуляции семян биопрепаратами на РК-фоне обеспечила увеличение массы соломы 67–90 г/м² или 13–18%. По эффективности влияние на этот показатель все биопрепараты были равноценны, поскольку прибавка массы соломы была в пределах значения наименьшей существенной разницы (Таблица 3.3).

Увеличение массы соломы от внесения под яровую пшеницу азотного удобрения в дозе N45 повысило массу соломы на 124 г/м² или на 25 относительных процентов, при этом полученное увеличение соответствовало изменению, происходящему при инокуляции семян яровой пшеницы изучаемыми биопрепаратами. Изменений массы соломы от возрастания дозы азотного удобрения в два раза не происходило. На фоне с внесением азотного удобрения в дозе N45 посев инокулированных семян не обеспечил увеличения масса соломы яровой пшеницы. Прибавки массы соломы от этого приема достигали 22–26% относительных и в абсолютном значениях соответствовали внесению N45.

Таблица 3.3 – Влияние азотного удобрения и микробных биопрепаратов на массу соломы яровой пшеницы в фазу полной спелости зерна

Вариант	Годы			Средняя		
	2020	2021	2022	солома	Прибавка	
	г/м ²				%	
Фон 1: P45K45(Ф1)	605	378	514	499	0	0
Ф1+Экстрасол Ч-13– стандарт	602	475	645	574	75	15
Ф1+ эндофит штамм V 167	626	400	672	566	67	13
Ф1+эндофит штамм 417	655	433	678	589	90	18
Фон 2: N45P45K45 (Ф2)	723	427	718	623	124	25
Ф2+ Экстрасол Ч-13– стандарт	692	417	725	611	112	22
Ф2 + эндофит штамм V 167	684	425	726	612	113	23
Ф2 + эндофит штамм 417	729	431	720	627	128	26
N90P45K45	659	399	723	594	95	19
P, %	4,8	6,2	1,9	3,8		
НСР ₀₅	93	77	18	62		

Таким образом, полученные сведения свидетельствуют о том, что биопрепараты увеличивают массу соломы только на фоне с внесением фосфорного и калийного удобрений. Эффект действия биопрепаратов равноценный внесению под яровую пшеницу азотного удобрения в дозе N45. Повышение дозы азота в два раза не

обеспечивает существенного изменения массы соломы. На фоне с внесением азотного удобрения изучаемые биопрепараты не повышают массу соломы яровой пшеницы, где прибавки ее соответствует внесению N45 (Таблица 3.3).

Под влиянием азотного удобрения и изучаемых биопрепаратов изменилось также накопление биомассы яровой пшеницы, в которую включено зерна и соломы (Таблица 3.4). Значение этого показателя необходимо для оценки влияния изучаемых факторов на величину хозяйственного коэффициента, а также для определения накопления в урожае основных элементов минерального питания и расчётов эффективного их использования на формирование урожая зерна.

Методом дисперсионного анализа установлена доля влияния факторов на формирование биомассу, которая достигает 95,4% (Рисунок 3.3). Из этих факторов преобладающее значение принадлежало погодным условиям (71,3%), доля влияния на биомассу изучаемых факторов составило 19,4%, от взаимодействия условий года и применяемых биопрепаратов и удобрения – 4,7%

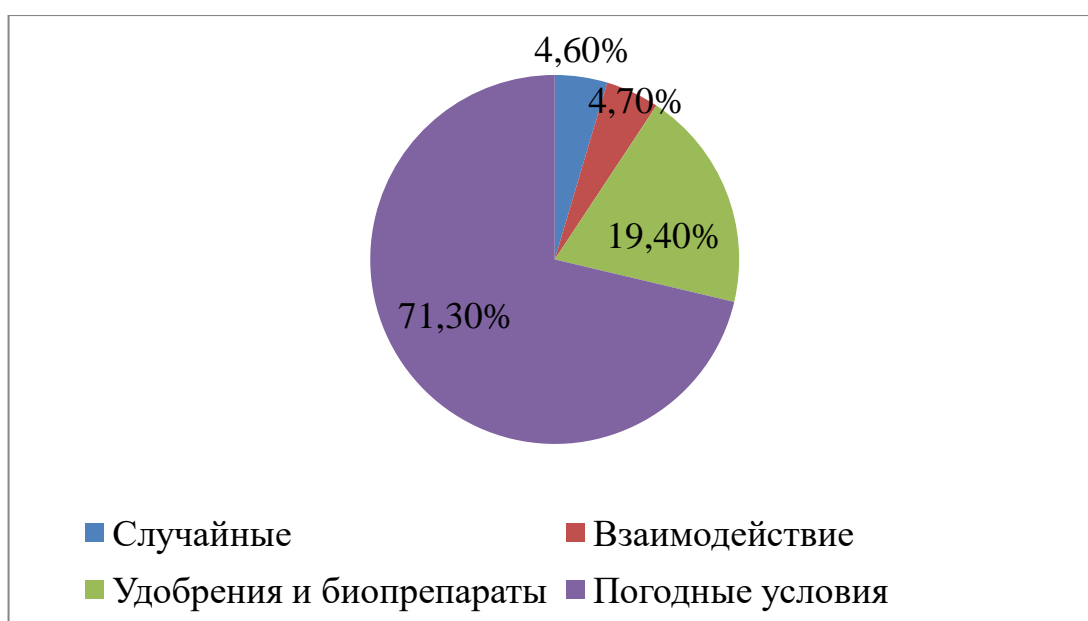


Рисунок 3.3 – Изменение биомассы яровой пшеницы под влиянием погодных условий вегетационного периода, удобрений и биопрепаратов, %

В 2020 и 2022 годах биомасса формировались более высокой по сравнению с 2021 годом, что, как уже отличалось выше, связано с воздействием на яровую пшеницу погодных условий вегетационного периода. В среднем за три года проведения опыта биомасса яровой пшеницы под влиянием азотного удобрения и изучаемых

биопрепаратов возросла по отношению к РК-фону на 133–287 г/м² или на 14–26% относительных. Все изучаемые биопрепараты на РК-фоне увеличили биомассу яровой пшеницы на 133–223 г/м² или на 14–17%. При этом биопрепарат, изготовленный на основе эндофитного штамма V417, обладал преимуществом по сравнению с двумя другими изучаемым штаммам.

Использование для инокуляции семян яровой пшеницы различных биопрепаратов не дало положительного эффекта на фоне с внесением N45 (Таблица 3.4), где увеличение биомассы составляло 271–285 г/м² или в среднем 25% по отношению к РК-фону.

Таблица 3.4 – Накопление биомассы яровой пшеницы (зерно + солома) при инокуляции семян биопрепаратами и внесении азотного удобрения

Вариант	Годы			Средняя		
	2020	2021	2022	биомасса	Прибавка	
	г/м ²				%	
Фон 1: P45K45(Ф1)	960	666	876	834	0	0
Ф1+Экстрасол Ч-13– стандарт	1020	824	1057	967	133	14
Ф1+ эндофит штамм V 167	1090	782	1130	1001	167	17
Ф1+эндофит штамм 417	1161	850	1160	1057	223	21
Фон 2: N45P45K45 (Ф2)	1251	819	1246	1105	271	25
Ф2+ Экстрасол Ч-13– стандарт	1238	821	1257	1105	271	25
Ф2 + эндофит штамм V 167	1206	870	1256	1111	277	25
Ф2 + эндофит штамм 417	1244	853	1259	1119	285	25
N90P45K45	1205	851	1306	1121	287	26
P, %	2,59	2,79	1,10	1,29		
НСР ₀₅	86	65	35	38		

По эффективности воздействия на биомассу яровой пшеницы эффект от штаммов V417, V167 и Ч-13 уступал внесению под яровую пшеницу азотного удобрения в дозе N45, от которого биомасса по отношению к РК-фону увеличились на

25%. Увеличение дозы внесения азотного удобрения в два раза не обеспечило существенного роста биомассы яровой пшеницы и составляло к РК-фону 26%.

Следовательно, биомасса яровой пшеницы увеличивается от биопрепаратов по отношению к РК-фону на 14–21%, при этом более высокий ее рост получен при инокуляции семян биопрепаратом на основе эндофитного штамма V417, который по эффективности равноценен внесению N45. На фоне с N45 дополнительного увеличения биомассы от биопрепаратов не происходит, равно как и от увеличения дозы азотного удобрения в двое.

Соотношение в биомассе зерна и соломы, как правило, обусловлено генетическими и сортовыми особенностями зерновых культур (Климашевский, 1991). Однако, не всегда, но может быть получен положительный эффект от воздействия внешних факторов, таких как изменение условий азотного питания, использования регуляторов роста растений, препаратов, которые уменьшают длину соломы (Жученко, 2004) Для яровой пшеницы доля зерна в общебиологическом урожае, как и для других зерновых культур, составляет менее половины.

Наши исследования показали, что значение хозяйственного коэффициента в урожае яровой пшеницы изменялось по годам проведения опыта (Таблица 3.5). В 2020 и 2022 годах он был меньше, по сравнению с 2021 годам, что объясняется воздействием погодных условий вегетационного периода. В 2020 г. хозяйственный коэффициент был 0,37–0,45, в 2021 г. 0,39–0,51 и в 2022 г. 0,39–0,45. Вместе с тем, чтобы получить более точные сведения о характере влияния изучаемых факторов на значение хозяйственного коэффициента рассмотрим его изменения в среднем за три года (Таблица 3.5).

В среднем за три года проведения опыта хозяйственный коэффициент составил 0,44, то есть в общебиологическом урожае доля зерна равняется 44%, соломы 56%. Исходя из значения наименьшей существенной разности (НСР) 0,05 достоверное увеличение доли зерна получено при внесении под яровую пшеницу азотного удобрения в дозе N90, а также при использовании биопрепаратов на основе

штаммов Ч-13, V167 и V417 на фоне полного минерального удобрения. Эндوفитные биопрепараты достоверно по отношению к РК-фону повышают долю зерна в общебиологическом урожае изучаемой культуры (Рисунок 3.4)

Таблица 3.5 – Значение хозяйственного коэффициента в урожае яровой пшеницы при использовании азотного удобрения и микробных биопрепаратов

Вариант	Годы			Средний		
	2020	2021	2022	хоз.коз.	Прибавка	
	значение					%
Фон 1: P45K45(Ф1)	0,37	0,41	0,41	0,40	0,00	0
Ф1+Экстрасол Ч-13– стандарт	0,41	0,43	0,39	0,41	0,01	2
Ф1+ эндوفит штамм V 167	0,43	0,47	0,41	0,44	0,04	9
Ф1+эндوفит штамм 417	0,44	0,47	0,42	0,44	0,04	11
Фон 2: N45P45K45 (Ф2)	0,42	0,47	0,42	0,44	0,04	9
Ф2+ Экстрасол Ч-13– стандарт	0,44	0,50	0,42	0,45	0,05	13
Ф2 + эндوفит штамм V 167	0,43	0,49	0,42	0,45	0,05	12
Ф2 + эндوفит штамм 417	0,42	0,47	0,43	0,44	0,04	10
N90P45K45	0,45	0,51	0,45	0,47	0,07	18
P, %	4,5	6,9	1,3	4,0		
НСР ₀₅	0,05	0,09	0,02	0,05		

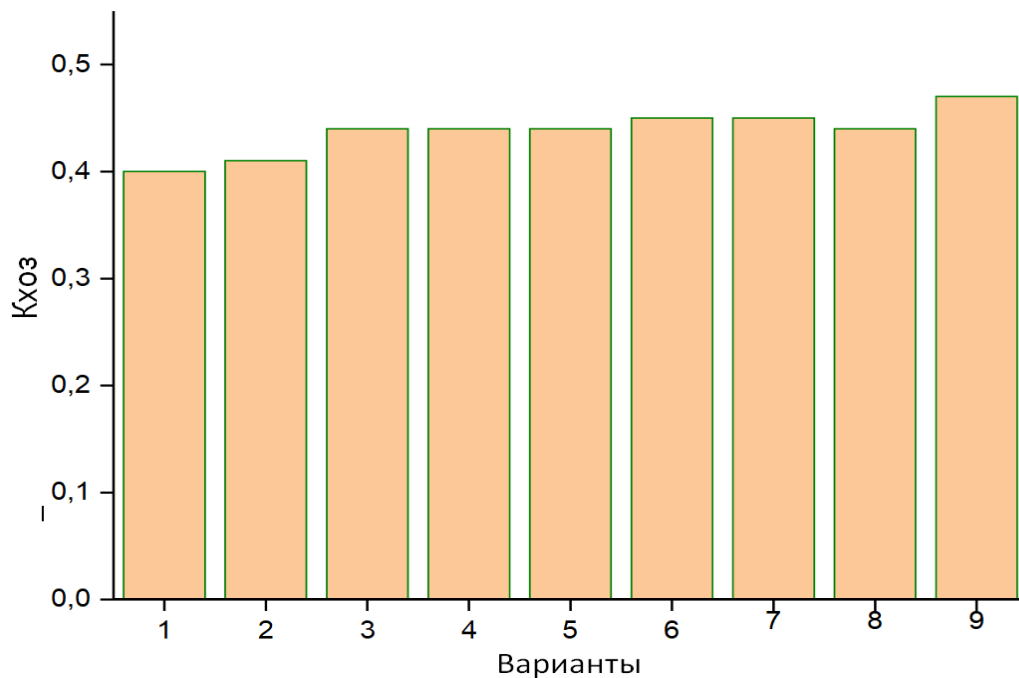


Рисунок 3.4 – Изменение хозяйственного коэффициента при использовании удобрений и биопрепаратов (в среднем за три года). НСР =0,05

При изменении условий минерального питания растений, прежде всего за счет внесения азотного удобрения, а также применения биопрепаратов наблюдается возрастание линейной длины или высоты растений (Рисунок 3.5).



Рисунок 3.5 – Высота растений в фазу колошения яровой пшеницы

Это связано с влиянием на растениям также микроорганизмов, входящих в состав биопрепаратов, которые обладают ростостимулирующим действием на растения яровой пшеницы (Нестеров и др., 2020).

Определение высота растений яровой пшеницы в годы проведения опыта (Таблица 3.6) показало положительное действие как азотного удобрения, так и исследуемых биопрепаратов на этот показатель. В 2020 г. по сравнению с РК-фоном высота растений достоверно возрастала от биопрепарата на основе штамма V167 и от внесения N45. В 2021 г. высота растений возрастала от препарата на основе Ч-13 и V417 на РК-фоне и от применения всех биопрепаратов на фоне с внесением азотного удобрения.

В 2022 г. когда в начале вегетационного периода испытывался слабый дефицит положительных температур воздуха использование всех биопрепаратов на обоих фонах удобрения способствовало увеличению высоты растений яровой пшеницы в фазу полной спелости зерна. В среднем за три года проведения опыта за счет внесения азотного удобрения в обеих дозах высота растений яровой пше-

ницы увеличилась на 8–9 см (Таблица 3.6). На такую же величину возростала высота растений при инокуляции семян всем изучаемыми биопрепаратами на РК-фоне. На фоне с внесением N45 исследуемые инокулянты не повышали высоту растений, которая соответствовала значению, полученному на РК-фоне.

Таблица 3.6 – Высота растений яровой пшеницы в фазу полной спелости зерна при использовании биопрепаратов и внесении азотного удобрения

Вариант	Годы			Средняя		
	2020	2021	2022	высота	прибавка	
	См					%
Фон 1: P45K45(Ф1)	107	100	107	105	0	0
Ф1+Экстрасол Ч-13– стандарт	111	112	118	114	9	9
Ф1+ эндофит штамм V 167	115	105	121	114	9	9
Ф1+эндофит штамм 417	111	107	121	113	8	8
Фон 2: N45P45K45 (Ф2)	113	105	121	113	8	8
Ф2+ Экстрасол Ч-13– стандарт	107	109	121	112	7	7
Ф2 + эндофит штамм V 167	111	110	119	113	8	8
Ф2 + эндофит штамм 417	109	109	119	112	7	7
N90P45K45	109	109	125	114	9	9
P, %	1,88	2,45	1,90	3,48		
НСР ₀₅	6,0	7,0	6,0	6		

Таким образом, инокуляция семян яровую пшеницы биопрепаратами, созданными на основе штаммов Ч-13, V167 и V417 повышает на 8–9 см высоту растений равноценно внесению на фоне – РК азотного удобрения в дозе N45.

Яровая пшеница в силу биологических особенностей характеризуется слабой кустистостью, которая в свою очередь может определяться воздействием погодных условий, в первую очередь наличием достаточного количество атмосферных осадков в фазу кущения (Завалин, 2003; Капко и др., 2016). Наши исследования показали, что, практически, во все годы проведения опыта продуктивная кустистость формировались относительно близкой по всем вариантам (Таблица 3.7). В 2020 г.

при инокуляции семян продуктивная кустистость повышалось с 1,04 до 1,10–1,18, в 2021 г. с 0,98 до 1,06–1,11 и в 2022 г. с 0,99 до 1,14–1,24. Это увеличение в целом соответствовало внесению под яровую пшеницу азотного удобрения в дозе N45. Увеличение дозы азота с N45 до N90 не способствовало увеличению продуктивной кустистости. На фоне с внесением полного минерального удобрения (NPK) применение в 2020 г. биопрепаратов на основе штамма Ч-13 увеличило до 1,30 продуктивную кустистость в фазу полной спелости зерна яровой пшеницы.

Таблица 3.7 – Изменения продуктивной кустистости яровой пшеницы при инокуляции семян биопрепаратами и внесении азотного удобрения

Вариант	Годы			Средняя		
	2020	2021	2022	куст.	прибавка	
	шт.					%
Фон 1: P45K45(Ф1)	1,04	0,98	0,99	1,00	0,00	0
Ф1+Экстрасол Ч-13– стандарт	1,18	1,07	1,14	1,13	0,13	13
Ф1+ эндофит штамм V 167	1,10	1,11	1,20	1,14	0,14	14
Ф1+эндофит штамм 417	1,06	1,06	1,24	1,12	0,12	12
Фон 2: N45P45K45 (Ф2)	1,05	1,05	1,16	1,09	0,09	9
Ф2+ Экстрасол Ч-13– стандарт	1,30	1,14	1,14	1,19	0,19	19
Ф2 + эндофит штамм V 167	1,10	1,10	1,20	1,13	0,13	13
Ф2 + эндофит штамм 417	1,06	1,13	1,16	1,12	0,12	12
N90P45K45	1,14	1,07	1,22	1,14	0,14	14
P, %	4,18	3,51	2,67	3,53		
НСР ₀₅	0,13	0,11	0,09	0,12		

В среднем за три года проведения опыта продуктивная кустистость по вариантам изменялось в пределах 1,00–1,14 (Таблица 3.7). Достоверно рост этого показателя получен при выращивании яровой пшеницы на РК-фоне с применением всех трех изучаемых биопрепаратов, прибавки составили 0,12–0,14. При внесении под яровую пшеницу азотного удобрения положительный эффект получен только при

дозе N90. На фоне с использованием N45 от биопрепаратов достоверного повышения продуктивной кустистости не происходило, хотя имело место тенденция ее повышения.

Следовательно, инокуляция семян изучаемыми в опыте биопрепаратами увеличивает на 0,12–0,14 единиц продуктивную кустистость яровой пшеницы на РК-фоне, что эквивалентно внесению N45. На фоне с N45 биопрепараты обеспечивают только тенденцию роста этого показателя.

Использование различных приемов возделывания яровой пшеницы влияет и на длину колоса (Краснова, 2016), которая изменяется от условий минерального питания растений, поскольку этот элемент служит важнейшим фактором регулирования ее урожайности и качества зерна (Завалин, Соколов, 2018). Во все годы исследований длина колоса яровой пшеницы под влиянием изучаемых биопрепаратов и азотного удобрения увеличивалась по отношению к РК-фону (Таблица 3.8). Среднем за три года проведения опыта длина колоса яровой пшеницы изменилась от 6,95 см (РК-фон) до 7,68 см.

Таблица 3.8 – Изменения длины колоса яровой пшеницы при использовании биопрепаратов и внесении азотного удобрения

Вариант	Годы			Средняя		
	2020	2021	2022	Длина	прибавка	
	См			%		
Фон 1: P45K45(Ф1)	6,51	7,17	7,17	6,95	0,00	0
Ф1+Экстрасол Ч-13– стандарт	7,25	8,07	7,54	7,62	0,67	10
Ф1+ эндофит штамм V 167	7,33	7,27	7,47	7,36	0,41	6
Ф1+эндофит штамм 417	7,03	7,97	8,04	7,68	0,73	11
Фон 2: N45P45K45 (Ф2)	7,45	7,33	7,82	7,53	0,58	8
Ф2+ Экстрасол Ч-13– стандарт	7,34	7,90	7,67	7,64	0,69	10
Ф2 + эндофит штамм V 167	7,18	8,03	7,57	7,59	0,64	9
Ф2 + эндофит штамм 417	7,14	7,63	7,60	7,46	0,51	7
N90P45K45	7,35	7,50	7,99	7,61	0,66	9
P, %	2,01	2,40	1,70	2,23		

НСР ₀₅	0,41	0,50	0,15	0,41		
-------------------	------	------	------	------	--	--

В 2020 г. увеличение длины колоса яровой пшеницы достигало 0,52–0,84 см, в 2021 г. – 0,1–0,86 см, в 2022 г. – 0,30–0,87 см. Средний максимальный рост длины колоса составил около 0,86 см. Этот рост происходил в результате внесения азотного удобрения и инокуляции семян исследуемыми в опыте микробными препаратами которые, как известно, обладают ростостимулирующим эффектом (Тихонович и др., 2005) и положительным влиянием на рост биомассы растений и накоплением в ней элементов питания (Алферов и др., 2019).

За счет изучаемых биопрепаратов длина колоса на РК-фоне увеличилось на 0,41–0,73 см, от внесения N45 на 0,58 см, то есть получен положительный эффект этих факторов (исходя из значения НСР = 0,41) и он был равноценным. На фоне с внесением N45 дальнейшего увеличения длины колоса от используемых биопрепаратов не происходило.

Таким образом, можно заключить, что инокуляция семян исследуемыми биопрепаратами на РК-фоне увеличивает длину колоса яровой пшеницы на 0,41–0,73 см, что равноценно действию азотного удобрения в дозе N45. Инокулянты при внесении N45 не влияют на длину колоса яровой пшеницы.

Условия вегетации растений, к которым относятся погодные условия и элементы агротехнологий (нормы высева семян, предшественники, различные удобрения и др.), существенно воздействуют на налив зерна, что приводит к изменению массы 1000 зёрен яровой пшеницы (Капко, Цильке, 2010; Пасынкова, Пасынков, 2020). Как правило, при недостатке атмосферных осадков в период налива зерна яровой пшеницы, масса 1000 зерен формируется значительно меньше по сравнению с годами, когда наблюдается достаточное или повышенное количество атмосферных осадков.

Определение массы 1000 зерен в годы проведения опыта показало, что этот показатель несколько различался. На массу 1000 зерен оказали влияние изучаемые в опыте биопрепараты и минеральные удобрения (Таблица 3.9). В первый год опыта масса 1000 зерен получена в пределах 39,7–41,5 г, во второй 36,5–45,1 г и в

третий год 42,4–46,0 г. Эти значения в целом соответствовали заявленным параметрам это сорта. Остановимся на изменениях массы 1000 зерен в среднем за три года. Эти данные с большей достоверностью показывают влияния азотного удобрения и биопрепаратов на массу тысячи зерен, поскольку включают больше число данных и нивелируют воздействие погодных условия на изучаемый показатель. В среднем по опыту масса 1000 зерен за 2020–2022 годы составила 42,5 г, колебания по вариантам опыта были в пределах от 39,5 до 44,0 г.

Таблица 3.9 – Изменения масса 1000 зерен яровой пшеницы при использовании биопрепаратов и внесении азотного удобрения

Вариант	Годы			Средняя		
	2020	2021	2022	масса	Прибавка	
	Г			%		
Фон 1: P45K45(Ф1)	39,7	36,5	42,4	39,5	0,0	0
Ф1 + Экстрасол Ч-13– стандарт	40,9	42,3	44,8	42,7	3,2	7
Ф1 + эндофит штамм V 167	40,9	41,4	44,6	42,3	2,8	7
Ф1 + эндофит штамм 417	41,5	45,8	42,7	43,3	3,8	9
Фон 2: N45P45K45 (Ф2)	41,3	44,1	46,5	44,0	4,5	10
Ф2 + Экстрасол Ч-13– стандарт	38,9	42,4	42,4	41,2	1,7	4
Ф2 + эндофит штамм V 167	40,9	43,2	44,9	43,0	3,5	8
Ф2 + эндофит штамм 417	40,9	43,6	44,8	43,1	3,6	8
N90P45K45	39,3	45,1	46,0	43,5	4,0	9
P, %	1,99	2,40	1,86	3,32		
HCP ₀₅	2,3	3,0	0,11	2,2		

Минимальная масса 1000 зерен сформирована на РК-фоне (39,5 г), в результате внесения азотного удобрения в дозах N45 и N90 масса 1000 зерен составляет 44,0 и 43,5 г соответственно. Объясняется это положительным влиянием азота на формирование зерновки за счет создания благоприятных условий для фотосинтеза (Павлов, 1984). Все изучаемые в опыте биопрепараты обеспечили на фоне РК-удобрений увеличение на 2,8–3,8 г массы 1000 зерен яровой пшеницы. При внесении N45 положительного влияния биопрепаратов на массу 1000 зерен не отмечено.

Резюме

Результаты полевых исследований, проведенные в отдельные годы по оценке действия азотного удобрения и биопрепаратов свидетельствуют о положительном влиянии на увеличение урожая зерна яровой пшеницы. Во все годы исследований максимальные прибавки (25–43%) получены от биопрепарата на основе эндофитного штамма V417. На фоне с внесением полного минерального удобрения (NPK) эффект от инокуляции семян определялся погодными условиями. При недостатке тепла и избытке атмосферных осадков в первую половину вегетации действие препаратов выше. Действие препарата на основе штамма V417 на РК-фоне равноценно внесению под яровую пшеницу азотного удобрения в дозе N45. Увеличение дозы до N90 обеспечило дальнейшее достоверное увеличение урожайности зерна яровой пшеницы (прибавка составила 38 г/м²).

На фоне с внесенным полным минеральным удобрением максимальный эффект получен от использования стандартного биопрепарата, изготовленного на основе штамма Ч-13, где прибавка составила 100 г/м² или 30%, затем следует препарат на основе штамма V167 61 г/м² или 19%. На фоне с азотным удобрением от использования биопрепарата V417 достоверной прибавка урожая зерна не получено.

Инокуляции семян биопрепаратами на РК-фоне обеспечила увеличение массы соломы 67–90 г/м² или 13–18%. По эффективности влияния на этот показатель все биопрепараты были эквивалентны. Увеличение массы соломы от внесения N45 повысило массу соломы на 124 г/м² или на 25% относительных, и это увеличение соответствовало изменению от инокуляции семян яровой пшеницы изучаемыми биопрепаратами.

Биомасса яровой пшеницы (зерно + солома) увеличивается от биопрепаратов по отношению к РК-фону на 14–21%, и более высокий ее рост получен при инокуляции семян биопрепаратом на основе эндофитного штамма V417, который по эффективности равноценен внесению N45. На фоне с N45 дополнительного увеличения биомассы от биопрепаратов не происходит, равно как и от увеличения дозы азотного удобрения.

Достоверное увеличение доли зерна получено при внесении под яровую пшеницу азотного удобрения в дозе N90, а также при использовании биопрепаратов на основе штаммов Ч-13, V167 и V417 на фоне полного минерального удобрения.

Инокуляция семян яровой пшеницы биопрепаратами, созданными на основе штаммов Ч-13, V167 и V417 увеличивают на 8–9 см высоту растений равноценно внесению азотного удобрения в дозе N45.

От инокуляции семян изучаемыми в опыте биопрепаратами повышается на 0,12–0,14 продуктивную кустистость яровой пшеницы на РК-фоне, что эквивалентно внесению N90. На фоне с N45 биопрепараты обеспечивают только тенденцию роста этого показателя.

От инокуляции семян исследуемыми биопрепаратами на РК-фоне увеличивается длина колоса яровой пшеницы на 0,41–0,73 см, то равноценно дозе N45. Инокулянты при внесении N45 не влияют на длину колоса яровой пшеницы.

Все изучаемые в опыте биопрепараты на фоне РК-удобрений повышают на 2,8–3,8 г массу 1000 зерен яровой пшеницы.

Глава 4. КАЧЕСТВО ЗЕРНА, ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ОСНОВНОЙ И ПОБОЧНОЙ ПРОДУКЦИИ

Качество зерна мягкой пшеницы согласно ГОСТ Р 52554-2006 оценивают по ряду параметров (цвет, запах, стекловидность, натура, влажность, сорная примеси). Однако, главными параметрами оценки зерна пшеницы служит массовая доля белка и массовая доля сырой клейковины в процентах. По содержанию белка и сырой клейковины зерно пшеницы разделяется на 5 классов, каждому из которых выделены характеристики и ограничительная норма для мягкой пшеницы (Таблица 4.1).

Таблица 4.1 – Характеристика и ограничительные нормы для классов зерна мягкой пшеницы (ГОСТ РФ 52554-2006)

Показатель	Класс качества зерна				
	1	2	3	4	5
Содержание белка % на сухое вещество, не менее	14,5	13,5	12,0	10,0	Не ограничено
Содержание сырой клейковины, % не менее	32,0	28,0	23,0	18,0	Не ограничено

В соответствии с ГОСТ 27839-2013, который регламентирует классификацию качества клейковины, получаемой из пшеничной муки, предусмотрены три группы качества I, II и III. Мука хлебопекарная и общего назначения, относящаяся к I (средняя + хорошая) должна иметь значение ИДК 57–77%; II (удовлетворительная слабая) – 78–102 и III (неудовлетворительная слабая) – 103 и более.

Определение содержания белка в зерне яровой пшеницы показало, что в результате внесения азотного удобрения и инокуляции семян яровой пшеницы биопрепаратами содержание белка возрастало во все годы проведения опыта (Таблица 4.2). В 2020 г. содержание белка в зерне увеличилось с 11,7 до 12,9%, в 2021 г. с 13,3 до 15,2% и в 2022 г. с 12,4 до 14,4%. Максимальное содержание белка в зерне яровой пшеницы получено в 2021 г. 12,8 – 15,2%, что объясняется благоприятными погодными условиями во время налива зерна. В среднем за три года проведения опыта содержание белка в зерне яровой пшеницы сорта Злата изменялось от 12,4 до 13,1–13,9% (Таблица 4.2).

Таблица 4.2 – Содержание белка в зерне яровой пшеницы, %

Вариант	Годы			Среднее	
	2020	2021	2022	содержание	+/-
Фон 1: P45K45(Ф1)	11,7	13,3	12,4	12,4	0,0
Ф1 + Экстрасол Ч-13– стандарт	12,5	12,8	12,3	12,5	0,1
Ф1 + эндофит штамм V 167	12,6	13,9	12,3	12,9	0,5
Ф1 + эндофит штамм 417	12,5	13,0	12,4	12,6	0,2
Фон 2: N45P45K45 (Ф2)	11,9	13,3	12,8	12,7	0,2
Ф2 + Экстрасол Ч-13– стандарт	12,3	13,8	13,2	13,1	0,7
Ф2 + эндофит штамм V 167	12,9	14,7	13,2	13,6	1,2
Ф2 + эндофит штамм 417	12,7	14,5	13,4	13,5	1,1
N90P45K45	12,1	15,2	14,4	13,9	1,5

Это увеличение связано с воздействием азота, внесенного в составе минеральных удобрений, особенно в дозе N90. При этой дозе содержание белка получено максимальным – 13,9%. При дозе внесения N45 содержание белка в зерне яровой пшеницы не изменялось по сравнению с РК фоном. В результате инокуляции семян изучаемыми биопрепаратами на РК фоне содержание в зерне белка не изменялось, что связано с увеличением массы зерна от этого приема и недостаточного обеспечения растений доступными формами минерального азота (Завалин, 2022). Инокуляция семян микробными биопрепаратами способствовала повышению содержания белка в зерне яровой пшеницы на 0,7–1,2%, при этом имело место тенденция повышения белковости от биопрепаратов на основе штаммов V167 и V417 по сравнению с стандартом Ч-13.

Вторым важным показателем качества зерна яровой пшеницы служит содержание сырой клейковины (Таблица 4.3).

Таблица 4.3 – Содержание сырой клейковины в зерне яровой пшеницы при использовании азотного удобрения и микробных препаратов

Вариант	Годы			Среднее	
	2020	2021	2022	содержание	+/-
Фон 1: P45K45(Ф1)	22,6	26,4	24,1	24,4	0,0
Ф1 + Экстрасол Ч-13– стандарт	23,7	24,1	24,0	23,9	-0,5
Ф1 + эндофит штамм V 167	22,1	27,3	23,8	24,4	0,0
Ф1 + эндофит штамм 417	21,4	26,8	24,1	24,1	-0,3
Фон 2: N45P45K45 (Ф2)	22,5	29,1	25,0	25,5	1,1
Ф2 + Экстрасол Ч-13– стандарт	23,2	25,4	25,7	24,8	0,4
Ф2 + эндофит штамм V 167	23,8	27,1	25,7	25,5	1,1
Ф2 + эндофит штамм 417	22,5	25,4	26,1	24,7	0,3
N90P45K45	23,2	27,5	27,9	26,2	1,8

Этот показатель изменялся во все годы проведения опыта при использовании биопрепаратов и за счет внесения азотного удобрения: в 2020 г. от 21,4 до 23,8%, в 2021 г. от 24,1 до 27,5% и в 2022 г. от 23,8 до 27,9%. Эти изменения связаны с различным содержанием в зерне белка поскольку эти показатели взаимосвязаны (Павлов, 1984). Остановимся на анализе данных по содержанию сырой клейковины в зерне яровой пшеницы в среднем за три года проведения опыта (Таблица 4.3). При изменении условия азотного питания за счет внесения азотного удобрения содержание сырой клейковины возрастало с средним за три года с 24,4 до 25,5% и 26,2%, при этом максимальное накопление сырой клейковины достигнуто при внесении N90, где прибавка к РК-фону составил 1,8%, от внесения N45 это увеличение составило 1.1%. На РК-фоне от всех биопрепаратов эффекта не получено (Таблица 4.3). Использование биопрепаратов для инокуляции семян при внесении N45 обеспечило лишь слабую тенденцию увеличения содержания в зерне сырой клейковины от биопрепарата V167.

На приборе ИДК определяли качество сырой клейковины, которое оценивается в единицах ИДК (Таблица 4.4).

Таблица 4.4 – Действие удобрений и биопрепаратов на качество сырой клейковины зерна яровой пшеницы, ед. ИДК

Вариант	Годы			Среднее	
	2020	2021	2022	Идк	Изменение
Фон 1: P45K45(Ф1)	85,6	78,7	82,2	82,2	0,0
Ф1 + Экстрасол Ч-13– стандарт	84,1	86,4	81,1	83,9	1,7
Ф1 + эндофит штамм V 167	84,4	109,7	89,3	94,5	12,3
Ф1 + эндофит штамм 417	97,5	105,7	97,2	100,1	17,9
Фон 2: N45P45K45 (Ф2)	99,7	98,7	94,5	97,6	15,4
Ф2 + Экстрасол Ч-13– стандарт	80,4	94,5	88,5	87,8	5,6
Ф2 + эндофит штамм V 167	90,8	75,7	81,3	82,6	0,4
Ф2 + эндофит штамм 417	77,6	77,3	82,1	79,0	-3,2
N90P45K45	78,6	86,6	84,2	83,1	0,9

При обобщении показателей качества зерна по содержанию в нем белки и сырой клейковины установлено, что при использовании азотного удобрения и биопрепаратов оно (зерно) соответствовало третьему классу качества (Таблица 4.5).

Во все годы проведения опыта значение ИДК изменялось от 77 до 105% единиц ИДК. Этот показатель несколько изменялся в годы проведения опыта и составлял в 2020 г. 78–99, в 2021 г. – 75–109 и в 2022 г. – 81–97 ед. ИДК. В среднем за годы проведения опыта на РК-фоне значение ИДК составило 82,2 ед. ИДК.

Таблица 4.5 – Класс качества зерна яровой пшеницы по содержанию белка и сырой клейковины, в среднем за 3 года

Вариант	Класс по содержанию белка	Класс по содержанию сырой клейковины	Общий класс качества	Группа качества клейковины по ИДК
Фон 1: P45K45(Ф1)	3	3	3	II удовлетворительная слабая
Ф1 + Экстрасол Ч-13– стандарт	3	3	3	то же
Ф1 + эндофит штамм V 167	3	3	3	то же
Ф1 + эндофит штамм 417	3	3	3	то же
Фон 2: N45P45K45 (Ф2)	3	3	3	то же

Ф2 + Экстрасол Ч-13– стандарт	3	3	3	то же
Ф2 + эндофит штамм V 167	3	3	3	то же
Ф2 + эндофит штамм 417	2	3	3	то же
N90P45K45	2	3	3	то же

В результате внесения азотного удобрения и инокуляции семян биопрепараты, изготовленным на основе стандартного и экспериментальных штаммов, изменения по отношению к РК-фону составили от минус 3,2 до 17,9 ед. ИДК. Максимальные изменения (12,3–15,4 ед.) происходили при использовании биопрепаратов V167 и V417, а также при внесении под пшеницу N45. Исхода из параметров предусмотренных ГОСТ 27839-2013, в нашем опыте получаемое зерно в 2020 году и в 2022 году соответствовало второй группе –удовлетворительно слабая (78–102 ед. ИДК). В 2021 г. при использовании эндофитных биопрепаратов зерно по показателю ИДК относится к III группе – неудовлетворительно слабая.

Группа качества клейковины по показателю индекса деформации во всех вариантах оценивается как вторая удовлетворительно слабая. Полученное зерно яровой пшеницы пригодно для использования на хлебопекарные цели.

Определение химического состав зерна и соломы проводили в фазу полной спелости (уборки). Содержание азота в зерне несколько изменялось в годы проведения полевого опыта, что связано с воздействием погодных условий и применяемых азотного удобрения и микробных биопрепаратов. Содержание в зерне азота в 2020 г. изменялось от 2,05 до 2,22%, в 2021 г. – 2,24 до 2,67% и в 2022 г. от 2,15 до 2,52% (Таблица 4.6).

Таблица 4.6 – Содержание азота (N) в зерне яровой пшеницы при использовании азотного удобрения и микробных препаратов, % на сухое вещество

Вариант	Годы			Среднее	
	2020	2021	2022	содержание	+/-
Фон 1: P45K45(Ф1)	2,05	2,33	2,17	2,18	0,00
Ф1 + Экстрасол Ч-13– стандарт	2,19	2,24	2,16	2,20	0,02
Ф1 + эндофит штамм V 167	2,21	2,43	2,15	2,26	0,08

Ф1 + эндофит штамм 417	2,20	2,28	2,17	2,22	0,04
Фон 2: N45P45K45 (Ф2)	2,08	2,34	2,25	2,22	0,04
Ф2+ Экстрасол Ч-13– стандарт	2,15	2,42	2,32	2,30	0,12
Ф2 + эндофит штамм V 167	2,26	2,58	2,32	2,39	0,21
Ф2 + эндофит штамм 417	2,22	2,54	2,35	2,37	0,19
N90P45K45	2,12	2,67	2,52	2,44	0,26

В среднем за три года содержание азота в зерне составляло от 2,18 до 2,44%, изменения к РК-фону колебались от 0,02 до 0,26% абсолютных. При использования биопрепаратов содержание азота в зерне по отношению к РК-фону не изменялось (прибавки составили 0,02–0,08%), что соответствовало значению, полученному при внесении под яровую пшеницу азотного удобрения в дозе N45. При внесении N90 содержание азота в зерне по отношению к РК-фону увеличилось на 0,26%, что можно считать достоверным исходя из того, что оно (увеличение) составило 12 относительных процентов. При выращивании семян инокулированных биопрепаратами, на фоне N45 отмечена положительная тенденция роста содержания азота в зерне на 0,12 – 0,19% к РК-фону (Таблица 4.6).

Таким образом, в зерне яровой пшеницы возрастает содержание азота при внесении удобрения в дозе N90. От применения биопрепаратов содержание азота в зерне имеет тенденцию роста на фоне с внесением полного минерального удобрения.

Содержание фосфора в зерне яровой пшеницы годы проведения опыта было не постоянным и изменялось с 0,63% до 0,85% в 2020 г. с 0,46 до 0,56% в 2021 г. и с 0,71 до 0,83% в 2022 г. (Таблица 4.7).

Таблица 4.7 – Содержание фосфора (P_2O_5) в зерне яровой пшеницы при использовании азотного удобрения и микробных препаратов, % на сухое вещество

Вариант	Годы			Среднее	
	2020	2021	2022	содержание	+/-
Фон 1: P45K45(Ф1)	0,66	0,47	0,75	0,63	0,00
Ф1 + Экстрасол Ч-13– стандарт	0,81	0,46	0,76	0,68	0,05
Ф1 + эндофит штамм V 167	0,63	0,47	0,71	0,60	-0,03
Ф1 + эндофит штамм 417	0,85	0,45	0,71	0,67	0,04
Фон 2: N45P45K45 (Ф2)	0,76	0,49	0,83	0,69	0,06
Ф2 + Экстрасол Ч-13– стандарт	0,87	0,54	0,77	0,73	0,10
Ф2 + эндофит штамм V 167	0,97	0,55	0,80	0,77	0,14
Ф2 + эндофит штамм 417	0,78	0,56	0,72	0,69	0,06
N90P45K45	0,82	0,52	0,79	0,71	0,08

Минимальное содержание P_2O_5 зерне наблюдалось в 2021 г. что, вероятно, связано с воздействием погодных условий. В среднем за три года содержание фосфора в зерне яровой пшеницы сорта Злата изменялось от 0,60 – 0,63% до 0,71–0,77%. На РК-фоне применение для инокуляции семян всех изучаемых в опыте биопрепаратов существенно не отразилось на содержании в зерне фосфора, которое составляло 0,60–0,67%. Примерно на такую же величину происходили изменения содержания фосфора от внесения азотного удобрения в дозах N45 и N90. Биопрепараты, оцениваемые в опыте, существенно не влияли на содержание P_2O_5 зерне хотя от использования Ч-13 и V167 отмечается слабая тенденция ее повышения (прибавки к РК-фону составили от 0,10 до 0,14%).

Определение содержание в зерне яровой пшеницы калия установило слабое его изменения от вносимого азотного удобрения и применяемых биопрепаратов (Таблица 4.8). Минимальное содержание P_2O_5 зерне наблюдалось в 2021 г. что, вероятно, связано с воздействием погодных условий. В среднем за три года содержание фосфора в зерне яровой пшеницы сорта Злата изменялось от 0,60 – 0,63% до 0,71–0,77%. На РК-фоне применение для инокуляции семян всех изучаемых в опыте биопрепаратов существенно не отразилось на содержании в зерне фосфора,

которое составляло 0,60–0,67%. Примерно на такую же величину происходили изменения содержания фосфора от внесения азотного удобрения в дозах N45 и N90. Биопрепараты, оцениваемые в опыте, существенно не влияли на содержание P_2O_5 зерне хотя от использования Ч-13 и V167 отмечается слабая тенденция ее повышения (прибавки к РК-фону составили от 0,10 до 0,14%).

Во все три года проведения опыта содержание калия было близким и составляло в 2020 г. 0,51–0,71%, в 2021 г. – 0,50–0,57% в 2022 г. – 0,5 – 0,66%. В среднем за три года в зерне яровой пшеницы содержание калия составляло от 0,53 – 0,54% до 0,58% на сухое вещество. От внесения азотного удобрения в обеих дозах содержание калия в зерне не изменялось по отношению к РК-фону. Аналогичная закономерность отмечена и при инокуляции семян исследуемыми биопрепаратами (Таблица 4.8)

Таблица 4.8 – Содержание калия (K_2O) в зерне яровой пшеницы при использовании азотного удобрения и микробных препаратов, % на сухое вещество

Вариант	Годы			Среднее	
	2020	2021	2022	содержание	+/-
Фон 1: P45K45(Ф1)	0,58	0,50	0,54	0,54	0,00
Ф1 + Экстрасол Ч-13– стандарт	0,64	0,54	0,54	0,57	0,03
Ф1 + эндофит штамм V 167	0,72	0,54	0,54	0,60	0,06
Ф1 + эндофит штамм 417	0,53	0,46	0,59	0,53	-0,01
Фон 2: N45P45K45 (Ф2)	0,56	0,51	0,58	0,55	0,01
Ф2 + Экстрасол Ч-13– стандарт	0,54	0,50	0,66	0,57	0,03
Ф2 + эндофит штамм V 167	0,50	0,57	0,66	0,58	0,04
Ф2 + эндофит штамм 417	0,51	0,54	0,51	0,52	-0,02
N90P45K45	0,53	0,51	0,62	0,55	0,01

Следовательно, содержание фосфора и калия в зерне яровой пшеницы существенно не изменяется от внесения азотного удобрения и инокуляции семян исследуемыми биопрепаратами и составляет в среднем за три года 0,65–0,77% P_2O_5 и 0,55 – 0,57% K_2O на сухое вещество.

Исследовано также содержание основных элементов питания в соломе яровой пшеницы при внесении азотного удобрения и при использования микробных биопрепаратов. Содержание в соломе азота несколько изменялось по годам проведения опыта и составляло в 2020 г. – 0,57–0,82%, в 2021 г. – 0,75–0,79% и в 2022 г. – 0,55 – 0,72% (Таблица 4.9).

Таблица 4.9 – Содержание азота (N) в соломе яровой пшеницы при использовании азотного удобрения и микробных препаратов, % на сухое вещество

Вариант	Годы			Среднее	
	2020	2021	2022	содержание	+/-
Фон 1: P45K45(Ф1)	0,57	0,79	0,59	0,65	0,00
Ф1+Экстрасол Ч-13– стандарт	0,61	0,83	0,55	0,66	0,01
Ф1+ эндофит штамм V 167	0,57	0,73	0,59	0,63	-0,02
Ф1+эндофит штамм 417	0,58	0,74	0,58	0,63	-0,02
Фон 2: N45P45K45 (Ф2)	0,55	0,76	0,55	0,62	-0,03
Ф2+ Экстрасол Ч–13– стандарт	0,69	0,82	0,60	0,70	0,05
Ф2 + эндофит штамм V 167	0,76	0,75	0,61	0,71	0,06
Ф2 + эндофит штамм 417	0,65	0,73	0,62	0,67	0,02
N90P45K45	0,82	0,75	0,72	0,76	0,11

Максимальное содержание в соломе азота получено при внесении под яровую пшеницу азотного удобрения в дозе N90. Следует подчеркнуть, что при инокуляции семян исследуемыми в опыте биопрепаратами содержание азота в соломе было таким же, как при внесении азотного удобрения в дозе N45. На фоне с внесением полного минерального удобрения содержание азота в соломе от биопрепаратов существенно не изменялось и составляло в среднем за три года 0,67 – 0,71%.

В соломе яровой пшеницы содержание фосфора, также как и содержание азота, несколько различалось по годам проведения опыта и составляло в 2020 г. от 0,18 до 0,30%, в 2021 г. от 0,23 до 0,31 и в 2022 г. от 0,23 до 0,30%, с увеличением массы соломы за счет применения азотного удобрения и инокуляции семян исследуемыми биопрепаратами наблюдали снижение содержания P_2O_5 , происходило это за счет ростового разбавления (Таблица 4.10).

Таблица 4.10 – Содержание фосфора (P_2O_5) в соломе яровой пшеницы при использовании азотного удобрения и микробных препаратов, % на сухое вещество

Вариант	Годы			Среднее	
	2020	2021	2022	содержание	+/-
Фон 1: P45K45(Ф1)	0,28	0,37	0,30	0,32	0,00
Ф1 + Экстрасол Ч-13- стандарт	0,23	0,27	0,23	0,24	-0,08
Ф1 + эндофит штамм V 167	0,25	0,23	0,27	0,25	-0,07
Ф1 + эндофит штамм 417	0,22	0,33	0,30	0,28	-0,04
Фон 2: N45P45K45 (Ф2)	0,30	0,27	0,23	0,27	-0,05
Ф2 + Экстрасол Ч-13– стандарт	0,18	0,31	0,27	0,25	-0,07
Ф2 + эндофит штамм V 167	0,20	0,25	0,23	0,23	-0,09
Ф2 + эндофит штамм 417	0,30	0,25	0,26	0,27	-0,05
N90P45K45	0,23	0,31	0,31	0,28	-0,04

Аналогичная закономерность отмечена и в среднем за три года проведения опыта, где содержание P_2O_5 в соломе снизилось с 0,32% (РК-фон) до 0,23–0,28%. Различий по дозам внесения азотного удобрения и применяемым в опыте биопрепаратам не обнаружено.

Следовательно, содержание в соломе яровой пшеницы фосфора не изменяется от внесения азотного удобрения и применяемых биопрепаратов и составляют 0,23–0,28% P_2O_5 на сухое вещество.

Содержание калия в соломе яровой пшеницы сорта Злата несколько изменялось в годы проведения опыта и в среднем за 2020 – 2022 г. составляло 1,28 – 1,45% (Таблица 4.11).

Таблица 4.11 – Содержание калия (K_2O) в соломе яровой пшеницы при использовании азотного удобрения и микробных препаратов, % на сухое вещество

Вариант	Годы			Среднее	
	2020	2021	2022	содержание	+/-
Фон 1: P45K45(Ф1)	1,73	1,04	1,26	1,34	0,0
Ф1 + Экстрасол Ч-13 – стандарт	1,73	1,14	1,16	1,34	0,0
Ф1 + эндофит штамм V 167	1,40	1,66	1,29	1,45	0,1
Ф1 + эндофит штамм 417	1,42	1,18	1,19	1,26	-0,1

Фон 2: N45P45K45 (Ф2)	1,48	1,19	1,16	1,28	-0,1
Ф2 + Экстрасол Ч-13- стандарт	1,59	1,27	1,22	1,36	0,0
Ф2 + эндофит штамм V 167	1,62	1,24	1,05	1,30	0,0
Ф2 + эндофит штамм 417	1,45	1,32	1,22	1,33	0,0
N90P45K45	1,42	1,42	1,16	1,33	0,0

В отдельные же годы проведения опыта содержание в соломе калия несколько различалось и было 1,40–1,73% в 2020 г. 1,04–1,42 в 2021 г. и 1,05–1,26% в 2022 г. Эти изменения главным образом, связана с воздействием погодных условий в период вегетации растений яровой пшеницы. В среднем же за три года, когда нивелируется воздействие условий отдельных вегетационных периодов, содержание в соломе K_2O по всем вариантам было примерно равноценным и составляет 1,34–1,45% на сухое вещество.

Резюме

В среднем за три года проведения опыта содержание белка в зерне яровой пшеницы изменялось от 12,4 до 13,1–13,9%. Инокуляция семян микробными биопрепаратами способствовала повышению содержания белка в зерне яровой пшеницы на 0,7–1,2%, при этом имело место тенденция повышения белковости от биопрепаратов на основе штаммов V167 и V417 по сравнению с стандартом Ч-13. При изменении условия азотного питания за счет внесения азотного удобрения содержание сырой клейковины возрастало с средним за три года с 24,4 до 25,5% и 26,2%, при этом максимальное накопление сырой клейковины достигнуто при внесении N90, где прибавка к РК-фону составил 1,8%, от внесения N45 это увеличение составило 1,1%. При внесении N45 инокуляция семян обеспечило слабую тенденцию увеличения содержания в зерне сырой клейковины от биопрепарата V167. Получаемое зерно в 2020 году и в 2022 году соответствовало второй группе – удовлетворительно слабая (78–102 ед. ИДК). В 2021 г. при использовании эндофитных биопрепаратов зерно по показателю ИДК относится к III группе – неудовлетворительно слабая.

При обобщении показателей качества зерна по содержанию в нем белки и сырой клейковины установлено, что при использовании азотного удобрения и биопрепаратов оно (зерно) соответствовало третьему классу качества. Группа качества клейковины по показателю индекса деформации во всех вариантах оценивается как вторая удовлетворительно слабая.

В зерне яровой пшеницы возрастает содержание азота при внесении удобрения в дозе N90. От применения биопрепаратов содержание азота в зерне имеет тенденцию роста на фоне с внесением полного минерального удобрения. Содержание фосфора и калия в зерне яровой пшеницы существенно не изменяется от азотного удобрения и исследуемых биопрепаратов и составляет в среднем за три года 0,65–0,77% P_2O_5 и 0,55 – 0,57% K_2O на сухое вещество. При инокуляции семян исследуемыми в опыте биопрепаратами содержание азота в соломе было таким же, как при внесении N45. На фоне с внесением NPK содержание азота в соломе существенно не изменяется и составляет в среднем за три года 0,67 – 0,71%. Содержание в соломе яровой пшеницы фосфора и калия не изменяется азотного удобрения и биопрепаратов, и составляют 0,23 – 0,28% P_2O_5 и 1,34 – 1,45% K_2O на сухое вещество.

Глава 5. КОНТРОЛЬ МИНЕРАЛЬНОГО ПИТАНИЯ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ В ФАЗУ ЦВЕТЕНИЯ

Фазу цветения, когда происходит интенсивное накопление биомассы и потребление растениями элементов питания (Павлов, 1984), обычно используют для контроля минерального питания растений яровой пшеницы и оценки действия применяемых минеральных удобрений (Аморов, Толокнов, 2019; Пасько, Федюшкин, 2018). Контроль осуществляют по накоплению биомассы и содержанию в ней элементов питания.

Масса растений яровой пшеницы в фазу цветения в 2020 г. изменялась от 602 до 824 г/м², в 2021 г. от 587 до 773 г/м² и от 568 до 792 г/м² в 2022 г. (Таблица 5.1).

Таблица 5.1 – Биомасса растений в фазу цветения яровой пшеницы при использовании биопрепаратов и азотного удобрения

Вариант	Годы			Средняя		
	2020	2021	2022	биом.	прибавка	
	г/м ²					%
Фон 1: P45K45(Ф1)	602	587	568	585	0	0
Ф1+Экстрасол Ч-13– стандарт	695	647	671	671	86	13
Ф1+ эндофит штамм V 167	733	597	665	665	80	12
Ф1+эндофит штамм 417	810	610	712	710	125	18
Фон 2: N45P45K45 (Ф2)	837	649	740	742	157	21
Ф2+ Экстрасол Ч-13– стандарт	820	668	746	744	159	21
Ф2 + эндофит штамм V 167	800	670	736	735	150	20
Ф2 + эндофит штамм 417	824	688	757	756	171	23
N90P45K45	811	773	792	792	207	26
P, %				5,4		
НСР ₀₅				113		

Во все годы за счет внесения под яровую пшеницу азотного удобрения в обеих дозах надземная биомасса возрастала по отношению РК-фону и составила в среднем за три года 21 и 26 относительных процентов. При этом рост массы растений по дозам N45 и N90 был идентичным, соответственно 157 и 207 г/м², различия по дозам составили 50 г/м², что меньше значения НСР, равной 113 г/м². Инокуляция семян яровой пшеницы биопрепаратами на основе штаммов Ч-13, V167 обеспечила только тенденцию роста биомассы яровой пшеницы, тогда как от инокуляции семян биопрепаратом на основе штамма V417 получено достоверное ее увеличение по отношению к РК-фону. Высев инокулированных семян яровой пшеницы на фоне с внесением полного минерального удобрения не обеспечил существенного увеличения биомассы растений в фазу цветения яровой пшеницы. В эту фазу получена только тенденция увеличения массы растений от биопрепарата на основе штамма V417.

Таким образом, биомасса растений яровой пшеницы в фазу цветения достоверно возрастает от инокуляции семян биопрепаратом на основе эндофитного штамма V417 и она (биомасса) равноценна внесению азотного удобрения в дозе N45. Повышения дозы до N90 обеспечивает тенденцию роста биомассы растений. На фоне с внесением N45 получена только положительная тенденция увеличения биомассы растений от биопрепарата на основе штамма V417.

В целях диагностики азотного питания яровой пшеницы определяли содержание азота в растениях в фазу колошения (Таблица 5.2). Уставлено, что во все годы проведения опыта под влиянием вносимого азотного удобрения и инокуляции семян биопрепаратами в растениях возрастало содержание азота, что свидетельствует об улучшении азотного питания яровой пшеницы. В первый год опыта содержание азота в растениях увеличивалось с 1,45 до 1,53–1,84%, во второй с 1,40 до 1,55–1,86% и в третий с 1,46 до 1,56–1,83%. Максимальное повышение содержания азота в растениях яровой пшеницы на 0,34% в фазу кущения происходило при внесении азотного удобрения в дозе N90, при внесении N45 содержание азота в растениях увеличилось по отношению к РК-фону на 0,22%.

При использовании для инокуляции семян микробных препаратов содержание азота в растениях яровой пшеницы возрастало на 0,10% по препарату Ч-13 и 0,21% при использовании обоих эндофитных штаммов V167 и V417. Действие обоих биопрепаратов на содержание азота было равноценно внесению под яровую пшеницу N45. На фоне с внесением азотного удобрения, хотя и происходило увеличение содержания азота в растениях по сравнению с РК-фоном, но по отношению к фону полного минерального удобрения его рост получен только от использования препарата V167.

Таблица 5.2 – Содержание азота (N) в растениях в фазу цветения яровой пшеницы при использовании биопрепаратов и азотного удобрения

Вариант	Годы			Среднее		
	2020	2021	2022	со-дер.	прибавка	
	%					отн. %
Фон 1: P45K45(Ф1)	1,45	1,40	1,53	1,46	0,00	0
Ф1 + Экстрасол Ч-13– стандарт	1,53	1,55	1,60	1,56	0,10	6
Ф1 + эндофит штамм V 167	1,59	1,68	1,73	1,67	0,21	12
Ф1 + эндофит штамм 417	1,60	1,67	1,73	1,67	0,21	12
Фон 2: N45P45K45 (Ф2)	1,56	1,75	1,74	1,68	0,22	13
Ф2 + Экстрасол Ч-13– стандарт	1,66	1,81	1,63	1,70	0,24	14
Ф2 + эндофит штамм V 167	1,77	1,86	1,87	1,83	0,37	20
Ф2 + эндофит штамм 417	1,65	1,76	1,80	1,74	0,28	16
N90P45K45	1,84	1,75	1,82	1,80	0,34	19
P, %				1,86		
НСР ₀₅				0,09		

Таким образом, инокуляция семян яровой пшеницы стандартным и новыми биопрепаратами (V167 и V417) повышает содержание азота в растения яровой пшеницы в фазу цветения на 0,10 – 0,24%, при этом эндофитные биопрепараты превосходят стандартный биопрепарат Ч-13. При посеве инокулированными семенами на фоне с внесением N45 наблюдается рост содержания азота в растениях от биопрепарата на основе штамма V167. Увеличение содержания (или концентрации) азота в растениях свидетельствует об улучшении азотного питания яровой пшеницы в фазу цветения яровой пшеницы.

Оценку условий азотного питания яровой пшеницы можно проводить и по накоплению азота в растениях, выражаемую в граммах на 1 квадратный метр (Таблица 5.3).

Таблица 5.3 – Накопление азота (N) в биомассе в фазу цветения яровой пшеницы при использовании биопрепаратов и азотного удобрения

Вариант	Годы			Среднее		
	2020	2021	2022	накоп.	прибавка	
	г/м ²				%	
Фон 1: P45K45(Ф1)	8,82	8,19	8,55	8,52	0,00	0
Ф1 + Экстрасол Ч-13– стандарт	10,63	10,06	10,33	10,34	1,82	18
Ф1 + эндофит штамм V 167	11,65	10,04	10,84	10,84	2,32	21
Ф1 + эндофит штамм 417	13,01	10,21	11,61	11,61	3,09	27
Фон 2: N45P45K45 (Ф2)	13,06	11,33	12,19	12,19	3,67	30
Ф2 + Экстрасол Ч-13– стандарт	13,70	12,11	12,91	12,91	4,39	34
Ф2 + эндофит штамм V 167	14,20	12,45	13,32	13,32	4,80	36
Ф2 + эндофит штамм 417	13,61	12,14	12,87	12,87	4,35	34
N90P45K45	14,92	13,50	14,18	14,20	5,68	40
P, %				4,0		
НСР ₀₅				1,40		

Максимальное увеличение накопления азота происходило при внесении под яровую пшеницу азотного удобрения в дозе N90, доза N45 уступала по этому показателю. Инокуляция семян всеми изучаемым биопрепаратами увеличивала накопление азота в растениях яровой пшеницы в фазу цветения на 18 – 28% относительных или на 1,91 – 3,28 г/м² по отношению к РК-фону (Таблица 5.3). На фоне с внесением полного минерального удобрения от изучаемых биопрепаратов накопление азота в растениях продолжало увеличиваться, но это увеличение было не достоверным, хотя составляло от 0,24 до 1,05 г/м². Максимальное значение накопления азота в растениях яровой пшеницы (5,71 г/м²) получено при внесении азотного удобрения в дозе N90.

Следовательно, применение изучаемых биопрепаратов на 18 – 28% увеличивает накопление азота в биомассе яровой пшеницы в фазу цветения, и оно соответствует действию азотного удобрения в дозе N45. На фоне N45 имеет место лишь тенденция повышения накопления азота в растениях от изучаемых биопрепаратов, при этом наиболее эффективным из них являются эндофитные штаммы.

Потребление растениями фосфора наиболее интенсивно происходит в начальные фазы развития яровой пшеницы и к фазе цветения оно в основном завершается (Алабушев и др., 2001). Растения в эту фазу, как правило, используют накопленный ранее фосфор. Как показывают наши исследования, содержание в растениях фосфора в фазу цветения яровой пшеницы слабо изменялось от изучаемых в опыте азотного удобрения и биопрепаратов (Таблица 5.4).

Таблица 5.4 – Содержание фосфора (P₂O₅) в растениях при использовании биопрепаратов и азотного удобрения в фазу цветения яровой пшеницы

Вариант	Годы			Среднее		
	2020	2021	2022	со-дер.	прибавка	
	%				отн.%	
Фон 1: P45K45(Ф1)	0,63	0,81	0,64	0,69	0,00	0
Ф1 + Экстрасол Ч-13– стандарт	0,73	0,94	0,78	0,82	0,13	19

Ф1 + эндофит штамм V 167	0,57	0,70	0,69	0,65	-0,03	-6
Ф1 + эндофит штамм 417	0,60	0,84	0,73	0,72	0,03	4
Фон 2: N45P45K45 (Ф2)	0,71	0,91	0,77	0,80	0,11	16
Ф2 + Экстрасол Ч-13– стандарт	0,71	0,89	0,80	0,80	0,11	16
Ф2 + эндофит штамм V 167	0,55	0,80	0,71	0,69	0,00	0
Ф2 + эндофит штамм 417	0,66	0,81	0,74	0,74	0,05	7
N90P45K45	0,79	0,90	0,82	0,84	0,15	22

P, % 7,5

НСР₀₅ 0,16

Таблица 5.5 – Накопление фосфора (P₂O₅) в растениях при использовании биопрепаратов и азотного удобрения в фазу цветения яровой пшеницы

Вариант	Годы			Среднее		
	2020	2021	2022	накоп.	прибавка	
	г/м ²					%
Фон 1: P45K45(Ф1)	3,83	4,75	3,64	4,07	0,00	0
Ф1 + Экстрасол Ч-13– стандарт	5,07	6,08	5,23	5,46	1,39	34
Ф1 + эндофит штамм V 167	4,18	4,18	4,59	4,32	0,25	6
Ф1 + эндофит штамм 417	4,88	5,12	5,20	5,07	1,00	25
Фон 2: N45P45K45 (Ф2)	5,94	5,91	5,70	5,85	1,78	44
Ф2 + Экстрасол Ч-13– стандарт	5,86	5,95	5,97	5,93	1,86	46
Ф2 + эндофит штамм V 167	4,41	5,36	5,23	5,00	0,93	23
Ф2 + эндофит штамм 417	5,45	5,57	5,60	5,54	1,47	36
N90P45K45	6,41	6,96	6,49	6,62	2,55	63

P, % 4,2

НСР₀₅ 0,66

Вместе с тем, улучшение азотного питания растений за счет внесения азотного удобрения в дозе N90 обеспечило только тенденцию роста содержания P₂O₅.

По другим вариантам опыта существенных изменений содержания фосфора в растениях не выявлено. Вместе с тем в результате увеличения биомассы яровой пшеницы в фазу цветения от использования биопрепаратов и азотного удобрения, накопление фосфора в растениях возрастало в 1,4 – 1,6 раза по отношению к РК-фону (Таблица 5.5). Максимальное увеличение накопления фосфора в растениях яровой пшеницы происходило при внесении обеих доз азотного удобрения, эффективность от использования изучаемых биопрепаратов Ч-13 и V 417 достигнуто на РК-фоне, где увеличение накопления фосфора в растениях составило 1,39 и 1,00 г/м². На фоне с внесением полного минерального удобрения существенного роста накопления фосфора в растениях не получено.

Калию принадлежит важная роль в устойчивости соломы к полеганию и сопротивлению растений к поражению патогенной микрофлорой (Ториков, 1995; Васин, 2003; Тюпаков и Бровкина, 2008). Определение содержания калия в растениях яровой пшеницы, находящейся в фазе цветения, показало, что во все годы проведения опыта оно существенно не изменялось по вариантам опыта (Таблица 5.6).

Таблица 5.6 – Содержание калия (K₂O) в растениях в фазу цветения яровой пшеницы при использовании биопрепаратов и азотного удобрения

Вариант	Годы			Среднее		
	2020	2021	2022	сод.	прибавка	
	%					отн. %
Фон 1: P45K45(Ф1)	1,62	2,22	1,76	1,87	0,00	0
Ф1 + Экстрасол Ч-13– стандарт	1,45	2,03	1,69	1,72	-0,15	-8
Ф1 + эндофит штамм V 167	1,54	2,19	2,00	1,91	0,04	2
Ф1 + эндофит штамм 417	1,62	2,29	1,98	1,96	0,09	5
Фон 2: N45P45K45 (Ф2)	1,65	2,24	2,01	1,97	0,10	5
Ф2 + Экстрасол Ч-13– стандарт	1,51	2,08	1,89	1,96	0,09	5
Ф2 + эндофит штамм V 167	1,50	1,74	1,82	1,69	-0,18	-10
Ф2 + эндофит штамм 417	1,56	2,06	1,99	1,87	0,00	0

N90P45K45	1,70	2,33	2,01	2,01	0,14	7
P, %				9,0		
НСР ₀₅				0,05		

В среднем за три года содержание калия в растениях яровой пшеницы изменялось по вариантам опыта от 1,72 до 2,01%. Достоверное увеличение содержания калия в растениях получено на РК-фоне от использования биопрепарата, изготовленного на основе эндофитного штамма V417. На фоне с внесением полного минерального удобрения положительный эффект в изменении калия в растениях яровой пшеницы получен только от стандартного препарата.

Накопление в растениях калия определялось содержанием этого элемента в растениях и большей степени биомассой яровой пшеницы, которая возрастала при использовании биопрепаратов и азотного удобрения. Во все годы при инокуляции семян изучаемыми биопрепаратами и внесении азотного удобрения в обеих дозах накопление калия в растениях яровой пшеницы в фазу цветения увеличивалось с 9,75–13,00 до 13,79–18,0 г/м² (Таблица 5.7).

Таблица 5.7 – Накопление калия (K₂O) в растениях в фазу цветения яровой пшеницы при использовании биопрепаратов и азотного удобрения

Вариант	Годы			Среднее		
	2020	2021	2022	накоп.	прибавка	
	г/м ²				%	
Фон 1: P45K45(Ф1)	9,75	13,03	10,00	10,93	0,00	0
Ф1 + Экстрасол Ч-13– стандарт	10,08	13,13	11,34	11,52	0,59	5
Ф1 + эндофит штамм V 167	11,29	13,07	13,30	12,55	1,62	15
Ф1 + эндофит штамм 417	13,12	13,97	14,10	13,73	2,80	26
Фон 2: N45P45K45 (Ф2)	13,81	14,54	14,87	14,41	3,48	32
Ф2 + Экстрасол Ч-13– стандарт	12,38	16,57	14,10	14,35	3,42	31
Ф2 + эндофит штамм V 167	12,00	11,66	13,40	12,35	1,42	13

Ф2 + эндофит штамм 417	12,85	14,17	15,06	14,03	3,10	28
N90P45K45	13,79	18,01	15,92	15,91	4,98	46
P, %					6,21	
НСР ₀₅					2,45	

Максимальное накопление калия в растениях яровой пшеницы происходит при внесении азотного удобрения в дозе N90. В среднем за три года проведения опыта накопление калия в растениях возросло на 0,59–4,98 г/м² или 5–46% относительных. На РК-фоне достоверное увеличение накопления калия в растениях яровой пшеницы происходило от биопрепарата, изготовленного с использованием штамма V417. При инокуляции семян всеми оцениваемыми в опыте биопрепаратами при внесении дозы N45 изменений накопления калия в растениях не отмечено.

Таким образом, при использовании изучаемых биопрепаратов существенно не изменяется содержание фосфора и калия в растениях яровой пшеницы в фазу цветения. Однако в результате увеличения массы растений повышается накопление этих элементов в растениях.

Резюме

В фазу цветения яровой пшеницы биомасса растений достоверно возрастает от инокуляции семян биопрепаратом на основе эндофитного штамма V417, что равноценно внесению азотного удобрения в дозе N45. Повышения дозы в два раза до N90 обеспечивает тенденцию увеличения биомассы растений. На фоне с внесением N45 также наблюдалась положительная тенденция увеличения биомассы растений от биопрепарата на основе штамма V417. Инокуляция семян яровой пшеницы стандартным и новыми биопрепаратами (V167 и V417) повышает содержание азота в растениях яровой пшеницы в фазу цветения на 0,10 – 0,24%, при этом эндофитные биопрепараты превосходят стандартный на основе Ч-13.

При посеве инокулированными семенами на фоне N45 наблюдается рост содержания азота в растениях от биопрепарата на основе штамма V167. Увеличение содержания азота в растениях свидетельствует об улучшении азотного питания яровой пшеницы в фазу цветения. Использование изучаемых биопрепаратов на 18

– 28% увеличивает накопление азота в биомассе яровой пшеницы в фазу цветения, и оно соответствует действию азотного удобрения в дозе N45. На фоне N45 имеет место лишь тенденция повышения накопления азота в растениях от изучаемых биопрепаратов, при этом наиболее эффективным из них являются эндофитные штаммы.

При использовании изучаемых биопрепаратов существенно не изменяется содержание фосфора и калии в растениях яровой пшеницы в фазу цветения. Однако в результате увеличения массы растений повышается накопление этих элементов в растениях яровой пшеницы.

Глава 6. НАКОПЛЕНИЕ В УРОЖАЕ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АЗОТА, ФОСФОРА И КАЛИЯ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЕЙ

В агрохимических исследованиях для оценки агрономической эффективности использования в агротехнологиях выращивания сельскохозяйственных культур средств химизации и биологизации определяют вынос элементов питания, их распределение в товарной и побочной продукции, коэффициент использования растениями элементов питания из удобрений, вынос NPK единицей продукции, окупаемость прибавкой урожая внесимых удобрений, количество зерна, созданное на единицу потребленных элементов питания (Соколов, Семенов, 1992; Завалин, 2022).

Накопление или вынос урожаем, элементов питания определяется величиной массы зерна и соломы и содержанием в основной и побочной продукции азота, фосфора и калия. Накопление азота в зерне и соломе яровой пшеницы в среднем за три года изменялось от применяемых азотных удобрений и использования для инокуляции семян различных биопрепаратов (Таблица 6.1). Так накопление азота в зерне возрастало по отношению к РК-фону с 7,12 до 12,51 г/м², в соломе с 3,19 до 4,60 г/м². По обоим компонентам максимальное накопление азота получено при внесении под яровую пшеницу азотного удобрения в дозе N90. При внесении N45 накопление азота в зерне и соломе уступало варианту N90, поскольку в нем был получен меньший урожай зерна и массы соломы, а также меньше было содержание (концентрация) азота в эти компонентах урожая.

При инокуляции семян яровой пшеницы изучаемыми биопрепаратами накопление азота в зерне и соломе возрастало по сравнению с РК-фоном и практически, соответствовало внесению под культуру азотного удобрения в дозе N45. На фоне с внесением полного минерального удобрения (NPK) при использовании изучаемых микробных препаратов накопление азота в зерне и соломе яровой пшеницы имело только тенденцию к возрастанию и оно (накопление) практически соответствовало варианту с внесением N90 (Таблица 6.1).

Суммарной накопление азота в зерне и соломе яровой пшеницы под воздействием биопрепаратов и азотного удобрения возрастало в 1,2 – 1,7 раза по отношению к РК-фону. Инокуляция семян биопрепаратами увеличили накопление азота в урожае с 10,32 до 12,46–13,74 г/м² или в 1,2–1,3 раза. Это увеличение накопления азота в зерне и соломе было равноценным внесению под яровую пшеницу N45. С увеличением дозы азота в два раза вынос азота достоверно возрос на 2,79 г/м². Посев семян, инокулированных микробными биопрепаратами, на фоне с внесением азотного удобрения в дозе N45 увеличил накопление азота в урожае с 14,36 до 15,57 – 15,85 г/м² или увеличение составило 8–10%, что можно рассматривать как тенденцию к росту при значении НСР = 2,55 г/м² (Таблица 6.1). Полученные значение выноса азота в этих вариантах соответствовали внесению N90.

Таблица 6.1 – Накопление азота (N) в урожае яровой пшеницы. Среднее за 2020–2022 гг.

Вариант	Зерно	Солома	Сумма	Азотный индекс, %
	г/м ²			
Фон 1: P45K45(Ф1)	7,12	3,19	10,32	69
Ф1 + Экстрасол Ч-13– стандарт	8,72	3,74	12,46	70
Ф1 + эндофит штамм V 167	9,56	3,51	13,06	73
Ф1 + эндофит штамм 417	10,09	3,65	13,74	73
Фон 2: N45P45K45 (Ф2)	10,60	3,76	14,36	73
Ф2 + Экстрасол Ч-13– стандарт	11,36	4,21	15,57	73
Ф2 + эндофит штамм V 167	11,58	4,27	15,85	73
Ф2 + эндофит штамм 417	11,69	4,13	15,83	74
N90P45K45	12,51	4,60	17,11	73
НСР ₀₅	2,02	0,78	2,55	

Как было показано выше, накопленный азот в яровой пшенице распределяется по товарной (зерно) и нетоварной (солома) компонентам урожая. Распределение поглощенного азота между зерном и соломой определяют по значению азотного индекса, показывающего долю азота, приходящееся на зерно (Климашевский, 1991). Наши исследования показали, что около 70–74% накопленного в урожае

азота приходится на зерно, в соломе накапливается 30–26% от общего его содержания (Таблица 6.1). При применении биопрепаратов до 73–74% накопленного в урожае азота приходится на зерно. Это можно рассматривать как положительный эффект от использования биопрепаратов.

Следовательно, накопление азота в урожае преимущество приходится на зерно яровой пшеницы. Применение биопрепаратов на 3 – 4% увеличивает значение азотного индекса, что можно рассматривать как положительную тенденцию от их использования.

Коэффициент использования растениями азота удобрения показывает насколько эффективно этот элемент усвоен яровой пшеницей для формирования урожая, и чем он выше (коэффициент использования), тем эффективнее функционирует агроценоз, меньше потери азота удобрения (Завалин, 2022). Это имеет особое значения в связи с тем, что в настоящее время возрастают энергетические затраты на производство азотных удобрений и ставится задача сокращения выбросов парниковых газов, к которым относится закись азота (N_2O).

Определение значения коэффициента использования азота аммиачной селитры яровой пшеницы проводили разностным методом (Ягодин и др., 1998) по отношению к РК-фону (Таблица 6.2). Расчёт коэффициента проводили по значению общего выноса (зерно + солома) и выноса азота только зерном. В результате расчетов установлено, что в условиях микрополевого опыта получены высокие значения коэффициента использования азота удобрения, которые составили для дозы N45 общим урожаем (зерно + соломы) 89% и 77% – зерном. При увеличении дозы азотного удобрения в два раза коэффициент использования снизился до 75% по общему выносу и до 60% по выносу зерном.

При использовании биопрепаратов расчеты коэффициента проводили по отношению как к РК-фону, так и отношению к варианту РК + биопрепарат соответствующий (Таблица 6.2). В результате расчетов установлено, что коэффициент использования азота удобрения по отношению к РК-фону при инокуляции семян биопрепаратами возрастает с 89 до 117 – 122%, при этом более высокие его значения получены по эндофитным биопрепаратам (прибавки составили по отношению к

стандартному Ч-13 5–6%, примерно аналогичные данные получены при определении коэффициента использования по выносу азота только зерном яровой пшеницы. Расчет коэффициента по отношению к РК + биопрепарат выявил, что максимальное его значение получено по препаратам Ч- 13 и V167. По V417 значение коэффициента использования азота получено меньше по сравнению с двумя первыми, что связано с большим накоплением азота при инокуляции семян яровой пшеницы этим биопрепаратом.

Таблица 6.2 – Коэффициент использования яровой пшеницей азота аммиачной селитры, %. Средний за 3 года

Вариант	Общий вынос N урожая, г/м ²	Вынос N зерном, г/м ²	Коэффициент использования N, %			
			урожаем		зерном	
			А*	Б	А	Б
Фон 2: N45P45K45 (Ф2)	14,36	10,60	89	–	77	–
Ф2 + Экстрасол Ч-13– стандарт	15,57	11,36	117	69	94	59
Ф2 + эндофит штамм V 167	15,85	11,58	123	62	99	45
Ф2 + эндофит штамм 417	15,83	11,69	122	46	101	36
N90P45K45	17,11	12,51	75	–	60	–
*Примечание: А – по отношению к РК-фону; Б – по отношению РК + биопрепарат						

Таким образом, коэффициент использования растениями азота удобрения рассчитанный разностным методом снижается при увеличении дозы внесения в 1,2 раза и возрастает в 1,3 – 1,4 раза при использовании биопрепаратов.

Накопление в урожае яровой пшеницы второго по значимости для растений элемента питания – фосфора возрастало как в зерне, так и соломе от внесения азотного удобрения и применения изучаемых в опыте биопрепаратов (Таблица 6.3). При инокуляции семян биопрепаратам на РК фоне рост накопления фосфора в урожае составлял по биопрепаратам Ч-13 и V167 около 0,40 г/м². При использовании эндофитного биопрепарата, изготовленного с использованием штамма V417, получено достоверное увеличение выноса фосфора урожаем яровой пшеницы на РК-фоне, где прибавка составила 1,1 г/м². Использование биопрепаратов на фоне с внесением азотного удобрения в дозе N45 не обеспечило достоверного роста накопле-

ния фосфора в урожае яровой пшеницы, и это увеличение соответствовало применению азотного удобрения в обеих дозах. В зерне накопление фосфора возрастало от вышеуказанных компонентов с 2,10 до 3,87 г/м² или 1,8 раза. Суммарное накопление фосфора под воздействием азотного удобрения и биопрепаратов увеличилось в среднем за три года проведения опыта с 3,66 до 5,52 г/м² или полтора раза (Таблица 6.3).

И так, накопление в урожае яровой пшеницы фосфора достоверно возрастает от применения на РК-фоне эндофитного биопрепарата на основе штамма V417. На фоне с внесением N45 накопление фосфора в урожае при применении изучаемых биопрепаратов соответствует значению, полученному при внесении под яровую пшеницу обеих доз азотного удобрения. Накопленный в урожае яровой пшеницы фосфор преимущественно локализуется в зерне и индекс составляет 66 – 71%. Все изучаемые биопрепараты и азотное удобрение увеличивают на 9 – 16% значение фосфорного индекса (локализацию P₂O₅ в зерне от общего его накопление в урожае яровой пшеницы).

Таблица 6.3 – Накопление фосфора (P₂O₅) в урожае яровой пшеницы. Среднее за 2020–2022 гг.

Вариант	Зерно	Солома	Сумма	Локализация в зерне, %
	г/м ²			
Фон 1: P45K45(Ф1)	2,10	1,56	3,66	57
Ф1 + Экстрасол Ч-13– стандарт	2,72	1,38	4,10	66
Ф1 + эндофит штамм V 167	2,62	1,42	4,04	65
Ф1 + эндофит штамм 417	3,14	1,63	4,77	66
Фон 2: N45P45K45 (Ф2)	3,43	1,64	5,07	68
Ф2+ Экстрасол Ч-13– стандарт	3,70	1,55	5,24	71
Ф2 + эндофит штамм V 167	3,87	1,39	5,26	73
Ф2 + эндофит штамм 417	3,46	1,71	5,17	67
N90P45K45	3,75	1,77	5,52	68
НСР ₀₅			1,1	

Накопление в урожае яровой пшеницы калия определяется, как и других важнейших элементов, массой зерна и соломы и концентраций в основной и побочной продукции K_2O . В зерне накопление этого элемента при использовании биопрепаратов и азотного удобрения увеличивалось по отношению к РК-фону с 1,79 до 2,90 г/м² или 1,6 раза, в соломе с 6,85 до 8,45 г/м² или в 1,2 раза (Таблица 6.4). Суммарное накопление калия в урожае яровой пшеницы в среднем за три года проведения опыта возросло с 8,64 до 11 г/м² или рост составил 1,27 раз. Увеличение накопления калия урожаем связано с получением более высокой массы зерна и соломы при внесении под яровую пшеницу азотного удобрения в дозах N45 и N90, а также использования биопрепаратов для инокуляции семян. На РК-фоне инокуляция семян всеми изучаемыми в опыте биопрепаратами обеспечила за счет роста урожая зерна и массы соломы повышение накопления K_2O в урожае яровой пшеницы с 8,64 до 10,01–10,64 г/м² или в 1,16–1,23 раза, это равноценно росту, достигнутому при внесении N45 (Таблица 6.4).

Таблица 6.4 – Накопление калия (K_2O) в урожае яровой пшеницы. Среднее за 2020–2022 гг.

Вариант	Зерно	Солома	Сумма	Локализация в зерне, %
	г/м ²			
Фон 1: P45K45(Ф1)	1,79	6,85	8,64	26
Ф1 + Экстрасол Ч-13– стандарт	2,29	7,72	10,01	30
Ф1 + эндофит штамм V 167	2,58	8,06	10,64	32
Ф1 + эндофит штамм 417	2,52	7,49	10,02	34
Фон 2: N45P45K45 (Ф2)	2,68	7,98	10,66	34
Ф2 + Экстрасол Ч-13– стандарт	2,90	8,45	11,35	34
Ф2 + эндофит штамм V 167	2,84	8,04	10,89	35
Ф2 + эндофит штамм 417	2,61	8,40	11,00	31
N90P45K45	2,87	8,13	11,00	35
НСР ₀₅			1,24	

На фоне с внесением полного минерального удобрения инокуляция семян исследуемыми биопрепаратами увеличивало накопление калия в урожае яровой пшеницы на 0,34 – 0,69 г/м² или 3 – 8%, и это увеличение равноценно значению, полученному при внесении азотного удобрения в дозе N90. Однако, получены значения увеличения накопления калия меньше наименьше существенной разницы, поэтому они не достоверны.

Таким образом, накопление калия в урожае яровой пшеницы (зерно + солома) при использовании азотного удобрения и оцениваемых микробных биопрепаратов возрастает по отношению к РК-фону в 1,16–1,23 раза, наиболее значимый рост отмечен при использовании штамма V 167. Рост накопления в урожае K₂O от биопрепаратов равноценен внесению под яровую пшеницу азотного удобрения. Накопленный в урожае калий локализуется преимущественно в соломе яровой пшеницы. В зерне накапливается только 1/3 часть калия, потребленного растениями на формирование урожая. За счет биопрепаратов, изучаемых в опыте и азотного удобрения в обеих дозах в зерне возрастает с 26 до 30–35% накопление калия от общего его выноса урожаем.

Эффективность использования яровой пшеницей элементов питания оценивают так же по количеству созданного зерна на единицу потребленного азота, фосфора и калия (Таблица 6.5). Согласно полученных данных использование биопрепаратов для инокуляции семян слабо увеличивало количество созданного зерна на 1 г потребленного азота, при этом наиболее эффективным был препарат, созданный на основе эндофитного штамма V 417, который по действию соответствовал азотному удобрению в дозе N45, обеспечивающий 33,2–33,4 г зерна, созданных на 1 г потребленного азота (Таблица 6.5).

При использовании на фоне с внесением N45 изучаемых биопрепаратов количество созданного на 1 г потребленного азота снижается до 30,3–31,1 г зерна и которое соответствует внесению N90. Этот факт свидетельствует о том, что при недостатке в почве минерального азота биопрепараты обеспечивают лучше использования азота на формирование урожая, в то время как при лучшем обеспечении

азотам за счет внесения азотного удобрения, это не имеет место в нашем эксперименте.

Таблица 6.5 – Создано зерна (г) на 1 г потребленных яровой пшеницей элементов питания. Средние результаты за 2020–2022 гг.

Вариант	N		P ₂ O ₅		K ₂ O		NPK	
	значение	± к фону	значение	± к фону	значение	± к фону	значение	± к фону
Фон 1: P45K45(Ф1)	31,8	0,0	89,6	0,0	38,0	0,0	14,5	0,0
Ф1 + Экстрасол Ч-13- стандарт	31,9	0,1	96,8	7,2	39,7	1,7	14,9	0,4
Ф1 + эндофит штамм V 167	32,5	0,7	105,2	15,6	39,9	1,9	15,3	0,8
Ф1 + эндофит штамм 417	33,2	1,4	95,6	6,0	45,5	7,5	16,0	1,5
Фон 2: N45P45K45 (Ф2)	33,4	1,6	94,5	4,9	44,9	6,9	15,9	1,4
Ф2 + Экстрасол Ч-13- стандарт	31,9	0,1	94,8	5,2	43,8	5,8	15,5	1,0
Ф2 + эндофит штамм V 167	30,7	-1,1	92,4	2,8	44,6	6,6	15,2	0,7
Ф2 + эндофит штамм 417	30,3	-1,5	92,8	3,2	43,6	5,6	15,0	0,5
N90P45K45	30,2	-1,6	93,7	4,1	47,0	9,0	15,4	0,9

В результате инокуляции семян яровой пшеницы биопрепаратами увеличивается количество созданного зерна на 1 г потребленного фосфора. Это наиболее четко прослеживается на РК-фоне (Таблица 6.5). Аналогичная закономерность выявлена и по использованию растениями калия, где за счет применения биопрепаратов количество созданного зерна на 1 г потребленного K₂O возрастает на 1,7–7,5. На РК-фоне более эффективным был биопрепарат, созданный на основе эндофитного штамма V 417.

Следовательно, инокуляция семян яровой пшеницы исследуемыми биопрепаратами увеличивает количество созданного зерна на 1 г потребленных P₂O₅ и K₂O. Среди биопрепаратов более эффективным по фосфору был V 167, по калию V417. Использование изучаемых биопрепаратов для инокуляции семян яровой пшеницы положительно отражается на показателе прибавки урожая зерна, созданного на 1 г потребленных растениями элементов питания (Таблица 6.6).

При оценке количества созданного зерна на 1 г потребленных NPK яровой пшеницей показано, что на РК-фоне этот показатель возрастал с 14,5 до 16,0 г, на

фоне с внесением N45 положительного действия биопрепаратов на этот показатель не получено. Это свидетельствует о том, что исследуемые биопрепараты улучшают минеральное питание растений без внесения азотного удобрения, а при применении N45 эффективность микроорганизмов, входящих в состав биопрепаратов, ослабевает. По азоту этот показатель составлял 5,5–9,3 г/г на РК-фоне. На фоне с внесением N45 эффекта от инокулянтов по этому показателю не получено. По фосфору на 1 г потребленного P_2O_5 прибавки массы зерна на РК-фоне составляли 16,8–26,8 г, а при внесении N45 эффект был меньше. На 1 г потребленного яровой пшеницей калия дополнительной прибавки урожая зерна на РК-фоне составили 6,9 и 12,8 г, а при внесении N45 эффекта от биопрепаратов не установлено.

Таблица 6.6 – Прибавки массы зерна на единицу потребленного азота, фосфора и калия, г/г. Средние за 3 года

Вариант	N	P_2O_5	K_2O	NPK
Фон 1: P45K45(Ф1)	0,0	0,0	0,0	0,0
Ф1 + Экстрасол Ч-13– стандарт	5,5	16,8	6,9	2,6
Ф1 + эндофит штамм V 167	7,4	24,0	9,1	3,5
Ф1 + эндофит штамм 417	9,3	26,8	12,8	4,5
Фон 2: N45P45K45 (Ф2)	10,5	29,8	14,2	5,0
Ф2 + Экстрасол Ч-13– стандарт	10,9	32,3	14,9	5,3
Ф2 + эндофит штамм V 167	10,0	30,0	14,5	4,9
Ф2 + эндофит штамм 417	9,6	29,4	13,8	4,8
N90P45K45	11,0	34,2	17,2	5,6

Следовательно, при инокуляции семян яровой пшеницы исследуемыми биопрепаратами возрастают величины прибавок массы зерна на 1 потребленных азота, фосфора и калия, при этом более высокий этот показатель получен при использовании эндофитного штамма V 417.

Вынос элементов питания единицей урожая зерна (100 г, 1 ц, 1 т) с соответствующим количеством соломы используют для расчётов доз минеральных удоб-

рений в агротехнологиях выращивания сельскохозяйственных культур в различных почвенно – климатических зонах (Шафран, 2022). Эти показатели изменяются с учетом погодных условий, региона выращивания культуры, использования различных по интенсификации агротехнологий и ряда других факторов. Еще в конце XX века агрохимиками были разработаны нормативы выноса NPK для получения 1 т зерна яровой пшеницы с учетом (и без) побочной продукции для различных почвенно – климатических зон Российской Федерации (Нормативы выноса..., 1991). Согласно действующим нормативам для получения 1 ц зерна яровой пшеницы с соответствующим количеством соломы вынос составляет 3,14 кг N, 1,12 кг P₂O₅ и 1,89 кг K₂O.

Таблица 6.7 – Вынос элементов питания 100 г зерна с соответствующим количеством соломы, г. Средний за 3 года

Вариант	N		P ₂ O ₅		K ₂ O	
	значение	± к фону	значение	± к фону	значение	± к фону
Фон 1: P45K45(Ф1)	3,15	0,00	1,12	0,00	2,63	0,00
Ф1 + Экстрасол Ч-13- стандарт	3,80	0,65	1,25	0,13	3,05	0,42
Ф1 + эндофит штамм V 167	3,98	0,83	1,23	0,11	3,24	0,61
Ф1 + эндофит штамм 417	4,19	1,04	1,45	0,33	3,05	0,42
Фон 2: N45P45K45 (Ф2)	4,38	1,23	1,55	0,43	3,25	0,62
Ф2 + Экстрасол Ч-13- стандарт	4,75	1,60	1,60	0,48	3,46	0,83
Ф2 + эндофит штамм V 167	4,83	1,68	1,60	0,48	3,32	0,69
Ф2 + эндофит штамм 417	4,83	1,68	1,58	0,46	3,35	0,72
N90P45K45	5,22	2,07	1,68	0,56	3,35	0,72

В нашем опыте (Таблица 6.7) в результате инокуляции семян биопрепаратами вынос азота на РК – фоне 100 г зерна увеличился по отношению к РК фону с 3,15 до 3,80 – 4,19 г или в среднем составляет 3,99 г, что на 27% больше. При внесении под яровую пшеницу N45 вынос 100 г зерна азота достиг 4,38 г. При использовании на этом фоне биопрепаратов вынос азота 100 г зерна с соответствующим количеством соломы возрос с 4,38 до 4,75 г или в среднем составляет 4,80 г. Увеличение за счет применения биопрепаратов достигло по отношению к варианту с

внесением N45 0,42 г или около 10%. Полученное увеличение выноса азота 100 г зерна при использовании биопрепаратов связано, прежде всего с ростом содержания азота в зерне и соломе яровой пшеницы.

Таким образом, при внесении азотного удобрения возрастает вынос азота единицей зерна по отношению к РК-фону. Применение изучаемых биопрепаратов обеспечивает рост этого показателя на РК-фоне на 27% и на фоне с внесением полного минерального удобрения на 10%.

Вынос фосфора 100 г зерна с соответствующим количеством соломы изменялся при внесении под яровую пшеницу N45 и N90, а также в результате инокуляции семян биопрепаратами. Связано это с некоторым увеличением содержания P_2O_5 в основной и побочной продукции, которое происходит при улучшении условий, прежде всего азотного питания (Воллейд, 1978). При использовании всех изучаемых биопрепаратов вынос фосфора 100 г зерна по сравнению с РК-фоном возрос с 1,12 до 1,25–1,45 г или на 17%. Максимальное увеличение выноса P_2O_5 получено при использовании в качестве биопрепарата эндофитного штамма V 417. При использовании биопрепаратов на фоне с внесением полного минерального удобрения вынос P_2O_5 единицей зерна (100 г) существенно не изменялся и составлял 1,6 г / 100 г (Таблица 6.7). Следовательно, используемые в опыте биопрепараты повышают на 17% вынос фосфора 100 г зерна только на РК-фоне.

Все изучаемые биопрепараты обеспечили слабое увеличение выноса калия 100 г зерна, которое составляло на РК-фоне 18% и на NPK-фоне 23%. Это увеличение можно объяснить слабым ростом содержания калия в соломе яровой пшеницы.

При выращивании сельскохозяйственных культур для обеспечения растений элементами питания и сохранения плодородия почвы необходимо обеспечить возврат отчуждаемых NPK из почвы (Шафран, 2020а). Для этого принято определять значение хозяйственного баланса азота, фосфора и калия, учитывающего приход этих элементов с минеральными удобрениями (Ягодин и др., 1989). Однако по этому методу не учитывают в расчетах поступление биологического азота (Завалин, 2022). Об этом будет сказано позже. В расходную часть элементов питания включают их вынос с урожаем основной и побочной продукции, в данном случае

это зерно и солома. При использовании этого подхода в опыте на всех вариантах хозяйственный баланс азота, получен отрицательным (Таблица 6.8). Значение которого составляло от – 8,11 до – 13,74 г/м².

Таблица 6.8 – Значения баланса основных элементов питания в темно-серой лесной почве при выращивании яровой пшеницы. Средний за 3 года

Вариант	Хозяйственный баланс, г/м ²			Интенсивность баланса, %		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Фон 1: P45K45(Ф1)	-10,32	0,84	0,36	0	123	104
Ф1 + Экстрасол Ч-13- стандарт	-12,46	0,40	-1,01	0	110	90
Ф1 + эндофит штамм V 167	-13,06	0,46	-1,64	0	111	85
Ф1 + эндофит штамм 417	-13,74	-0,27	-1,02	0	94	90
Фон 2: N45P45K45 (Ф2)	-9,86	-0,57	-1,66	31	89	84
Ф2 + Экстрасол Ч-13- стандарт	-11,07	-0,74	-2,35	29	86	79
Ф2 + эндофит штамм V 167	-11,35	-0,76	-1,89	28	86	83
Ф2 + эндофит штамм 417	-11,33	-0,67	-2,00	28	87	82
N90P45K45	-8,11	-1,02	-2,00	53	82	82

Внесение под яровую пшеницу азотного удобрения в дозах N45 и N90 не обеспечивает формирование положительного хозяйственного баланса этого элемента. При использовании биопрепаратов также сохраняется отрицательный баланс азота.

На фоне с внесением РК-удобрений формируется при использовании биопрепаратов положительный, кроме биопрепарата на основе штамма V417, хозяйственный баланс фосфора. Использование биопрепаратов на фоне полного минерального удобрения (NPK) как и при внесении обеих доз азотного удобрения хозяйственный баланс P₂O₅ в темно-серой лесной почве отрицательный (Таблица 6.8).

С увеличением урожайности зерна и массы соломы при внесении азотного удобрения и инокуляции семян биопрепарата возрастал вынос калия и как следствие в почве формируется отрицательный баланс этого элемента.

Следовательно, в результате роста урожайности зерна и массы соломы при использовании азотного удобрения и биопрепаратов возрастает вынос элементов питания, что приводит к формированию в почве отрицательного хозяйственного баланса азота, фосфора и калия.

Состояние баланса элементов питания оценивают также по показателю интенсивности, который рассчитывается как отношение выноса к внесению его удобрениями, умноженное на 100 (для перевода в %) (Жуков, Батура, 2010). Для азота интенсивность баланса должна быть около 100%, по фосфору и калию около 110 – 80%. В нашем случае интенсивность хозяйственного баланса оценивается как недопустимая, по фосфору и калию – допустимая.

При применении удобрений важным показателем служит их окупаемость прибавкой урожая зерна (Шафран, 2020 Б). В работах Алферова А.А (2020) и А.А Завалина (2022) показано, что при использовании активных штаммов ассоциативных и эндофитных бактерий, возрастает окупаемость вносимого азота удобрений. В условиях данного опыта (Таблица 6.9) при применении биопрепаратов на основе штаммов Ч-13 и V167 окупаемость 1 г азота, внесенного в составе аммиачной селитры, возросло соответственно на 4,0 и 1,5 г зерна, и от биопрепарата V 417 она оставалась такой же, как при внесении N45. Следовательно, при инокуляции семян биопрепаратами увеличивается окупаемость зерно 1 кг азотного удобрения, при этом более значимой она была по стандартному биопрепарату.

Таблица 6.9 – Оплата азота аммиачной селитры прибавкой урожая зерна яровой пшеницы сорта Злата, г/г. В среднем за 3 года

Вариант	Значение	Изменение от биопрепарата
Фон 2: N45P45K45 (Ф2)	33,6	–
Ф2 + Экстрасол Ч-13– стандарт	37,6	4,0
Ф2 + эндофит штамм V 167	35,1	1,5
Ф2 + эндофит штамм 417	33,8	0,2
N90P45K45	21,0	–

Резюме

Суммарной накопление азота в зерне и соломе яровой пшеницы под воздействием биопрепаратов и азотного удобрения возрастало в 1,2–1,7 раза по отношению к РК-фону. Инокуляция семян биопрепаратами увеличила накопление азота в урожае с 10,32 до 12,46–3,74 г/м² или в 1,2–1,3 раза. Это увеличение накопления азота в зерне и соломе было равноценным внесению под яровую пшеницу N45. Посев семян, инокулированных микробными биопрепаратами, на фоне с внесением азотного удобрения в дозе N45 увеличил накопление азота в урожае с 14,36 до 15,57 – 15,85 г/м² или увеличение составило 8–10%, что можно рассматривать как тенденцию к росту при значении НСР = 2,55 г/м². Полученные значения выноса азота в этих вариантах соответствовали внесению N90.

Накопление в урожае яровой пшеницы фосфора достоверно возрастает от применения на РК-фоне эндофитного биопрепарата на основе штамма V417. На фоне с внесением N45 накопление фосфора в урожае при применении изучаемых биопрепаратов соответствует значению, полученному при внесении под яровую пшеницу обеих доз азотного удобрения. Накопление калия в урожае яровой пшеницы (зерно + солома) при использовании азотного удобрения и оцениваемых микробных биопрепаратов возрастает по отношению к РК-фону в 1,16–1,23 раза, наиболее значимый рост получен при использовании штамма V 167. Рост накопления в урожае K₂O от биопрепаратов равноценен внесению под яровую пшеницу азотного удобрения.

Накопление азота в урожае преимущество приходится на зерно яровой пшеницы. Применение биопрепаратов на 3–4% увеличивает значение азотного индекса, что можно рассматривать как положительную тенденцию от их использования. Накопленный в урожае яровой пшеницы фосфор преимущественно локализуется в зерне и индекс составляет 66–71%. Все изучаемые биопрепараты и азотное удобрение увеличивают на 9–16% значение фосфорного индекса (локализацию P₂O₅ в зерне от общего его накопления в урожае яровой пшеницы). В зерне накап-

ливается только 1/3 часть калия, потребленного растениями на формирование урожая. За счет биопрепаратов и азотного удобрения в обеих дозах в зерне с 26 до 30–35% возрастает накопление калия от общего его выноса урожаем.

Использование биопрепаратов для инокуляции семян слабо увеличивало количество созданного зерна на 1 г потребленного азота, при этом наиболее эффективным был препарат, созданный на основе эндофитного штамма V 417, который по действию равноценен азотному удобрению N45, (33,2–33,4 г), это свидетельствует о том, что при недостатке в почве минерального азота биопрепараты обеспечивают эффективное использование азота на формирование зерна.

За счет инокуляции семян яровой пшеницы биопрепаратами увеличивается количество созданного зерна на 1 г потребленных P_2O_5 и K_2O .

При внесении азотного удобрения возрастает вынос азота единицей зерна по отношению к РК – фону. В результате применения изучаемых биопрепаратов этот показатель возрастает на РК-фоне на 27% и на 10% при внесении полного минерального удобрения.

Используемые в опыте биопрепараты повышают на 17% вынос фосфора 100 г зерна только на РК-фоне. В результате роста урожайности зерна и массы соломы при использовании азотного удобрения и биопрепаратов возрастает вынос элементов питания, что приводит к формированию в почве отрицательного хозяйственного баланса азота, фосфора и калия, при этом интенсивность хозяйственного баланса N оценивается как недопустимая, по фосфору и калию – допустимая. При использовании биопрепаратов возрастает окупаемость зерном на 1,5–4,0 кг азотного удобрения, при этом более значимой она была по стандартному биопрепарату.

Глава 7. ПОТОКИ АЗОТА В АГРОЦЕНОЗЕ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ (ИССЛЕДОВАНИЯ С ^{15}N)

«В последние годы использование азотных и других минеральных и органических удобрений не обеспечивает оптимального баланса азота в земледелии России» (Шафран, 2020; Кудеяров, 2015). «Применение биопрепаратов эндофитных микроорганизмов увеличивает использование растениями азота минерального удобрения на 8–12%, однако слабо влияет на иммобилизацию его в почве, которая приводит к включению этого элемента в циклические минерализационно-ремобилизационные превращения» (Алферов и др., 2017; Comprant et al., 2005). Применение биопрепаратов активизирует почвенную микрофлору, положительно влияет на ферментативный статус растений, ограничивает развитие патогенной микрофлоры (Кожемяков и др., 2011; Соколов и др., 2020). Обеспеченность растений азотом служит «ключевым фактором формирования урожая и качества зерна яровой пшеницы, которое регулируется внесением азотных удобрений и применением биопрепаратов» (Завалин, 2022; Kizillaye, 2008). В этой связи необходима оценка действия этих факторов химизации и биологизации на усвоение растениями азота удобрений и его потоки в агроэкосистеме (Тихонович, Завалин, 2016).

В нашем опыте оценивали использование яровой пшеницей азота удобрения при инокуляции семян биопрепаратами на темно-серой лесной почве с применением стабильного изотопа ^{15}N . В качестве азотного удобрения использовали аммиачную селитру, которую вносили в дозе 45 и 90 кг д. в./га, или 4,5 и 9,0 г/м², что составляет соответственно 0,281 г и 0,563 г N/сосуд. Для изучения использования растениями азота удобрения применяли меченую (^{15}N) в обеих группах аммиачную селитру ($^{15}\text{NH}_4^{15}\text{NO}_3$) с обогащением 47,5 ат.‰.

Проведено определение использования растениями азота удобрения в фазу цветения яровой пшеницы (таб. 7.1). В оба года исследований накопление азота в растениях при внесении меченого азотного удобрения составляло от 1,47 до 2,53 г/м², при этом более высокое накопление азота получено в 2020 г., что связано с формированием в этот год более высокой биомассы растений. В 2021 году накопление меченого азота в растениях получено меньше (1,47 – 2,19 г/м²), поскольку

биомасса была меньше в этом году. Погодные условия отразились и на доле меченого азота в биомассе растений (Таблица 7.1).

Таблица 7.1 – Поток азота удобрения ^{15}N в фазу цветения яровой пшеницы

Вариант	Накопление в растениях из удобрения		Иммобилизация в почве		Газообразные потери	
	г/м ²	% от дозы	г/м ²	% от дозы	г/м ²	% от дозы
2020 год						
Фон 2: N45P45K45 (Ф2)	1,66	37	2,51	56	0,33	7
Ф2+ Экстрасол Ч-13– стандарт	1,73	38	2,46	55	0,31	7
Ф2 + эндофит штамм V 167	1,85	41	2,41	53	0,24	5
Ф2 + эндофит штамм 417	1,77	39	2,44	54	0,29	6
N90P45K45	2,53	28	3,56	40	2,91	32
2021 год						
Фон 2: N45P45K45 (Ф2)	1,47	33	2,35	52	0,68	15
Ф2+ Экстрасол Ч-13– стандарт	1,57	35	2,41	53	0,52	12
Ф2 + эндофит штамм V 167	1,62	36	2,61	58	0,27	6
Ф2 + эндофит штамм 417	1,59	35	2,54	56	0,37	8
N90P45K45	2,19	24	3,38	38	3,43	38
Среднее за 2 года						
Фон 2: N45P45K45 (Ф2)	1,56	35	2,43	54	0,51	11
Ф2+ Экстрасол Ч-13– стандарт	1,65	37	2,43	54	0,42	9
Ф2 + эндофит штамм V 167	1,74	39	2,51	55	0,25	6
Ф2 + эндофит штамм 417	1,68	38	2,49	55	0,33	7
N90P45K45	2,36	26	3,47	39	3,17	35

В 2020 г. доля накопленного ^{15}N в растениях от внесенной дозы меченого азота удобрения составляла 28–39%, в 2021 г. соответственно 24-35%, в среднем его значение равняюсь 36% в 2020 г. и 32% в 2021 г, т.е. на четыре процента абсолютных больше в первый год (Таблица 7.1). При внесении азотного удобрения, азот находящийся в нем, закрепляется в почве, а затем по мере роста растений он потребляется ими (Завалин, Соколов, 2016). В фазу цветения яровой пшеницы в оба года исследований в почве обнаружено около половины от внесенного количества

меченого азота удобрения (Таблица 7.1). При использовании дозы N45 в почве больше закреплялось азота удобрения от внесенной дозы по сравнению с внесением дозы N90. Связано это с тем, что при применении дозы N90 наблюдались большие неучтенные потери меченого азота удобрения, составляющие 32% в 2020 г. и 38% в 2021 г. от внесенного количества (N90).

В среднем за два года проведения микрополевого опыта при внесении N45 растениями потреблялось 1,56 г/м² меченого азота. При использовании для инокуляции семян изучаемых биопрепаратов наблюдалась слабая тенденция увеличения потребления растениями азота удобрения до 37 – 39% от внесенной дозы (Таблица 7.1). При использовании азотного удобрения в дозе N90 растения использовали только ¼ от внесенного количества. В эту фазу более половины от внесенного N45 закреплялось в почве (54–55%), при этом за счет применения эндофитных биопрепаратов отмечена слабая тенденция увеличения количества меченого азота, закрепленного в почве (Таблица 7.1).

Важной составной частью потоков азота служат его газообразные потери, составляющие от 6 до 11% от внесенного количества в дозе N45. Минимальные потери азота удобрения в фазу цветения яровой пшеницы 6–7% получены при внесении N45 и инокуляции семян биопрепаратами на основе эндофитных штаммов (Таблица 7.1). Максимальные же потери получены при внесении более высокой дозы N90 – 35% от дозы.

Таким образом, в фазу цветения яровой пшеницы 35 – 39% от внесенного меченого азота удобрения потребляется растениями, 55– 56% иммобилизуется (закрепляется) в почве и 6–11% от внесенной дозы N45 теряется в форме неучёных потерь и представляющих в основном его газообразные соединения (Кореньков, 1999; Завалин, Соколов, 2016).

При внесении азотного удобрения в дозе N90 возрастают до 35% неучтённые (газообразные), потери, снижается в относительном исчислении потребление растениями (26%) и закрепление в почве (39%). Однако в абсолютном выражении эти показатели существенно больше по сравнению с дозой N45. Использование для инокуляции семян изучаемых биопрепаратов слабо изменяет потоки азота

удобрения в фазу цветения яровой пшеницы по сравнению с вариантом N45, хотя отмечена слабая тенденция повышения потребления растениями ^{15}N , при использовании изучаемых биопрепаратов, снижении газообразных потерь азота при инокуляции семян яровой пшеницы эндофитными биопрепаратами.

Как было показано в третьей главе, в среднем за 2020–2022 годы продуктивность яровой пшеницы определяли условия азотного питания растений, связанные с внесением азотного удобрения и инокуляцией семян изучаемыми биопрепаратами. В среднем за 2020–2021 гг. (Таблица 7.2), при урожае на РК-фоне 312 г/м² внесение N45 увеличило массу зерна на 45%, при удвоении дозы она возросла на 55%, при этом различия по массе зерна между дозами азота были не достоверны.

Таблица 7.2 – Продуктивность яровой пшеницы (в среднем за 2020–2021 годы)

Вариант	Зерно			Солома		
	масса	прибавка		Масса	прибавка	
	г/м ²		%	г/м ²		%
Фон 1: P45K45(Ф1)	312	–	–	492	–	–
Ф1+Экстрасол Ч-13– стандарт	390	78	25	539	47	9
Ф1+ эндофит штамм V 167	409	97	31	513	21	4
Ф1+эндофит штамм 417	444	132	42	544	52	11
Фон 2: N45P45K45 (Ф2)	455	143	45	575	83	17
Ф2+ Экстрасол Ч-13– стандарт	480	168	53	555	63	13
Ф2 + эндофит штамм V 167	465	153	49	555	63	13
Ф2 + эндофит штамм 417	450	138	44	580	88	18
N90P45K45	484	172	55	529	37	8
P, %	4,5			5,4		
НСР ₀₅	41			85		

Инокуляция семян биопрепаратами увеличила массу зерна, по отношению в РК-фону на 25–42%. Прибавки от биопрепаратов на основе штаммов Ч-13 и V 167 находились на одном уровне, от V 417 прибавка превышала стандартный препарат и соответствовала препарату V 167 и внесению под яровую пшеницу N45. При посеве

инокулированными семенами и внесении азотного удобрения (N45) масса зерна яровой пшеницы изменялась, по сравнению с применением изучаемых биопрепаратов на фоне РК, не существенно и уступала варианту с использованием азотного удобрения в дозе N90. При внесении N45 наибольшей эффективностью характеризовался стандартный биопрепарат, изготовленный на основе штамма Ч-13.

При использовании азотного удобрения и инокуляции семян биопрепаратами, наряду с ростом массы зерна, отмечали увеличение массы соломы с 492 до 580 г/м², прибавка достигала 17...18% (Таблица 7.2).

Максимальная прибавка массы соломы в среднем за два года проведения опыта получена при внесении под яровую пшеницу удобрения в дозе N45 и при посеве семенами, инокулированными препаратом V417, в варианте с применением N45. Использование других биопрепаратов в сочетании с N45 повышало массу соломы, по отношению к РК-фону, на 13%.

Накопление азота в урожае яровой пшеницы определяется массой зерна и соломы и концентрацией в них этого элемента (Таблица 7.3).

С увеличением массы зерна и соломы накопление в растениях (зерно + солома) общего азота в 2020 г. изменялось с 10,43 до 16,60 г/м², в 2021 г. с 9,64 до 14,83 г/м².

Более высокое накопление общего азота в урожае яровой пшеницы в 2020 г. связано с получением большей массы зерна и соломы по сравнению с 2021 г. Погодные условия этих лет оказали слабое воздействие на накопление в растениях меченого азота удобрений, которое изменялось в 2020 г. от 2,05 до 3,82 г/м², в 2021 г. от 2,08 до 3,71 г/м² (Таблица 7.3).

Получены различия в потреблении растениями азота почвы, так в 2020 г. растения использовали на формирование урожая больше азота почвы и больше «экстра-азота», формирующегося при внесении азотного удобрения за счет минерализации почвенного азота (Кореньков, 1999).

В оба года в потребленном растениями азоте присутствовал биологический азот, фиксированный интродуцированными в агроценоз микроорганизмами (Таблица 7.3).

Таблица 7.3 – Накопление в растениях яровой пшеницы сорта Злата азота удобрения, почвенного азота и биологического азота

Вариант	Общий вынос N		Азот							
			15N удобрения		Почвы		Экстра		биологический	
	2020 год									
	г/м ²	%	г/м ²	% от выноса	г/м ²	% от выноса	г/м ²	% от выноса	г/м ²	% от выноса
Фон 1: P45K45(Ф1)	10,43	100	–	–	10,43	100	–	–	–	–
Ф1+Экстрасол Ч-13– стандарт	12,65	100	–	–	10,43	82,48	–	–	2,22	17,52
Ф1+ эндофит штамм V 167	13,58	100	–	–	10,43	76,82	–	–	3,15	23,18
Ф1+эндофит штамм 417	14,95	100	–	–	10,43	69,75	–	–	4,52	30,25
Фон 2: N45P45K45 (Ф2)	14,65	100	2,05	15,02	10,43	71,19	2,17	14,82		
Ф2+ Экстрасол Ч-13– стандарт	16,10	100	2,34	14,53	10,43	64,78	1,88	11,68	1,45	9,00
Ф2 + эндофит штамм V 167	16,70	100	2,43	14,55	10,43	62,46	1,79	10,73	2,05	12,26
Ф2 + эндофит штамм 417	16,07	100	2,36	14,69	10,43	64,91	1,86	11,58	1,42	8,83
N90P45K45	16,60	100	3,82	23,01	10,43	62,82	2,35	14,17	–	–
2021 год										
Фон 1: P45K45(Ф1)	9,64	100	–	–	9,64	100	–	–	–	–
Ф1+Экстрасол Ч-13– стандарт	12,27	100	–	–	9,64	78,59	–	–	2,63	21,41
Ф1+ эндофит штамм V 167	11,81	100	–	–	9,64	81,62	–	–	2,17	18,38
Ф1+эндофит штамм 417	11,87	100	–	–	9,64	81,23	–	–	2,23	18,77
Фон 2: N45P45K45 (Ф2)	12,61	100	2,08	16,50	9,64	76,46	0,89	7,05		
Ф2+ Экстрасол Ч-13– стандарт	13,91	100	2,24	16,10	9,64	69,29	0,73	5,24	1,30	9,38
Ф2 + эндофит штамм V 167	14,15	100	2,36	16,68	9,64	68,16	0,61	4,30	1,54	10,86
Ф2 + эндофит штамм 417	14,28	100	2,31	16,18	9,64	67,52	0,66	4,61	1,67	11,69
N90P45K45	14,83	100	3,71	25,02	9,64	65,01	1,48	9,97	–	–

Вместе с тем, наиболее полное представление об использовании растениями различных источников азота на формирование урожая дают обобщенные данные в среднем за два года исследований. С увеличением масса зерна и соломы накопле-

ние азота в урожае возросло с 10,17 до 15,86 г/м². Максимальное в опыте накопление в урожае азота отмечено при внесении азотного удобрения в дозе N90 (Таблица 7.4). При инокуляции семян биопрепаратами накопление в урожае азота увеличилось по сравнению с РК-фоном, на 2,33–2,64 г/м², при этом его рост был равноценным по изучаемым биопрепаратам. В вариантах с внесением под яровую пшеницу N45 в сочетании с инокуляцией семян биопрепаратами накопление азота в урожае соответствовало применению N90, что свидетельствует об улучшении условий азотного питания растений (Чеботарь и др., 2015; Алферов и др., 2017).

Применение изотопа ¹⁵N (Кореньков, 1999) позволило выявить источники азота в формировании урожая яровой пшеницы (Таблица 7.4).

Таблица 7.4 – Накопление азота в растениях яровой пшеницы в фазе полной спелости (в среднем за 2 года)

Вариант	Общий вынос N		В том числе азот							
			¹⁵ N удобрения		почвы		Экстра		биологический	
	г/м ²	%	г/м ²	% от выноса	г/м ²	% от выноса	г/м ²	% от Выноса	г/м ²	% от выноса
Фон 1: P45K45(Ф1)	10,17	100	–	–	10,17	100	–	–	–	–
Ф1+Экстрасол Ч-13- стандарт	12,50	100	–	–	10,17	81	–	–	2,34	19
Ф1+ эндофит штамм V 167	12,81	100	–	–	10,17	79	–	–	2,64	21
Ф1+эндофит штамм 417	13,52	100	–	–	10,17	75	–	–	3,36	25
Фон 2: N45P45K45 (Ф2)	13,82	100	2,07	15	10,17	74	1,59	11,48		
Ф2+ Экстрасол Ч-13- стандарт	15,15	100	2,29	15	10,17	67	1,36	8,99	1,33	9
Ф2 + эндофит штамм V 167	15,52	100	2,40	15	10,17	66	1,26	8,10	1,69	11
Ф2 + эндофит штамм 417	15,30	100	2,34	15	10,17	66	1,32	8,61	1,47	10
N90P45K45	15,86	100	3,77	24	10,17	64	1,93	12,15	–	–
P, %	2,5									
НСР ₀₅	0,80									

На РК-фоне формирование урожая яровой пшеницы происходило с участием только азота почвы. При использовании только биопрепаратов в результате азот-фиксации примерно 20% урожая формировалось за счет биологического азота, при

этом максимальное его накопление в урожае яровой пшеницы (25%) получено в варианте с использованием биопрепаратам на основе штамма V 417. При внесении азотного удобрения (аммиачная селитра), урожай формировался на 15% за счет удобрения, использование биопрепаратов не изменяло относительную величину этого показателя. Максимальная в опыте доля меченого азота ^{15}N (23,7%) зафиксирована при внесении под яровую пшеницу азотного удобрения в дозе N90. В результате роста минерализации почвенного азота при применении аммиачной селитры (Кореньков, 1999; Завалин, 2022) растения яровой пшеницы использовали около 8,5% «экстра»-N на формирование урожая зерна и соломы при инокуляции семян биопрепаратами. Максимальное использование «экстра»-N растениями (11,5...12,1%) отмечено при внесении под яровую пшеницу аммиачной селитры.

Выявлено также распределение поглощенного азота между товарной и нетоварной частями урожая яровой пшеницы (Таблица 7.5).

Таблица 7.5 – Распределение накопленного азота в товарной и побочной продукции яровой пшеницы (в среднем за 2 года)

Вариант	Накопление азота удобрения, почвы и ассоциативного ¹		Накопление ^{15}N удобрения ²	
	Зерно	Солома	Зерно	солома
Фон 2: N45P45K45 (Ф2)	10,06 / 73	3,77 / 27	1,98 / 96	0,09 / 4
Ф2 + Экстрасол Ч-13– стандарт	10,96 / 72	4,19 / 28	2,18 / 95	0,11 / 5
Ф2 + эндофит штамм V 167	11,33 / 73	4,19 / 27	2,28 / 95	0,11 / 5
Ф2 + эндофит штамм 417	11,29 / 74	4,00 / 26	2,24 / 96	0,09 / 4
N90P45K45	11,59 / 73	4,27 / 27	3,45 / 92	0,32 / 8

Примечание: 1 – в числителе – г/м², в знаменателе – % от поглощенного азота удобрения, почвы и ассоциативного; 2 – в числителе – г/м², в знаменателе – % от поглощенного азота удобрения

Основная доля почвенного и биологического азота накапливается (72...74%) в зерне, в соломе его локализация значительно меньше (26...28%). Меченый (^{15}N) азот удобрения аммиачной селитры также преимущественно накапливается в зерне (92...96%). С увеличением дозы азотного удобрения происходит перераспределение накопления ^{15}N в пользу соломы. Её доля возрастает с 4...5% в варианте N45

до 8% при внесении N90, что может указывать на непроизводительное использование азота удобрения. Эффективность использования азота в агроценозе характеризуется состоянием баланса ^{15}N (Кореньков, 1999; Завалин, 2022). Чем больше растения потребляют азот на формирование урожая и чем меньше его неучтенные потери, относящиеся преимущественно к газообразным, тем устойчивее функционирует агроценоз. Определение статей баланса ^{15}N показывает (Таблица 7.6), что при внесении на РК-фоне азотного удобрения в дозах N45 и N90 растения яровой пшеницы использовали на формирование урожая соответственно 46 и 42% от дозы N.

Таблица 7.6 – Состояние баланса азота удобрения (^{15}N) при возделывании яровой пшеницы (в среднем за 2 года)

Вариант	Накоплено в растениях		Иммобилизация в почве		Потери	
	г/м ²	% от дозы удобрения	г/м ²	% от дозы удобрения	г/м ²	% от дозы удобрения
Фон 2: N45P45K45 (Ф2)	2,07	46	1,45	33	0,99	21
Ф2+ Экстрасол Ч-13– стандарт	2,29	51	1,47	33	0,74	17
Ф2 + эндофит штамм V 167	2,40	53	1,36	30	0,74	17
Ф2 + эндофит штамм 417	2,34	52	1,3	30	0,83	19
N90P45K45	3,77	42	3,21	36	2,03	23

Применение биопрепаратов повышало величину этого показателя на 5...7%. Иммобилизация (закрепление) азота удобрения в почве составляет 30...36% от внесенной дозы и возрастает по мере повышения дозы внесения азотного удобрения. Применение новых биопрепаратов (V 167 и V 417) обеспечивает тенденцию к снижению закрепления азота удобрения в почве. В результате большего потребления растениями меченого азота ^{15}N на формирование урожая яровой пшеницы при использовании биопрепаратов в сочетании с дозой N45 газообразные потери азота удобрения снижаются с 21 до 16...18%, максимальные потери (22% от внесенной дозы) отмечены при использовании под яровую пшеницу удобрения в дозе N90.

Изучению потоков азота в агроценозах при внесении минеральных удобрений и применении биопрепаратов с использованием стабильного изотопа азота в последние годы посвящены работы А. А. Завалина и О. А. Соколова (2016), А. А.

Алферова (2020), где было показана отдельные его изменения, касающиеся в основном улучшения режима функционирования агроценозов за счет применения биологических факторов интенсификации. В нашей работе мы проводили расчеты потоков азота при выращивании яровой пшеницы по методике, приведенной в монографии А. А. Алферова (2020):

Таблица 7.7 – Расчеты потоков азота при выращивании яровой пшеницы

Показатель	Формула
Иммобилизованный/ реимобилизованный N_c	$N_c = \frac{Na * {}^{15}Nc}{{}^{15}Na}$
Непроизводительные потери N_d	$N_d = \frac{Na * {}^{15}Nd}{{}^{15}Na}$
Минерализованный азот (M)	$M = N_a + N_b + N_c + N_d$
Нетто-минерализованный (H-M)	$H-M = N_a + N_b + N_d$
Реимобилизованный (РИ)	$РИ = M - H-M$
Критерий нормирования режимов функционирования, %	$\frac{РИ}{M}$
Критерий нормирования уровней воздействия на агроэкосистему, %	$\frac{H - M}{РИ}$
<p><i>Примечание</i> – N_a – использованный азот растениями (общий вынос азота урожаем, г/м²); ${}^{15}N_c$ – иммобилизованный / реимобилизованный (закрепленный азот в почве, г/м²); ${}^{15}N_d$ – непроизводительные потери, г/м²; N_b – остаточный минеральный азот (N-NO₃+N-NH₄, мг/кг); M – минерализованный азот, мг/кг; H-M – нетто-минерализованный азот, мг/кг; РИ – реимобилизованный азот, мг/кг</p>	

«Азот, потребленный растениями в период вегетации, оценивается как «вход» в агросистему, а минерализованный в период вегетации сельскохозяйственных культур азот почвы как «вход» вещества в агросистему» (Помазкина Л. В., 2004). «Азот нетто-минерализованный (H-M) обозначается как «выход», а «возвратом азота на выходе» служит реимобилизованный азот (РИ), используемый на поддержание системы» (Сычев, Соколов и др., 2012). «Показатель нетто-минерализованного азота (H-M) характеризует поток азота во внешний, или автотрофный, цикл, а РИ – поток (возврат) во внутрипочвенный. Отсутствие количественных различий между этими потоками указывает на замкнутость циклов азота» (Помазкина, Котова и др., 2008; Помазкина, 2004). «Установлено, что устойчивость агросистемы

обеспечивается возвратом 50% вещества и при этом значении она (агросистема) находится в экологическом равновесии (гомеостаз)» (Одум, 1986).

При внесении в почву минеральных и органических удобрений изменяется ее азотный режим, происходит минерализация почвенного азота, вносимый в составе удобрений азот мобилизуется в почве, затем в результате иммобилизации он потребляется растениями, может теряться в виде газообразных потерь (Кореньков, 1999; Завалин, Соколов, 2016). Эти факторы влияют на потребление азота растениями и, как следствие, его участие в продукционном процесса сельскохозяйственных растений, а также его потоки в почве, что в конечном итоге определяет устойчивость функционирования агросистемы (Алферов, 2020).

«Показателем оценки функционирования агроэкосистем служит отношение Н-М: РИ, характеризующее соотношение между потоками азота, направленными в гетеро- и автотрофный циклы. При значении показателя Н-М: РИ, близкого или равного единице, возможен при рециркуляции равному 50%. Чем выше значение соотношения Н-М: РИ, тем менее устойчива система. В то же время, чем ниже значение отношения РИ: М (циркуляция азота), тем менее устойчива система» (Алферов, 2020; Помазкина, 2004) (Таблица 7.8).

Таблица 7.8 – Критерии режимов функционирования агроэкосистем

Режим функционирования	Уровень воздействия	Критерии	
		РИ: М, %	Н – М: РИ
Гомеостаз	Норма	50±5	0,8-1,2
Стресс	Допустимый	45–30	1,2–2,5
Резистентность	Предельно допустимый	30–20	2,5–4,2
Адаптационное истощение	Критический	20–10	4,2–9,0
Репрессия	Недопустимый	<10	>9,0

При изучении потоков азота в агросистемах обычно используют стабильный изотоп азота ^{15}N , это позволяет точно определить потребление растениями меченого азота из удобрения, закрепление его в почве и выявить неучтённые потери (Завалин, 2022). Используют также значения содержания минерального азота (N-

$\text{NO}_3 + \text{N-NH}_4$) в почве после уборки культуры. С применением этих исходных данных рассчитывали значения показатели, которые необходимы для определения устойчивости агросистемы при выращивании яровой пшеницы на темно серой лесной почве (Таблица 7.9). В среднем за два года общий вынос азота с урожаем яровой пшеницы (зерно + солома) изменялся от 13,63 до 15,72 г/м². В результате применения биопрепаратов и удвоения дозы внесения азотного удобрения происходило возрастание выноса азота урожаем с 13.63 (вариант N45) до 15,01 – 15,72 г/м². При инокуляции семян изучаемыми микробными препаратами с 2,06 до 2,29 – 3,77 г/м² увеличилось накопление (вынос) в урожае меченого азота удобрения.

Таблица 7.9 – Расчеты потоков азота при возделывании яровой пшеницы, средние за два года

Вариант	Вынос N урожая м, г/м ²	Доза удобрения, г/м ²	Вынос ¹⁵ N урожаем	Закреп. ¹⁵ N в почве	Потери ¹⁵ N удобрения	Остаточный минеральный азот	Вынос азота из почвы, г/м ²
Фон 2: N45P45K45 (Ф2)	13,63±1,02	4,5	2,06±0,02	1,45±0,02	0,99±0,01	1,77±0,35	11,57
Ф2+ Экстрасол Ч-13-стандарт	15,01±1,09	4,5	2,29±0,05	1,45±0,05	0,76±0,01	1,3±0,21	12,72
Ф2 + эндофит штамм V 167	15,42±1,27	4,5	2,40±0,03	1,39±0,03	0,72±0,01	1,39±0,20	13,02
Ф2 + эндофит штамм 417	15,17±0,90	4,5	2,34±0,02	1,31±0,03	0,85±0,02	1,34±0,10	12,83
N90P45K45	15,72±0,88	9,0	3,77±0,05	3,12±0,01	2,16±1,02	1,81±0,33	11,95
	НСР ₀₅ = 0,80						
Дозы азота и штамм	И (Иммобилизация), г/м ²	Газообразные потери, г/м ²	М (Минерализованный), г/м ²	Н – М (нетто-минерализов), г/м ²	РИ реимобилизация, г/м ²	Критерии нормирования	
						РИ:М	Н-М: РИ
Фон 2: N45P45K45 (Ф2)	8,14	9,61	31,10	22,95	8,14	26	2,82
Ф2+ Экстрасол Ч-13- стандарт	8,05	4,02	26,09	18,04	8,05	31	2,24
Ф2 + эндофит штамм V 167	7,54	3,50	25,45	17,91	7,54	30	2,38
Ф2 + эндофит штамм 417	7,18	7,26	28,62	21,43	7,18	25	2,98
N90P45K45	9,89	11,25	34,90	25,01	9,89	28	2,53

Закрепление ^{15}N в почве изменялось только при увеличении дозы внесения меченой аммиачной селитры, возрастали также неучтённые потери азота при увеличении дозы внесения меченого азотного удобрения. Однако при использовании биопрепаратов на основе штаммов Ч-13 и V167 потери меченого азота удобрения получены меньше по сравнению с другими вариантами опыта (Таблица 7.8).

Определены запасы в почве остаточного количества минерального азота ($\text{N-NO}_3 + \text{N-NH}_4$). Максимальными они получены при внесении обеих доз аммиачной селитры 1,77 и 1,81 г/м². При использовании биопрепаратов в почве после уборки яровой пшеницы остается меньше на 0,47–0,51 г/м² количество минерального азота, свидетельствующее о рациональном использовании азота для формирования урожая яровой пшеницы. Определение с использованием ^{15}N выноса растениями азота почвы свидетельствует о том, что при применении эндофитных биопрепаратов имеет место тенденция его роста, снижается иммобилизация азота в почве, максимальной она наблюдается при внесении азотного удобрения в дозе N90. Общий минерализованный азот при использовании Naa и биопрепаратов изменяется от 25,45 до 34,90 г/м², в его состав входит внесенный N в составе удобрения остаточный минеральный азот, иммобилизованный азот, и закрепленный азот в почве. Максимальное количество минерализованного азота получено при внесении N90, меньше 31,1 г/м² при внесении N45, при использовании биопрепаратов этот показатель имеет тенденцию к снижению до 25,45–28,62 г/м² (Таблица 7.8). Значение нетто-минерализованного азота, в которых входит N, внесенный с удобрением, остаточный минеральный азот и азот, закрепленный в почве, изменялось с 17,91 до 25,01 г/м². При инокуляции семян биопрепаратами значение нетто-минерализованного азота снижается до 18,04–21,43 г/м², при этом меньшее его значения наблюдали при инокуляции семян биопрепаратами на основе штаммов Ч-13 и V167. И наконец, максимальное количество реиммобилизованного азота, в который входит минерализованный азот минус нетто-минерализованный азот, получено при внесении аммиачной селитры. За счет инокуляции семян эндофитными биопрепаратами, значение реиммобилизованного азота снижается.

Использование методика оценки режимов функционирования агроэкосистемы позволило рассчитать числовые критерии, по которым оценивается устойчивость агроценоза яровой пшеница на темно-серой лесной почве при внесении азотного удобрения и применении различных биопрепаратов для инокуляции семян. Значение критерия отношения РИ: М (отношение реиммобилизованного азота к мобилизованному азоту, выражаемому в процентах) по вариантам опыта изменялось от 25% до 31%. Согласно этому критерию (Таблица 7.8), режим функционирования агроэкосистема в почве яровой пшеницы оценивается допустимый и предельно допустимый. При внесении азотного удобрения в дозах N45 и N90 система находится в резистентности и уровне воздействия предельно допустимый. При использовании биопрепаратов значение РИ: М составляет 25–31%, что соответствует также резистентности или предельно допустимому уровню воздействия.

Оценка критерия режима функционирования агроценоза яровой пшеницы по соотношению нетто-минерализованного к реиммобилизованному азоту (Н-М : РИ) в нашем опыте показала, что его значение (критерий) составляет 2,24–2,98 (Таблица 7.9). Исходя из значения критерия оценки режимов функционирования агроэкосистем, при внесении обеих доз азотного удобрения (2,82 при дозе N45 и 2,53 при дозе N90), агроценоз яровой пшеницы на темно-серой лесной почве функционирует в режиме резистентности и уровень воздействия на систему оценивается как предельно допустимый. При использовании биопрепарата на основе штаммов Ч-13 и V167 режим функционирования агроэкосистемы оценивается как стрессовый, а уровень воздействия становится допустимым. При применении биопрепарата V417 режим функционирования переходит в резистентный, а уровень воздействия предельно допустимый (Таблица 7.9).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В фазу цветения яровой пшеницы 35–39% внесенного меченого азота удобрения N45 потребляется растениями; 54–55% иммобилизуется (закрепляется) в почве и 6–11% теряется в форме неучёных потерь. При внесении азотного удобрения в дозе N90 возрастают до 35% неучтённые (газообразные) потери, снижается в относительном исчислении потребление растениями (26%) и закрепление в почве (39%). Использование биопрепаратов слабо изменяет потоки азота удобрения в фазу цветения яровой пшеницы по сравнению с вариантом N45, хотя отмечена слабая тенденция повышения потребления растениями ^{15}N при использовании эндофитных бактерий и снижения газообразных потерь азота при инокуляции семян яровой пшеницы.

При инокуляции семян яровой пшеницы изучаемым биопрепаратом урожай на 20% формируется за счет биологического азота, при этом максимальное в опыте его накопление (25%) достигается при использовании биопрепарата на основе штамма V 417. При внесении аммиачной селитры урожай на 15% формируется за счет удобрения, использование биопрепаратов не влияет на этот показатель. Максимальная доля меченого азота ^{15}N (24%) в урожае яровой пшеницы получена при внесении N90. В результате внесения аммиачной селитры увеличивается минерализация почвенного азота, при использовании биопрепаратов в растениях накапливается около 8,5% «экстра»-N, наибольшая величина этого показателя (11,5...12,1%) получена при внесении под яровую пшеницу только азотного удобрения. Азот минерального удобрения преимущественно накапливается в зерне (95...96% от поглощённого) и только 4...5% в соломе яровой пшеницы. С увеличением дозы азотного удобрения доля накопления ^{15}N в зерне снижается, а в соломе возрастает.

При внесении N45 и N90 на РК-фоне растения используют или (коэффициент использования меченого N – удобрения) на формирование урожая соответственно 46 и 42% от внесенного азота удобрения, применении биопрепаратов на фоне N45 повышает его накопление до 51...53% от внесенной дозы. В почве закрепляется 33...36% от внесенной дозы ^{15}N , использование для инокуляции биопрепаратов

снижает величину этого показателя до 30%. Потери ^{15}N при внесении под яровую пшеницу аммиачной селитры достигают 33...36%, применение биопрепаратов сокращает потери до 16...18%. Минимальное накопление азота удобрения в растениях (42%), максимальное его закрепление в почве (36%) и потери (23%) наблюдаются при внесении N90.

При использовании для инокуляции семян биопрепаратов в почве после уборки яровой пшеницы остается меньше на 0,47–0,51 г/м² минерального азота, что свидетельствует о рациональном использовании растениями этих запасов азота. Инокуляция семян биопрепаратами снижает газообразные потери азота удобрения, максимальные потери получены при внесении обеих доз азотного удобрения. Максимальные значения минерализованного азота были при внесении N90, меньше при внесении N45. Применение биопрепаратов снижает эти показатели.

По критерию отношения реиммобилизованного азота к мобилизованному (РИ: $M = 25\text{--}31\%$) агроценоз яровой пшеницы при внесении азотного удобрения и инокуляции семян изучаемыми биопрепаратами находится в режиме резистентности и уровень воздействия оценивается как предельно допустимый. По критерию нормирования, оцениваемому по отношению нетто-минерализованного азота к реиммобилизованному азота (Н-М: $M = 2,24\text{--}2,98$), агроценоз яровой пшеницы функционирует преимущественно в режиме стресса или резистентности. При использовании биопрепарата V417 агроценоз яровой пшеницы функционирует в режиме резистентности при предельно допустимом уровне воздействия.

ВЫВОДЫ

1. Применение под яровую пшеницу азотного удобрения и эндофитных биопрепаратов положительно влияет на урожайность, прибавки от применения биопрепаратов на РК-фоне составили 21–39%, при этом максимальной она получена от V417, прибавка от штамма V167 – 30%. Оба эти штамма превышали стандартный Ч-13. Увеличение дозы азота обеспечило незначительное рост урожайности зерна яровой пшеницы. При внесении полного минерального удобрения биопрепараты создают тенденцию увеличения массы зерна. В результате внесения N-

удобрения и применения биопрепаратов возрастает высота растений на 8–9 см, продуктивную кустистость на РК-фоне на 0,12–0,14, длина колоса яровой пшеницы на 0,41–0,73 см.

2. Биопрепараты на фоне РК повышают на 2,8–3,8 г массу 1000 зерен яровой пшеницы. Содержание белка в зерне яровой пшеницы от изучаемых приемов имело тенденцию к повышению с 12,4 до 13,1–13,9%. Инокуляция семян эндофитными биопрепаратами обеспечила тенденцию повышения содержания белка в зерне яровой пшеницы на 0,7–1,2% и с 24,4 до 25,5–26,2% содержание сырой клейковины, полученное зерно по этим показателям соответствует третьему классу качества.

3. Инокуляция семян эндофитными бактериями повышает биомассу растений и содержание в ней азота в фазу цветения. Инокулянты увеличивают накопление азота в зерне на 21–33%, внесение N45 – на 49%, инокуляция семян в сочетании с внесением N45 – на 7–10%. Около 70–74% азота от общего накопления в урожае локализуется в зерне. Накопление фосфора в урожае при использовании N-удобрения и биопрепаратов возрастает в 1,5 раза. При использовании штамма V417 на РК-фоне получено достоверное увеличение выноса фосфора урожаем яровой пшеницы, накопленный в растениях фосфор преимущественно локализовался в зерне (66–71%). Накопление калия в урожае яровой пшеницы увеличилось от N-удобрения в 1,27 раза, на РК-фоне от биопрепаратов накопление K_2O в урожае возросло в 1,16–1,23 раза, что равноценно росту, достигнутому при внесении N45. Накопленный калий локализовался преимущественно в соломе – 2/3. За счет биопрепаратов и азотного удобрения в обеих дозах в зерне возрастало накопление калия от общего его выноса урожаем с 26 до 30–35%.

4. Использование эндофитных бактерий повышает накопление ^{15}N в урожае яровой пшеницы, снижает с 11 до 6–7% потери ^{15}N . При использовании эндофитных бактерий в результате азотфиксации около 20% урожая формируется за счет биологического азота, при этом максимальное его накопление в растениях (24,8%) получено по V 417. При внесении Naa урожай формировался на 15% за счет удобрения, использование биопрепаратов не влияло на относительную величину этого показателя. В результате минерализации почвенного азота при применении Naa

растения использовали для формирования урожая при инокуляции семян около 8,5% «экстра»-N. Наибольшее его поступление в растения (11,5...12,1%) отмечено при внесении под яровую пшеницу Naa. Меченый (^{15}N) азот удобрения также преимущественно накапливается в зерне (92...96%). С увеличением дозы азотного удобрения с N45 до N90 происходит перераспределение накопления ^{15}N в пользу соломы с 4–5 до 8%.

5. Имобилизация (закрепление) ^{15}N удобрения в почве составляет 30...36% от внесенной дозы и возрастает при повышении дозы. Применение эндофитных бактерий создает тенденцию снижения закрепления ^{15}N в почве. В результате большего накопления ^{15}N в урожае при использовании биопрепаратов в сочетании с дозой N45 снижаются потери ^{15}N с 21 до 17–19%, максимальные потери (23%) происходит при внесении N90.

6. При внесении N-удобрения в дозах N45 и N90 агроценоз яровой пшеницы находится в резистентности и уровень воздействия предельно допустимый. При использовании биопрепаратов значение РИ: М составляет 25–31%, что соответствует предельно допустимому уровню воздействия. При использовании штаммов Ч-13 и V167 режим функционирования агроэкосистемы оценивается как стрессовый или допустимым. При применении штамма V417 режим функционирования переходит в резистентный, а уровень воздействия – предельно допустимый.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агропромышленный комплекс России в 2021. М.: Минсельхоз России, 2019. 554 с.
2. Алабушев В.А., Алабушев А.В. и др. Растениеводство. Ростов на Дону: Издательский центр "МарТ", 2001. 384 с.
3. Алфёров, А. А. Роль ассоциативного азота и удобрений в продуктивности яровых зерновых культур и устойчивости агроэкосистемы: дис. ... д-ра биол. наук: 06.01.04 / Алфёров Алексей Анатольевич. – Москва, 2018.
4. Алфёров А.А. Ассоциативный азот: продуктивность яровых зерновых культур и устойчивость агроэкосистемы / «Динамика изменения показателей плодородия почв и комплекс мер по их регулированию при длительном применении систем удобрения в разных почвенно-климатических зонах». Матер. Международной научной конф. / Под ред. Акад. РАН В.Г. Сычева М.: ВНИИА. 2018. С. 116-126.
5. Алфёров А.А. Влияние агрохимических свойств дерново-подзолистых почв и метеорологических условий вегетационного периода на эффективность применения биопрепаратов и азотного удобрения на яровой пшенице / Сб. науч. Доклад Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 125-летию организации «Особой экспедиции лесного департамента по испытанию и учету различных способов и приемов лесного и водного хозяйства в степях южной России». Воронеж «Истоки». 2017. С. 227-236.
6. Алфёров А.А., Завалин А.А., Чернова Л.С. Урожайность и качество зерна яровой пшеницы при инокуляции семян Ризоагрином // Вестник сельскохозяйственной науки. 2018. № 2. С. 12-16.
7. Алфёров А.А., Чернова Л. С., Завалин А.А. Эффективность применения эндофитных биопрепаратов и азотного удобрения // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2017. № 5. С. 21-24.
8. Алфёров А.А., Чернова Л.С. Влияние сидерата и «Ризоагрина» на продуктивность яровой пшеницы и трансформацию азота удобрения // Кормопроизводство. 2017. № 12. С. 8-11.

9. Алферов А.А., Чернова Л.С., Завалин А.А., Чеботарь В.К. Эффективность применения эндофитных биопрепаратов и азотного удобрения// Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2017. № 5. С. 21...24.
10. Алферов А.А., Чернова Л.С., Завалин А.А., Чеботарь В.К. Эффективность применения эндофитных биопрепаратов и азотного питания //Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2017. № 5. С. 21-24.
11. Алферов А.А., Чернова Л.С., Кожемяков А.П. Эффективность применения биопрепарата на яровой пшенице в Европейской части России на разных фонах минерального питания // Российская сельскохозяйственная наука. 2017. № 6. С. 17-21.
12. Алферов А.А., Завалин А.А., Чернова Л.С., Чеботарь В.К. Эффективность биопрепаратов эндофитных бактерий на яровой пшенице и устойчивость агроэко-системы// Плодородие. 2019. № 1 (106). С. 41 - 44
13. Асатурова А. М. и др. Изучение влияния бактеризации семян на рост и развитие растений озимой пшеницы //Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2013. – №. 85. – С. 43-56.
14. Базилинская, М.В. Биодоброения //– М.: Агропромиздат, 1989 – С 126
15. Бареев Л.И. Яровая пшеница / Л.И. Бареев. – М.: Колос, 1978 – С 206
16. Чеботарь, В. К. Эндофитные бактерии древесных растений как основа комплексных микробных препаратов для сельского и лесного хозяйства (обзор) / В. К. Чеботарь, А. В. Щербаков, С. Н. Масленникова [и др.] // Российская сельскохозяйственная наука. 2016. № 4. 40-44
17. Васильчук Н.С., Жанабекова Е.И. Памяти В.А. Кумакова // Сельскохозяйственная биология. 2006. №5. С.123-125.
18. Васин В.Г., Ельчанинова Н.Н., Васин А.В. [и др.] Растениеводство. Самара: Из-во Самарская ГСХА, 2003. 360 с.
19. Ващенко, А. В. Удобрение гибридов подсолнечника разного срока сева на черноземе обыкновенном Нижнего Дона: дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.04 / Ващенко Алексей Викторович. – Персиановский, 2021.

20. Войтович Н.В., Никифоров В.М. Влияние технологий возделывания яровой мягкой пшеницы на качество зерна // *Агрехимический вестник*. 2012. № 6. С. 21...22.
21. Войтович Н.В., Никифоров В.М. Формирование урожая яровой пшеницы в современных технологиях // *Агрехимический вестник*. 2009. № 4. С. 38...40.
22. Воробейков, Г.А. Исследование эффективности штаммов ассоциативных ризобактерий в посевах различных видов растений / Г.А. Воробейков, Т.К. Павлова, С.В. Кондрат, В.Н. Лебедев, В.С. Юргина, В.В. Муратова, П.Н. Макаров, Г.И. Дубенская, И.А. Хмелевская // *Известия Российского государственного педагогического университета им. А.И. Герцена*. 2011. № 141. С. 114...123.
23. Воробьев, А.В. Влияние даты посева на продолжительность вегетационного периода и его межфазных периодов у яровой пшеницы Иргина /А.В. Воробьев // *Достижения сельскохозяйственной науки Урала агропромышленному комплексу*. - Екатеринбург, 2006. Тр. Уральского НИИСХ. - Т. 61. - С. 35-39
24. Воронкова Н.А., Барабанова Н.Ф. Влияние длительного применения удобрений в зернотравяном севообороте на агрохимические свойства чернозема выщелоченного и урожайность сельскохозяйственных культур // *Достижения науки и техники АПК*. 2013. № 5. С. 30...32.
25. Гамзиков Г.П. Агрехимия азота в агроценозах – Новосибирск: Рос. акад. с-х наук, Сиб. Отд-ние. Новосиб. Гос. Аграр. ун-т. 2013. С. 790.
26. ГОСТ 27839...88 «Мука пшеничная. Методы определения количества и качества клейковины». М., 1988. 15 с.
27. ГОСТ Р 54478...2011. Зерно. Методы определения количества и качества клейковины в пшенице. М.: Стандартинформ, 2012
28. Даштоян Ю.В., Щеглова Е.К., Степанов С.А. Влияние изменения площади листьев на рост и развитие побега пшеницы // *Труды VII Международной конференции по морфологии растений, посвященной памяти И.Г. и Т.И. Серебряковых* /Под ред. А.Г.Еленевского. М.: МПГУ, 2004. С.77 - 78.

29. Дорофеев В.Ф., Удачин Р.А., Семенова Л.В., Новикова М.В., Градчанинова О.Д., Шитова И.П., Мережко А.Ф., Филатенко А.А. Пшеницы мира. Л.: ВО Агропромиздат. Ленингр. Отд-ние, 1987. 560 с.
30. Ерошенко Ф.В., Сторчак И.Г., Бильдиева Е.А., Калашникова А.А. Оценка влияния новых органоминеральных препаратов на формирование урожая и качества зерна яровой пшеницы// Агрехимический вестник. 2020. № 2. С. 7...12.
31. Есаулко А.Н., Гарибджанян Г.А., Голосной Е.В., Громова Н.В. Эффективность применения жидких и твердых азотных минеральных удобрений в ранневесеннюю подкормку посевов озимой пшеницы//Земледелие. 2020. № 3. С. 38...40.
32. Жуковский, П.М. Пшеница в СССР. – М.: Сельхозгиз, 1982. – 360 с.
33. Завалин А.А Биопрепараты, удобрения и урожай. М.: Изд-во ВНИИА. 2005. С. 302.
34. Завалин А.А., Алферов А.А., Чернова Л.С. Ассоциативная азотфиксация и практика применения биопрепаратов в посевах сельскохозяйственных культур // Агрехимия. 2019. № 8. С. 83-96. DOI 10.7868/50002188118030134
35. Завалин А.А., Соколов О. А., Шмырева Н.Я. Развитие агрохимических исследований с изотопом ^{15}N в России//Плодородие, 2021. №3. С. 56-56. DOI 10.256880/S19948603.2021.120.10/
36. Завалин А.А., Соколов О.А. Азот и качество зерна пшеницы// Плодородие. 2018. № 4. С. 14...17.
37. Завалин А.А., Соколов О.А. Потоки азота в агроэкосистеме: от идей Д.Н. Прянишникова до наших дней. М.: ВНИИА, 2016. ...595 с.
38. Завалин А.А., Соколов О.А., Шмырева Н.Я. Экология азотфиксации. М.: РАН, 2019. 252 с.
39. Завалин А.А., Чернова Л.С., Гаврилова А.Ю. Повышение эффективности минеральных удобрений при их биомодификации препаратом бисолбифит// Плодородие. 2014. № 6 (81). С. 6...8.
40. Завалин А.А., Азотное питание и продуктивность сортов яровой пшеницы. М: Агроконсалт, 2003. С. 160

41. Завалин А.А., Азот и качество зерна пшеницы // Плодородие. 2018. № 1 (100). С. 14 -17.
42. Завалин А.А. Биологический и минеральный азот в земледелии России. М.: ВНИИА, 2022. 256с. DOI 10.256880/WNIA.2019/12/76/105
43. Зинчук, Е.Г., Бойцова Л.В. Влияние дифференцированного внесения удобрений на физико...химические свойства почвы // Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 75...летию профессора С. Х. Дзанагова «Актуальные вопросы применения удобрений в сельском хозяйстве». 2012. С. 36...38
44. Калининская, Т.А. Изучение азотфиксирующей активности почв разного типа с помощью $^{15}\text{N}_2$ / Т.А. Калининская, Ю.М. Миллер, И.Т. Култышкина // Применение стабильного изотопа $^{15}\text{N}_2$ в исследованиях по земледелию. – М., 1973. – С. 55-61.
45. Карабутов А.П. Уваров Г.И. Изменение агрохимических показателей чернозема при длительном применении удобрений и обработок // Достижения науки и техники АПК. 2011. № 7. С. 25...28.
46. Капко Т.Н., Пискарев В.В., Бойко Н.И. Изучение изменчивости и наследования длины колоса мягкой яровой пшеницы в топкроссных скрещиваниях в условиях лесостепи Приобья // Достижения науки и техники АПК 2016. Т. 30 № 5. С. 43-46
47. Краснова Ю.С. Изменчивость элементов продуктивности сорта мягкой яровой пшеницы в Западной Сибири// Вестник Омского государственного аграрного университета 2016. № 1(21).С. 64 – 70
48. Капко Т.Н., Цильке Р.А. Изменчивость и наследование массы 1000 зерен у мягкой яровой пшеницы в зависимости от генотипа и условий вегетации // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). 2010. № 2 (14). С. 15 -18.
49. Кирпичников Н.А., Алиев А.М., Цимбалист Н.И. Оценка систематического применения средств химизации при возделывании озимой пшеницы // Агрохимический вестник. 2018. № 3. С. 15...18.

50. Кирюшин В.И. Минеральные удобрения как ключевой фактор развития сельского хозяйства и оптимизации природопользования// Достижения науки и техники АПК. 2016. Т. 30. № 3. С. 19...25.
51. Колмаков Ю.В. Оценка материала пшеницы в селекции и повышение потенциала его качества в зернопроизводстве и хлебопечении. Омск: Из-во ОмГАУ. 2007. С. 5...19.
52. Кореньков Д.А. Агроэкологические аспекты применения азотных удобрений. М.: Агроконсалт, 1999. 296 с.
53. Кореньков Д.Л., Борисов Ц.И., Зерцалов В.В., Семенов Ю.И. Изотопный состав азота некоторых типов почв СССР и его пространственное варьирование // Почвоведение. 1989. № 7. С. 38-40.
54. Кудеяров В.Н. Баланс азота, фосфора и калия в земледелии России // Агрохимия. 2018. № 10. С. 3...11.
55. Кудеяров В.Н. Эмиссия закиси азота из почв в условиях применения удобрений (аналитический обзор) // Почвоведение. 2020. № 10. С. 1192...1205. DOI: 10.31857/S0032180X20100X
56. Кудеяров В.Н., Соколов М.С., Глинушкин А.П. и др. Современное состояние почв агроценозов России, меры по их оздоровлению и рациональному использованию // Агрохимия. 2017. №6. С. 3...11.
57. Кудеяров, В.Н. Оценка питательной деградации пахотных почв России / В.Н. Кудеяров // Вестник Российской академии наук. 2015. Т. 85. №9. С. 771...775
58. Кузнецов П.И. Яровая пшеница в Зауралье / П.И. Кузнецов. – Челябинск: Южн.-Урал. кн. изд-во, 1980 – 126 с.
59. Кожемяков А.П., Белоброва С.Н., Орлова А.Г. Создание и анализ базы данных по эффективности микробных биопрепаратов комплексного действия // Сельскохозяйственная биология. 2011. № 3. С. 112 – 115.
60. Лактионов, Ю.В. Создание форм биопрепаратов на основе клубеньковых и ассоциативных ризобактерий и оценка их эффективности: Автореф. дис... канд. с.-х. наук. – Санкт-Петербург, 2010. – 19 с.

61. Лебедев, В.Н. Оценка эффективности инокуляции семян четырех видов горчиц ассоциативными азотфиксирующими штаммами ризобактерий / В.Н. Лебедев, Г.А. Ураев // *Фундаментальные исследования*. – 2015. - № 2. – С. 5594-5598
62. Леднев Ложкин А.В. Изменение показателей плодородия и продуктивности дерново-подзолистой почвы при разных системах обработки // *Достижения науки и техники АПК*. 2016. Т. 30. № 3. С. 19...25.
63. Лебедев, С.И. Физиология растений / С.И. Лебедев. – М.: Агропомиздат, 1988. – 544 с.
64. Леднев Н.А., Ковриго В.П., Леднев А.В. Влияние удобрений и сидерата на воспроизводство плодородия дерново-подзолистых почв // *Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук*. 2012. № 3. С. 21...24.
65. Ленточкин, А.М. Биологические потребности - основа технологии выращивания яровой пшеницы / А.М. Ленточкин. - Ижевск: ФГБОУ ВПО Ижевская ГСХА, 2011. - 436 с.
66. Макаров М.И., Мальшева Г.И. Естественная концентрация ^{15}N как интегральная характеристика трансформации азотсодержащих соединений в альпийских экосистемах // тез. конф. Биосферные функции почвенного покрова''. Пущино, 2005. С. 58-59.
67. Меняйло О.В., Хангейт Б. Стабильные изотопы углерода и азота в лесных почвах Сибири // *Докл. Академии наук*. 2006. Т. 408. № 5. С. 1-4.
68. Милащенко Н.З., Завалин А.А., Сычев В.Г., Самойлов Л.Н., Трушкин С.В. Факторы повышения эффективности удобрений в интенсивных технологиях возделывания пшеницы в России // *Агрохимия*. 2015. С.13...18.
69. Мишустин Е.Н., Черепков Н.И. Роль бобовых культур и свободно живущих азотфиксирующих микроорганизмов в азотном балансе земледелия // *Круговорот и баланс азота в системе почва-удобрения-вода*. М.: Наука, 1979. С. 9...18.
70. Муравин Э.А., Рыбаков А.В., Козлов А.А. Содержание и изотопный состав кислотного гидролизующего азота дерново-подзолистой почвы в различных частях склона при обычной и противоэрозионной обработках // *Агрохимия*. 2001. № 8. С. 5-10.

71. Муравин Э.А., Черников В.А., Рыбаков А.В., Козлов А.А., Касицкий К.И., Хлыстовский А.Д., Игнатов В.Г. Изотопный состав азота дерново-подзолистой почвы после длительного применения удобрений//Агрохимии. 2002. № 6. С.34-43
72. Накаряков, А. М. Эффективность применения удобрений и биопрепаратов под озимую пшеницу на светло-серой лесной почве: дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.04 / Накаряков Анатолий Михайлович. – Москва. 2021. С. 10-14
73. Нестеренко В.А., Лапушкин В.М. Формирование урожая и качества зерна яровой пшеницы сорта Любава в зависимости от доз азотных удобрений и обеспеченности почвы подвижным фосфором // В сборнике: Плодородие почв России: состояние и возможности. Сборник статей (к 100-летию со дня рождения Тамары Никандровны Кулаковской). Под редакцией В.Г. Сычева. Москва, 2019. С. 233...238.
74. Нестеров И.Н., Поляков М.А., Сергеев В.А., Корягин Ю.В., Корягина Н.В. Технологическое качество зерна и продуктивность яровой пшеницы в зависимости от микробиологических удобрений. В сборнике: АПК России: образование, наука, производство. Сборник статей Всероссийской (национальной) научно – практической конференции. 2020. С. 172 - 178
75. Онопченко В.Г., Маркаров М.И. Изотопный состав азота и тип микоризной инфекции у растений альпийской лишайниковой пустоши Тебердинского заповедника // Мат-лы VIII Межд. Конф. “Биологическое разнообразие Кавказа. Ч. 3. “Экология, валеология, экономика”. Нальчик, 2006. С. 64-65.
76. Павлов, А.Н. Физиологические изменения в растении яровой пшеницы под влиянием условий выращивания, приводящие к различиям в содержании белка в зерне / А.Н. Павлов // Сельскохозяйственная биология. -1984. - № 1. - С. 24
77. Павлов А.Н. Повышение содержания белка в зерна. М: наука, 1984. С. 120
78. Пасынков А.В., Завалин А.А., Пасынкова Е.Н. Совершенствование способа прогноза содержания сырой клейковины в зерне пшеницы // Российская сельскохозяйственная наука. 2020. № 2. С. 7...12
79. Пасынкова Е.Н., Пасынков А.В. Урожайность зерновых культур и ее зависимости от гидротермических условий в период вегетации. В сборнике: Вклад агро-

физики в решение фундаментальных задач сельскохозяйственной науки. Материалы Всероссийской научной конференции с международным участием. 2020. С. 219 - 225

80. Пищик В.Н., Воробьев Н.И., Моисеев К.Г., Свиридова О.В., Сурин В.Г. Влияние бактерий *Bacillus subtilis* на физиологическое состояние растений пшеницы и микробоценоз почвы при использовании различных доз азотных удобрений // Почвоведение. 2015. № 1. С. 87...94.

81. Полевой, В.В. Физиология растений / В.В. Полевой. – М.: Высшая школа, 1989. – 464 с

82. Посыпанов, Г.С. Растениеводство / Г.С. Посыпанов, В.Е. Долгодворов, Б.Х. Жеруков и др. // Москва, Колос, 2006. –612 с

83. Прянишников, Д.Н. Избранные сочинения. М.: Академия наук СССР, 1952. 634 с

84. Прянишников, Д.Н. Избранные труды. М.: Наука, 1976. 591 с

85. Рогулев А.Ф. Мельник А.Ф., Степанова Л.А., Калашникова Н.В. Агробиологические факторы повышения урожайности и качества зерна пшеницы в условиях Орловской области/ Учебно-методическое пособие. Орел: Орловский государственный аграрный университет им. Н.В. Парахина, 2018. 92 с.

86. Сапожников Н.А. Баланс азота в земледелии нечерноземной полосы и основные пути улучшения азотного питания культурных растений / Азот в земледелии нечерноземной полосы. Л.: Колос, 1973. С. 5...33.

87. Семенова А.И., Пироженко В.В. Отзывчивость различных сортов озимой пшеницы на минеральные удобрения на типичных черноземах // Плодородие. 2020. № 1. С. 7...8.

88. Соколов М.С., Семенов В.М., Спиридонов Ю.Я., Торопова Е.Ю. Глинушкин А.П. Здоровая почва – условие устойчивости и развития агро – и социосфер (проблемно-аналитический обзор) // Известия Российской академии наук. Серия биологическая. 2020. № 1. С. 12-21. DOI: 10.31857/S0002332920010142

89. Скрыльник Е.В., Розумная Р.А., Головачев Е.А. Влияние отходов животноводства и птицеводства на физико-химическое состояние черноземных почв //

Устойчивость почв к естественным и антропогенным воздействиям. М.: Почвенный институт им. В.В. Докучаева РАСХН, 2002. С. 184...185.

90. Смирнов П.М. Вопросы агрохимии азота (в исследованиях с ^{15}N): (Учебное пособие по агрохимии). М.: ТСХА, 1977. 72 с.

91. Сычев В.Г. Современное состояние плодородия почв и основные аспекты его регулирования. М.: РАН, 2019. С. 325

92. Сычев В.Г., Соколов О.А., Завалин А.А., Шмырева Н.Я. Роль азота в интенсификации продукционного процесса сельскохозяйственных культур. Том 2. Экологические аспекты роли азота в продукционном процессе. М.: ВНИИА, 2012. 272 с.

93. Тихонович И.А., Завалин А.А. Перспективы использования азотфиксирующих и фитостимулирующих микроорганизмов для повышения эффективности агропромышленного комплекса и улучшения агроэкологической ситуации РФ // Плодородие. 2016. № 5. С. 28...32.

94. Тихонович И.А., Кожемяков А.П., Чеботарь В.К. и др. Биопрепараты в сельском хозяйстве (Методология и практика применения микроорганизмов в растениеводстве и кормопроизводстве). М.: Россельхозакадемия, 2005. 154 с.

95. Торигов В.Е., Кулинкевич С.Н. Технологии возделывания и качество зерна озимой пшеницы. Брянск: Из-во Брянской ГСХА, 2013. 248 с.

96. Турчин Ф.В. Азотное питание растений и применение азотных удобрений. Избранные труды. М.: Колос, 1972. 336 с.

97. Умаров М.М. Азотфиксация в ассоциациях организмов // Проблемы агрохимии и экологии. 2009. № 2. С. 22...26.

98. Умаров М.М., Кураков А.В., Степанов А.Л. Микробиологическая трансформация азота в почве. М.: ГЕОС, 2007. 138 с.

99. Умаров М.М., Кураков А.В., Степанов А.Л. Микробиологическая трансформация азота в почве. М.: ГЕОС, 2007. 138 с.

100. Умаров, М.М. Азотфиксация в ассоциациях микроорганизмов с растениями / М.М. Умаров, Н.Г. Кураков, Б.Ф. Садыков // Минеральный и биологический азот в земледелии СССР. – М., 1985.

101. Умаров, М.М. Азотфиксация в ассоциациях организмов / М.М. Умаров // Проблемы агрохимии и экологии. – 2009. – № 2. С. 22–26.
102. Чеботарь В. К., Мальфанова Н.В., Щербаков А. В., Ахтемова Г. А., Борисов А. Ю., Люгтенберг Б., Тихонович И.А. Эндوفитных бактерии в микробных препаратах, улучшающих развитие растений// Прикладная биохимия и микробиология. 2015. Т. 51. № 3. С .1-8.
103. Чеботарь, В. К. Эндوفитные бактерии – основа комплексных микробных препаратов для сельского и лесного хозяйства / В. К. Чеботарь, А. В. Щербаков, С. Н. Масленникова [и др.] // Агрохимия. – 2016. – № 11. – С. 65–70.
104. Чеботарь В.К., Завалин А.А., Ариткин А.Г. Применение биомодифицированных минеральных удобрений. М.: ВНИИА, 2014. 142 с.
105. Шабаев, В.П. Роль биологического азота в системе «почва...растение» при внесении ризосферных микроорганизмов: дис. докт. биол. наук: 06.01.04. Пушкино, 2004. 277 с.
106. Шеуджен, А.Х. Региональная агрохимия. Северный Кавказ / А.Х. Шеуджен, В.Т. Куркаев, Л.М. Онищенко // Под ред. И.Т. Трубилина. - Краснодар: КубГАУ, 2007. – 498
107. Шафран С.А. Баланс азота в земледелии России и его регулирование в современных условиях // Агрохимия. 2020 №6. С. 14-21
108. Шотт П.Р. Биологическая фиксация азота в однолетних агроценозах лесостепной зоны Западной Сибири: дис...д-ра с-х наук: 06.01.04. Барнаул. 2007. С. 287.
109. Щабаев В.П. отзывчивость растений на применение азотфиксирующих бактерий в различных почвенных условиях //Российская сельскохозяйственная наука. 2021. № 4. С. 51-54.
110. Щербаков А.В., Брагина А.В., Кузьмина Е.Ю., Берг К., Мунтян А.Н., Макарова Н.М., Мальфанова Н.В., Кардинале М., Берг Г., Чеботарь В.К., Тихонович И.А. Эндوفитные бактерии сфагновых мхов как перспективные объекты сельскохозяйственной микробиологии // Микробиология. 2013. Т. 82. № 3. С. 312...322.
111. Ягодин, Б.А. Агрохимия / Под. ред. Б.А. Ягодина. - М.: Колос, 2003. - 584 с.

112. Azeez J. O. 2009. Effects of nitrogen application and weed interference on performance of some tropical maize genotypes in Nigeria. *Pedosphere*. Vol. 19(5): 654–662.
113. Barraquio, W.L. Isolation of endophytic diazotrophic bacteria from wetland rice / W.L. Barraquio, L. Revilla, J.K. Ladha // *Plant and Soil*. 1997. V. 194. P. 15...24.
114. Beneficial microbes for sustainable agriculture/A.K. Chandel, H. Chen, H.Ch. Sharma, et al.//*Microbes for sustainable development and bioremediation*. Chapter 15/Eds Chandra R., Sobti R.C. Boca Raton: CRC Press, 2019. 386 pp. //doi.org/10.1201/9780429275876
115. Braun, H.J.; Atlin, G.; Payne, T.; Reynolds, M.P. *Climate Change and Crop Production*; CABI: Wallingford, UK, 2010; pp. 115–138.
116. Chebotar V.K., Zavalin A.A., Aritkin A.G. *Biomodified mineral fertilizers: efficiency use and mode of actions*. LAMBERT Academic Publishing: Saarbrucken, Deutschland. Germany, 2016. 100 p.
117. Compant, S. *Endophytes of Grapevine Flowers, Berries, and Seeds: Identification of Cultivable Bacteria, Comparison with Other Plant Parts, and Visualization of Niches of Colonization* / S. Compant, B. Mitter, J. G. Colli...Mull, H. Gangl, A. Sessitsch // *Microbial Ecology*. 2011. V. 62. № 1. P. 188...197.
118. Complant S., Reiter B., Sessitsch A., Nowak J., Clement C., Barka E.A. Endophytic colonization of *Vitisvinifera* L. by a plant growth-promoting bacterium, *Burkholderia* sp. Strain PsJN. *Environ. Microbiol.* 2005. V. 71. P. 1685-1693.
119. [Consultant.ru\law/hotdocs/48053.html/](http://consultant.ru/law/hotdocs/48053.html/)
120. Dawson T.E., Mambelli S., Plamboeck A.H., Tenpier P.II., Tu K.P. Stable isotopes in plant ecology // *Annual Rev. Ecol. System.* 2002. V. 33. P. 507-559.
121. Diacono M., Rubino P., Montemurro F. 2013. Precision nitrogen management of wheat; a review. *Agronomy for Sustainable Development*. Vol. 33(1): 219–241.
122. FAO Food and Agriculture Organization of United Nations 2020. Available online: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC> (accessed on 10 January 2021).
123. FAO soils bulletin № 3. Application of nitrogen-fixing systems in soil managemente. – Roma: FAO, 1982. – 188 p

124. Grosh R., Faltin F., Lottman J., Kofoet A., Berg G. Effectiveness of 3 antagonistic bacterial isolates to control *Rhizobium solani* Kuhn on lettuce and potato//*Can J Microbiol.* 2005. №. 51. P. 345-353.
125. Herridge David F. Global inputs of biological nitrogen fixation in agricultural systems [Text] / David F. Herridge, Mark B. Peoples, Robert M. Boddey // *Plant and Soil.* – 2008. – 311, № 1-2. – S. 1-18.
126. Hogberg P. ¹⁵N natural abundance in soil-plant system//*New Phytol.* 1997. V. 137.P. 179-203.
127. <http://docs.cntd.ru/document/gost-r-52554-2006>
128. <http://www.mcx.ru>
129. <https://agroservers.ru/b/yarovaya-pshenitsa-zlata-es-1460389.htm>
130. <https://domopravitelnitsa.com/sad-i-ogorod/udobrenie-ammiachnaya-selitra.html>
131. <http://yadyra.ru/attachments/kurovaya-meteorologiya-moskovskaya-oblast>
132. <https://agroservers.ru/b/yarovaya-pshenitsa-zlata-es-1460389.htm>.Data obrashcheniya 04.04.2022
133. https://otherreferats.allbest.ru/agriculture/00150944_0.html
134. <https://propozitsiya.com/es-planiruet-sokratit-ispolzovanie-pesticidov-i-prodvigat-organicheskoe-fermerstvo>
135. <https://www.agroxxi.ru/mirovye-agronovosti/novyj-standart-vozobnovljaemogo-organicheskogo-selskogo-hozjajstva-dlja-borby-s-globalnym-potepleniem-startuet-v-2020-godu.html>
136. Ivanova E. G., Pirttila A. M., Fedorov D. N. F. Association of methylotrophic bacteria with plants: metabolic aspects//*Prospects and applications for plant associated microbes. A laboratory manual. Part A: Bacteria.* /Eds.: Sorvari S., Pirttila A. M. Turku: Biobien Innovations, 2008. P. 225-231.
137. Jasińska, Z., & Kotecki, A. (2003). *Szczegółowa Uprawa Roślin (Detailed Plant Cultivation)*. Tom I. Wydawnictwo AR Wrocław, Wydanie II. (in Polish)
138. Kamilova F, de Bruyne R. Plant Growth promoting microorganisms: the road from an academically promising result to a commercial product// *Molecular microbial ecology*

of the rhizosphere/ Eds.: de Bruijn F. J. NJ: Wiley-Blackwell, Hoboken, 2013. P. 677-686.

139. Klemmedtsson L. et al. Microbial nitrogen transformations in the root environment of barley //Soil Biology and Biochemistry. – 1987. – T. 19. – №. 5. – C. 551-558.

140. Kloepper J.W., Schroth M.N., Miller T.D. Effects of rhizosphere colonization by plant growth-promoting rhizobacteria on potato plant development and yield //Phytopathology. 1980. Vol. 70.P. 1078-1082 DOI 10.1094/Phyto-70-1078.

141. Koumoutsi A., Chen X-H., Henne A. Structural and functional characterization of gene clusters directing nonribosomal synthesis of bioactive cyclic lipopeptides in *Bacillus amyloliquefaciens* strain FZB42//J. Bacterid. 2004. V. 186. №. 4. P. 1084-1096.

142. Kizilkaya R. Yield response and nitrogen concentrations of spring wheat (*Triticum aestivum*) inoculated with *Azotobacter chroococcum* strains // Ecological Engineering. 2008. Vol. 33(2). P. 150 - 156

143. Malfanova N., Kamilova F., Validov S., Shcherbakov A., Chebotar V., Tikhonovich I., Lugtenberg B. Characterization of *Bacillus subtilis* HC8, a novel plant-beneficial endophytic strain from giant hogweed// Microbial Biotechnology. 2011. V. 4. P. 523-532.

144. Mercado-Blanco J., Lugtenberg B. J. J. Biotechnological applications of bacterial endophytes//Current Biotechnology. 2014. 3. P 60-75.

145. Namvar A., Khandan T., Shojaei M. 2012. Effects of bio and chemical nitrogen fertilizer on grain and oil yield of sunflower (*Helianthus annuus* L.) under different rates of plant density. Annals of Biological Research. Vol. 3(2): 1125–1131

146. Nejad P, Johnson PA. Endophytic bacteria induce growth promotion and wilt disease suppression in oilseed rape and tomato// Biol. Control. 2000. 18. P. 208-215.

147. Piccinin G. G., Braccini A. L., Dan L. G. M., Scapim C. A., Ricci T. T., Bazo G. L. 2013. Efficiency of seed inoculation with *Azospirillum brasilense* on agronomic characteristics and yield of wheat. Industrial Crops and Products. Vol. 43: 393–397.

148. Prieto P., Navarro-Raya C., Valverd-Corredor A., Amyotte S. G., Dobinson K. F., Mercado-Blanco J. Colonization process of olive tissues by *Verticillium dahliae* and its in planta interaction with the biocontrol root endophyte *Pseudomonas fluorescens* PICF7//Microbial. Biotechnol. 2009. V. 2. P. 499-511.

149. Rana A., Joshi M., Prasanna R., Shivay Y. S., Nain L. 2012. Biofortification of wheat through inoculation of plant growth promoting rhizobacteria and cyanobacteria. *European Journal of Soil Biology*. Vol. 50: 118–126.
150. Reynders L., Vlassak K. Use of *Azospirillum brasilense* as biofertilizer in intensive wheat cropping // *Plant and soil*. – 1982. – T. 66. – №. 2. – C. 217-223.
151. Robinson D. ^{15}N as an integrator of the nitrogen cycle // *Trends Ecol. Evol.* 2001. V. 16. P. 153-162.
152. Rose, S. Efficacy of biological and chemical treatments for control of *Fusarium* root and stem rot on greenhouse cucumber. / S. Rose, M. Parker, Z.K. Punja // *Plant Disease* 2003. – 87 (12), - P.1462-1470.
153. Rothballer, M. Diazotrophic Bacterial Endophytes in Gramineae and Other Plants / M. Rothballer, M. Schmid, A. Hartmann // *Microbiology Monographs*. – 2009. – V. 8. – P. 273...302.
154. Ruby, E. J. A Review: Bacterial endophytes and their bioprospecting / E. J. Ruby, T.M. Raghunath // *Journal of Pharmacy Research*. 2011. V. 4. №. 3. P. 795...799.
155. Ryan, R.P. Bacterial endophytes: recent developments and applications / R.P. Ryan, K. Germaine, A. Franks, D.J. Ryan, D.N. Dowling // *FEMS Microbiol. Lett.* 2008. V. 278. P. 1...9.
156. Saini V. K., Bhandari S. C., Tarafdar J. C. 2004. Comparison of crop yield, soil microbial C, N and P, N-fixation, nodulation and mycorrhizal infection in inoculated and non-inoculated sorghum and chickpea crops. *Field Crops Research*. Vol. 89: 39–47.
157. Scursoni J.A., Palmano M., De Notta A., Delfino D. 2012. Italian ryegrass (*Lolium multiflorum* Lam.) density and N fertilization on wheat (*Triticum aestivum* L.) yield in Argentina. *Crop Protection*. Vol. 32: 36–40.
158. Sessitsch A., Reiter B. Berg G. Endophytic bacterial communities of field-grown potato plants and their plant growth promoting abilities // *Can. J. Microbiol.* 2004. V. 50. P. 239-249.

159. Shcherbakov, A. V., Chebotar, V. K., Malfanova, N. V., Shcherbakov, A. V., Ahtemova, G. A., Borisov, A. Y., Lugtenberg, B., & Tikhonovich, I. A. (2015). Endo-phytic bacteria in microbial preparations that improve plant development. *Applied Biochemistry and Microbiology*, 51(3), 271-277.
160. Skonieski, J. Viégas, T.N. Martin, J.L. Nörnberg, G.R. Meinerz, T.J. Tonin, P. Bernhard, M.T. Frata– DOI 10.1590/s1806...92902017000900003// Revista Brasileira de Zootecnia. – 2017. – V. 46.
161. Triplett, E. W., Skroch, P. W., O'Sullivan, K. M., Palus, J. A., Rumjanek, N. G., Jansen, J. L., ... & Borneman, J. (1996). Molecular microbial diversity of an agricultural soil in Wisconsin. *Applied and Environmental Microbiology*, 62(6), 1935-1943.
162. Zhao B., Ozaki Y. Natural ^{15}N and ^{13}C abundance in Andisols influence by long-term fertilization management in Japan//Soil Sci. Plant Nutr. 2002. V/48/P. 555-562.

**Приложение А
(обязательное).**

Прибавки урожая зерна яровой пшеницы от внесения азотного удобрения и инокуляции семян различными микробными препаратами, 2020–2022 гг.

Таблица А.1 - Прибавки урожая зерна яровой пшеницы от внесения азотного удобрения и инокуляции семян различными микробными препаратами, 2020 год

Вариант	Общая прибавка		Прибавка от N удобрения		Прибавка от биопрепарата	
	г/м ²	%	г/м ²	%	г/м ²	%
Фон 1: P45K45(Ф1)	0	0	-	-	-	-
Ф1+Экстрасол Ч-13- стандарт	63	18	-	-	63	18
Ф1+ эндофит штамм V 167	110	31			110	31
Ф1+эндофит штамм 417	153	43			153	43
Фон 2: N45P45K45 (Ф2)	174	49	174	49	-	-
Ф2+ Экстрасол Ч-13- стандарт	192	54			5	1,4
Ф2 + эндофит штамм V 167	168	47			-	-
Ф2 + эндофит штамм 417	161	45			-	-
N90P45K45	192	54	192	54	-	-
НСР ₀₅	60					

Таблица А.2 - Прибавки урожая зерна яровой пшеницы от внесения азотного удобрения и инокуляции семян различными микробными препаратами, 2021 год

Вариант	Общая прибавка		Прибавка от N удобрения		Прибавка от био-препарата	
	г/м ²	%	г/м ²	%	г/м ²	%
Фон 1: P45K45(Ф1)	0	0	-	-	-	-
Ф1+Экстрасол Ч-13- стандарт	93	26	-	-	93	26
Ф1+ эндофит штамм V 167	84	24			84	24
Ф1+эндофит штамм 417	111	29			111	29
Фон 2: N45P45K45 (Ф2)	113	30	113	30	-	-
Ф2+ Экстрасол Ч-13- стандарт	144	35			51	14
Ф2 + эндофит штамм V 167	138	34			54	15
Ф2 + эндофит штамм 417	116	30			5	2
N90P45K45	153	36	153	36	-	-
НСР ₀₅	24					

Таблица А.3 - Прибавки урожая зерна яровой пшеницы от внесения азотного удобрения и инокуляции семян различными микробными препаратами, 2022 год

Вариант	Общая прибавка		Прибавка от N удобрения		Прибавка от био-препарата	
	г/м ²	%	г/м ²	%	г/м ²	%
Фон 1: P45K45(Ф1)	0	0	-	-	-	-
Ф1+Экстрасол Ч-13- стандарт	51	12	-	-	51	12
Ф1+ эндофит штамм V 167	96	21			96	21
Ф1+эндофит штамм 417	120	25			120	25
Фон 2: N45P45K45 (Ф2)	166	31	166	31	-	-
Ф2+ Экстрасол Ч-13- стандарт	171	32			120	33
Ф2 + эндофит штамм V 167	168	32			72	20
Ф2 + эндофит штамм 417	177	33			57	18
N90P45K45	221	38	221	38	-	-
НСР ₀₅	30					

**Приложение Б
(обязательное).**

**Потоки ^{15}N при внесении азотного удобрения под яровую пшеницу в фазу
полной спелости**

Таблица Б.1 – Потоки ^{15}N при внесении азотного удобрения под яровую пшеницу в фазу полной спелости

Вариант	Использовано растени- ями из удобрения		Иммобилизация в почве		Газообразные по- тери	
	г/м ²	% от дозы	г/м ²	% от дозы	г/м ²	% от дозы
2020 год						
Фон 2: N45P45K45 (Ф2)	2,05	46	1,46	32	0,99	22
Ф2+ Экстрасол Ч-13- стандарт	2,34	52	1,40	31	0,77	17
Ф2 + эндофит штамм V 167	2,43	54	1,35	30	0,72	16
Ф2 + эндофит штамм 417	2,36	52	1,29	29	0,86	19
N90P45K45	3,82	42	3,11	35	2,16	24
2021 год						
Фон 2: N45P45K45 (Ф2)	2,08	46	1,43	32	0,99	22
Ф2+ Экстрасол Ч-13- стандарт	2,24	50	1,50	33	0,77	17
Ф2 + эндофит штамм V 167	2,36	52	1,42	32	0,72	16
Ф2 + эндофит штамм 417	2,31	51	1,34	30	0,86	19
N90P45K45	3,71	41	3,13	35	2,16	24