

*На правах рукописи*



Хассан Башар Абд Хассан

**ВЛИЯНИЕ АССОЦИАТИВНЫХ РИЗОБАКТЕРИЙ НА ФОРМИРОВАНИЕ  
ПРОДУКТИВНОСТИ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ В УСЛОВИЯХ  
ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ**

Шифр и наименование специальности

**4.1.1. Общее земледелие и растениеводство**

**Автореферат**

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

Санкт-Петербург-Пушкин  
2024

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет» (ФГБОУ ВО СПбГАУ)

**Научный руководитель:**

**Колесников Леонид Евгеньевич**

кандидат биологических наук, доцент, заведующий кафедрой защиты и карантина растений федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет» (ФГБОУ ВО СПбГАУ)

**Официальные оппоненты:**

**Немченко Владимир Васильевич**

доктор сельскохозяйственных наук, профессор, ведущий научный сотрудник лаборатории регуляторов роста и защиты растений Курганского научно-исследовательского института сельского хозяйства – филиала федерального государственного бюджетного научного учреждения «Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук» (ФГБНУ УрО РАН)

**Келер Виктория Викторовна**

кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, директор института агроэкологических технологий федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Красноярский государственный аграрный университет» (ФГБОУ ВО Красноярский ГАУ)

**Ведущая организация:**

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский государственный аграрный университет» (ФГБОУ ВО Казанский ГАУ)

Защита состоится 28 февраля 2025 г. в 13 час 30 мин. на заседании диссертационного совета 35.2.033.01 при федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет» по адресу: 196601, Санкт-Петербург – Пушкин, Петербургское шоссе, д. 2, стр. 2, ауд 2113. Тел: 8(812)386-17-07, e-mail: ds01@spbgau.ru.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО СПбГАУ. Объявление о защите и автореферат диссертации размещены на сайтах <https://spbgau.ru> ФГБОУ ВО СПбГАУ и <https://vak.minobrnauki.gov.ru> ВАК при Министерстве науки и высшего образования РФ.

Автореферат разослан « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2024 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

Орлова  
Анна Георгиевна

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы исследования.** Производство зерновых культур, и в том числе мягкой пшеницы, имеет стратегическое значение для обеспечения продовольственной безопасности Российской Федерации (Архипов и др., 2017; Поползухин П.В. др., 2023). Эффективность решения задач по повышению урожайности и адаптивного потенциала сортов мягкой пшеницы во многом определяется элементами агротехнологии ее возделывания (Вошедский и др., 2022; Немченко и др., 2022). Дальнейшее совершенствование средств и способов производства продукции растениеводства должно проводиться согласно Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации, утверждённой Указом Президента РФ (28 февраля 2024 года, № 145), предполагающей переход к высокопродуктивному и экологически чистому агрохозяйству. В последнее время большое внимание уделяется приёмам, направленным на биологизацию технологий возделывания сельскохозяйственных культур, в том числе с использованием PGPR-ризобактерий, вступающих в различные ассоциации с растениями и стимулирующими их рост и развитие (Шапошников и др., 2011; Тихонович, Завалин, 2016).

**Степень разработанности проблемы.** В России исследованию процессов взаимодействия ассоциативных ризобактерий с сельскохозяйственными культурами и том числе зерновыми, посвящен ряд работ: Лактионова (2010), Самохина (2011), Андропова (2015), Шапошникова (2015, 2016, 2023), Асатуровой (2016), Чеботаря (2016), Воеводина (2017), Гришечкиной (2017), Сиуновой (2017) и др. За рубежом изучению механизмов взаимодействия зерновых культур с ассоциативными бактериями в зависимости от влияния биотических и абиотических факторов посвящены работы: Majeed (2015), Çiğ (2019), Draou (2022), Khan (2022) и др. Исследования эффективности ассоциативных ризобактерий в отношении комплекса фитометрических и фитопатологических показателей мягкой пшеницы в условиях Ленинградской области ранее не проводились.

**Цель настоящего исследования** – обосновать эффективность влияния штаммов ассоциативных бактерий *Bacillus subtilis* 124-11, *Pseudomonas fluorescens* SPB2137, *Sphingomonas* sp. K1B на элементы продуктивности при возделывании мягкой пшеницы в условиях Ленинградской области.

**Задачи**, которые были решены для достижения цели исследования:

1. Установить действие штаммов ассоциативных ризобактерий на элементы продуктивности мягкой пшеницы, основные показатели ее роста и развития.
2. Определить эффективность штаммов ассоциативных ризобактерий в отношении интенсивности развития особо опасных болезней мягкой пшеницы.
3. Оценить влияние природно-климатических факторов на урожайность мягкой пшеницы при применении штаммов ассоциативных ризобактерий.

**Научная новизна работы.** Впервые в условиях Ленинградской области биологически обосновано использование штаммов ассоциативных ризобактерий *Bacillus subtilis* 124-11, *Pseudomonas fluorescens* SPB2137, *Sphingomonas* sp. K1B в технологии возделывания мягкой пшеницы. Установлено положительное влияние

инокуляции семян и внекорневого опрыскивания растений штаммами бактерий на урожайность пшеницы, фитометрические и фитопатологические показатели ее посева. Получены новые сведения о механизмах взаимодействия пшеницы с ассоциативными ризобактериями в зависимости от ее сортовой принадлежности, фитосанитарного состояния посева и метеорологических факторов.

**Теоретическая и практическая значимость исследований.** Заключается в обосновании целесообразности использования ассоциативных ризобактерий (*Bacillus subtilis* 124-11, *Pseudomonas fluorescens* SPB2137, *Sphingomonas* sp. K1B), как регуляторов роста при возделывании мягкой пшеницы в условиях Ленинградской области. Экспериментально подтверждено, что повышение продуктивности пшеницы при применении указанных штаммов обусловлено сочетанием их ростостимулирующего действия на отдельные фитометрические показатели посевов с антагонистической активностью бактерий в отношении болезней листьев, супрессирующим влиянием на почвенные фитопатогены. Полученные данные свидетельствуют о возможности разработки технологии возделывания пшеницы, обеспечивающей рост ее продуктивности и снижение вредоносности возбудителей болезней, с минимизацией затрат на мероприятия по защите растений. Результаты исследований могут иметь широкое практическое применение в сельскохозяйственном производстве.

**Объект, место и период проведения научного исследования.** Объектом исследования служили сорта мягкой пшеницы яровой *Triticum aestivum* L.: Сударыня, к-66407 (оригинаторы: РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по земледелию», «ФГБНУ «Верхневолжский ФАНЦ») и Trizo (Тризо), к-64981 (оригинатор: Deutsche Saatveredelung AG) из отдела генетических ресурсов пшеницы ФГБНУ «ФИЦ Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова» (ВИР). В качестве инокулянтов были использованы штаммы ассоциативных ризобактерий: *Bacillus subtilis* 124-11; *Sphingomonas* sp. K1B; *Pseudomonas fluorescens* SPB2137 из Ведомственной коллекции полезных микроорганизмов сельскохозяйственного назначения при ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной микробиологии» (ФГБНУ ВНИИСХМ). Штамм *Bacillus subtilis* 124-11 активно ингибирует рост фитопатогенных грибов (Новикова И.И., 2005); *Sphingomonas* sp. K1B – гиперпродуцент ауксинов; *Pseudomonas fluorescens* SPB2137 – продуцент ауксинов, содержит АЦК дезаминазу, ингибирует рост фитопатогенных грибов (Кравченко и др., 2003). Исследования проведены на опытном поле научно-производственной базы «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР». Период проведения исследований: 2019, 2021, 2022 гг.

**Положения, выносимые на защиту.** 1. Штаммы ассоциативных ризобактерий (*Bacillus subtilis* 124-11, *Pseudomonas fluorescens* SPB2137, *Sphingomonas* sp. K1B) оказывают стимулирующее действие на полевую всхожесть семян и комплекс фитометрических показателей мягкой пшеницы, что приводит к повышению ее урожайности и изменениям в ее структуре;

2. Штаммы ассоциативных ризобактерий (*Bacillus subtilis* 124-11, *Pseudomonas fluorescens* SPB2137, *Sphingomonas* sp. K1B) обладают выраженной антифунгальной активностью, и могут быть использованы для биоконтроля возбудителей основных болезней мягкой пшеницы;

3. Эффективность штаммов ассоциативных ризобактерий (*Bacillus subtilis* 124-11, *Pseudomonas fluorescens* SPB2137, *Sphingomonas* sp. K1B) зависит от агроэкологических условий возделывания мягкой пшеницы (сорта, типа патогенеза, природно-климатических факторов).

**Степень достоверности результатов исследований.** Экспериментальные данные проанализированы с использованием методов описательной статистики (Наследов, 2013), дисперсионного (Доспехов, 2024), корреляционного и регрессионного анализов (Валге, 2010; Кулаичев, 2006), реализованных в программных комплексах MS Microsoft Excel, IBM SPSS 21.0, StatSoft Statistica 7.0. Полученные в ходе полевого опыта данные сопоставлены с результатами научных исследований других исследователей.

**Апробация результатов исследования.** Основные результаты исследований были доложены на III Международной научной конференции «Энерго-ресурсоэффективность в интересах устойчивого развития» (Санкт-Петербург, Университет ИТМО, 19-24 апреля 2021 г.); Международных научно-практических конференциях ФГБОУ ВО СПбГАУ: «Интеллектуальный потенциал молодых ученых как драйвер развития АПК» (Санкт-Петербург, 17 марта 2022 г.); «Приоритеты развития АПК в условиях цифровизации и структурных изменений национальной экономики» (Санкт-Петербург, 27 мая 2022 г.); «Интеллектуальный потенциал молодых ученых как драйвер развития АПК», посвящённой 150-летию со дня рождения Е.Ф. Лискуна (Санкт-Петербург, 16 марта 2023 г.).

**Личный вклад автора.** Автор принимал непосредственное участие в разработке программы исследований, закладке полевых опытов, проведении учетов и наблюдений в полевых и лабораторных экспериментах. Автором выполнена статистическая обработка полученных результатов и сформулированы основные положения диссертации.

**Публикации.** По материалам научной работы (диссертации) издано восемь печатных работ, две из которых опубликованы в изданиях: «Российская сельскохозяйственная наука», «Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета», рекомендованных ВАК Минобрнауки России; четыре – в журналах «Applied Biochemistry and Microbiology», «Agronomy Research», «Indian Journal of Agricultural Research», «Biology and Life Sciences Forum», одна – в сборнике «IOP Conference Series: Earth and Environmental Science», индексируемых в международных базах данных, в том числе в Scopus и Web of Science, включенных в ядро РИНЦ, одна в сборнике научных трудов III международной научной конференции «SEWAN – 2021», включенном в РИНЦ.

**Объем и структура диссертации.** Работа состоит из введения, трех глав, заключения, рекомендаций производству, списка литературы (187 источников, из которых 60 иностранных), включает 3 таблицы, 69 рисунков, 1 приложение. Общий объем работы составляет 142 страниц компьютерного текста.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

### Глава 1. СОВРЕМЕННЫЕ АГРОТЕХНОЛОГИИ В ПОВЫШЕНИИ ПРОДУКТИВНОСТИ ПОСЕВОВ ПШЕНИЦЫ (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)

В обзоре проанализированы научные сведения, связанные с темой исследований. Рассмотрены проблемы современного состояния производства зерна в России, описаны основные агроэкологические факторы, определяющие продуктивность и качество пшеницы, в том числе фитосанитарное состояние посевов как один из основных факторов, ограничивающий получение высококачественного зерна. Основное внимание уделено применению микробиологических препаратов и штаммов полезных микроорганизмов в практике земледелия и растениеводства. Отмечено, что все изученные к настоящему времени механизмы положительного влияния микроорганизмов на растения можно условно разделить прямую или непосредственную стимуляцию роста растений за счет синтеза метаболитов, полезных для растений, и опосредованную стимуляцию роста растений за счет биоконтрольного эффекта (Лукьянцев, 2010; Шапошников и др., 2011; Тихонович, 2018; Шапошников и др., 2023; Provorov, Tikhonovich, 2021).

### Глава 2. МАТЕРИАЛЫ, МЕТОДЫ И УСЛОВИЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

Описаны материалы, схема и методы проведения исследований, агрометеорологические и почвенные условия. Микрополевые опыты были заложены в четырехкратной повторности методом организованных повторений. Площадь опытной делянки для одного варианта опыта составила 1,0 м<sup>2</sup> (общая площадь – 32 м<sup>2</sup>), размещение делянок систематическое. Предшественник – картофель. Агротехника возделывания пшеницы, рекомендованная для зерновых культур ВИР. Посев проводили рядовым способом с междурядьями 15 см и расстоянием в ряду 1...2 см при глубине заделки семян 5...6 см (300 зерен/м<sup>2</sup>) (Градчанинова и др., 1985).

Схема опыта при анализе эффективности штаммов ассоциативных ризобактерий при возделывании мягкой пшеницы (сорта Сударыня, к-66407; Trizo, к-64981) включала следующие варианты:

1. Контроль (без обработки);
2. *Bacillus subtilis* 124-11 (инокуляция семян и опрыскивание растений культуральной жидкостью бактерий);
3. *Pseudomonas fluorescens* SPB2137 (инокуляция семян и опрыскивание растений культуральной жидкостью бактерий);
4. *Sphingomonas* sp. K1B (инокуляция семян и опрыскивание растений культуральной жидкостью бактерий).

Двукратное опрыскивание пшеницы осуществлено в фазы выхода в трубку и начала цветения. Норма расхода рабочей жидкости (10<sup>9</sup> кл/мл) при инокуляции семян – 2 мл суспензии на 10 г семян, при опрыскивании растений – 100 мл/м<sup>2</sup>.

Определение фитометрических показателей проводили согласно Методическим указаниям по изучению мировой коллекции пшеницы (Дорофеева и др., 1977; Градчанинова и др., 1985; Мережко и др., 1997); Методике государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур (1989). В фазу развития зародышевого побега осуществляли оценку влияния штаммов

ассоциативных ризобактерий на общепринятый показатель – полевую всхожесть (%). В фазы колошения-цветения осуществляли лабораторный анализ комплекса фитометрических показателей пшеницы: продуктивной и общей кустистости (шт.), фазы онтогенеза (балл, по шкале Цадокса (Эукарпия), площади флагового и предфлагового листьев (см<sup>2</sup>), высоты растений (см), длины колоса (см), числа колосков в колосе (шт.), массы колоса (г). Кроме того, определяли число и длину корней (главного зародышевого корня, зародышевых и колеоптильных корней), отходящих от эпикотилия. Осуществляли учет числа и длины узловых корней пшеницы. Рассчитывали показатели массы корней и вегетативной части растений. Линейные размеры флаговых листьев оценивали, когда последний лист заканчивал свой рост и был отогнут от листового влагалища. С помощью коэффициента 0,7 вычисляли площадь листа. В фазу созревания (Ф91, стадия полной спелости) изучали структуру урожайности пшеницы по показателям: число колосков в колосе, шт.; длина колоса, см; масса колоса с зерном; число зерен в колосе, шт.; масса зерен с колоса; масса 1000 зерен; число зерен и масса зерен в колоске колоса.

Интенсивность поражения пшеницы болезнями определяли с использованием общепринятого критерия – развития болезни, и дополнительных фитопатологических показателей (Kolesnikov et al, 2024b).

Содержание хлорофиллов *a*, *b* во флаговых листьях пшеницы определяли спектрофотометрическим методом (Ермаков и др., 1987) с использованием спектрофотометра SPEKOL-11 (Carl Zeiss Jena).

## **Глава 3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ**

### **3.1 Формирование продуктивности мягкой пшеницы при инокуляции семян и внекорневом опрыскивании растений штаммами ассоциативных ризобактерий**

#### **3.1.1 Полевая всхожесть пшеницы при применении ассоциативных ризобактерий**

Полевая всхожесть пшеницы непосредственно связана с посевными качествами семян и определяет густоту посева. У сортов Сударыня и Trizo максимальный статистически достоверный (при  $P < 0,05$ ) рост полевой всхожести семян пшеницы (на 23,6%) выявлен при применении штамма *Bacillus subtilis* 124-11. Применение штаммов *Sphingomonas* sp. K1B и *Pseudomonas fluorescens* SPB2137 позволило повысить показатель на 18,5% и на 14,6%, соответственно.

#### **3.1.2 Фитометрические показатели посевов мягкой пшеницы при применении ассоциативных ризобактерий**

##### **3.1.2.1 Продолжительность межфазного периода вегетации**

Продолжительность межфазного периода пшеницы тесно связана с генетическими особенностями сортов, но изменчивость показателя во многом определяется агроэкологическими условиями возделывания культуры. Статистически достоверное сокращение периода созревания пшеницы в среднем по сортам Сударыня и Trizo отмечено при применении штаммов *Bacillus subtilis* 124-11 – на 9,3% и *Sphingomonas* sp. K1B – на 9,4%.

##### **3.1.2.2 Высота растений**

Высота растений – важный морфологический признак пшеницы, определяющий ее адаптивный потенциал к условиям возделывания, в том числе

устойчивость к полеганию. На полегших полях пшеницы усложняется уборка урожая и ухудшается фитосанитарное состояние посевов. Максимальный рост высоты растений у сортов Сударыня и Trizo по сравнению с контролем зарегистрирован при применении штамма *Bacillus subtilis* 124-11 – на 10,0%, а в вариантах опыта с применением штаммов *Sphingomonas* sp. K1B и *Pseudomonas fluorescens* SPB2137 увеличение показателя составило 9,2% и 9,4%, соответственно.

### **3.1.2.3 Продуктивная и общая кустистость**

Продуктивная и общая кустистость пшеницы играет важную роль в формировании структуры урожая зерна и зеленой массы. На изменчивость показателей влияет достаточно много агроэкологических факторов, но в основном она обусловлена генетическими особенностями сортов и их отзывчивостью на стимулирующие обработки. Наибольший рост продуктивной кустистости (на 74,3%) зарегистрирован у исследованных сортов при применении штамма *Sphingomonas* sp. K1B. Увеличение показателя при применении бактерии *Bacillus subtilis* 124-11 составило 41,4%, *Pseudomonas fluorescens* SPB2137 – 45,7%. Общая кустистость у двух сортов при применении ризобактерий существенно не изменилась, но наиболее выраженная тенденция роста показателя (на 16,9%) отмечена в варианте опыта, где сорта Сударыня и Trizo были обработаны штаммом *Sphingomonas* sp. K1B.

### **3.1.2.4 Масса вегетативной части растений**

Вегетативная часть растений пшеницы может быть использована на фуражные цели, в том числе для заготовки сенажа как в чистом виде, так и в смеси с другими культурами. В 2019 г. нами отмечено существенное увеличение вегетативной массы растений – на 34,2% только в варианте опыта, где был использован сорт Сударыня, обработанный штаммом *Sphingomonas* sp. K1B. При применении штаммов *Bacillus subtilis* 124-11, *Pseudomonas fluorescens* SPB2137 и *Sphingomonas* sp. K1B., средняя многолетняя тенденция роста показателя у сортов Сударыня и Trizo составила 3,4%, 7,9% и 10% по сравнению с контролем.

### **3.1.2.5 Масса корней**

Пшеница образует двухъярусную корневую систему, оказывающую существенное влияние на формирование урожая. Нижний ярус формируется первичной корневой системой, а верхний ярус связан с корнеобразующей деятельностью узла кущения. Статистически достоверный рост на 39,8% и 22,1% массы первичных и вторичных (узловых) корней выявлен при применении на сортах пшеницы Сударыня и Trizo штаммов *Bacillus subtilis* 124-11 и *Sphingomonas* sp. K1B, соответственно.

### **3.1.2.6 Число первичных и узловых корней пшеницы**

Плотность корневой системы пшеницы непосредственно связана со способностью растений адаптироваться к условиям недостатка влаги, что имеет большое значение при ее возделывании в условиях рискованного земледелия Северо-Запада РФ. У сортов Сударыня и Trizo наибольший рост первичных (на 36,0%) и вторичных (узловых) корней (на 16,8%) выявлен в варианте опыта с обработкой растений штаммом *Bacillus subtilis* 124-11. При применении штамма *Sphingomonas* sp. K1B выявлен рост только числа первичных корней (на 21,9%).

### **3.1.2.7 Длина первичных и узловых корней пшеницы**

Увеличение длины корней непосредственно связана со способностью пшеницы извлекать воду из почвы, особенно, при недостаточном увлажнении. В варианте опыта, где сорта Сударыня и Trizo были обработаны штаммом *Bacillus subtilis* 124-11 зарегистрировано наибольшее увеличение длины первичных и вторичных (узловых) корней – на 37,4% и на 16,8%, соответственно. Остальные штаммы оказали влияние только на рост первичных корней: *Sphingomonas* sp. K1B – на 26,5%, *Pseudomonas fluorescens* SPB2137» – на 26,3%.

### **3.1.2.8 Площадь флагового и предфлагового листьев**

Продуктивность пшеницы, в том числе масса зерен в колосе и озерненность колоса, в сильной степени зависит от размера ее листьев. В наибольшей степени штаммы ассоциативных ризобактерий оказали влияние на рост площадей предфлаговых листьев у сортов сорта Сударыня и Trizo: *Bacillus subtilis* 124-11 – 18,3%; *Sphingomonas* sp. K1B – 18,1%; *Pseudomonas fluorescens* SPB2137 – 18,0%. Наибольший, но незначительный рост на 2,4% площади флагового листа относительно контроля отмечен при обработке пшеницы штаммом *Sphingomonas* sp. K1B.

## **3.1.2 Структура урожайности мягкой пшеницы при применении штаммов ассоциативных ризобактерий**

### **3.1.3.1 Длина колоса**

Длина колоса является генотипическим признаком, контролируемым множеством генов, несущественно изменяющимся в зависимости агроэкологических условий возделывания пшеницы. При применении штаммов ассоциативных ризобактерий не выявлено существенных изменений в значениях длины колоса сортов Сударыня и Trizo, однако наиболее выраженная тенденция роста показателя на 2,4% зарегистрирована при применении штамма *Sphingomonas* sp. K1B.

### **3.1.3.2 Число колосков в колосе**

Озерненность колоса или количество зерен в колосе в первую очередь определяется количеством колосков в колосе. Применение штамма *Bacillus subtilis* 124-11 обуславливало статистически достоверный рост у сортов Сударыня и Trizo числа колосков в колосе – на 5,2%. Тенденция роста показателя (на 3,7% и 4,5%) выявлена в вариантах опыта, где сорта пшеницы были обработаны штаммами *Pseudomonas fluorescens* SPB2137 и *Sphingomonas* sp. K1B., соответственно.

### **3.1.3.3 Масса колоса**

Масса колоса оказывает существенное влияние на формирование урожайности пшеницы. Статистически достоверный рост массы колоса на 18,6% отмечен только при применении на сортах Сударыня и Trizo штамма *Bacillus subtilis* 124-11. Тенденция роста показателя отмечена в вариантах опыта с *Sphingomonas* sp. K1B – 8,6% и *Pseudomonas fluorescens* SPB2137 – 12,4%.

### 3.1.3.4 Число зерен в колосе

Число зерен в колосе – один из самых важных компонентов урожайности, который может изменяться в широких пределах в зависимости от агроэкологических условий возделывания пшеницы. Статистически достоверный рост числа зерен в колосе у сортов Сударыня и Trizo – на 15,5%, был зарегистрирован только в варианте опыта со штаммом *Bacillus subtilis* 124-11. Тенденция роста показателя отмечена в вариантах опыта с *Sphingomonas* sp. K1B – 6,5% и *Pseudomonas fluorescens* SPB2137 – 10,1%.

### 3.1.3.5 Масса зерен одного колоса

В структуре урожая пшеницы основными показателями являются количество продуктивных стеблей на единице площади и масса зерна с одного колоса. Масса зерен колоса у сортов Сударыня и Trizo существенно выросла в вариантах опыта: со штаммами бактерий *Bacillus subtilis* 124-11 – на 21,2%; *Pseudomonas fluorescens* SPB2137 – на 16,3%. Тенденция роста показателя – 11,6% зарегистрирована при применении штамма *Sphingomonas* sp. K1B.

### 3.1.3.6 Масса 1000 зерен

Масса 1000 зерен отражает количество минеральных веществ в виде макро- и микроэлементов, содержащихся в зерне; его крупность зависит от генотипа сорта, агроклиматических условий возделывания пшеницы. Величина показателя у сортов Сударыня и Trizo статистически достоверно выросла при применении штаммов бактерий: *Bacillus subtilis* 124-11 – на 37,9% и *Sphingomonas* sp. K1B – на 37,2%. Тенденция роста массы 1000 зерен – 9,5% зарегистрирована в варианте опыта, где сорта пшеницы были обработаны штаммом *Sphingomonas* sp. K1B.

### 3.1.3.7 Число зерен в колоске колоса

Непосредственное влияние на урожайность пшеницы оказывает продуктивность колоса, при этом степень продуктивности колоса зависит от числа зерен в колоске колоса и массы зерен в колоске колоса, а также от числа пустых колосков колосе. Максимальный рост числа зерен в колоске колоса был определен у сортов Сударыня и Trizo в варианте опыта со штаммом *Pseudomonas fluorescens* SPB2137 – 24,6%. В остальных вариантах с *Bacillus subtilis* 124-11 и *Sphingomonas* sp. K1B увеличение показателя составило 18,0% и 12,4%, соответственно.

### 3.1.3.8 Масса зерен в колоске колоса

Наибольшее увеличение массы зерен в колоске колоса у сортов Сударыня и Trizo в варианте опыта с *Pseudomonas fluorescens* SPB2137 составило 93,2%. Остальные штаммы бактерий также вызвали существенный рост значений показателя: *Bacillus subtilis* 124-11 – 87,0%, *Sphingomonas* sp. K1B – 72,3%.

### 3.1.3.9 Пустые колоски в колосе

Пустые колоски в колосе существенно снижают урожайность пшеницы и определяют плотность и озерненность колоса. В среднем, по двум сортам статистически достоверное снижение числа пустых колосков в колосе было обнаружено в вариантах опыта с *Bacillus subtilis* 124-11 – 1,1% и *Sphingomonas* sp. K1B – 1,2%.

### 3.2 Агроэкологическое варьирование продуктивности и урожайности мягкой пшеницы при применении штаммов ассоциативных ризобактерий

При применении штаммов ассоциативных ризобактерий наиболее высокие значения урожайности и продуктивности пшеницы в 2019 г. по сравнению с 2021 г. и 2022 г. (рис. 1), возможно, были связаны с более благоприятными метеорологическими условиями роста и развития пшеницы в этом году (гидротермический коэффициент  $ГТК_{июль}=0,98$ ;  $ГТК_{август}=0,92$ ; сумма температур в мае выше  $10^{\circ}C$  со дня посева – 11 мая  $T_{май}=228,12^{\circ}C$ , сумма осадков в мае со дня посева  $W_{май} = 72,0$  мм; сумма температур в июне  $T_{июнь}=529,7^{\circ}C$ ; сумма осадков в июне  $W_{июнь} = 33,9$  мм; сумма температур в июле  $T_{июль}=479,7^{\circ}C$ ; сумма осадков в июне  $W_{июнь} = 58,0$  мм; сумма температур в августе  $T_{август}=478,0^{\circ}C$ ; сумма осадков в августе  $W_{август}= 24,9$  мм). Кроме того, в данном году отмечена минимальная активность Солнца: число пятен на Солнце в среднем за год  $N_{г.п.} = 3,6$ ; число пятен на Солнце в июле  $N_{июль.п.} = 0,9$ ; число Вольфа в июле  $V_{июль}=0,7$ ).

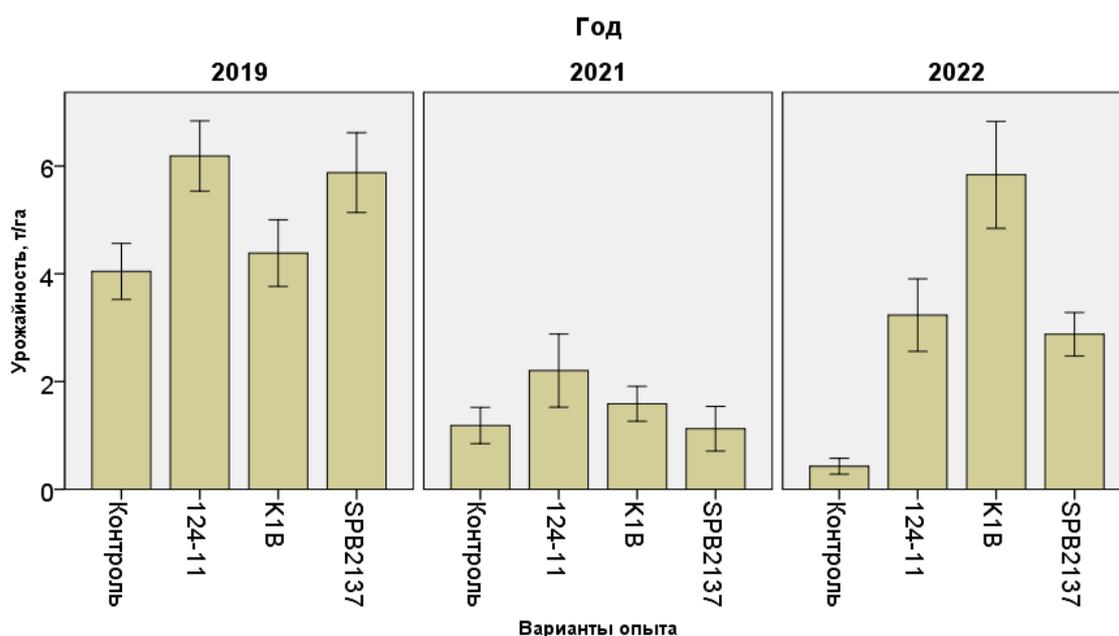


Рисунок 1 – Динамика урожайности мягкой пшеницы при применении штаммов ассоциативных ризобактерий (2019, 2021, 2022 гг.)

Минимальные значения урожайности и продуктивности пшеницы в 2021 г. были связаны с жарким и засушливым вегетационным периодом возделывания пшеницы. Были зарегистрированы высокие значения температуры в мае  $T_{май}=289,1^{\circ}C$ , июне  $T_{июнь}=590,4^{\circ}C$ , июле  $T_{июль}=837,7^{\circ}C$ . При этом в июне и июле выпало очень незначительное количество осадков:  $W_{июнь} = 10,7$  мм,  $W_{июль} = 5,7$  мм, а в августе, наоборот, сумма осадков составила  $W_{август} = 122,5$  мм. Активность Солнца в 2021 г. резко возросла по сравнению с 2019 г.:  $N_{г.п.} = 29,6$ ;  $N_{июль.п.} = 34,3$ ;  $V_{июль}=35,9$ . Значения  $ГТК$  в июле – 1,95, августе – 2,58. Метеорологические условия вегетационного периода роста и развития пшеницы в 2022 г. отличались минимальной суммой осадков в мае  $W_{май} = 4,3$  мм и

максимальной – в августе  $W_{\text{май}} = 544,9$  мм. Значения ГТК в июле – 1,20, августе – 2,54. Активность Солнца была максимальной: Нг.п.= 83,1; Ниюль.п.= 91,4; Виюль=110. В условиях жаркого и засушливого вегетационного периода данного года наибольшее влияние на рост урожайности сортов Сударыня и Trizo (на 86,0%) оказал штамм спорообразующей бактерии «*Bacillus subtilis* 124-11», обладающей наибольшим адаптационным потенциалом к метеорологическим условиям возделывания пшеницы в отличие от других неспорообразующих бактериальных штаммов (Колесников и др., 2024), что также подтверждается нашими данными, опубликованными в работе Kolesnikov et al, 2024a.

### **3.3 Интенсивность поражения мягкой пшеницы особо опасными болезнями при применении штаммов ассоциативных ризобактерий**

В последние годы в Северо-Западном регионе РФ отмечается тенденция усиления пораженности мягкой пшеницы корневой гнилью, мучнистой росой и желтой ржавчиной и снижение – бурой ржавчиной. Причинами изменения вредоносности болезней пшеницы является использование районированных устойчивых к болезни сортов, а также глобальное изменение климата (Kolesnikov et al, 2021, 2021a, 2021b).

**Гельминтоспориозная корневая гниль.** Применение штаммов ассоциативных ризобактерий существенно снизили пораженность пшеницы корневой гнилью, вызванной развитием гриба *Bipolaris sorokiana* (Sacc.) Shoem.: *Bacillus subtilis* 124-11 – на 20,9%; *Sphingomonas* sp. K1B – на 19,0%; *Pseudomonas fluorescens* SPB2137 – на 18,7%. Кроме того, было установлено, что с увеличением содержания во флаговых листьях пшеницы каротиноидов и уменьшением отношения суммы хлорофилла *a* и *b* к каротиноидам, снижалось развитие корневой гнили пшеницы. Данную тенденцию можно объяснить тем, что чем больше содержание каротиноидов в растении, тем больше в нем антиоксидантных веществ, способных ингибировать патогенез, обусловленный развитием корневой гнили.

**Мучнистая роса пшеницы.** Интенсивность поражения пшеницы сорта Сударыня мучнистой росой (*Blumeria graminis* (DC.) Speer f. sp. *tritici* Marchal.) была незначительна (рис. 2), поэтому эффективность бактериальных штаммов оценивали по пораженности болезнью сорта Trizo. На данном сорте развитие болезни статистически достоверно снизилось на 7,4% при применении только штамма *Sphingomonas* sp. K1B.

**Бурая ржавчина пшеницы.** Сорт Trizo значительно сильнее поражен возбудителем бурой ржавчины *Puccinia triticina* Erikss., чем сорт Сударыня, особенно в 2019 г. В варианте опыта, где растения сорта Trizo в указанном году были обработаны штаммом *Sphingomonas* sp. K1B, зарегистрировано статистически достоверное снижение развития болезни на 10,8%.

**Желтая ржавчина пшеницы.** Существенное снижение развития болезни – на 10,8% было выявлено на сорте Сударыня в варианте опыта с использованием штамма *Sphingomonas* sp. K1B, когда число полос с пустулами снизилось на 37,0%, длина полосы с пустулами – на 13,8%, число пустул в полосе – на 39,0%. Кроме

того, на указанном сорте зарегистрировано существенное снижение площади пустулы желтой ржавчины при применении всех штаммов ассоциативных ризобактерий: *Bacillus subtilis* 124-11 – на 35,1%, *Sphingomonas* sp. K1B – на 29,8%, *Pseudomonas fluorescens* SPB2137 – на 46,7% (Колесников и др., 2024).

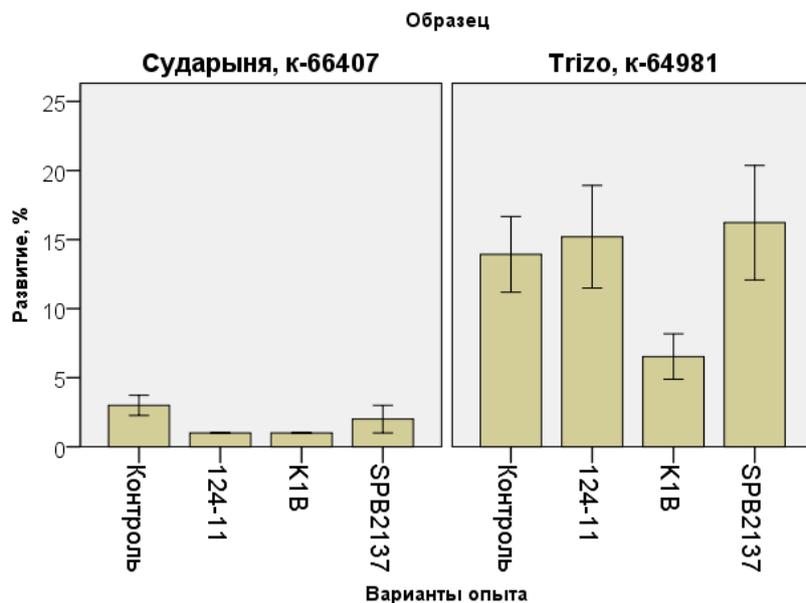


Рисунок 2 – Интенсивность развития мучнистой росы на сортах мягкой пшеницы Сударыня и Trizo при применении штаммов ассоциативных ризобактерий (2019, 2021, 2022 гг.)

### 3.4 Системный анализ фитометрических и фитопатологических показателей посевов пшеницы при применении штаммов ассоциативных ризобактерий

Многофакторный подход к анализу комплекса фитометрических и фитопатологических показателей позволил определить тенденции в их изменении и выявить относительное число параметров, величины которых отличались статистически значимыми изменениями по сравнению с контролем при применении штаммов ассоциативных ризобактерий.

Наибольшее число фитометрических показателей (рис. 3), значения которых достоверно выросли по сравнению с контролем при  $P < 0,05$ , было выявлено у сорта Сударыня в варианте опыта с применением штамма *Bacillus subtilis* 124-11 – 52,4%; у сорта Trizo – в вариантах «*Bacillus subtilis* 124-11» (66,7%) и «*Sphingomonas* sp. K1B» (66,7%), а в среднем по двум сортам – при использовании штамма «*Bacillus subtilis* 124-11» (81,0%) (Колесников и др., 2024). Данная тенденция подтверждается данными, полученными нами ранее и представленными в работе Kolesnikov et al, 2021a.

Снижение поражаемости растений возбудителями болезней при применении бактериальных штаммов существенно повышает ее урожайность и улучшает фитометрические показатели посевов (Novikova et al, 2024). Применение штамма «*Bacillus subtilis* 124-11» на сортах Сударыня, к-66407 и Trizo обуславливало увеличение значений следующих показателей: полевой всхожести (23,6%), фазы

онтогенеза (9,3%), высоты растений (10,0%), числа (36,0%), длины (37,4%) первичных корней, числа (16,8%) и длины (40,8%) узловых корней, массы корней (39,8%), продуктивной кустистости (41,4%), площади предфлагового листа (18,3%), числа колосков в колосе (5,2%), массы колоса (18,6%), числа зерен в колосе (15,5%), массы зерен одного колоса (21,2%), массы 1000 зерен (13,0%), числа (18,0%) и массы зерен (87,0%) в колоске колоса.

Статистически достоверное увеличение значений у 85,7% фитометрических показателей относительно контроля (2019-2022 гг.) при применении штамма *Bacillus subtilis* 124-11 на мягкой пшенице сорта Сударыня было обусловлено существенным снижением ( $P < 0,05$ ) поражения растений гельминтоспориозной корневой гнилью (на 22,7%), мучнистой росой (развитие болезни – 2%, число пятен с налетом – 60,3%, площадь пятен с налетом – 77,5%), желтой ржавчиной (площадьпустулы – 35,1%).

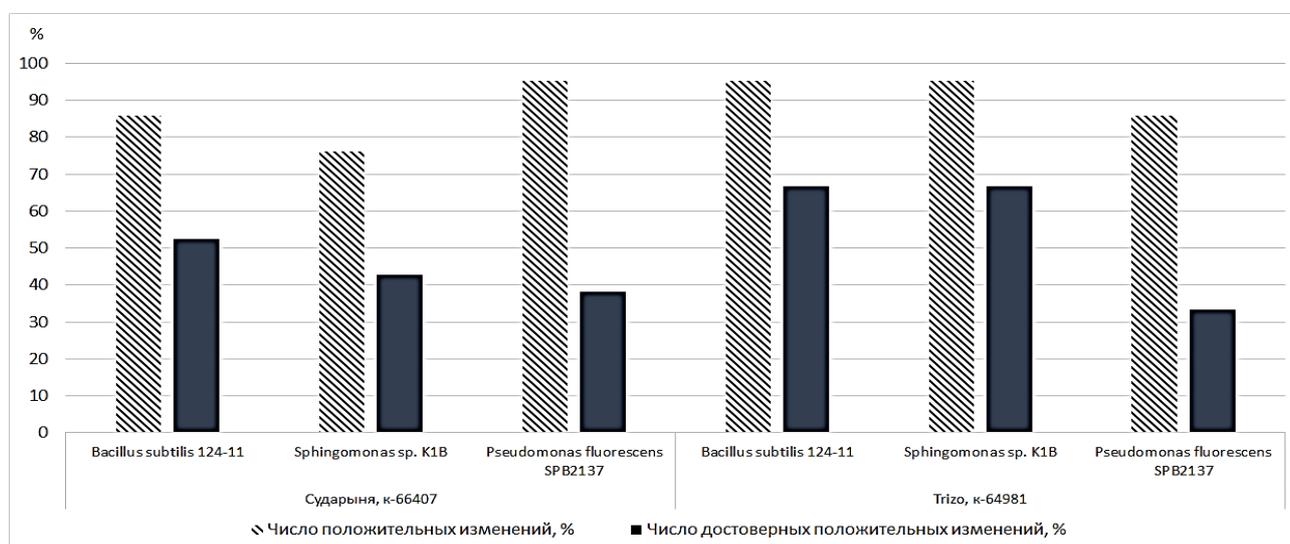


Рисунок 3 – Относительное число фитометрических показателей посевов мягкой пшеницы, значения которых выросли и достоверно выросли ( $P < 0,05$ ) при применении штаммов ассоциативных ризобактерий (2019, 2021, 2022 гг.).

### 3.5 Содержание фотосинтетических пигментов в листьях мягкой пшеницы при использовании штаммов ассоциативных ризобактерий

Статистически достоверный рост содержания хлорофилла *a* при  $P < 0,05$  зарегистрирован во флаговых листьях у сортов Сударыня (на 27,9%) и Trizo (на 14,6%) при применении штамма *Pseudomonas fluorescens* SPB2137 (табл. 1).

В среднем, по двум сортам, величина содержания хлорофилла *a* увеличилась на 21,7% по сравнению с контролем. Кроме того, в указанном варианте опыта на сорте Сударыня отмечен рост содержания в листьях хлорофилла *b* (на 62,6%), который, по данным Иванова и др. (2013), отвечает за усиление работы антенной фотосистемы II в стрессовых ситуациях. Применение штамма *Bacillus subtilis* 124-11 приводило к увеличению хлорофилла *a* (на 7,6%) только у сорта Trizo. Существенно большее суммарное содержание хлорофиллов *a* и *b* (на 11,3%) во флаговых листьях у двух сортов выявлено при использовании штамма *B. subtilis* 124-11.

С использованием коэффициента ранговой корреляции Спирмена было установлено, что увеличение содержания в листьях пшеницы хлорофилла *a* определяло рост вегетативной массы растений ( $r=0,7$ ), массы колоса ( $r=0,8$ ), числа и массы зерен в колоске колоса ( $r=0,8$ ), а хлорофилла *b* – числа узловых корней ( $r=0,8$ ), массы корней ( $r=0,9$ ).

Полученные результаты исследования подтверждают тот факт, что содержание хлорофилла в листьях пшеницы является модификационным признаком и регулируется агротехническими приемами, в том числе связанными с использованием ассоциативных ризобактерий. Влияние ассоциативных ризобактерий на фотосинтетические пигменты нестабильно, и может коррелировать с комплексом факторов, которые требуют дополнительных исследований (Alipour et al., 2012). Однако, по имеющимся данным, применение ассоциативных ризобактерий позволяет нивелировать неблагоприятные условия внешней среды (Маринкина, Маркс, 2014), оптимизировать минеральное питание растений, что положительно влияет на эффективность работы фотосинтетического аппарата.

Таблица 1– Содержание хлорофиллов *a* и *b* во флаговых листьях пшеницы сортов Сударыня и Trizo при применении штаммов ассоциативных ризобактерий (2022 г.)

Варианты опыта	Сорт	Содержание хлорофилла <i>a</i> , мг/г	Содержание хлорофилла <i>b</i> , мг/г	Содержание хлорофилло в <i>a + b</i> (мг/г)
1.Контроль (вода)	Сударыня, к-66407	1,05±0,05	2,88±0,80	3,92±1,00
	Trizo, к-64981	0,92±0,03	3,38±0,40	4,30±0,90
	Среднее	0,98±0,03	3,13±0,25	4,11±0,19
2. <i>Bacillus subtilis</i> 124-11	Сударыня, к-66407	1,09±0,01	3,65±1,10	4,74±1,10
	Trizo, к-64981	<b>0,99±0,02*</b>	3,42±0,90	4,41±1,30
	Среднее	1,04±0,01	3,54±0,12	<b>4,57±0,17</b>
3. <i>Sphingomonas</i> sp. K1B	Сударыня, к-66407	<b>0,85±0,04</b>	3,02±0,80	3,87±0,90
	Trizo, к-64981	0,81±0,24	<b>2,28±0,59</b>	3,09±0,83
	Среднее	0,82±0,12	2,53±0,42	3,35±0,55
4. <i>Pseudomonas fluorescens</i> SPB2137	Сударыня, к-66407	<b>1,34±0,06</b>	<b>4,68±1,1</b>	6,02±1,2
	Trizo, к-64981	<b>1,05±0,02</b>	3,07±0,9	4,12±1,3
	Среднее	<b>1,20±0,03</b>	3,87±0,08	5,07±0,95

\* – различия с контролем достоверны при  $P<0,05$

### 3.6 Экономическое обоснование применения штаммов ассоциативных ризобактерий в технологии возделывания мягкой пшеницы

Бактериальные биопрепараты имеют значительно более низкую цену, чем агрохимикаты и синтетические средства защиты растений. Кроме того, в производственных условиях рекомендовано осуществлять не более двух обработок сельскохозяйственных культур биопрепаратами, независимо от их

препаративной формы (жидкой или порошкообразной). Применение биопрепаратов позволяет минимизировать затраты на агротехнику, топливо и т.п., снизить химическую нагрузку на агроэкосистемы, а также уменьшить влияние агротехники на деградацию почвы, связанную со снижением ее пористости (Toader et al., 2020). В Российской Федерации средние цены на пшеницу (закупочные) зернотрейдерских и перерабатывающих организаций за тонну в зависимости от класса продовольственной пшеницы составляют: 3 класс (клейковина 23-25%, ИДК 80-100) – 16000 руб. за тонну; 4 класс (клейковина 18-22%, ИДК 80-100) – 13000 руб., 5 класса (фураж, клейковина <18%, ИДК 80-100) – 10000 руб. (общероссийская еженедельная газета «Агроновости» от 16.06.2024).

При применении на сорте Сударыня штамма *Bacillus subtilis* 124-11 величина дополнительного урожая с посевной площади в 1 га составит 1,88 т. Стоимость дополнительного урожая зерна пшеницы, отнесенного к 3 классу, составит 30080 руб. Тогда прибыль будет равна 12400 руб., а на каждый затраченный 1 руб. – 0,7 руб. прибыли. Применение указанного штамма на сорте Trizo позволило получить величину дополнительного урожая зерна – 2,69 т. При стоимостном выражении дополнительного урожая зерна пшеницы – 43040 руб. прибыль будет равна 25360 руб. т.е. на каждый затраченный 1 рубль – 1,4 руб.

Обработка посевов пшеницы сортов Сударыня и Trizo штаммом *Sphingomonas* sp. K1B. позволила получить величины дополнительного урожая зерна с посевной площади в 1 га – 0,42 т (6720 руб.) и 3,4 т (54400 руб.). В варианте, где штамм *Sphingomonas* sp. K1B. был применен на сорте Сударыня, затраты на агротехнические мероприятия превышали стоимость дополнительного урожая, т.е. убыток составил 10960 руб. Однако, при применении бактериального штамма на сорте Trizo прибыль составила 36720 руб., а на каждый затраченный 1 рубль было получено 2,08 руб. прибыли.

При применении штамма *Pseudomonas fluorescens* SPB2137 на сортах Сударыня и Trizo были определены значения дополнительного урожая, а также рассчитана его стоимость с площади в 1 га: 2,28 т (36480 руб.) и 1,14 т (18240 руб.), соответственно. По вариантам опыта прибыль составила – 18800 руб. и 560 руб., на каждый затраченный 1 рубль приходилось 1,06 руб. и 0,03 руб. прибыли.

Таким образом, в среднем по двум вышеуказанным сортам пшеницы наиболее экономически выгодно в агротехнологиях их возделывания использовать штамм *Bacillus subtilis* 124-11. Применение данного бактериального штамма оказало существенное влияние на увеличение урожайности пшеницы по сравнению с контролем – на 80,2% (сорт Сударыня) и на 108,2% (сорт Trizo), что было связано с тенденцией роста 52,4% и 66,7% фитометрических показателей посевов. Однако следует отметить, что максимальная прибыль была получена при применении штамма *Sphingomonas* sp. K1B. в технологии возделывания сорта Trizo (на каждый затраченный 1 рубль было получено 2,08 руб. прибыли). При этом, так как штамм в наибольшей степени оказал влияние на снижение интенсивности развития особо опасных

болезней пшеницы, в данном случае величину прибавки урожая следует описывать величиной сохранённого урожая, которая составила 3,4 т/га.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. При инокуляции семян и двукратном опрыскивании сортов Сударыня и Trizo всеми исследованными штаммами ассоциативных ризобактерий урожайность пшеницы существенно выросла по сравнению с контролем (2,4 т/га): *Bacillus subtilis* 124-11 – на 95,2% (до 4,7 т/га); *Sphingomonas* sp. K1B – на 81,7% (до 4,4 т/га); *Pseudomonas fluorescens* SPB2137 – на 71,4% (до 4,2 т/га).
2. Наиболее выраженным ростостимулирующим действием на мягкую пшеницу обладал штамм бактерии *Bacillus subtilis* 124-11. Обработка сортов Сударыня и Trizo культуральной жидкостью бактерий приводила к росту наибольшего числа фитометрических показателей пшеницы. Высокая эффективность штамма *Bacillus subtilis* 124-11 связана с широким спектром синтеза биологически активных метаболитов, со способностью бактерии формировать эндоспоры, а также снижать интенсивность развития возбудителей болезней растений.
3. Экспериментально подтверждено действие штаммов ассоциативных ризобактерий на увеличение фотосинтетических пигментов во флаговых листьях пшеницы. Наиболее выраженный рост показателей по сравнению с контролем был выявлен в следующих вариантах опыта: хлорофилл *a* («*Pseudomonas fluorescens* SPB2137» – на 21,7%, сорта Trizo и Сударыня), хлорофилл *b* («*Pseudomonas fluorescens* SPB2137» – на 62,6%, сорт Сударыня), суммарное содержание хлорофиллов *a* и *b* («*B. subtilis* 124-11» – на 11,3%, сорта Trizo и Сударыня).
4. При применении штамма *Pseudomonas fluorescens* SPB2137 на сортах Trizo и Сударыня выявленная тенденция роста содержания в листьях хлорофилла *a* сопровождалась существенным увеличением важнейших характеристик продуктивности пшеницы: числа зерен в колоске колоса (на 24,6%) и массы зерен в колоске колоса (на 93,2%).
5. Максимальное снижение (на 20,7%) интенсивности развития гельминтоспориозной корневой гнили пшеницы у сортов Сударыня и Trizo зарегистрировано при использовании штамма *B. subtilis* 124-11. Однако в отношении комплекса особо опасных болезней мягкой пшеницы наиболее выраженными защитными свойствами обладал штамм *Sphingomonas* sp. K1B. При его применении развитие корневой гнили снизилось на 19,1%; уменьшилось поражение растений мучнистой росой (по развитию болезни – на 5,6%, числу пятен с налетом – на 51,5%) и желтой ржавчиной (по развитию болезни – на 6,8%, числу полос с пустулами – на 34,4%, числу пустул в полосе – на 32,1%).
6. Наибольшей отзывчивостью на применение штаммов *Bacillus subtilis* 124-11 и *Sphingomonas* sp. K1B обладал сорт Trizo, характеризующийся большим вегетационным периодом (85-90 дней), чем сорт Сударыня (71-84 дней). Урожайность сорта Trizo при применении штаммов бактерий по сравнению с контролем (2,5 т/га) выросла на 108,2% (до 5,2 т/га) и 136,3% (до 5,9 т/га),

соответственно. Применение данных штаммов на сорте Сударыня определяло рост урожайности пшеницы в варианте с *Bacillus subtilis* 124-11 на 80,2% (до 4,2 т/га), а в варианте с *Sphingomonas* sp. K1B – на 17,8 % (до 2,8 т/га) по сравнению с контролем (2,4 т/га). Однако штамм *Pseudomonas fluorescens* SPB2137 показал большую эффективность в отношении урожайности пшеницы сорта Сударыня, которая превышала контроль на 97,5%.

7. В условиях жаркого и засушливого вегетационного периода 2021 г. наибольшее влияние на рост урожайности сортов Сударыня и Trizo (на 86,0%) оказал штамм спорообразующей бактерии «*Bacillus subtilis* 124-11», обладающей наибольшим адаптационным потенциалом к метеорологическим условиям возделывания пшеницы в отличие от других неспорообразующих бактериальных штаммов.

8. В условиях Ленинградской области наиболее экономически выгодно при возделывании сортов Сударыня и Trizo использовать штамм *Bacillus subtilis* 124-11. На каждый затраченный на агротехнологию 1 руб. можно получить прибыль от 0,7 руб. до 1,4 руб.

## ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

Данные о ростостимулирующем и защитном действии ассоциативных ризобактерий *Bacillus subtilis* 124-11, *Pseudomonas fluorescens* SPB2137, *Sphingomonas* sp. K1B, после создания препаративных форм биопрепаратов, в том числе жидких культур и их государственной регистрации, могут быть рекомендованы к использованию в сельскохозяйственном производстве. Особое внимание следует уделить штамму *Bacillus subtilis* 124-11, обладающему выраженным ростостимулирующим действием на растения и способному, благодаря наличию эндоспор, адаптироваться к экстремальным условиям среды, в том числе – к повышенной температуре и недостатку влаги.

## СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

### Статьи, опубликованные в журналах, входящих в перечень ВАК РФ

1. Колесников, Л.Е. Использование ассоциативных ризобактерий для оптимизации фитосанитарного состояния посевов зерновых культур/ Л.Е. Колесников, А.А. Белимов, **Б.А. Хасан**, Ю.Р. Колесникова, М.В. Киселев, Д.С. Минаков // Российская сельскохозяйственная наука. – 2023. – № 1. – С. 40-47. – DOI: 10.31857/S2500262723010088/ Kolesnikov, L.E. The optimization of grain crops' phytosanitary condition with associative rhizobacteria application / L.E. Kolesnikov, A.A. Belimov, **B.A. Hassan**, Yu.R. Kolesnikova, M.V. Kiselev, D.S. Minakov// Russian Agricultural Sciences. – 2023. – V. 49. – № 2. – P. 164-171. – DOI: 10.3103/s1068367423020088 (RSCI, Springer Nature).
2. Колесников, Л.Е. Влияние ассоциативных ризобактерий на формирование продуктивности мягкой пшеницы в условиях Ленинградской области / Л.Е. Колесников, **Б.А. Хасан**, А.А. Белимов // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета». – 2024 – №3 (77). – С. 46-59.

### Статьи в изданиях, индексируемых в международных базах данных

3. Kolesnikov, L.E. Application of associative rhizobacteria for increasing the soft wheat productivity and reducing the diseases harmfulness/ L.E. Kolesnikov, **B.A. Hassan**, A.A. Belimov, A.G. Orlova, D.S. Minakov, Yu.R. Kolesnikova //Indian Journal of Agricultural Research. – 2024a. – V. 58. – № 1. – P. 63-69. – DOI: 10.18805/IJARE.AF-766 (Scopus)
4. Kolesnikov, L.E. The influence of agroecological factors on diseases development and wheat productivity / L.E. Kolesnikov, M.I. Kremenevskaya, S.P. Melnikov, E.V. Tambulatova, **B.A. Hassan**, Y.R. Kolesnikova // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 3. Сер. "3rd International Scientific Conference on Sustainable and Efficient Use of Energy, Water and Natural Resources". – 2021. – С. 012011. – DOI: 10.1088/1755-1315/866/1/012011 (Scopus)
5. Kolesnikov, L.E. Identification of the effectiveness of associative rhizobacteria in spring wheat cultivation / L.E. Kolesnikov, A.A. Belimov, E.Y. Kudryavtseva, Y.R. Kolesnikova, **B.A. Hassan** //Agronomy Research. – 2021a. – Т. 19. – № 3. – P. 1530-1544. – DOI: 10.15159/AR.21.145 (Scopus)
6. Novikova, I.I. The Biological Efficiencies of Multifunctional Complexes Based on *Bacillus subtilis* Strains and Chitosan Salicylate in Wheat Cultivation/ I.I. Novikova, L.E. Kolesnikov, E.V. Popova, **B.A. Hassan**, N.S. Priyatkin, D.Yu. Radishevskiy, I.L. Krasnobaeva, L.A. Higerovich, Yu. R. Kolesnikova// Applied Biochemistry and Microbiology. – 2024. – V.60. – № 2. – P. 251–263. – DOI: 10.1134/S0003683824020133 (RSCI, Web of Science, Scopus, Springer Nature)

### Статьи, опубликованные в других изданиях

7. Kolesnikov, L.E. The agroecological factors influence on diseases development and wheat productivity/ L.E. Kolesnikov, M.I. Kremenevskaya, S.P. Melnikov, E.V. Tambulatova, **B.A. Hassan**, Yu.R. Kolesnikova //Энерго-ресурсоэффективность в интересах устойчивого развития (SEWAN – 2021) = Sustainable And Efficient Use Of Energy, Water And Natural Resources (SEWAN – 2021) /// III международная научная конференция “SEWAN – 2021”. – СПб. – 2021b. – С. 158
8. Kolesnikov, L.E. Increasing Wheat Productivity and Disease Resistance through Combined Use of Polyme–r Hydrogel and Protein Hydrolysates with Varied Composition and Molecular Weight/ L.E. Kolesnikov, M.I. Kremenevskaya, M.V. Uspenskaya, **B.A. Hassan**, Yu.R. Kolesnikova, F. Adkhamov, V.S. Varik// Biol. Life Sci. Forum. – 2024b. – 30(1). –<https://doi.org/10.3390/IOCAG2023-17334>