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

На правах рукописи

КОЛЕСНИКОВ ЛЕОНИД ЕВГЕНЬЕВИЧ

НАУЧНОЕ ОБОСНОВАНИЕ БИОЛОГИЗАЦИИ ЗАЩИТЫ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ ОТ БОЛЕЗНЕЙ НА СЕВЕРО-ЗАПАДЕ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Шифр и наименование специальности

4.1.3 Агрохимия, агропочвоведение, защита и карантин растений

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание учёной степени

доктора биологических наук

Научный консультант:

доктор биологических наук, профессор,

академик РАН В.А. Павлюшин

Санкт-Петербург

2024

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 9

ГЛАВА 1. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СПОСОБОВ ФИТОСАНИТАРНОГО ОЗДОРОВЛЕНИЯ ПОСЕВОВ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНЫХ МЕТОДОВ И СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ РАСТЕНИЙ (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ) 30

1.1 Проблема получения высококачественного зерна в России и пути ее решения 32

1.2 Факторы, лимитирующие урожайность зерновых культур в изменяющихся условиях окружающей среды, и влияющие на фитосанитарное состояние посевов зерновых культур 39

1.3 Характеристика фитосанитарного состояния зерновых культур при различных агротехнологиях возделывания 50

1.4 Биоценотические компоненты агробиогеоценоза и их использование в оптимизации фитосанитарного состояния посевов зерновых культур 56

1.5 Научно обоснованные принципы создания и использования устойчивых к болезням сортов пшеницы для стабилизации фитосанитарного состояния агроценозов 61

1.6 Использование инструментальных методов агрофизики в оценке фитосанитарного состояния и повышения продуктивности агроценозов зерновых культур 74

1.7 Управление фитосанитарным состоянием агробиоценозов пшеницы на основе применения в защите растений современных систем диагностики, моделирования и прогноза 77

1.8 Взаимодействие ризосферных бактерий с растениями и их роль в повышении продуктивности и фитосанитарной стабильности агробиоценозов 85

1.9 Эффективность почвенных кондиционеров и стимулирующих обработок растений биопрепаратами для повышения адаптивного потенциала растений и снижения вредоносности их болезней 89

1.10 Совершенствование концептуальных подходов для стратегии оптимизации фитосанитарного состояния посевов пшеницы 96

Глава 2. Научно-методические подходы, объект, предмет, место и методы исследований 101

2.1 Концептуальная схема исследований 101
2.2 Объект, предмет и места проведения исследований 102
2.3 Методы исследований 107
2.3.1 Методологическая схема исследований 107
2.3.2 Описание методов исследований 107
2.3.2.1 Традиционные методы исследования 108
2.3.2.1.1 Методы анализа продуктивности и урожайности пшеницы 108
2.3.2.1.2 Методы фитопатологической оценки устойчивости пшеницы к болезням 109
2.3.2.1.3 Методы интроскопического анализа зерна пшеницы с использованием методов микрофокусной рентгенографии и газоразрядной визуализации 111
2.3.2.1.4 Методы полевой спектрометрии, используемые для оценки фитометрических и фитопатологических характеристик посевов пшеницы 115
2.3.2.1.5 Методы биохимического исследований, анализа элементного состава растений и почвы 118
2.3.2.2 Оригинальные методы исследований 120
2.3.2.2.1 Метод анализа продуктивности пшеницы и интенсивности развития болезней с использованием комплекса фитометрических и фитопатологических показателей с разной степенью детализации 120
2.3.2.2.2 Метод автоматизированной систематизации данных полевых исследований с использованием оригинальной базы данных 124
2.3.2.2.3 Моделирование развития болезней и анализ их вредоносности. Методологические принципы использования алгоритмов статистической обработки данных опыта 125
2.3.2.3 Методы оценки эффективности биопрепаратов и экспериментальных образцов при возделывании пшеницы 126
2.3.2.3.1 Микробиологические препараты, салицилат хитозана (0,1%), композиции, полифункциональные комплексы на

основе хитозана и бактериальных штаммов *B. subtilis* ВКМ В-2604D, *B. subtilis* ВКМ В-2605D, *B. subtilis*-И5 127

2.3.2.3.2 Штаммы ассоциативных ризобактерий из Ведомственной коллекции полезных микроорганизмов сельскохозяйственного назначения 133

2.3.2.3.3 Белковые стимуляторы роста и почвенный кондиционер .. 134

2.3.2.3.4 Полимерный гидрогель 136

2.3.2.3.5. Органо-минеральные удобрения и микроудобрения 138

2.3.2.4. Методы статистической обработки данных опыта 139

Глава 3. Мониторинг, моделирование и прогноз развития особо опасных болезней мягкой пшеницы для стабилизации фитосанитарного состояния агроэкосистем 142

3.1 Анализ генетических ресурсов мягкой пшеницы яровой по устойчивости к болезням 142

3.1.1 Бурая ржавчина пшеницы 143

3.1.2 Желтая ржавчина пшеницы 148

3.1.3 Стеблевая ржавчина пшеницы 151

3.1.4 Мучнистая роса пшеницы 155

3.1.5 Септориоз пшеницы 160

3.2 Оценка мягкой пшеницы озимой по устойчивости к инфекционному выпреванию 163

3.3 Влияние особо опасных болезней на фитометрические показатели посевов мягкой пшеницы 167

3.4 Выявление взаимосвязей морфобиологических признаков мягкой пшеницы с продуктивностью и устойчивостью к болезням 172

3.5 Моделирование влияния приодно-климатических факторов на интенсивность развития листостебельных болезней 178

3.5.1 Анализ и прогноз развития особо опасных болезней мягкой пшеницы 178

3.5.2 Выявление зависимостей развития болезней пшеницы от УФ-индекса вегетационного периода 182

3.5.3 Анализ и прогноз развития инфекционного выпревания на мягкой пшенице в Северо-Западном регионе РФ 187

3.5.4 Влияние листовых инфекций мягкой пшеницы предшествующего года на элементы продуктивности и устойчивость к болезням 192

3.5.5 Влияние уровня азотного питания растений на изменение интенсивности развития бурой ржавчины 196

3.6 Внутривидовая изменчивость мягкой пшеницы по элементному составу, антиоксидантной активности и их связь с урожайностью и устойчивостью к вредным организмам 198

3.6.1 Продуктивность пшеницы, поврежденность личинками пьявицы и элементный состав растений 198

3.6.2 Биохимический состав зерна у устойчивых и восприимчивых к бурой ржавчине сортов мягкой пшеницы 202

3.6.3 Биохимический состав листьев у устойчивых и восприимчивых к бурой ржавчине сортов мягкой пшеницы 205

3.6.4 Масс-спектральный анализ содержания некоторых химических элементов во флаговых листьях изогенных линий *Thatcher* с различной устойчивостью к бурой ржавчине 207

3.6.5 Антиоксидантная активность мягкой пшеницы и ее связь с урожайностью и устойчивостью к болезням 212

3.7 Прогнозирование урожайности и интенсивности поражения мягкой пшеницы болезнями с использованием методов интроскопического анализа зерна 217

3.7.1 Идентификация нежизнеспособных и выполненных семян мягкой пшеницы методом газоразрядной визуализации 217

3.7.2 Идентификация нежизнеспособных и выполненных семян мягкой пшеницы методом микрофокусной мягколучевой рентгенографии 221

3.7.3 Выявление зависимостей продуктивности и интенсивности развития болезней пшеницы от газоразрядных характеристик семенного материала 225

3.7.4 Выявление зависимостей продуктивности и интенсивности развития болезней пшеницы от рентгеноскопических характеристик семенного материала 229

3.7.5 Использование методов газоразрядной визуализации и микрофокусной рентгенографии для анализа качества зерна мягкой пшеницы при применении защитных и стимулирующих обработок 232

3.8 Применение спектрометрических индексов при оценке адаптивного потенциала мягкой пшеницы к условиям Северо-Западного региона РФ 238

3.8.1 Исследование устойчивости растений к болезням с использованием четырехканального портативного полевого фотометра ПИФ-М..... 238

3.8.2 Использование обратного вегетационного индекса для анализа фитометрических характеристик посевов пшеницы с использованием активного двухканального оптического тестера АДТ-М 241

3.8.3 Использование вегетационного индекса NDVI для оценки эффективности применения биопрепаратов при возделывании мягкой пшеницы с применением оптического прибора «Green Seeker»..... 244

3.9 Имитационное моделирование развития бурой ржавчины пшеницы с использованием системы нелинейных дифференциальных уравнений с запаздыванием 246

3.9.1 Создание имитационной модели развития бурой ржавчины пшеницы и определение возможности ее практической реализации 246

3.9.2 Экспериментальное определение коэффициента оседания уредоспор в имитационной модели развития бурой ржавчины пшеницы..... 256

Заключение по главе 3 258

Глава 4. Биологическое обоснование использования инновационных биологических средств защиты растений и регуляции роста при возделывании мягкой пшеницы 270

4.1 Микробиологические препараты, композиции на основе хитозана, полифункциональные комплексы, 0,1% салицилат хитозана 270

4.1.1 Анализ эффективности микробиологических препаратов, полифункциональных комплексов, композиций на основе хитозана и штаммов *Bacillus subtilis* ВКМ B-2604D, ВКМ B-2605D, 0,1% салицилата хитозана при возделывании пшеницы 270

4.1.2 Биологическая эффективность полифункциональных комплексов на основе штамма *Bacillus subtilis* И-5 и салицилата хитозана при возделывании пшеницы..... 290

4.1.3 Влияние микробиологических препаратов и полифункциональных комплексов на основе хитозана и штаммов

Bacillus subtilis ВКМ В-2604D, ВКМ В-2605D на фотосинтетические пигменты в листьях пшеницы 296

4.1.4 Влияние природно-климатических факторов на эффективность штаммов *Bacillus subtilis* ВКМ В-2604D, ВКМ В-2605D при возделывании мягкой пшеницы 298

4.2 Ассоциативные ризобактерии: *Bacillus subtilis* 124-11, *Sphingomonas* sp. K1B, *Pseudomonas fluorescens* SPB2137 311

4.2.1 Эффективность ассоциативных ризобактерий в отношении продуктивности и снижения развития болезней мягкой пшеницы 311

4.2.4 Анализ варьирования эффективности применения ассоциативных ризобактерий при возделывании мягкой пшеницы в зависимости от метеорологических факторов 323

4.3 Белковый стимулятор роста (белковый гидролизат) 339

4.3.1 Влияние белкового стимулятора роста при внекорневом внесении на продуктивность и устойчивость пшеницы к болезням 339

4.3.2 Влияние полимерного гидрогеля и белкового стимулятора роста на продуктивность и устойчивость пшеницы к болезням при предпосевном внесении в почву 346

4.3.3 Сравнительный анализ эффективности применения белкового стимулятора роста, органо-минеральных удобрений, микроудобрений 354

4.3.4 Влияние полимерного гидрогеля и белкового стимулятора роста разной молекулярной массы на продуктивность и устойчивость пшеницы к болезням при предпосевном внесении в почву и замачивании семян 357

4.4 Органо-минеральные удобрения и микроудобрения 369

4.4.1 Эффективность органо-минеральных удобрений и микроудобрений в отношении структуры урожайности пшеницы и интенсивности развития болезней 369

4.4.2 Влияние метеорологических факторов на эффективность органо-минеральных удобрений и микроудобрений 378

4.5 Сравнительная характеристика эффективности микробиологических средств защиты растений, удобрений, полимерного гидрогеля, регуляторов роста растений при возделывании пшеницы 395

Заключение к главе 4 410

ЗАКЛЮЧЕНИЕ 425

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ..... 434
СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ..... 436
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ..... 466
ПРИЛОЖЕНИЕ 1. Методологическая схема исследований 563
ПРИЛОЖЕНИЕ 2. Устойчивость мягкой пшеницы к возбудителям особо опасных болезней листьев..... 570
ПРИЛОЖЕНИЕ 3. Моделирование влияния природно-климатических факторов на интенсивность развития болезней листьев..... 577
ПРИЛОЖЕНИЕ 4. Развитие инфекционного выпревания на мягкой пшенице озимой 584
ПРИЛОЖЕНИЕ 5. Влияние структурно-функциональных характеристик посевного материала на продуктивность мягкой пшеницы и устойчивость к листовым болезням 587
ПРИЛОЖЕНИЕ 6. Биологическое обоснование применения полифункциональных композиций и комплексов на основе хитозана и штаммов *Bacillus subtilis* при возделывании мягкой пшеницы..... 590
ПРИЛОЖЕНИЕ 7. Агроэкологическое варьирование продуктивности и пораженности пшеницы болезнями при применении ассоциативных ризобактерий..... 596
ПРИЛОЖЕНИЕ 8. Акты внедрения и результаты апробации работы..... 602

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Производство зерновых культур - основная отрасль сельского хозяйства РФ, которая играет важнейшую роль в обеспечении продовольственной безопасности страны (Архипов и др., 2017). Оно необходимо и для развития других отраслей АПК, в том числе животноводства и птицеводства (Шаймерденова, 2018; Шариков и др., 2018). Пшеница – широковозделываемая зерновая культура во всем мире, в том числе и России. Урожайность ее нестабильна и зависит от комплекса экологических факторов (Фролов, Страшная, 2010; Трухачев, Никитенко, 2011; Никифоров, Никифоров, Мамеев, 2020). Получение стабильных и высококачественных урожаев невозможно без разработки научно обоснованной системы защиты растений (Долженко, Силаев, 2010).

Усовершенствование используемых технологий возделывания зерновых культур, основанных на принципах ресурсосбережения и реализации требований адаптивно-ландшафтного и точного земледелия - актуальная проблема сельского хозяйства (Беленков и др., 2015). Почвенно-климатические условия возделывания культуры и фитосанитарное состояние посевов оказывают существенное влияние на получение стабильных урожаев (Павлюшин, Лысов, 2019) Возделывание высокоурожайных сортов, устойчивых к абиотическим и биотическим стрессам предопределяет успех сельскохозяйственного производства (Новохатин, 2018). Показано, что средняя урожайность пшеницы в России составляет 2.9 т/га, а при возделывании по интенсивной технологии может достичь 6 т/га (Иващенко, Павлюшин, 2017).

Согласно Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации, утверждённой Указом Президента РФ, приоритетной задачей научно-технологического развития РФ является переход к высокопродуктивному и экологически чистому агрохозяйству, разработка и внедрение систем рационального применения средств химической и биологической защиты сельскохозяйственных растений (01.12.2016 г. № 642).

В связи с этим значимость приобретает усовершенствование стратегий защиты растений путем модернизации элементов управления фитосанитарным состоянием агроэкосистем и приемов естественного регулирования развития и распространения вредных организмов (Павлюшин и др., 2013; Arkhipov, Tyukalov, 2022). Его реализация позволит своевременно контролировать количественные взаимоотношения в системе патоген-хозяин-среда на популяционном, молекулярном и надорганизменном уровнях, в том числе с использованием методов и средств цифрового фитосанитарного мониторинга и дистанционного зондирования Земли (Павлюшин, Лысов, 2019; Оленин и др., 2019), и также разрабатывать научно-обоснованные системы защиты растений (Долженко и др., 2021).

К основным факторам, определяющим фитосанитарное состояние агроценозов зерновых культур, относятся метеорологические условия, организационно-хозяйственные мероприятия и агротехнические приемы (Павлюшин и др., 2013). Кроме того, важнейшим элементом управления фитосанитарным состоянием посевов служит эффективное использование средоулучшающих свойств культивируемых видов и сортов растений (Жученко, 2008, 2009). В настоящее время наблюдается прогресс в создании сортов, устойчивых к болезням и высокоадаптированных к разным условиям возделывания, однако, при этом необходимо постоянное обновление и расширение генетического разнообразия возделываемого сортимента (Вилкова и др., 2015; Шишкин и др., 2018).

В России, наряду со многими экономически развитыми странами, пересматривают концепцию развития аграрного производства, смещая ее в сторону уменьшения внешнего воздействия на агроценозы и создания благоприятных условий для реализации их собственного потенциала (Павлюшин, Лысов, 2019). Одной из форм реализации данной задачи является органическое земледелие, которое предполагает использование при возделывании сельскохозяйственных культур устойчивых сортов (Афанасенко и др., 2011), биологических стимуляторов роста и индукторов

устойчивости растений к болезням (Павлюшин, 2009; Павлюшин и др., 2010; Тютерев, 2014; Максимов, Веселова, 2015; Новикова, 2016; Попова и др., 2017).

Важное место при возделывании сельскохозяйственных культур должны занимать комплексы макро- и микроэлементов, аминокислоты, различные органические соединения и гуминовые вещества (Можарова, Шаповал, 2021). Кроме того, внимание исследователей привлекают полимерные гидрогели, обладающие высокой водосорбирующей способностью, которые могут использоваться в растениеводстве для улучшения влагообеспечения растений (Тибирьков, Филин, 2013). Их использование снижает испаряемость и способствует сохранению продуктивной влаги в корнеобитаемом слое в течение всего вегетационного периода (Ревенко, Агафонов, 2017).

В последние годы особенно актуальны исследования, связанные с разработкой полифункциональных композиций, эффективных в отношении широкого спектра фитопатогенов - возбудителей болезней за счет прямого антагонистического действия штаммов микроорганизмов и их способности индуцировать системную болезнеустойчивость растений (Павлюшин и др., 2008а). Подобные композиции могут положительно влиять как на отдельные стороны обмена веществ, так и на функциональное состояние растительного организма в целом (Новикова, 2016, 2019).

Степень разработанности проблемы. В последние десятилетия в стране проводились исследования по изучению влияния разных технологий возделывания пшеницы на продуктивность и фитосанитарное состояние посевов (Захаренко, 2011; Ткачук и др., 2012; Малюга и др., 2014); по анализу видового состава возбудителей болезней пшеницы и оценке их вредоносности, агрессивности и вирулентности в условиях изменения климата (Левитин, 2012; Gultyaeva et al., 2021); по определению ассортимента средств защиты растений (Сухорученко и др., 2020; Санин и др., 2022); по оценке возможности генетического контроля развития болезней (Jambuthenne et al.,

2022; Afanasenko et al., 2022); по использованию цифровых технологий в защите растений (Санин, Ибрагимов, 2019). Подчёркивается, что важной особенностью современных систем интегрированной защиты растений должна являться их направленность на экологическую безопасность и биологизацию, мероприятия по защите растений должны учитывать механизмы естественной биоценотической регуляции агроэкосистем (Зубков, 2005; Павлюшин и др., 2020).

Однако до настоящего времени мониторинг и системный анализ комплекса фитометрических и фитопатологических параметров посевов пшеницы, структуры урожайности и устойчивости к болезням, а также оценка их элементного статуса, биохимических особенностей, в том числе антиоксидантной активности, и выявление причинно-следственных связей между ними не проводились. Не раскрыты возможности использования методов и инструментов имитационного и статистического моделирования для изучения динамики развития болезней и выявления определяющих их факторов. Недостаточно изучены возможности применения спектрометрического метода к анализу отражательной способности растений, к созданию «оптических портретов» сортов пшеницы, в том числе – с симптомами поражения болезнями. Требуют исследования возможности использования интроскопического метода, включая микрофокусную рентгенографию и газоразрядную визуализацию, при анализе структурно-функциональных характеристик семян пшеницы и выявлении их связи с продуктивностью и устойчивостью пшеницы к болезням. Не полностью изучены возможности биологической стимуляции роста и защиты пшеницы от болезней с использованием микробиологических препаратов, композиций на основе хитозана и его производных, полифункциональных комплексов на основе микробов-антагонистов и хитозана, штаммов ассоциативных ризобактерий, гидрогелевых композиций, стимуляторов роста на основе аминокислотных комплексов, органо-минеральных препаратов и микроудобрений, а также их сочетания в технологической схеме возделывания

пшеницы.

Цель исследований – разработать экологически безопасные подходы к управлению фитосанитарным состоянием агроценозов мягкой пшеницы на основе использования в защите растений информационных технологий, совершенствования способов и средств биологического контроля.

Задачи исследований:

1. Экспериментально оценить стратегию защиты растений, основанную на использовании для фитосанитарного оздоровления агробиоценозов генетического потенциала мягкой пшеницы и построить математические модели, отражающие причинно-следственные связи между продуктивностью, пораженностью болезнями и агроэкологическими условиями Северо-Запада Российской Федерации;

2. Разработать математические модели, позволяющие прогнозировать развитие возбудителей листостебельных грибных инфекций пшеницы и оценивать их вредоносность с использованием методов системного анализа и имитационного моделирования;

3. Модифицировать системы управления продукционным процессом и фитосанитарным состоянием агробиоценозов мягкой пшеницы с использованием новейших достижений агрофизики: полевой спектрометрии, функциональной рентгенографии, газоразрядной визуализации;

4. Усовершенствовать способы биологической и фитоиммунологической защиты растений в технологиях фитосанитарной оптимизации агроэкосистем мягкой пшеницы с использованием инновационных средств биологического контроля и регуляции роста растений.

5. Создать модели прогноза эффективности применения инновационных средств биологического контроля и регуляции роста растений при возделывании мягкой пшеницы в зависимости от природно-климатических факторов.

Научная новизна

1. Впервые в исследованиях предложена методика многомерного параметрирования развития особо опасных грибных болезней на мягкой пшенице, основанная на анализе комплекса общепринятых и расчетных фитопатологических и фитометрических показателей, системный анализ которых позволил построить математические модели патогенеза и выявить основные агроэкологические факторы, оказывающие существенное влияние на фитосанитарное состояние посевов: метеорологические условия, в том числе активность Солнца; сочетание генетических, морфометрических и биохимических признаков сортов, линий и гибридов пшеницы, обладающих разной устойчивостью, толерантностью (выносливостью) к болезням; инновационные и широко применяемые биологические средства защиты растений.

2. Построены математические модели, описывающие агроэкологическое варьирование продуктивности и поражаемости мягкой пшеницы возбудителями корневой гнили, бурой и желтой ржавчины, мучнистой росы и септориоза. Впервые выявление основных факторов, обуславливающих патогенез, основывалось на всестороннем анализе причинно-следственных связей между метеорологическими, фитометрическими и фитопатологическими показателями посевов, а выявление основных предикторов болезней – на определении относительной величины: доли коэффициентов корреляции Спирмена, как отношения числа отрицательных или положительных коэффициентов, характеризующих метеообусловленность патогенеза по месяцам текущего (январь–август) и предшествующего (сентябрь–декабрь) года проведения фитосанитарного мониторинга к числу анализируемых сортов.

3. Разработана новая концептуальная имитационная модель динамики развития бурой ржавчины пшеницы, основанная на численном решении задачи Коши для системы пяти нелинейных дифференциальных уравнений первого порядка с двумя запаздывающими аргументами для компонент

«вектора состояния» уредостадии патогена, отражающая динамику развития болезни. В отличие от ранее разработанной нами упрощенной модели (Колесников и др., 2008а), основанной на использовании при моделировании системы обыкновенных дифференциальных уравнений, предложенная модель позволяет значительно более точно учесть эффекты «запаздывания» в динамике развития патогена. Для численного интегрирования сформулированной системы уравнений была разработана оригинальная программа на основе алгоритма DIFSUBDEL. Экспериментально определен коэффициент оседания уредоспор, необходимый для практической реализации модели.

4. Определены различия в элементном составе устойчивых и восприимчивых к бурой ржавчине сортов и линий мягкой пшеницы, в том числе защищенных Lr-генами. Выявлены зависимости структуры урожайности пшеницы от содержания в растениях металлов и металлоидов.

5. Выявлены зависимости поражения мягкой пшеницы бурой ржавчиной и мучнистой росой, некоторых морфометрических показателей её продуктивности от антиоксидантного статуса образцов.

6. Построены полиномиальные и экспоненциальные регрессионные модели, и фотометрические шкалы, отражающие тенденцию ухудшения состояния посевов пшеницы по основным показателям структуры урожайности, качества зерна (по содержанию азота, фосфора и калия), фитосанитарного состояния (по степени поражения пшеницы возбудителем мучнистой росы) с ростом значений обратного вегетационного индекса F (стресс-индекса). С использованием вегетационных индексов (F и NDVI) представлены оптические «портреты» сортов пшеницы, обладающих разной устойчивостью к болезням, а также характеризующихся разной отзывчивостью на применение средств биологической защиты растений.

7. Предложена система прогнозирования морфометрических показателей продуктивности мягкой пшеницы и интенсивности развития болезней в зависимости от структурно-функциональных характеристик семян.

Построенные модели были основаны на определении «параметрического паспорта» семян на основе более, чем 30-ти параметров, в том числе – денситометрических характеристик внутренних структур зерновок, геометрических, яркостных и вероятностных параметров газоразрядного свечения семян, морфометрических характеристик семян пшеницы. Охарактеризованы эффекты влияния полифункциональных комплексов, содержащих штаммы микроорганизмов-антагонистов и хитозановые комплексы, на морфометрические и рентгенографические характеристики зерна.

8. Выявлены зависимости и построены математические модели, отражающие влияние природно-климатических факторов на эффективность микробиологических препаратов, органо-минеральных удобрений и микроудобрений, необходимые для анализа возможных рисков изменения их защитного и ростостимулирующего действия при возделывании мягкой пшеницы в полевых условиях.

Теоретическая и практическая значимость исследований.

Многофакторный подход к исследованиям позволил усовершенствовать системы фитосанитарного мониторинга, моделирования и прогноза развития особо опасных болезней мягкой пшеницы с использованием комплекса фитометрических, биохимических, фитопатологических и спектрометрических показателей. Кроме того, указанный подход позволил осуществить детальный анализ факторов врожденного и приобретенного фитоиммунитета, оценить выносливость (толерантность) сортов мягкой пшеницы к болезням, проанализировать ее фенотипическую изменчивость по устойчивости к особо опасным болезням, отзывчивость на применение инновационных средств биологической защиты и регуляции роста растений, а также ее варьирование в зависимости от природно-климатических факторов. Это дало возможность расширить знания о причинно-следственных связях между комплексом агроэкологических условий возделывания мягкой

пшеницы, фитосанитарным состоянием посевов, продуктивностью, а также оценить полифункциональное действие инновационных средств биологической защиты и регуляции роста на зерновые культуры для разработки зональных систем защиты растений.

Практическая значимость исследований заключается в разработке и апробации методов исследования, которые могут быть использованы при проведении фитосанитарного мониторинга мягкой пшеницы на устойчивость к особо опасным болезням, а также для построения системы прогноза их развития в других регионах; выявлении наиболее ценных для селекции форм по признакам продуктивности, устойчивости и выносливости к особо опасным болезням. Кроме того, практическая значимость исследований состоит в определении моделей сортов, адаптированных к полевым условиям Северо-Запада Российской Федерации; расширении ассортимента инновационных средств регуляции роста и биологической защиты растений от болезней, а также в выработке рекомендаций по их применению при возделывании пшеницы с целью обеспечения производства семенного и продовольственного зерна с наилучшими посевными и товарными качествами. Значительную практическую ценность имеет адаптация методик полевой спектрометрии и интроскопического анализа к экспресс-оценке продуктивности посевов пшеницы, к выявлению растений с симптомами поражения болезнями, к оценке качества зерна, в том числе, - у растений, подвергнутых защитным и стимулирующим обработкам.

Исследование имеет междисциплинарный характер и может способствовать созданию в Санкт-Петербурге научно-образовательного центра (НОЦ), оказывающего услуги по консультированию специалистов широкого профиля по внедрению в практику растениеводства и защиты растений инновационных биопрепаратов микробиологического и ростостимулирующего действия с целью совершенствования ресурсосберегающих технологий возделывания сельскохозяйственных культур, программирования урожайности и снижения рисков эпифитотий.

Объект, предмет, места и период проведения научного исследования.

Объект исследования – сорта и линии мягкой пшеницы *Triticum aestivum* L. ярового и озимого типа развития из отдела генетических ресурсов пшениц ФГБНУ «ФИЦ Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова» (ВИР); особо опасные болезни пшеницы: бурая, желтая и стеблевая ржавчина, септориоз, гельминтоспориозная корневая гниль, инфекционное выпревание.

Предмет исследования – селекционно-ценные признаки мягкой пшеницы, в том числе – устойчивость к болезням, фитопатологические и морфометрические показатели продуктивности и их изменение в зависимости от агроклиматических условий возделывания; средства биологической защиты и регуляции роста растений и отзывчивость мягкой пшеницы на их применение.

Место проведения исследования – опытное поле научно-производственной базы «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР» (Северо-Западный регион Российской Федерации). Лабораторные исследования и обработка данных выполнялись на кафедрах защиты и карантина растений, экологии и физиологии растений, почвоведения и агрохимии им. Л.Н. Александровой ФГБОУ ВО СПбГАУ, в отделе генетических ресурсов пшеницы ВИР, в лабораториях микробиологической защиты растений и микологии и фитопатологии ФГБНУ ВИЗР, на факультете биотехнологий и МНЦ БиоИНженерии университета ИТМО, лаборатории водной и промышленной экотоксикологии НИИГПЭЧ ФМБА России, в секторе биофизики растений ФГБНУ АФИ, в лаборатории ризосферой микрофлоры ФГБНУ ВНИИСХМ, на математико-механическом факультете СПбГУ.

Период проведения исследований: 1995–2022 гг.

Научно-методический подход и методы исследований. Подход включает несколько аспектов:

- Системный подход к управлению фитосанитарным состоянием посевов мягкой пшеницы, в том числе при использовании инновационного ассортимента средств биологической регуляции, защиты растений и цифровых технологий;
- Комплексные подходы к созданию имитационных и статистических моделей патогенеза, прогнозирования изменения урожайности пшеницы;
- Инструментальные подходы к оценке продуктивности пшеницы и устойчивости к болезням с использованием методов полевой спектрометрии и интроскопического анализа качества зерна пшеницы;
- Биохимический и агрохимический подходы к оценке продуктивности пшеницы и устойчивости к болезням, в том числе при использовании органо-минеральных удобрений и микропрепаратов;

Принятый методический подход обусловил использование традиционных и разработку оригинальных **методов исследования**:

- традиционные методы анализа продуктивности и урожайности пшеницы (Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур, 1989; Мережко и др., 1999; Семена сельскохозяйственных культур. Методы анализа, 2004; ГОСТ 12038-84; ГОСТ 12042-80);
- традиционные методы фитопатологической оценки сортов пшеницы к болезням (Гешеле, 1971; Бабаянц и др., 1988; Корнеев, Чадаева, 1992a,1992b,1993; Попов, 2011; Волкова и др., 2020a, 2020b; Stakman, Levine, 1922; Mains, Jackson, 1926; Mains, Dietz, 1930; Gassner, Straib, 1932; Peterson et al., 1948; Manners, 1950; James, 1971; Saari, Prescott, 1975; Roelfs et al., 1992);
- традиционные методы интроскопического анализа зерна пшеницы с использованием методов микрофокусной рентгенографии и газоразрядной визуализации (Архипов и др., 2008, 2013b, 2016a);

– традиционные методы полевой спектрометрии, используемые для оценки фитометрических и фитопатологических характеристик посевов пшеницы (Сурин, 2013a, 2013b; Сурин, Шубина, 2013; Фесенко, Шпанев, 2016, 2019);
– традиционные фотоэлектрометрические методы определения в растительном материале общего азота, фосфора P_2O_5 (метод Кьельдаля, ГОСТ 10846-91, ГОСТ Р 51420-99), методы пламенной фотометрии (ГОСТ 30504-97) – калия (K_2O);
– традиционный спектрофотометрический метод определения содержания в листьях хлорофиллов *a* и *b* с использованием спектрофотометра SPEKOL-11 (Ермаков, 1987);
– традиционный метод масс-спектрального анализа с использованием масс-спектрометра ICP-MS 7700x адаптированного к исследованиям по определению элементного состава листьев и зерен пшеницы (Колесников и др., 2014a, 2014b, 2018a);
– традиционный метод определения антиоксидантной активности растительного материала на основе способности клеточного сока ингибировать аутоокисление адреналина *in vitro*, и тем самым предотвращать образование активных форм кислорода (Сирота. Патент № 2144674. Россия. 20.01.2000. Способ определения антиоксидантной активности супероксиддисмутазы и химических соединений);
– оригинальный метод многомерного параметрирования элементов продуктивности и комплекса фитопатологических показателей с разной степенью детализации (Власова, Колесников, 2002; Колесников и др., 2011, 2022a, 2022b; Kolesnikov et al., 2021c);
– оригинальный метод создания электронных баз данных полевых исследований и автоматизированной систематизации информации (госзадание Министерства сельского хозяйства РФ по теме: «Моделирование влияния агроэкологических факторов на развитие возбудителей болезней зерновых культур и определение возможности

повышения урожайности мягкой пшеницы в изменяющихся условиях Северо-Запада Российской Федерации, номер государственного учета НИОКТР 122011300483-3, 2021 г.);

- оригинальный метод анализа динамики развития болезней на основе использования формулы трапеций для расчета площади под кривой изменения фитопатологических показателей, определения их средневременных значений и ошибок (Колесников, Власова, 2003; Колесников, 2017а);
- оригинальный метод имитационного моделирования развития уредостадии бурой ржавчины пшеницы, основанный на построении системы обыкновенных дифференциальных уравнений и ее численном интегрировании с использованием оригинальной программы, написанной на языке GW Basic на основе метода Рунге-Кутта-Мерсона четвертого порядка с автоматическим выбором шага (Колесников и др., 1997; 2008а). Предложена методика экспериментального определения коэффициента оседания уредоспор для практической реализации модели (Колесников и др., 2001с);
- оригинальный метод имитационного моделирования развития уредостадии бурой ржавчины пшеницы, основанный на построении системы нелинейных дифференциальных уравнений первого порядка с двумя запаздывающими аргументами. Разработана оригинальная программа численного решения системы нелинейных дифференциальных уравнений с использованием программного комплекса DIFSUBDEL (Колесников и др., 2022а);
- оригинальный метод прогноза развития болезней растений, основанный на анализе корреляционных матриц, полученных по данным учета комплекса фитопатологических показателей на массиве сортов пшеницы. В дальнейшем коэффициенты корреляции ранжировали, после чего был рассчитан относительный показатель – доля коэффициентов корреляции Спирмена, как отношение числа

отрицательных или положительных коэффициентов, характеризующих метеообусловленность патогенеза по месяцам текущего (январь–август) и предшествующего (сентябрь–декабрь) года проведения фитосанитарного мониторинга к числу анализируемых сортов (Колесников и др., 2009а; 2022а).

Положения, выносимые на защиту:

1. Оптимизация фитосанитарного состояния для повышения продуктивности агроценозов мягкой пшеницы на Северо-Западе Российской Федерации на основании данных о ее внутривидовом разнообразии по устойчивости к особо опасным болезням, моделей, отражающих причинно-следственные связи между фитометрическими, фитопатологическими характеристиками посевов, элементным составом и антиоксидантной активностью растений.

2. Экологические принципы управления фитосанитарным состоянием агробиоценозов мягкой пшеницы, основанных на системном (многомерном) анализе и моделировании количественных закономерностей в патосистеме «пшеница-патоген», прогнозировании рисков развития эпифитотий.

3. Фитосанитарное проектирование агроэкосистем мягкой пшеницы с использованием инновационных инструментальных методов агрофизики (газоразрядной визуализации, микрофокусной мягколучевой рентгенографии, спектральных индексов) для оценки качества семенного материала и анализа адаптивного потенциала растений в полевых условиях.

4. Подходы к разработке экологически безопасных систем возделывания мягкой пшеницы, основанные на применении инновационных средств биологической защиты растений и регуляции роста (полифункциональных комплексов и композиций на основе хитозана, биологически активных веществ и бактерий-антагонистов; чистых культур штаммов PGPR-ризобактерий; белковых гидролизатов; полимерного гидрогеля; органо-минеральных удобрений и микроудобрений.

5. Биологизация системы защиты мягкой пшеницы от болезней с использованием элементов прогнозирования эффективности органо-минеральных удобрений, микроудобрений, микробиологических препаратов и штаммов бактериальных культур, отселектированных по хозяйственно-ценным признакам.

Степень достоверности результатов исследований.

Объективность и достоверность полученных результатов обусловлена многолетней экспериментальной работой (с 1995 по 2022 гг.) с использованием известных и оригинальных методов исследования и анализа данных, а также статистической обработкой данных с применением пакетов прикладных программ: «Statgraphics», «NCSS and PASS», «Statistica», «IBM SPSS Statistics», «STADIA», «Mathematica».

Апробация результатов исследования. Основные результаты диссертации были представлены на ежегодных Международных научно-практических конференциях профессорско-преподавательского состава ФГБОУ ВО СПбГАУ (1996-2024 гг.); Международных научно-практических конференциях молодых ученых и обучающихся ФГБОУ ВО СПбГАУ (2003-2024); на Всероссийском конкурсе научно-исследовательских работ студентов и аспирантов в области биологических наук в рамках фестиваля науки» (Ульяновск, 2011); на Всероссийской конференции «Взаимоотношение паразита и хозяина» (ИНПА РАН, 1998); III Санкт-Петербургской Ассамблее молодых ученых и специалистов (СПбГТУ, 1998); Всероссийской молодежной научной конференции «Растение и почва, проблемы агрохимии, агрофизики и фитофизиологии» (СПбГУ, 1999); Научно-практической конференции «Безопасность и экология Санкт-Петербурга (СПбГТУ, 1999); Научно-практической конференции «Новое в экологии и безопасности жизнедеятельности» (СПбГТУ, 1999); I Всероссийской конференции «Иммунитет растений к болезням и вредителям», посвященной 300-летию Санкт-Петербурга (ВИР, 2002); на

научной конференции «Экология Санкт-Петербурга и его окрестностей» (СПбГАУ, 2005); на Всероссийских съездах по защите растений «Защита растений в условиях реформирования агропромышленного комплекса: экономика, эффективность, экологичность» и «Фитосанитарное оздоровление экосистем» (ВИЗР, 1995, 2005); на Международных (российско-шведских конференциях): Crop Protection Conference «Pests, diseases and weeds» (СПбГАУ, ВИЗР, 2001, 2002, 2002, 2005, 2008); на III Всероссийской научно-практической конференции «Агротехнический метод защиты растений от вредных организмов» (КубГАУ, 2005); на II Вавиловской международной конференции «Генетические ресурсы культурных растений в XXI веке. Состояние, проблемы, перспективы (ВИР, 2007); на Международной конференции «Earth's fields and their influence on organisms (Druskininkai, Lithuania, 2008); на V Международной научной конференции Ирана и России по проблемам развития сельского хозяйства (СПб.-Пушкин, 2009); на Международной научно-практической конференции: «Внедрение экологически безопасных технологий комплексной защиты растений» (Саратов, 2010); на Международной научно-практической конференции «Вавиловские чтения 2010» (Саратов, 2010); на III Всероссийском съезде по защите растений (СПб.-Пушкин, 2013); на Международной научно-практической конференции «Векторы развития современной науки» (УФА, 2014); на Международной выставке-ярмарке «Агрорусь» (СПб., 2009, 2013, 2014, 2015, 2016, 2021); па Международной научно-практической конференции «Сельскохозяйственные науки и агропромышленный комплекс на рубеже веков» (Новосибирск, 2015); на научной конференции с международным участием и школой молодых ученых «Сигнальные системы растений: от рецептора до ответной реакции организма» (СПб., 2016); на пятой Международной научно-практической конференции «Инновации и технологии в лесном хозяйстве. ITF-2016» (СПб., 2016); на XIV научной конференции «Неделя науки СПбПУ» (СПб., 2016); на Международной научно-практической конференции «ГРВ Технологии. Возможности и

перспективы» (СПб., 2017); на первой Международной конференции «Генетические ресурсы растений и здоровое питание: потенциал зерновых культур (СПб., 2018); на Международной научно-практической конференции «ГРВ Технологии. Возможности и перспективы» (СПб., 2017); на Международной XXIV конференции «Современные перспективы в исследовании хитина и хитозана» (РосХит-2018); на VIII съезде Российского Хитинового Общества (Севастополь, 2018); на Международной XXI конференции «Biosystems Engineering» (6-8 мая, г. Тарту, Эстония, 2020); на Международной научной конференции «III International Scientific Conference “Sustainable and efficient use of energy, water and natural resources – SEWAN-2021”» (университет ИТМО, 2021); на Международной научно-практической конференции «Устойчивое развитие цифровой экономики: глобальные вызовы и перспективы инновационного прорыва», дискуссионная площадка «Переосмысление целей устойчивого развития через призму новых реалий цифровой экономики: международный опыт и отраслевые особенности» (СтавГАУ, 2021), на Общероссийской конференции с международным участием «Современные перспективы в исследовании хитина и хитозана» (РосХит-2021); на 10-м съезде Российского Хитинового Общества (г. Архангельск, 2021 г.); на научном форуме «Биотехнологии: наука, практика и инновации» (Астраханский государственный университет, 2021 г.); на Международной научной конференции «Агрофизический институт: 90 лет на службе земледелия и растениеводства, ФГБНУ АФИ, 2022 г.); на IV Международной научной конференции «Тенденции развития агрофизики: от актуальных проблем земледелия и растениеводства к технологиям будущего», ФГБНУ АФИ, 2023 г.; на V Всероссийском конгрессе по защите растений (ФГБНУ ВИЗР., 2024 г.) и других.

Методы и методики математического моделирования были апробированы при подготовке выступлений на Всероссийской научно-практической конференции «Актуальные проблемы химической безопасности в РФ» (ФГУП «НИИГПЭЧ» ФМБА России, 2007); на заседании Проблемной

комиссии ФМБА России Санкт-Петербургского отделения Всероссийского общества токсикологов и Ученого Совета ФГУП «НИИГПЭЧ» ФМБА России «Вопросы обеспечения химической безопасности в Российской Федерации» (2007 г.); на IV Международной конференции «Сотрудничество для решения проблемы отходов» (г. Харьков, Украина, 2007).

Концептуальные подходы, используемые в диссертационной работе, лежащие в основе разработки экологически безопасных систем управления фитосанитарным состоянием агроценозов, были представлены в отчете Российской академии сельскохозяйственных наук о работе отделения защиты растений и выполнении научно-исследовательских программ за 2009 г. Методы и средства защиты растений, описанные в работе, приведены в учебном пособии «Интегрированная защита растений», выпущенном в 2022 г. (авторы: Долженко Т.В., Колесников Л.Е. и др.).

Материалы диссертационной работы были использованы при формировании электронных учебно-методических комплексов и проведении лекционно-практических занятий на кафедре защиты и карантина растений ФГБОУ ВО СПбГАУ по дисциплинам: «Основы прогноза развития вредителей и болезней»; «Основы научных исследований в защите растений», «Биотехнологии в защите растений», «Фитопатология и энтомология» и др. (35.03.04 Агрономия, профиль «Защита растений»); «Сельскохозяйственная микология, бактериология и вирусология», «Инновационные технологии в агрономии», «Диагностика вредных организмов», «Генетическая защита растений от вредных организмов» и др. (35.04.04 Агрономия, направленность «Интегрированная защита растений») и др.; «Агрохимия, агропочвоведение, защита и карантин растений» (4.1.3 «Агрохимия, агропочвоведение, защита и карантин растений»).

Методология компьютерного моделирования и статистической обработки данных медико-биологических исследований, использованная при написании работы, была применена при выполнении научных исследований лаборатории водной и промышленной экотоксикологии НИИГПЭЧ ФМБА

России (Танюхина и др., 2007, 2009, 2012, 2013, 2014); в учебном процессе мегафакультета прикладной оптики (инженерно-исследовательского мегафакультета) университета ИТМО; в учебном процессе кафедры «Экология»; кафедры «Социальной экологии», кафедры «Экономика и управление учреждениями здравоохранения», кафедры «Экономики природопользования и сервиса экосистем» Санкт-Петербургского государственного университета сервиса и экономики, вошедшего в состав Санкт-Петербургского государственного экономического университета; в учебном процессе кафедры «Ноосферная и экологическая безопасность» Петербургского государственного университета путей сообщения императора Александра I (Копытенкова, Колесников, 2005; Копытенкова и др., 2006).

Научные исследования были выполнены в соответствии с комплексной темой плана НИР института агротехнологий, почвоведения и экологии (2017-2021 гг.): «Развитие высокопродуктивного и экологически чистого сельского хозяйства, разработка и внедрение систем рационального применения удобрений, мелиорантов, средств защиты растений, создание безопасных и качественных продуктов питания и кормов»; комплексной темой плана НИР факультета агротехнологий, почвоведения и экологии ФГБОУ ВО СПбГАУ: «Обоснование и получение экономически выгодных урожаев сельскохозяйственных и декоративных культур заданного качества в конкретных почвенно-климатических условиях при минимальном отрицательном воздействии на окружающую среду в Северо-Западном федеральном округе» (2022-2026 гг.); с госзаданием Министерства сельского хозяйства РФ по теме: «Моделирование влияния агроэкологических факторов на развитие возбудителей болезней зерновых культур и определение возможности повышения урожайности мягкой пшеницы в изменяющихся условиях Северо-Запада Российской Федерации» (номер государственного учета НИОКТР 122011300483-3, 2021 г.); с хоздоговорной темой: «Определение влияния хвойных препаратов на урожайность сельскохозяйственных культур и оценка их иммуномоделирующего,

фунгицидного и инсектицидного действия» (договор 124 ДУ/2016, ФГБОУ ВО СПбГАУ).

Результаты исследований были внедрены на предприятии ЗАО «Павловская МТС» и использованы в Северо-Западном Центре междисциплинарных исследований проблем продовольственного обеспечения – обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук» (СЗЦППО – СПб ФИЦ РАН). Инновационная разработка «Биорегулятор роста и развития сельскохозяйственных культур» была представлена на международной ярмарке-выставке «Агрорусь» от Университета ИТМО в 2019 г. (авторы: Кременевская, Успенская, Колесников, Байдакова и др.) и удостоена Золотой Медали («За достижения в области инноваций АПК»).

Результаты определения биологической и хозяйственной эффективности полимерного гидрогеля и белкового стимулятора роста, штаммов ассоциативных ризобактерий, микробиологических препаратов, композиций основе хитозана и его производных, полифункциональных комплексов, включающих штаммы бактерий-антагонистов фитопатогенной микрофлоры и хитозана – активатора болезнеустойчивости растений легли в основу инновационного продукта «Экологически чистые технологии в оптимизации фитосанитарного состояния посевов и повышения продуктивности пшеницы», представленного на выставке-ярмарке «Агрорусь 2021» и удостоенного Золотой Медалью «За достижения в области инноваций в производстве продукции растениеводства» (авторы: Колесников, Новикова, Попова, Успенская, Кременевская, Колесников, Прияткин, Зуев, Колесникова, Кудрявцева).

На XV и XVII Международных биотехнологических Форумах-Выставках «РосБиоТех» инновационные разработки в области биотехнологий были удостоены Золотой медали: «Ресурсосберегающие системы управления фитосанитарным состоянием агробиоценозов и программирование

урожайности пшеницы в изменяющихся условиях Северо-Запада РФ» (авторы: Колесников, Павлюшин, Новикова, Попова, Кременевская, Колесников, Белимов, Прияткин, Зуев, 26-28 апреля 2022 г.; «Модели управления динамикой развития особо опасных болезней зерновых культур на Северо-Западе РФ» (авторы: Колесников, Павлюшин, Новикова, Попова, Кременевская, Колесников, Белимов, Прияткин, Колесникова, 17-19 апреля 2024 г.); «Разработка инновационной технологии предпосевной обработки семян зерновых культур в электрическом поле переменного напряжения и с использованием непрерывного полупроводникового лазерного излучения» (Радишевский, Солодянников, Черникова, Яхъяев, Колесников, Юдаев, Казакова, Фокина, Зуев. Колесникова, 17-19 апреля 2024 г.).

Результаты научных исследований были поддержаны Грантами Администрации Санкт-Петербурга, Минобразования РФ, РАН (N 79-2.4 «Имитационное моделирование патогенеза бурой ржавчины пшеницы; М99-2.6П-173 «Моделирование патогенеза возбудителя бурой ржавчины пшеницы при различной экспрессивности генов устойчивости в Северо-Западном регионе России»; М2000-2.6П-43 «Фитоиммунологические особенности эпифитотиологии бурой ржавчины пшеницы в Северо-Западном регионе России). Методы и алгоритмы математической обработки данных биологических исследований, использованные в работе, были реализованы при выполнении проекта Международного научно-технический центра МНТЦ; «Идентификация, описание и функциональная оценка изолированных болот на территории бывшего Советского Союза» (НИИ ГПЭЧ ФМБА РФ, #4079).

Результаты научных исследований в 2020 г., 2021 г. и 2022 г. были поддержаны Комитетом по науке и высшей школе Правительства Санкт-Петербурга субсидиями на проведение научных исследований и разработок в области сельского хозяйства по темам: «Создание модели долгосрочного прогноза развития листовых болезней пшеницы и выявление факторов, определяющих повышение урожайности культуры в изменяющихся условиях

окружающей среды», «Разработка инновационной экологически чистой технологии возделывания и защиты пшеницы от болезней с использованием почвенных кондиционеров и биопрепаратов микробиологического и ростостимулирующего действия» и «Ресурсосберегающие системы управления фитосанитарным состоянием агробиоценозов зерновых культур и совершенствование приемов защиты пшеницы от болезней».

Личный вклад автора. Многолетние полевые исследования выполнены автором лично или под его непосредственным руководством по разработанной им методике анализа и контроля фитосанитарного состояния посевов мягкой пшеницы. По инициативе и при непосредственном активном участии автора были созданы информационные ресурсы; адаптированы подходы к статистической обработке экспериментальных результатов, способствующие автоматизированной систематизации данных полевых исследований. Составление плана исследований, выбор места их проведения, анализ данных и осмысление полученных результатов осуществлены лично автором.

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 148 работ, из которых: 55 – в изданиях, входящих в список ВАК РФ и индексируемых в международных базах данных; 90 – в других периодических изданиях, материалах научных конференций, съездов; 3 – в учебных и методических пособиях.

Структура и объём диссертации. Диссертация изложена на 624 страницах машинописного текста, включает Введение, 4 главы, Заключение, Практические рекомендации, Список публикаций по теме диссертации, Список литературы, 8 приложений и содержит 19 таблиц, 150 рисунков. Список использованной литературы включает 778 источников, из них 312 на иностранных языках.

Благодарности. Выражаю искреннюю благодарность и признательность ученым ФГБОУ ВО СПбГАУ, СПбГУ, ВИР, ФГБНУ ВИЗР, ФГБНУ ВНИИСХМ, Университета ИТМО, ФГБНУ АФИ, ФГУП «НИИ

ГПЭЧ» ФМБА России, оказавшим помощь в ходе выполнения работы по теме диссертации: профессору кафедры экологии и физиологии растений, кандидату с.-х. наук С.П. Мельникову; профессору кафедры физической механики математико-механического факультета СПбГУ, доктору физ.-мат. наук Е.К. Колесникову; зав. отделом генетических ресурсов пшеницы канд. с.-х. наук Е.В. Зуеву, доктору биол. наук И.Г. Одинцовой; ведущему научному сотруднику лаборатории микологии и фитопатологии, доктору биол. наук Е.И. Гультяевой; ведущему научному сотруднику лаборатории микробиологической защиты растений, доктору биол. наук И.И. Новиковой и канд. биол. наук Э.В. Поповой; зав. лабораторией ризосферной микрофлоры, доктору биол. наук А.А. Белимову; профессору мегафакультета Биотехнологий Университета ИТМО, доктору техн. наук М.И. Кременевской; директору международного научно-исследовательского Центра биоинженерии Университета ИТМО, доктору техн. наук М.В. Успенской; зав. сектором биофизики растений, канд. техн. наук Н.С. Прияткину; главному научному сотруднику сектора биофизики растений, профессору, доктору биол. наук М.В. Архипову; зав. лабораторией опытного дела АФИ, доктору биол. наук А.М. Шпаневу и канд. физ.-мат. наук В.Г. Сурину; зав. лабораторией промышленной и водной токсикологии, доктору мед. наук О.Н. Танюхиной, младшему научному сотруднику лаб. промышленной и водной токсикологии ФГУП «НИИ ГПЭЧ» ФМБА России О.И. Буровой. Особые слова признательности выражаю моему научному консультанту академику РАН, доктору биол. наук, профессору В.А. Павлюшину за ценные советы, рекомендации и постоянную поддержку. Считаю своим долгом вспомнить моих учителей в области изучения фитопатологии канд. биол. наук В.В. Костицина, Н.Л. Полозову, А.И. Литвиненко, а также моего первого научного руководителя доктора с.-х. наук, профессора Э.А. Власову и выразить им глубокую благодарность за переданные мне знания и опыт.

ГЛАВА 1. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СПОСОБОВ ФИТОСАНИТАРНОГО ОЗДОРОВЛЕНИЯ ПОСЕВОВ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНЫХ МЕТОДОВ И СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ РАСТЕНИЙ (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)

1.1 Проблема получения высококачественного зерна в России и пути ее решения

Пшеница (*Triticum* L.) – ценная продовольственная и кормовая культура. Благодаря своему производственному потенциалу и технологической ценности играет уникальную роль в мировой экономике. Наиболее популярный вид – мягкая пшеница *Triticum aestivum* L., которая составляет основу питания человека на всех континентах и является важным источником питательных веществ в рационах животных (Biel et al., 2021). В 2019 году в мире было произведено 763 миллиона тонн пшеницы (FAO Crop Prospects and Food Situation, 2020; Biel et al., 2021).

Обезжиренные зародыши пшеницы, являющиеся побочным продуктом экстракции масла, обладают выраженной антибактериальной и антиоксидантной активностью и могут могут быть использованы в качестве нутриентов для снижения уровня окислительного стресса в организме человека и повышения оздоровительного потенциала организма (Mahmoud, 2015). На содержание антиоксидантов в зерновке оказывают влияние генотип и условия выращивания растений (Полонский и др., 2018). Неблагоприятные для роста зерновых культур внешние условия могут способствовать увеличению содержания антиоксидантов в растениях (Wang, Frei, 2011). Другие авторы проследили влияние на содержание антиоксидантов как генотипа, так и условий внешней среды (Martinia et al., 2015).

Пшеница содержит все основные питательные вещества, но испытывает дефицит незаменимых аминокислот, в частности лейцина, лизина и фенилаланина. Отруби пшеницы богаты белком, витаминами, минералами и пищевыми волокнами (Pandit et al., 2020). В ближайшие годы сельское хозяйство должно решить две основные проблемы: прокормить растущее

население планеты и одновременно минимизировать воздействие на здоровье человека и окружающую среду (Searchinger et al., 2013). Выведение сортов с большим потенциалом урожайности обладает ограниченным преимуществам, особенно учитывая то, что пределы генетического потенциала основных сельскохозяйственных культур почти достигнуты (Colla et al., 2017).

Увеличение урожайности современной пшеницы сопровождается снижением уровня ценных питательных веществ в зерне, что имеет неблагоприятные последствия для питания человека (Garvin et al., 2006). Это можно исправить путем биофортификации — культивирования генотипов пшеницы с высоким накоплением питательных веществ в зернах (Biel et al., 2021).

Российская Федерация на сегодняшний день является государством, занимающим самую большую площадь – 1712,52 млн. га. Земли сельскохозяйственного назначения располагаются на 381,67 млн. га (Доклад…2019). Получение высоких валовых сборов сельскохозяйственной продукции и устойчивых урожаев лежит в основе продовольственной безопасности страны (Доктрина продовольственной безопасности Российской Федерации, 2020), где установлены определенные пороги удельного веса отечественной сельскохозяйственной продукции, которые в настоящее время в целом соблюдаются. В соответствии Поручением Президента Российской Федерации (Пр-1136 от 03.07.2018 г) запланировано к 2024 г увеличение валового сбора сильной и ценной по качеству пшеницы не ниже 32 млн.т (Кузьмич и др., 2020).

В то же время, уровень продовольственной безопасности по регионам России сильно варьируется. Так, Северо-Западный регион отличается высоким уровнем рисков, связанных с климатическими условиями, и занимает последнее место среди всех регионов по производству зерна и овощей, по остальным показателям (производство картофеля, мяса, молока) – предпоследнее 6-е место, и только по производству яиц – 3-е. Первое место среди всех регионов по совокупности показателей занимает Приволжский

регион (по всем показателям 2-е место кроме мяса и молока, где занимает 1-е) (Лысоченко, 2009).

Для России производство зерновых культур имеет стратегическое значение в обеспечении продовольственной безопасности страны (Кирюшин, 2012, Климова, Ищенко, 2016, Лачуга, 2017). Их посевы по площади и объемы производства занимают 4-е место в мире после Индии, Китая и США, причем 3/5 площадей зерновых в нашей стране занимает пшеница. По данным центра оценки качества зерна на 02.12.2021 г. с территории Российской Федерации в 2021-2022 гг. с учетом перемещения в страны ЕАЭС экспортировано 25,5 млн зерна и продуктов его переработки. Традиционно наибольшим спросом пользовалась пшеница, составляющая 73% всего экспортированного зерна. Однако по сравнению с прошлым годом, ее численный показатель снизился на 18% до 18,8 млн.т. (Экспорт по странам …, 2021).

Отечественные селекционеры за последние годы создали оригинальные урожайные высококачественные сорта озимой пшеницы с потенциалом продуктивности в Центральной России 8-10 и более т/га, яровой − 6-8 т/га. Сорта, созданные за последние 15-20 лет в различных регионах России, в подавляющем большинстве, способны формировать высококачественное зерно. Только в 2015 и 2016 гг. создано и передано на государственное сортоиспытание более 60 новых сортов пшеницы, качество зерна которых отвечает требованиям «сильной» и «ценной» пшениц (I и II класса) (Лачуга, 2017). Изменение доступности и цен на пшеницу может привести к возникновению экономических и социальных кризисов. Несмотря на беспрецедентные успехи в производстве, качество зерна пшеницы в России остается большой проблемой (Зайцева, Сайдяшева, 2020; Маркин и др., 2020; Мельникова и др., 2020; Поляков и др., 2020).

Качество зерна зависит от многих факторов, которые можно разделить на две группы (Гафин, 2015; Жеруков и др. 2016; Захарова и др. 2016):

– факторы, на которые воздействовать не представляется возможным (погодно-климатические условия вегетационного сезона)

– факторы, которыми можно управлять (питание растений, защита растений от вредителей, болезней и сорняков и качественная доработка зерна).

По данным работ Кузьмича и соавторов (2020) и Журавлевой и соавторов (2020) в качестве факторов, влияющих на снижение содержания белка, клейковины и других показателей пшеницы рассматривают:

– повышение урожайности зерновых культур и, как неизбежность, снижение качества зерна;
– отсутствие в сегодняшнем ассортименте выращиваемых пшениц сильных сортов;
– низкий уровень применения удобрений
– отсутствие системы включения в производство зерна интенсивных технологий, обеспечивающих эффективное использование зональных почвенно-климатических ресурсов и средств интенсификации земледелия (органических и минеральных удобрений, биопрепаратов и средств защиты растений) и гарантирующих экологическую безопасность

Метеорологические условия, особенно в условиях изменения климата, оказывают существенное влияние на адаптивный потенциал сортов и определяют возможности их реализации по продуктивности, урожайности и устойчивости к болезням в конкретных ареалах возделывания. С использованием методов математического моделирования были выявлены экстремальные значения температуры, существенно ограничивающие качество зерна (Osman et al., 2020). Однако в некоторых случаях установлено положительное влияние теплового стресса на качественные характеристики зерна (Mahdavi et al., 2021). Наименее подвержены изменчивости по годам такие показатели как натура зерна, содержание белка в зерне, масса 1000 зерен, степень разжижения теста, удельная работа деформации теста. В наибольшей степени от влагообеспеченности зависели показатели стекловидности и число падения (Барковская, Гладышева, 2020). В сухие годы

количество и качество клейковины выше, а урожайность ниже. Во влажные годы – наоборот, растёт урожайность, но количество клейковины и её качество снижаются (Кузьмич и др., 2020).

Класс пшеницы определяют после ее послеуборочной обработки на технологических линиях очистки и сушки по таким показателям, как цвет, запах, массовая доля белка, количество и качество клейковины, число падения, стекловидность, натура, влажность, сорная и зерновая примеси, по наихудшему значению одного из показателей. Исследования показывают, что по отдельным показателям потенциал сортов позволяет выращивать высококачественное зерно первых классов в различных регионах (Бесалиев и др. 2020; Кузьмич и др, 2020; Маркин и др., 2020; Никифоров и др., 2020; Политыко и др., 2021)

Содержание токсичных элементов, микотоксинов, бензапирена, пестицидов, радионуклидов, вредных примесей, генно-модифицированных организмов (далее — ГМО), зараженность вредителями и загрязненность мертвыми насекомыми-вредителями в зерне пшеницы не должны превышать допустимые уровни, установленные стандартами РФ, а также в нормативных правовых актах, действующих на территории государства, принявшего стандарт (ГОСТ 9353-2016). Также с марта 2021г. начал действовать межгосударственный стандарт ГОСТ 34702-2020 «Технические условия. Пшеница хлебопекарная».

Чтобы уровень содержания белка и клейковины в зерне были высокими, растения должны получать необходимое количество азота в критические фазы развития — кущение, рост стебля и непосредственно перед колошением. В связи с этим разработаны системы управления количеством азота в агроценозах путём его зонального измерения с использованием специальных датчиков (Karatay, Meyer-Aurich, 2020).

Согласно оценке немецких экспертов, болезни колоса (чернь, септориоз и фузариоз) приводят к снижению содержания белка и клейковины, уменьшению натуры и массы 1000 зерен и загрязнению микотоксинами.

Поражение болезнями листьев (пятнистости, различные виды ржавчины и мучнистая роса) также снижает содержание белка и клейковины, уменьшает натуру, массу 1000 зерен и выход муки. Полегание приводит к прорастанию зерен, уменьшению числа падения и выхода муки.

Для решения этой проблемы, необходимо пересмотреть ряд позиций, связанных с фитосанитарным состоянием посевов. Во-первых, озаботиться стабилизацией и повышением почвенного плодородия за счет внесения как минеральных, так и органических удобрений. В России использование удобрений значительно ниже, чем в странах Западной Европы и США (Санин, 2016).

Правильная агротехника и обеспеченность растений минеральными веществами связана с получением высококачественного зерна (Дьяченко, Шевелев, 2020). В последние годы внесение минеральных удобрений под посевы в сельскохозяйственных организациях составляет 2,3- 2,5 млн. т питательных веществ, или в среднем 40-45 кг/га д.в. При том, в Канаде вносится 74 кг/га, США − 131, Германии – 199, в Р. Беларусь в пределах 140-160 кг/га в д.в. (Лачуга, 2017)

Во-вторых, продолжающееся снижение качества зерна нередко происходит в результате нарушения или игнорирования научно обоснованных зональных систем земледелия, несоблюдения севооборотов, уменьшения площадей под хорошими предшественниками, в частности, кормовыми травами.

В-третьих, из-за плохой технической оснащенности - нехватки уборочной техники, устаревания оборудования зернохранилищ - и других технических проблем качество зерна снижается как в процессе уборки, так и при хранении.

Немаловажное значение имеет качество посевного материала, причем упор следует делать на районированные отечественные сорта.

Вместе с тем, на качество конечного продукта существенное влияние оказывает обеспеченность средствами защиты растений, особенно

фунгицидами, т.к. зараженность зерна фитопатогенами влияет на накопление микотоксинов, что напрямую сказывается на качестве пшеницы, и безопасности для здоровья человека и животных, употребляющих такое зерно.

Кроме всего вышеперечисленного, существенно снижен экономический стимул получения высококачественного зерна из-за того, что цена между высококачественным сырьем и фуражной пшеницей незначительна. Таким образом, производителям оказывается невыгодным нести дополнительные затраты на получение качественного зерна. При этом известно, что чаще всего между количеством урожая и качеством обратная зависимость. Чем выше урожай, тем ниже качество и наоборот.

Отдельным направлением в улучшении качества пшеницы является применение различных стимуляторов и препаратов на пшенице, в том числе содержащих микроэлементы - железо и цинк (Ramzan et al., 2020; Sordi et al., 2020; Jalal et al., 2020). Применение стимуляторов роста Альбит, Циркон и Эпин существенно повысило урожайность и качество зерна (Кузьминых, Долгушева, 2020). Хелатные формы микроудобрений существенно повышало содержание белка (Красильников и др., 2020) и клейковины (Бахвалова и др., 2021).

Содержание химических элементов в зерне различается между видами p. *Triticum* L. (Biel et al., 2021) и сортами сортами пшеницы (Svecnjak, 2013). На элементный состав зерна может оказывать существенное влияние состав почвы, климат и агротехнические приемы обработки почвы (Suarez et al., 2017) Увеличение количества азотных минеральных удобрений может увеличить концентрацию отдельных микроэлементов в зернах пшеницы (Gooding et al., 2012). В работе Suarez и соавторов (2017) показано, что на содержание в зернах пшеницы N, Cd и Mn наибольшее влияние оказали комплексные минеральные удобрения, на Mo и Na - навоз. В варианте опыта без применения удобрений зерна пшеницы были обогащены Cu. Более высокие концентрации N, P, Mg, Ba, Cu, Mo и и Zn были выявлены в зернах пшеницы посеянной в ранние сроки, чем в своевременно.

Значительно более высокие уровни сырого белка, эфирного экстракта и сырой золы были обнаружены у вида *Triticum monococcum* по сравнению с *Triticum dicoccon, Triticum spelta* и *Triticum aestivum*. По мере увеличения концентрации белка в зерне, отмечен рост уровней кальция, магния и калия, а уровни цинка и марганца снижались (Biel et al., 2021).

Оценка генетической изменчивости пшеницы, с точки зрения нутриентного состава зерна, имеет важное значение в селекции, направленной на разработку новых генотипов пшеницы, обогощенных, необходимыми для питания человека, химическими элементами (Biel et al., 2021). На всех этапах селекции пшеницы для решения проблем качества зерна имеет большое значение объективная и высокоточная экспресс оценка сортов пшеницы различного происхождения (Митрофанова, 2012).

1.2 Факторы, лимитирующие урожайность зерновых культур в изменяющихся условиях окружающей среды, и влияющие на фитосанитарное состояние посевов зерновых культур

Глобальные экологические изменения, вызванные природной и антропогенной деятельностью, ускорились за последние 200 лет. Увеличение выбросов парниковых газов будет способствовать повышению температуры и окажет влияние на доступность воды в XXI веке (Velásquez et al., 2018).

Продуктивность пшеницы – комплексный, многофакторный показатель, на который существенное влияние оказывает множество предикторов, которые можно разделить по причинам, их вызывающим, на две группы: природные и антропогенные. Природные факторы принято делить на климатические и биологические (Бреус, 2003; Огурцов, 2009; Иванова, 2017).

Влияние факторов окружающей среды на рост растений может быть либо прямым, либо косвенным посредством их адаптации к ним. Выявлены корреляции между площадью листьев и годовой суммой осадков растений. Изменение размера и формы листьев зависит от интенсивности света и доступность питательных веществ (Breckle, 2002).

В работе Стасюк и соавторов (2021) представлены данные свидетельствующие о достоверном влиянии генотипа, внешней среды и их взаимодействия на фенотипическое проявление селекционно-ценных признаков мягкой пшеницы. На основании данных дисперсионного анализа показано существенное влияняе генотипа на число зерен с колоса (42,8 %) и массу 1000 зерен (57,0 %). Высокий вклад условий внешней среды установлен для продуктивной кустистости (41,8 %) и массы зерна с колоса (40,3 %). Для всех признаков достоверное влияние оказывало взаимодействие генотип и среда, что свидетельствует о значительной реакции генотипов на изменяющиеся условия окружающей среды.

Ограничить продуктивность сельскохозяйственных культур может состояние корневой системы растений, играющая решающую роль в поглощении воды и питательных веществ растениями, а также реагирующая на различные эдафические стрессы, такие как дефицит почвенной воды, засоление, переувлажнение и дефицит питательных веществ. Согласно данным Chen (2020) наибольшая фенотипическая изменчивость в морфологии корневой системы пшеницы была выявлена у генотипов на стадии кущения.

Морфологические особенности растений могут оказывать существенное влияние на развитие болезней. Габитус растений, плотность посева, длина стебля между флаговым листом и предпоследним листом, структура корней оказывают сильное влияние на устойчивость растений к ризоктониозной корневой гнили (Guo et al., 2017). Низкой устойчивостью к темно-бурой пятнистости отличались низкорослые сорта пшеницы, характеризующиеся ранней скороспелостью. Устойчивые сорта пшеницы, отличались более продолжительным периодом фотосинтетической активности флагового листа, прямостоящими зелеными листьями и большим содержанием в них хлорофилла (Rosyara et al., 2009).

Очень важно понимать реакции растений на механическую стимуляцию Ветер является основной причиной механического воздействия в естественной среде. Его постоянное присутствие в окружающей среде может повлиять на

форму и рост растений, в то время как высокая скорость ветра может привести к повреждению. Механическая стимуляция пшеницы, в частности, вызывает изменения множества фенотипических признаков пшеницы, в том числе может оказывать влияние на биомассу растений, морфологические особенности стебля, полегание и др. Лучшее понимание тигморфогенеза у пшеницы может привести к развитию нового направления – механическое кондиционирование посевов как альтернативы использования регуляторов роста растений (Hindhaug et al., 2021).

Изменения климата оказывают существенное влияние на распространение вредных организмов, их биоэкологические особенности, взаимоотношения в системах патоген-хозяин (Левитин, 2015). При этом на территории России преобладает тенденция потепления, темпы которого намного превышают среднеглобальные (Сиптиц и др., 2021).

В мире появляются новые для пшеницы опасные болезни (Афанасенко и др., 2011). В частности, патотип *Magnaporte oryzae Triticum* (MOT) может ограничить производство пшеницы до 100%. Ключевую роль в появлении новой болезни сыграло то обстоятельство, что с 1980 года в Бразилии стали выращивать высокопродуктивный сорт пшеницы «Анауак», у которого, как оказалось, нет белка Rwt3. Заражение MOT на стадии наполнения зерна приводит к появлению мелких, сморщенных, легких по весу и обесцвеченных зерен (Surovy et al., 2020). В последнее время усиливается вредоносность и распространенность желтой пятнистости (пиренофороза) пшеницы *Triticum aestivum* L., вызваемой *Pyrenophora tritici-repentis* (Died.) Drechs. (анаморфная стадия *Drechslera tritici-repentis* (Died.) Shoem. Потери урожая от болезни у восприимчивых сортов могут достигать 20-50% (Dinglasan et al., 2016).

Изенение климата, связанное с повышением температуры и уменьшением числа выпавших осадков, особенно в некоторых частях Северо-Западной Европы привидет к усилению вредоносности видов ржавчины и фузариоза колоса. Долгосрочные изменения в распространенности болезней неизбежно должны привести к корректировке будущих стратегий в селекции

пшеницы на устойчивость к болезням в условиях теплового и водного стресса (Miedaner, Juroszek, 2021).

Вредоносность большинства фитопатогенных грибов усилится с ростом верхнего температурного порога (Racca et al., 2011), однако сдерживать их развитие будет недостаток влаги. Развитие *Zymoseptoria tritici* связано с числом выпавших осадков за длительный вегетационного периода роста пшеницы, начиная с весеннего периода. При этом многие виды фузариоза, требуют однократного выпадения осадков (около 2-3 мм) во время цветения пшеницы, что впоследствии приведет к серьезному фузариозному поражению колоса восприимчивых сортов и загрязнению микотоксинами зерна. Для поражения пшеницы Puccinia triticina необходимо отложение капель воды, образующихся ночью в результате конденсации водяного пара (Miedaner, Juroszek, 2021).

К климатическим факторам, влияющим на урожайность сельскохозяйственных культур, можно отнести солнечную активность, погодные условия, температуру воздуха и почвы, состояние, тип и рельеф почвы.

Так, для яровой пшеницы было показано, что на фоне нормальной ирригации и хорошего минерального питания на повышение урожайности в большей степени влияют сниженные температуры в начале вегетации, что удлиняет общий вегетационный период, чуть меньшее значение имеет солнечная радиация (Amir, Sinclair, 1991). Существенное влияние на урожайность оказывает температура и солнечная радиация в период сева (Ortiz-Monasterio, 1994). На примере урожайности озимой пшеницы в Ставропольском крае за последние 100 лет была выявлена зависимость между солнечной активностью и урожайностью, которая была положена в основу математической модели программирования урожая (Байдаков, 2013, Никитенко, 2012). По мнению авторов, максимальному количеству пятен на Солнце отвечает рост температуры земли, снижение влажности воздуха и относительно высокие значения урожайности зерновых культур.

Соответственно минимальным значениям солнечной активности сопутствует повышение влажности воздуха, охлаждение почвы и небольшие урожаи (Трухачев, Никитенко, 2011).

Экстремальные погодные условия: засуха, ураганные ветра, ливни, град и другие негативно сказываются на урожайности любых сельскохозяйственных культур. Для построения адекватных моделей прогнозирования урожая важно знать наиболее уязвимые периоды вегетации тех или иных культур. Так, при засухе наиболее уязвимыми оказываются фаза цветения и формирования зерна (Фролов, Страшная, 2010; Воробейков и др., 2015; Passioura, 1996; Asseng, Foster, 2011; Eitzinger et al., 2013).

Ливневые дожди, град, обильные осадки и сильный ветер вызывают полегание всходов, а также зрелых растений, способствуют преждевременному осыпанию зерна, снижению фотосинтетической активности, заражению грибными болезнями и, следовательно, негативно сказываются на урожайности. На устойчивость к полеганию оказывают влияние множество факторов, как биологического (архитектоника стебля, свойства колоса, развитие корневой системы), так и климатического (увлажненность и переувлажненность почвы, сила ветровой нагрузки) характера (Лукьянова, 2008; Мыхлык, 2015; Easson et al., 1993). Наибольший вред полегание приносит в период молочной спелости пшеницы, потери урожая могут достигать 60-80% (Лукьянова, 2008, Черпак и др., 2010).

Избыток влаги в почве оказывает неблагоприятное воздействие на корневую систему, нарушая физиолого-биохимические процессы и, соответственно, продуктивность растений (Воробейков и др., 2015). Наиболее существенное влияние на урожай в период посева влияет переувлажнение почвы (Кравченко и др. 2014; Сотпа, 2014; French, Schultz, 1984).

Не менее значительное влияние на урожайность зерновых оказывают особенности агроландшафта: тип, состав и эрозия почв, рельеф, освещенность склонов, наличие полезащитных лесополос.

Неоднородность рельефа на сельскохозяйственном поле приводит к колебаниям урожайности из-за несовпадения оптимальных сроков обработки почвы, посева (Медведев, Любимова, 2008; Каракулев, 2011). Перепад высот на возделываемых участках приводит к неравномерности распределения некоторых компонентов почвы, что влияет на эрозию и, в конечном счете, на урожайность (Шабаев и др., 2009; Moulin, 1994).

Значительное влияние на накопление влаги в почве и, вследствие этого на повышение продуктивности сельскохозяйственных культур оказывают полезащитные лесонасаждения. Они способствуют активизации деятельности микроорганизмов (Адров, 2011), накоплению и распределению снежного покрова (Сухарьков, 2004, Хисамов, 2008), уменьшению ветровой эрозии почвы (Михин, 2013).

К биологическим факторам традиционно относят биологические свойства среды и растений, не зависящие от деятельности человека: плодородие почвы, обусловленное содержанием органических веществ, биоразнообразием, генетическая основа растений, включающая устойчивость растений к стрессам, районированность сортов и состояние семян перед посадкой.

В связи с повсеместным снижением плодородия почвы особую актуальность приобретают различные методы оценки роли биологических факторов в воспроизводстве плодородия (Новиков, Кисаров, 2012; Никитин, 2012). Распад поступающего в почву органического вещества, являясь одним из звеньев биологического круговорота, обеспечивает устойчивость биоценозов в целом, формирует гумус почв. Экспериментально доказано, что повышение содержания гумуса на 1% в дерново-подзолистой почве увеличивает продуктивность пашни более чем на 25 % (Ларионов, 2013).

Многочисленные исследования показывают, что одним из наиболее значимых показателей плодородия почв является соотношение углерода и основных питательных элементов азота, фосфора и калия (Ягодин и др. 2002; Troeh, Thompson, 2005). Критическое соотношение С к N, характеризующее

доступность микроорганизмам питательных веществ, содержащихся в растительных остатках, и влияющих на почвенное плодородие колеблется от 15 до 30 в зависимости от запаса минерального азота в почве, качества органических веществ, длительности их разложения (Новиков, Кисаров, 2012).

Отличие высокопродуктивных почв, обеспечивающих высокие урожаи от низкопродуктивных заключается не только в их физических характеристиках и содержании и доступности питательных веществ, но в соотношении количества и разнообразии биоты (Ларионов, 2013).

По мнению различных специалистов, до половины прироста урожая зерновых достигается за счет внедрения новых сортов и гибридов (Беляев, Соколова, 2013).

Урожайность зерновых культур при прочих равных условиях существенно зависит от генетически детерминированной продуктивности сорта. Продуктивность растений – сложный, многофакторный набор качеств, обусловленных физиолого-биохимическими процессами, протекающими в растительном организме. При этом, в зависимости от климатических условий и наличия вредителей, болезней и сорняков степень проявления генетически обусловленных признаков будет меняться (Мамеев, Никифоров, 2015).

Селекция на урожайность пшеницы фенотипически коррелирует с увеличением фотосинтетической активности (Петрова, Гудиев, 2006), отзывчивостью на внесение минеральных удобрений (Абрамов, Еремин, 2009), низкой полегаемостью (Сандухадзе, 2010) и другими факторами (Валекжанин, Коробейников, 2012; Нигматьянов и др. 2015).

В настоящее время урожайность сортов пшеницы в Европе и Америке приближена к биологически возможной продуктивности, хотя на территории России этот предел еще не достигнут (Петрова, Гудиев, 2006), поэтому селекция новых сортов пшеницы на урожайность является существенным фактором повышения продуктивности зерна. Современные сорта располагают достаточным биологическим потенциалом, продуктивностью и урожайностью

для обеспечения окупаемости затрат материально-технических ресурсов, но реализация этого потенциала возможна только при положительном балансе всех ресурсов, в том числе и почвенно-климатических условий (Хисамов, 2008).

Северо-Западный регион России относится к зоне рискованного земледелия и сельскохозяйственные растения, в том числе пшеница подвергаются многочисленным стрессам: поздним весенним заморозкам, переувлажнению почвы, ветровой нагрузке, засухе и другим. Районирование сортов на устойчивость к специфическим стрессам приводит к увеличению продуктивности растений.

К антропогенным или организационно-техническим факторам повышения урожайности относят севооборот, различные агротехнические мероприятия и краткосрочное и долгосрочное прогнозирование.

О необходимости соблюдения севооборотов для получения устойчиво высоких урожаев писали исследователи еще в начале прошлого столетия (Подгорбунских, 2013; Зеленев и др., 2016).

При изучении влияния разных типов севооборотов было выяснено, что при прочих равных условиях, наибольшие прибыли от реализации пшеницы получали в зерновотравяно-пропашном севообороте независимо от предшественника и минерального питания (Черкасов, Акименко, 2016).

Высокие урожаи пшеница дает при использовании в качестве предшественников многолетних трав и бобовых как за счет улучшения физико-механических свойств и химического состава почв (Денисов, Полетаев, 2014), так и за счет снижения возбудителей корневых гнилей (Лапина, 2013).

Значительное влияние на полноту раскрытия биологического потенциала сорта оказывают различные технологии возделывания: методы обработки почвы (Юшкевич и др., 2015), протравливание семян (Нугаманов, 2005; Семина, 2010; Грехова, Матвеева, 2014), использование химических (Парахин, Лысенко, 2012) и биологических средств защиты растений

(Тайметов, 2016), схемы внесения минеральных удобрений (Морковкин и др., 2014) и мелиоративные мероприятия (Шабаев, 2009; Иванова и др., 2014).

Использование химических и биологических средств защиты, внесение минеральных удобрений, мелиоративные мероприятия практически всегда ведут к увеличению урожайности, независимо от типа почвы, сорта пшеницы и других параметров. Это приводит к повышению затрат и себестоимости готовой продукции, поэтому существенным в этом случае является не просто увеличение урожайности на некую величину, а экономический эффект от использования агротехнологий и повышение качества зерна (Сабитов, 2016).

В зависимости от наличия в хозяйстве средств интенсификации производства (семян, удобрений, средств защиты растений, машин, топлива), применяют экстенсивные, нормальные, интенсивные и высокоинтенсивные технологии (Матюк и др., 2013).

Экстенсивные технологии ориентированы на использование естественного плодородия почв без применения органических или минеральных удобрений. Нормальные технологии предусматривают применение удобрений в объемах, обеспечивающих поддержание среднего уровня окультуренности почв и предотвращение их деградации. Интенсивные технологии обеспечивают оптимальный уровень минерального питания растений и применение средств защиты растений от вредителей и болезней, сорняков и полегания (Сабитов, 2016).

Высокоинтенсивные технологии обеспечивают не только оптимальный уровень минерального питания растений и защиту от сорняков, вредителей и болезней, но и качественно отличные способы предпосевной подготовки почвы с помощью комбинированных машин, посев семян на одинаковую глубину сеялками точного посева, адекватную систему ухода за посевами с использованием прецизионных опрыскивателей, уборку урожая высокопроизводительными техническими средствами с минимальными потерями и безотходную послеуборочную обработку урожая.

Нормальные технологии обеспечивают реализацию биологического потенциала возделываемых сортов более, чем на 50%, интенсивные – на 65%, а высокоинтенсивные – на 85% (Рыжов, 2016).

В условиях глобальных климатических изменений предстоит инвентаризация и переоценка агроресурсов и ассортимента культурных растений, пересмотр принципов природоохранных мероприятий, формирование экологического каркаса природных зон за счет новых агротехнологий, комплекса мелиораций, агроэколесомелиоративного обустройства сельхозугодий, адаптивных систем ландшафтного землеустройства. Особого внимания заслуживает скрининг, сохранение, восстановление биоразнообразия, создание сортов и гибридов со стабильно высокими продуктивностью и качеством зерна, с повышенной устойчивостью к наиболее опасным патогенам, повышение устойчивости к эдафическим факторам (Иванов, 2009).

Изменение концентрации CO_2, температуры и доступности воды может оказывать положительное, нейтральное или отрицательное влияние на развитие болезней растений (Velásquez et al., 2018).

Различные механизмы устойчивости растений, включая реакцию сверхчувствительности, явление интерференции, индуцированный фитоиммунитет подвержены действию факторов окружающей среды. Однако на механизмы вирулентности, такие как выработка токсинов и белков вирулентности, а также на размножение и выживание патогена влияют прежде всего температура и влажность (Velásquez et al., 2018).

Большинство исследований в области анализа взаимодействий в системе патоген-хозяин сосредоточены только на итоговой статистике оценки влияния условий окружающей среды на патогенез. Существует острая необходимость в будущих исследованиях, направленных на изучение влияния динамики изменения метеофакторов на многомерную природу взаимодействия растений и патогенов и получение устойчивых к болезням

культурных растений, устойчивых к изменению климата (Velásquez et al., 2018).

Для развития эпифитотий возбудителей болезней необходимо наличие трех основных предпосылок: предрасположенности (восприимчивости) растения-хозяина; наличие достаточного количества инфекционного начала; оптимальных условий для развития патогенеза.

У разных растений-хозяев (культура, вид, сорт) и разных возбудителей (вид, раса, биотип и т.д.) эти предпосылки имеют свои особенности, свои параметры, которые определяют возможность или невозможность развития массовой вспышки болезни при тех или иных условиях внешней среды (Санин и др., 2015).

Изменение климатических факторов определяет выживание и развитие эндемичных возбудителей болезней, а также обуславливает усиление изменчивости сообществ фитопатогенов. С повышением температуры укорачивается продолжительность инкубационного периода, растет количество генераций патогена, возрастает инфекционная нагрузка. Сегодня сильно расширились ареалы септориоза пшеницы (*Septori*a ssp.), эпифитотии которого встречаются с частотой от двух до восьми раз за 10 лет и возникают во всех зернопроизводящих регионах Российской Федерации (Санин и др., 2012a, 2012b). Основной возбудитель фузариоза пшеницы – теплолюбивый гриб *Fusarium graminearum*, который ранее, был распространён, в основном, на Украине, Дальнем Востоке, Северном Кавказе и Центрально-Черноземном регионе, но в последние время возбудитель стал поражать зерновые культуры на Северо-Западе РФ и во многих областях Нечерноземной зоны (Гагкаева и др., 2011).

Зависимости между метеорологическими факторами могут быть использованы при проведении фитосанитарного мониторинга и анализе его результатов, а также для прогноза возможных эпифитотий. Существуют различные методы выявления и количественной оценки таких взаимосвязей между болезнями и погодой: «Window Pane» (для определения корреляций

между болезнями и погодными переменными в течение заданных временных рамок), бинарный подход с использованием алгоритма дискриминантного анализа, позволяющий идентифицировать условия, способствующие эпифитотиям и др. (Calvero et al., 1996; Beest et al., 2008).

На территории Российской Федерации развитие корневых гнилей пшеницы сопряжено с температурой в июне (r= -0,31) и числом выпавших осадков в августе (r=0,36). Метеорологические условия августа определяли развитие септориоза и бурой ржавчины пшеницы (r= -0,4 и r= -0,3 – температура; r=0,3 и r=0,4 – сумма осадков), соответственно (Шешеговаи др., 2017).

Условия окружающей среды, по-видимому, оказывают повсеместное воздействие на многие этапы инфекционного процесса, начиная от спорообразования патогена, роста патогена и экспрессию генов вирулентности, зимовку инфекционного начала. Следует отметить, что климатические условия, близкие к оптимальным для размножения патогенов, потенциально могут увеличить вероятность формирования новых рас микромицетов (Rossi et al., 2001; Fry et al., 2015).

1.3 Характеристика фитосанитарного состояния зерновых культур при различных агротехнологиях возделывания

В отечественном земледелии большая часть используемых агротехнологий обладают повышенной энергоемкостью. В условиях роста цен на горюче-смазочные материалы, сельскохозяйственную технику и комплектующие, минеральные удобрения и средства защиты растений, необходимо переходить на ресурсосберегающие технологии, которые основаны на максимальном использовании почвенно-климатического потенциала местности, научно-обоснованном использовании минимальных обработок почвы, одновременном выполнении нескольких технологических операций, внесении оптимальных доз минеральных удобрений, мелиорантов

и средств защиты растений, а также прочих технологических приемов (Гостев и др., 2016).

Необходимо с одной стороны, увеличивать урожайность зерновых культур, а с другой – стремиться к производству экологически чистой продукции, что возможно только при условии биологизации сельскохозяйственного производства и отказа от применения ядохимикатов (Косачев и др., 2020; Lazarev, Ilyin, 2021).

Современные тенденции развития сельского хозяйства привели к формированию нескольких вариантов «традиционного» и «альтернативного» земледелия (Кирюшин, 2002; Буланова и др., 2005).

Органо-биологическое земледелие – выращивание сельскохозяйственных культур осуществляется без применения химических удобрений и средств защиты растений. Практикуется снижение интенсивности механической обработки почвы и использование органических удобрений для поддержания высокого уровня плодородия почвы, что соответствует экстенсивной агротехнологии.

Экологическое земледелие - выращивание сельскохозяйственных культур осуществляется без применения химических средств защиты растений, но с применением водорастворимых форм минеральных удобрений. Рекомендуются щадящие методы обработки почвы, разрешены некоторые виды пестицидов (микробиологической и растительной природы). Это соответствует нормальной агротехнологии по Кирюшину, т.е. обеспечивается минимум внесения минеральных удобрений и пестицидов.

Традиционное или интенсивное земледелие – количество минеральных и органических удобрений рассчитывается с учетом получения планируемого количество урожая высокого качества, применяется интегрированная система защиты растений.

Анализу параметров и теоретическому обоснованию экологического земледелия в целом и экологических технологий выращивания отдельных

культур посвящено множество обзоров и монографий (Саранин, 1996; Мирончук, 2015; Сабитов, 2016; Altieri et al., 2015; Geertsema et al., 2016).

Основное направление развития экологического земледелия – минимизация антропогенного воздействия в виде необоснованной интенсификации земледелия, в том числе применения тяжелой техники, применения односторонней водной мелиорации, нерегламентируемой химизации. Экономическое преимущество биологической системы – меньшая энергоемкость (Наумкин и др., 2006; Воробьев, 2018).

Однако в литературе отмечаются и недостатки биологической системы земледелия: повышенная зависимость от природных факторов (Кирюшин, 2002; Матюк, Гогмачадзе и др. 2010; Geertsema et al., 2016), необходимость возделывания на больших площадях кормовых культур (Кирюшин, 2012; Шашута, 2018), меньший уровень урожайности по сравнению с традиционной системой (Сабитов, 2016; Аслямова, 2017; Ponisio et al., 2015), отсутствие полной уверенности в устранении загрязнения продукции (Старовойтова, 2015), отмечается уменьшение содержания в почве фосфора и калия (Шашута, 2018; Jaiswal et al., 2016), увеличение почвенной эррозии (Pacini et al., 2003).

В настоящее время применение исключительно интенсивных технологий возделывания сельскохозяйственных культур экономически не оправдано. Все большее распространение получают ресурсосберегающие технологии с элементами экологизации (Таланов, 2011). Различным аспектам биологии и технологии возделывания яровой пшеницы посвящены монографии и обзоры (Ведров, 1998; Ленточкин, 2003; Долгополова, 2014).

Яровая пшеница обладает слабо развитой корневой системой с пониженной усвояющей способностью, поэтому высоко требовательна к гранулометрическому составу, влажности и плодородию почвы. Высокие урожаи получают на структурных среднесвязанных черноземах, каштановых и окультуренных серых лесных почвах с содержанием подвижного фосфора (P_2O_5) не менее 130-150 мг/кг почвы и обменного калия (K_2O) не менее 120-170 мг/кг почвы. Без проведения мелиоративных окультуривающих

мероприятий для нее непригодны тяжелые глинистые, легкие песчаные, смытые, кислые, засоленные, заболоченные почвы с высоким залеганием грунтовых вод.

Исследования различных вариантов обработки почвы показывают, что экономически наиболее приемлема система, основанная на минимальной обработке почвы. Например, для дерново-подзолистых почв Предуралья было показано, что при недостаточной увлажненности почвы в 2013 году ни один из вариантов обработки почвы не дал существенной прибавки урожайности по сравнению с контролем (без обработки), при этом в благоприятных условиях 2014 года наилучшие показатели урожайности были получены при использовании зяблевой отвальной вспашки, в то же время при расчете трудозатрат наиболее эффективной оказалась минимальная обработка дискованием с помощью комбинированных орудий (Ленточкин и др., 2015).

Применение технологии нулевой обработки почвы позволяет не только сэкономить денежные средства, но получать более высокие урожаи зерна за счет сохранения влажности почвы, а также снижения плотности сорняков и загрязнения окружающей среды по сравнению с традиционной обработкой почвы. Лазерное выравнивание земли может сэкономить огромное количество воды для орошения земли (Ram et al., 2018).

Обработка почвы, как агротехнический прием оказывает несущественное влияние на урожайность и качество зерна яровой пшеницы при условии достаточной влагообеспеченности, поэтому использование ресурсосберегающих технологий обработки почвы могут существенно снизить как энергозатраты, так и общее антропогенное влияние на почву, то есть способствовать экологизации технологии выращивания яровой пшеницы.

Существенное влияние на продуктивность агроценозов оказывает норма и сроки внесения минеральных удобрений. Так как наиболее чувствительна пшеница к содержанию азота в почве (Таланов, 2011, Долгополова, 2014), то основное внимание исследователей направлено на выяснение оптимальных сроков и доз внесения азотных удобрений.

Использование органической системы удобрений дает некоторое преимущество только при благоприятных условиях и с чистым паром в качестве предшественника, использование органо-минеральной системы со сниженной нормой внесения азота не дает прибавки урожая, но существенно снижает энергозатраты в целом (Оленин, 2016). Наилучшие показатели как по урожайности, так и по качеству зерна достигались при внесении N_{60} в начале вегетации (Кузьмич и др., 2007). Вклад азотного удобрения в формирование прибавки урожайности зерна яровой пшеницы составляет 50%, погодные условия вегетационного периода занимают 30%, влияние сорта невелико (Быков, 2016).

Из представленных исследований видно, что экологические чистые технологии выращивания яровой пшеницы должны обязательно включать применение минеральных удобрений, особенно азотных.

Важнейшее условие повышения урожайности яровой пшеницы является ее размещение в севообороте по лучшим предшественникам. Севообороты с разнообразным набором культур обеспечивают более стабильное по годам производство сельскохозяйственной продукции.

Рациональное использование ресурсов и ресурсосбережения в аграрном секторе определяются характеристиками реализуемого природно-экономического потенциала страны. По уровню этих ресурсов Россия занимает первые места в мире наряду с США, Китаем, Индией. Однако эффективное функционирование указанного потенциала, включая выполнение фитосанитарных задач, сдерживается крайне низким материально-техническим обеспечением (технические средства, удобрения и пестициды) земледелия, находящемся на уровне развивающихся стран.

В таких условиях наши агроценозы подвержены стабильной опасности со стороны вредных организмов, рискам чрезвычайных ситуаций, вызываемых массовыми нашествиями вредителей и эпифитотиями эпифитотиями болезней (ржавчина, септориоз, фузариоз колоса зерновых колосовых культур), распространением сорной растительности.

В современных агроэкосистемах насчитывается около 8500 возбудителей болезней, наносящих экономически значимый ущерб сельскохозяйственным культурам во всем мире. В нашей стране потери зерна пшеницы от фитопатогенов составляют в среднем 12,4%, от вредителей – 9,3%, от сорняков – 12,3%, что в сумме означает недополучение одной трети урожая - 34% (Кекало и др., 2017).

За последнее столетие разработано несколько концепций устойчивого развития сельского хозяйства. Они основаны на необходимости отказаться от доминирующей парадигмы, которая привела к интенсивному типу сельского хозяйства, связанному с искусственными условиями, сокращением биоразнообразия и зависимостью от невозобновляемых и токсичных ресурсов.

Защита от сорных растений, вредителей и болезней вносит существенный вклад в общие трудо- и энергозатраты при возделывании пшеницы. Применение органических, органо-биологических, экологических систем земледелия предполагает полный отказ от использования химических средств защиты растений (Кирюшин, 2002; Матюк и др., 2010).

Интегрированная борьба с вредителями возникла более полувека назад в связи с необходимостью минимизировать использование пестицидов за счет применения определенных агротехнических приемов, достижений фитоиммунитета и методов биологической защиты растений (Павлюшин, Лысов, 2019; Ratnadass, Barzman, 2014).

В некоторой степени вопросы защиты сельскохозяйственных культур занимают центральное место в подходе “экологической интенсификации”, которая предполагает минимизировать использование небиологичеких средств защиты растений за счет оптимизации фитосанитарного состояния агроценозов. Экологически интенсивный подход к защите сельскохозяйственных культур отличается от контроля численности вредных организмов в органическом земледелии большей пластичностью в отношении использования химических веществ в агроценозе и преследует цель увеличения количества получаемой продукции (Ratnadass, Barzman, 2014).

Обязательными элементами прогрессивного научного направления интегрированного управления агроэкосистемами являются (Захаренко, 2009):

– фитосанитарная диагностика, мониторинг и прогнозирование фитосанитарного состояния агроэкосистем;

– оценка фитосанитарного состояния и определение целесообразности проведения защитных мероприятий на основе сопоставления плотности популяций вредных организмов и пороговой численности вредных организмов (экономический порог вредоносности и экономический порог целесообразности защитных мероприятий);

– выявление площадей агроценозов с плотностью популяций вредных организмов выше пороговой, нуждающихся в защитных мероприятиях;

– обоснование методов защиты растений (организационно-хозяйственный, агротехнический, селекционно-генетический, биологический, химический и др.) по показателям экономической эффективности, биологической и экологической безопасности;

– решение организационно-экономических вопросов (планирование потребности в материально-технических, трудовых и финансовых ресурсах; приобретение и хранение материально-технических средств защиты растений; научное обеспечение и технологии их использования.

1.4 Биоценотические компоненты агробиогеоценоза и их использование в оптимизации фитосанитарного состояния посевов зерновых культур

В последнее время биоценотический подход стал занимать одно из ведущих мест в фитосанитарном оздоровлении агробиоценозов (Зубков, 2008; Павлюшин и др., 2008b; Abildayev et al., 2016). Что, возможно, связано, с наблюдающемся в последнее время, изменением климата и усилением антропогенного воздействия на экосистемы, обулавливающего нарушение их структурно-функциональной организации и ухудшения фитосанитарного состояния (Павлюшин и др., 2008b; Lopes et al., 2018). В агробиоценозах происходит нарастание видового состава вредных организмов на фоне общего обеднения биоразнообразия агроэкосистем (Павлюшин и др., 2008b) с

увеличением зависимости от минеральных удобрений и снижения полезных биотических взаимодействий (Stoate, 2001).

Культурные растения более восприимчивы к фитопатогенам, чем растительность естественных биоценозов. Высокая восприимчивость культивируемых видов и сортов к вредным организмам является следствием как их собственных физиологических и биохимических особенностей, так и структуры агрофитоценоза в целом. В частности, пораженность посевов сельскохозяйственных культур инфекционными болезнями обусловлена практикуемым сплошным посевом и большей густотой стояния на единицу площади, чем в естественном биоценозе (Колобаев, Рогозина, 2014).

В основе представлений о «биоценотических компонентах» агроэкосистемы (агробиоценоза) лежит понимание того, что, популяции живых организмов существуют не изолированно, а в тесных взаимосвязях с другими видами. Кроме того, организмы в агроценозах взаимосвязаны растением-хозяином (Юрченко и др., 2018).

Видовой состав является одной из важнейших характеристик агробиоценоза. В частности, агробиоценоз зерновых культур включается следующие компоненты: культурные и сорные растения; ризосферные микроорганизмы высших растений; микоризообразующие грибы на корнях культурных и сорных растений; фитопатогенные грибы, бактерии и вирусы; свободно живущие микроорганизмы (бактерии, грибы, актиномицеты, водоросли); бактериофаги; беспозвоночные животные, живущие в почве и на растениях; позвоночные животные. Возделывание генетически однородных культурных растений стимулирует развитие фитопатогенных микроорганизмов, которые могут вызывать эпифитотии. Особую пасность для зерновых культур представляют фитопатогенные грибы, при этом на первое место в мире по вредоносности выходят корневые и прикорневые инфекции (Зверева, 2006).

Взаимосвязи между уровнем биоразнообразя и особенностями функционирования агроэкосистем очень сложны и требуют изучения.

Требуют анализа зависисимости как различных биотических компонент агробиоценоза друг с другом, так и причинно-следственные связи между биотическими и абиотичексими компонентами (Shennan, 2008).

Принципиальные изменения в совершенствовании защиты растений от вредных организмов могут быть получены только на основе принципиально новой стратегии, направленной на общую фитосанитарную оптимизацию агробиоценозов (Ivantsova et al., 2017). Значительный вклад в исследовании особенностей функционирования пшеничных агробиоценозов внесли известные ученые Г.Я. Бей-Биенко, Т.Г.Григорьева, которые развили положение В.Н. Щеголева о необходимости разработки критериев стациального распределения при районировании территорий по показателям распространения вредных видов, их потенциальной и фактической вредоносности и первыми установили, что распашка новых земель приводит к глубоким изменениям в структуре фауны (Зубков, 2015a, 2015b).

В дальнейшем агробиоценологический подход в решении проблемы защиты сельскохозяйственных культур от вредных организмов был усовершествован В.И. Танским. Были описаны агробиоценозы посевов и садов Северо-Запада Нечерноземной зоны. А.Ф.Зубковым был выделен новый раздел защиты растений – агробиоценологическая фитосанитарная диагностика, который целенаправленно развивается с участием А.М.Шпанева, А.Б.Лаптиева, С.В.Голубева и др. С 2013 г. появляется профилирующие направление в полеводстве – формирование (конструирование) устойчивых, экологически сбалансированных агроэкосистем и агроландшафтов, а защита растений основывается на агроэкосистемном управлении вредынми орагнизмами (Зубков, 2015a, 2015b).

Главное отличие агробиоценоза от диких биогеоценозов не в нем самом, а в условиях его существования – в добавочной к природным факторам антропогенной деятельности человека (интродукция семян культурных растений, удобрения, пестициды и др.). Антропогенный фактор модифицирует агробиогеоценоз, оказывает влияние на все его элементы – почву, растения,

фитофагов, зоофагов, сапрофагов, микроорганизмы в т.ч., что не может не привести к определенной его стабилизации. И все-таки основным отличительным от первичных биогеоценозов свойством у агробиоценозов большинство авторов считает слабую степень их саморегуляции (Зубков, 2015a, 2015b).

Агробиогеоценологическая модернизация (АБМ) агроэкосистем основана на концепции организационно-пространственной структуры полевого биогеоценоза (целостной агроэкосистемы), обладающей способностью к саморегуляции биоценотических процессов.

Одной из первостепенных задач биогеоценологии является прогноз последствий и изучение лимитирующих факторов антропогенного воздействия на природу, разработка биогеоценотических критериев экологического нормирования, а также конструирование управляемых устойчивых высокопродуктивных агроэкосистем с благоприятной фитосанитарной обстановкой (Зубков, 2015a, 2015b).

Агробиоценологическая диагностика состояния посевов сновывается на изучении трофоэнергетического подхода к интегративной характеристике агроценозов и целостных агроэкосистем ранга биогеоценоза; анализе данных фитосанитарного мониторинга целостных агроэкосистем; унифицированной методике статистико-информационной оценки биоценотических связей между компонентами в агроценоконсорциях (Зубков, 2015a, 2015b).

Работами сотрудников ВИЗР были определены коэффициенты вредоносности наиболее распространенных фитофагов и фитопатогенов в различных агробиоценозах в аспекте формирования урожая. Большинство видов (95%) были относены к слабовредоносным (потери менее 5%). Однако в годы массовых размножений и эпифитотий некторые из низ могут причинять существенный ущерб урожаю – вредная черепашка, гороховая тля, стеблевой мотылек, бурая листовая ржавчина (Зубков, 2015a, 2015b).

Основной задачей защиты растений на современном этапе – формирование технологических систем оптимизации (управления)

фитосанитарного состояния агроценозов в целом, а не борьба с каждым отдельным видом вредного организма. Важнейшим блоком в таких системах является информация об экологических и биоценотических процессах, происходящих в агроценозах, на уровне, позволяющем регулировать фитосанитарную ситуацию (Ivantsova et al., 2017).

Системный подход управления фитосанитарным состоянием агробиоценозов нашел отражение в следующих концептуальных подходах: эколого-биоценотической долгосрочной агроценотической регуляции (Соколов, 1996); интегрированной защите растений в аспекте фитосанитарной оптимизации агроэкосистем (Павлюшин, 2009); в управлении фитосанитарным состоянием агроценозов в условиях усиления абиотического и антропогенного воздействия с использованием методов биологической защиты растений (Юрченко, 2016; Юрченко и др., 2018).

Экосистемная организация агробиогеоценоза делает его весьма устойчивым формированием в отношении природных и антропогенных воздействий. Благодаря использования устойчивых сортов и современной агротехнике снижается массовое размножение многих вредных организмов, оптимизируется фитосанитарное состояние в агробиогеоценозах по сравнению с естественными (природными) биоценозами (Зубков, 2015a, 2015b).

Управление сочатанием таких факторов как выбор сорта, дата посева и внесение азотных удобрений способно снизить потери урожая культуры от вредных организмов как во времени, так и в пространстве, однако эффективность этих манипуляций может быть ограничена адаптацией фитофагов и фитопатогенов к изменением среды обитания. На результат биотических взаимодействий в агробиоценозе могут оказать влияние множество факторов, большинство из которых мало изучено, и в том числе факторы конструирования агроэкосистемы, в частности, севообороты, адаптивный потенциал сортов к ланшафту, наличие полезных

микроорганизмов-антагонистов фитопатогенов и естественных врагов вредителей сельскохозяйственных культур (Médiène et al., 2011).

Общепринятые приемы защиты растений, в частности, основанные на использовании трансгенных сортов, экспрессированных бактериальными токсинами, применение индукторов устойчивости растений, по своей природе, возможно, не способствуют фитосанитарной оптимизации агроэкосистем. Более того, при широком масштабе применения они будут усугублять проблемы фитосанитарного состояния агроэкосистем, как и большинство ныне применяемых средств, созданных на основе всевозможных ФАВ.

По мнению Павлюшина и соавторов (2018), введение в систему защиты растений любого нового средства борьбы с вредными организмами, помимо снижения их распространенности и вредоносности необходимо обеспечивать сохранение механизмов биоценотической регуляции в агроэкосистемах и сдерживать процессы адаптивной изменчивости вредных организмов на популяционном уровнех.

1.5 Научно обоснованные принципы создания и использования устойчивых к болезням сортов пшеницы для стабилизации фитосанитарного состояния агроценозов

Урожайность зерна – сложный признак, на который сильно влияют многие генетические факторы и агроэкологические условия возделывания культуры. Повышение урожайности пшеницы с единицы площади посева возможно, в частности, благодаря возделыванию, как новых высокоурожайных сортов, в том числе характеризующиеся большим числом зерен в колосе, так и за счет снижения вредоносности возбудителей болезней, в том числе с использованием в агроценозах устойчивых к фитопатогенам сортов (Wadan et al., 2012). Выращивание сортов пшеницы, адаптированных к условиям возделывания является одним из самых дешевых способов решения задач сельскохозяйственного производства, а также дает

возможность улучшить ее качество зерна с небольшими дополнительными затратами (Gyrka et al., 2018).

Во всем мире агроэкосистемах идентифицировано около 8500 возбудителей болезней, обуславливающие экономически значимый ущерб урожая сельскохозяйственным культурам. В нашей стране потери зерна пшеницы от болезней составляют в среднем 12,4%, от вредителей – 9,3%, от сорняков – 12,3%, что в сумме означает недополучение одной трети урожая 34%. Особую опасность для здоровья человека и животных представляют микотоксины, продуцируемые фитопатогенными грибами, значительная часть которых еще недостаточно изучена: *Alternaria spp., Puccinia spp., Blumeria graminis, Mucor spp., Stagonospora nodorum, Ustilago* spp. и др. (Кекало и др., 2017).

По данным ученых международного центра СИММИТ на пшенице встречаются 25 грибных, 3 бактериальных, 1 вирусное, 3 нематодных, 4 физиолого-генетических болезней и 8 заболеваний, обусловленных недостатком минерального питания и другими абиотическими факторами (Койшыбаев М., 2018). В Российской Федерации доминирующее положениезанимают возбудители бурой ржавчины (*Puccinia triticina* Eriks.), стеблевой ржавчины (*Puccinia graminis* Pers. f. sp. *tritici*), мучнистой росы (*Blumeria graminis f.sp. tritici*), септориоза (*Mycosphaerella graminicola*, син. *Septoria tritici; Parastagonospora nodorum*, син. *Stagonospora nodorum*). Ежегодные потери урожая от этих болезней составляют от 5 до 15 %, а в периоды, благоприятные для развития патогенов, могут превышать 40 % (Коломиец и др., 2017).

Интенсивное использование химических средств защиты растений создает ряд негативных последствий – загрязнение окружающей среды, уничтожение полезной энтомофауны т микрофлоры, ускоряет формирование устойчивых популяций, усложняет технологии выращивания растений и увеличивает потребление энергии. Одним из ведущих аспектов "долгосрочного последствиями" неблагоприятного воздействия пестицидов

является индуцированный мутационный процесс у людей, который может привести к увеличению частоты патологии с генетическим компонентом (Butenko et al., 2019). Возделывание устойчивых сортов в севооборотах – это один из ключевых элементов рационального использования природных ресурсов и сохранения окружающей среды в экологически чистом состоянии (Kovalyshyna et al., 2020).

Среди сложного комплекса факторов, влияющих на фитосанитарное состояние агробиоценозов существенная роль принадлежит природно-климатическим факторам, однако решающая роль принадлежит сортам как важнейшему средообразующему фактору (Санин, 2013).

Стабилизировать фитосанитарное состояние агроэкосистем возможно при насыщении посевов сельскохозяйственных культур устойчивыми формами на уровне 70-80%. При этом в России представленнось устойчивых генотипов в структуре посевных площадей составляет 7 –11 %, что примерно в 10 раз ниже мирового уровня и, крайне недостаточно для решения проблемы оптимизации фитосанитарного состояния агроценозов (Волкова, 2013).

Устойчивость растений к болезням часто является наиболее динамичным компонентом процесса селекции сельскохозяйственных культур, требующим постоянного обновления из-за адаптации патогенов к генотипам растений. Успех многих достижений в области создания устойчивости к болезням сельскохозяйственных культур зависит от общественного признания различных подходов к модификации генома растений. Эктопическая экспрессия гетерологичных трансгенов или подавление экспрессии генов обычно происходит под видом переноса чужеродной ДНК и все еще сталкивается со значительными препятствиями из-за правового регулирования в сфере биологических наук. Модификация трансгенных концепций, например, концепция цисгенных (допускающая добавление генов от скрещиваемых видов) в отличие от трансгенных (добавление гена или генов от некрещивающихся видов) может расширить возможности модификации сельскохозяйственных культур (Sharma et al., 2019).

Растения используют различные стратегии для защиты от нападения патогенов. Одна из стратегий заключается в укреплении клеточной стенки, создавая тем самым барьер между растительной клеткой и патогеном. Например, ферменты, участвующие в биосинтезе лигнина и каллозы, индуцируются при внедрении патогена. Вторая стратегия заключается в производстве антимикробных соединений, таких как токсичные вторичные метаболиты и гидролитические ферменты. Однако преобладающей стратегией, которую растения используют для защиты от патогенов, является реакция сверхчувствительности. Взаимодействие между двумя комплементарными генами, геном устойчивости хозяина и геном авирулентности патогена, нарушает реакцию сверхчувствительности, обеспечивая таким образом устойчивость (Richter, Ronald, 2000).

Для развития болезни совместимый патоген и восприимчивое растение-хозяин должны взаимодействовать, при этом условия окружающей среды должны быть благоприятными для патогенеза (Miedaner, Juroszek, 2021). На взаимодействие в систепе патоген-хозяин помимо длительно воздействующих климатических факторов оказывают влияние тип почвы, подземная и наземная микробиота, частота проявления экстремальных погодных условий. Внесение некторых удобрений, в частности на на основе K_2O снижало поражение пшеницы возбудителем темно-бурой пятнистости пшеницы *Cochliobolus sativus* также эффективно, как и применение фунгицидов (Duveiller et al., 2007).

Недавние молекулярные исследования показали, что устойчивость растений зависит от сложной регуляторной системы, которая контролирует защитные реакции растений, в значительной степени опираясь на простую структуру модели H.H. Flor "ген на ген". Компоненты иммунной системы растений участвуют в обнаружении патогенов, передаче сигналов и стимулируют защитные реакции. Давление отбора стимулирует эволюцию растений со сложными системами обнаружения фитопатогенов и патогенов со

сложными методами уклонения от компонет иммунной защиты растений, как описано в модели zig-zag (Jones, Dangl, 2006).

Как только патогены преодолевают механические барьеры на пути инфекции, рецепторы растений инициируют сигнальные пути, управляющие экспрессией генов защитного ответа. Иммунные системы растений распознают фитопатогена, осуществляют передачу сигналов на активацию биохимических реакций – продуктов генов устойчивости. Патогенные микроорганизмы активно пытаются приодолеть фитоиммунитет растений и нарушают сигнальные пути передачи информации о развитии болезни (Jones et al., 2018).

В настоящее время концепции иммунитета к болезням зерновых кульрур базируется на трех различных типах устойчивости: базовая устойчивость, обеспечиваемая рецепторными белками, локализованными в плазматической мембране; расоспецифическая устойчивость, обеспечиваемая внутриклеточными R-рецепторами иммунного ответа; частичная устойчивость, контролируемая локусами количественных признаков. Недавно подтверждено участие некоторых R-генов пшеницы в реализации прегаусториальной устойчивости к возбудителю бурой ржавчины: *Lr1, Lr3a, Lr9, LrB, Lr19, Lr21, Lr38*. Наличие в генотипе пшеницы указанных генов позволяет останавливать ранний патогенез посредством следующих механизмов: дезориентация и ветвление ростковой гифы; формирование аберрантных структур проникновения гриба (аппрессорий, подустьичная везикула); аккумуляция каллозы в клеточных стенках мезофилла (Сколотнева, Салина, 2019). Наиболее полно современные представления о молекулярных механизмах врожденного иммунитета растений раскрыты в работе Кабашниковой (2018).

Питание является основным требованием патогена от растения-хозяина, а процессы метаболизма растений оказывают влияние на доступность этого питания. Процессы энергоснабжения у растения являются ключевым фактором их защиты от патогенов. Патогенные микроорганизмы управляют

метаболизмом растений. При этом роль первичных метаболических путей в регуляции защитных реакций растений мало известна (Zaynab et al., 2019).

Поскольку наиболее экономичным и безопасным способом защиты пшеницы от болезней является возделывание устойчивых сортов, то поиск источников и доноров устойчивости к основным наиболее вредоносным болезням пшеницы, в том числе с групповой устойчивостью, имеет приоритетное значение (Баранова и др., 2016).

В результате взаимодействия растения-хозяина и рас патогенов, со временем гены устойчивости, обуславливающие защиту от болезни, теряют свою эффективность. Чтобы вовремя отследить такие процессы и принять правильное решение о сортовом размещении, необходим постоянный фитосанитарный мониторинг сортов в условиях инфекционной нагрузки (Волкова и др., 2019).

Условием успешной селекции на устойчивость пшеницы к бурой ржавчине является не только наличие достаточного количества генетически разнородных доноров устойчивости к болезни, но и знание закономерностей изменчивости популяций возбудителя *Puccinia triticina* Erikss (Гультяева, Казарцев, 2018). Для определения буквенного кода фенотипов возбудителя бурой ржавчины, вычисляют индексы внутрипопуляционного разнообразия и различий между популяциями по вирулентности с использованием пакета программ Virulence Analysis Tool (VAT). Для оценки внутрипопуляционного разнообразия – индекс Нея Hs, характеризующий гетерогенность популяции по частотам вирулентности и нормализованный индекс Шеннона Sh, характеризующий разнообразие популяций по фенотипическому составу, индекс Космана KW_m, оценивающий общую изменчивость популяций по вирулентности и фенотипическому составу. Для оценки различий между популяциями – индекс Космана (KB_m), вычисление которого основано на анализе структуры по вирулентности и по фенотипическому составу (Гультяева и др., 2015).

К настоящему времени идентифицировано свыше 77 Lr-генов, среди них гены с Lr1 до Lr38, а также Lr44,Lr45, Lr51, Lr52, Lr60, Lr64, Lr67 введены в генотип сортаThatcher TcLr (Гультяева, Казарцев, 2018). В селекции более предпочтительным считается создание сортов с полигенной (горизонтальной устойчивостью), которая сохраняется в производстве более длительный период, чем моногенная –вертикальная (Скатова, 2013).

Факторы вертикальной устойчивости пшеницы территории ЦЧР обусловлены наличием в генотипе растений генов, отвечающих за ювенильную устойчивость*: Lr9, Lr19, Lr25, Lr38,Lr39 (=Lr41), Lr40,Lr42, Lr49, LrTr(=Lr9), LrTt1Tt2*. В популяции бурой ржавчины не выявлены изоляты, вирулентные к *LrTt1Tt2, Lr19, Lr24, Lr28, Lr41, Lr43*. С низкой частотой (до 10%) отмечены изоляты, вирулентные к *Lr9 (Tr), Lr17, Lr36, Lr38, Lr39*. С частотой от 10 до 50% – *Lr18, Lr19+25, Lr21, Lr25, Lr27; Lr29, Lr32, Lr34, Lr40*; с частотой свыше 50% – *Lr1, Lr2a, Lr2b, Lr2c, Lr3ka, Lr3bg, Lr10, Lr11, Lr12,Lr13, Lr14a, Lr14b, Lr15; Lr16, Lr20; Lr22a, Lr22b, Lr26, Lr31+37; Lr37* (Зеленева, Судникова, 2019).

Селекционно-генетическая защита сельскохозяйственных культур, и в частности пшеницы, к болезням основана на создании ассортимента генетически защищенных сортов и эффективном их применении для создания агроценозов, устойчивых к вредным организмам. Успешная реализация этого направления защиты растений отснована на анализе внутрипопуляционной структуры возбудителей болезней в определенном ареале возделывания культуры с целью изучения частоты встречаемости фенотипов вирулентности и их динамики; отбора исходного материала, устойчивого к возбудителям болезней на искусственном инфекционном фоне; идентификация генов устойчивости к возбудителям болезней в перспективных сортах пшеницы методами гибридологического анализа, фитопатологического тестирования, молекулярного маркирования, а также изучения эффективности генов в разные фазы вегетации растения-хозяина (Волкова, 2013).

Для оздоровления фитосанитарного состояния агроценозов надо стремиться к созданию полиморфной по генам устойчивости к болезням растительной популяции, что возможно только на базе широкого генетического разнообразия исходного материала с учетом внутривидовой дифференциации возбудителей и тенденций происходящих изменений (Волкова, 2013).

Выбор стратегии селекции на моно- или полигенную устойчивость зависит от наличия источников устойчивости, темпов эволюции паразита, возможности и скорости распространения новых рас паразита из первичных очагов их возникновения и т.д. При создании сортов с полевой устойчивостью актуальным является правильный выбор фона селекционного участка. Наиболее важно в системе «растение-паразит-среда» обеспечить пространственную и временную репрезентативность условий выращивания (в том числе показателей тепло- и влагообеспеченности, наличия основных патогенов и т.д.) с целью выявления генотипов, сочетающих высокую устойчивость к «критическим» в данной зоне факторам среды с горизонтальной устойчивостью к патогенам (Корзун, Бруйло, 2011).

Селекция пшеницы на устойчивость к болезням с использованием традиционных методов являются трудоемкими, сложными и длительным процессом. Молекулярные маркеры предлагают отличную альтернативу в разработке улучшенных по устойчивости к болезням сортов, которые приведут к росту урожайности сельскохозяйственных культур (Goutam et al., 2015).

Внедрение в селекционные программы современных подходов с использованием молекулярных маркеров может стать мощным инструментом в решении проблемы устойчивости пшеницы к болезням и в том числе к бурой ржавчине. Одним из таких подходов является маркер-вспомогательная селекция (MAS, marker-assisted selection). Основной принцип MAS заключается в идентификации тесного сцепления между маркером и геном, контролирующим признак, и использовании ассоциации маркер–признак в

практических целях для создания новых сортов и селекционных линий (Давоян и др., 2014). В работе Гультяевой, Казарцевой (2018) обсуждаются достоинства и недостатки RAPD, AFLP и SSR анализов для популяционных исследований *P. triticina*. Представлены оригинальные результаты анализа российских популяций с использованием RAPD и SSR маркеров. Для изучения микроэволюции популяций *P. triticina*, обитающих на мягкой и твердой пшенице, подобраны SNP-маркеры.

Клонирование генов устойчивости к болезням (R) у пшеницы (*Triticum aestivum* L.) ускорилось благодаря инновационным достижениям в области технологий секвенирования и биоинформатики и расширению геномных ресурсов, что позволит, в ближайшее время создать онлайновый справочник – атласа R-генов пшеницы в отношении основыных болезней пшеницы (Hafeez et al., 2021).

Следует отметить, что когда новые гены устойчивости к болезням растений будут внедрены в программы селекции пшеницы, к сожалению, требуется несколько лет, прежде чем новые источники устойчивости станет доступным для коммерческих сортов пшеницы. Это связано с длительным процессом создания чистых селекционных линий пшеницы. Однако существуют методы, основанные на достижениях биотехнологии, позволяющие ускорить процесс размножения за счет метода производства удвоенных гаплоидов пшеницы (Alemu, 2019).

Успех селекции на устойчивость к болезням определяется многими факторами, среди которых решающее значение имеют генетические ресурсы. Особое значение в качестве истоников устойчивости имеют дикие злаки (Гультяева и др., 2017). Эгилопс (*Aegilops umbellulata*) служит источником генов устойчивости пшеницы к стеблевой ржавчине (*Sr*-генов), мучнистой росе (*Pm*-генов), желтой ржавчине (*Yr*-генов). Многие сорта пшеницы имеют комплексную устойчивость к нескольким патогенам, обусловленную генами, интродуцированными от *Secale cereale*, *Agropiron intermedium*, A. *elongatum* и др. В качестве доноров фитоиммунитета могут быть использованы более

близкие сородичи культурной пшеницы — ее дикие формы. *Triticum monococcum, T. dicoccum, T. timopheevi, T. fungicidum, T. militinae* обладают высокой устойчивостью ко многим грибным болезням. Некоторые виды устойчивы только к отдельным патогенам. Так, *T. persicum* устойчив к мучнистой росе и пыльной головне, но очень сильно поражаетсябурой ржавчиной (Маркелова, 2007).

Значительная часть эффективных генов, детерминирующих устойчивость к видам ржавчины, интродуцирована в геном мягкой пшеницы от видов *Triticum tauschii* (син. *Ae. tauschii*), *T. dicoccoides, T. timopheevii*, *Aegilops* ssp., *Thinopyrum* ssp., *Secale cereale* (McIntosh et al., 2013; Salina et al., 2015).

В отношении бурой ржавчины пшеницы в настоящее время известно 77 локализованных в хромосомах мягкой пшеницы Lr (leaf rust) генов устойчивости, однако большинство из них неэффективны против «современных» популяций патогена в России (*Lr*: *1, 2a, 2b, 2c, 3ka, 3bg, 10, 11, 12, 13, 14a, 14b, 15, 16, 17, 18, 20, 21, 22a, 22b, 23, 25, 26, 29, 30, 27+31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 44, 45, 46, 48, 49, 52, 57, 60, 64*). Высокой устойчивостью отличаются образцы пшеницы, защищенные генами резистентности *Lr9, Lr19, Lr24, Lr28, Lr41 и Lr47* (Тырышкин и др., 2019).

Желтая ржавчина пшеницы (*Puccinia striiformis* West. f. sp. *tritici* Erikss. et Henn.) наносит существенный урон урожая пшеницы в южной Азии, Северной Америке, Пакистане, Иране и других странах с умеренным климатом. На территории Северо-Кавказского региона России популяция патогена характеризовалась присутствием изолятов, вирулентных к генам устойчивости *Yr*: *3, 5, 26, SP* (Волкова и др., 2020b). У одиннадцати сортов пшеницы с признаком неспецифической устойчивости к желтой ржавчине (C-518, Mexipak, Kohinoor-83, Faisalabad-83, Zardana-93, Shahkar-95, Moomal-2002, Wattan-94, Pasban-90, Kiran-95, and Haider-2000) был идентифицирован *Yr18/Lr34* (Ullah et al., 2015).

Обнаружение широко распространенной расы *Ug99* в Уганде в 1998 году бросило вызов ошибочному представлению о том, что стеблевая ржавчина является ранее побежденной болезнью (Singh et al., 2008). В настоящее время до 90% мировых сортов пшеницы считаются восприимчивыми к стеблевой ржавчине и болезнь может привести к общемировым потерям зерна в 120 миллионам тонн (20% от урожая пшеницы в мире), особенно в Центральной и Северной Африке, на Ближнем Востоке и в Азии с населением более миллиарда человек (Singh et al., 2011).

Стеблевая ржавчина (*Puccinia graminis Pers. f. sp. tritici* Erik. et Henn) распространена во многих регионах мира и в годы эпифитотий потери урожая могут достигать 50–70 %. Идентифицировано более 50 генов устойчивости к стеблевой ржавчине, часть из них уже потеряли эффективность. Оценка устойчивости мягкой пшеницы к возбудителю *P. graminis f sp. tritici* в Московской области показала, что эффективными генами являются *Sr2, Sr9e, Sr13, Sr22, Sr25, Sr26, Sr28kt, Sr30, Sr31,Sr32, Sr36, Sr44, SrWld* и комбинации генов *Sr13+Sr17 и Sr31+Sr38*. В условиях Западной Сибири – *Sr31, Sr9e, Sr25, Sr27, Sr29, Sr32,Sr33, Sr36, Sr38, SrWld*, а также комбинации генов *Sr7a, Sr12, Sr6*. Остается эффективным в Северо-Кавказском регионе России ген Sr31 (Баранова и др., 2015).

На механизмы устойчивости, контролируемые геном *Sr6* влияют температура и этилен. Более высокие температуры (от 25 до 26°C) или обработка пшеницы этиленом, начатая через 3 или 4 дня после заражения стеблевой ржавчиной, приводят к тому, что устойчивые реакции возвращаются восприимчивости. Инфицированные стеблевой ржавчиной линии пшеницы, несущие ген Sr6 с низкой активностью пероксидазы, производили гораздо больше этилена, чем устойчивые инфицированные растения (Daly et al., 1971).

Внутривидовой потенциал мягкой пшеницы по устойчивости к мучнистой росе *Blumeria graminis (DC.) Speer* f. sp. *tritici* Marchal довольно беден. С помощью генетических и фитопатологических тестов выявлено и

описано 70 аллелей на 50 локусах (*Pm1 – Pm55*), ответственных за устойчивость растений пшеницы к болезни. Меверо-западная популяция Bgt, собранная с восприимчивых растений пшеницы на экспериментальном поле научно – производственной базы «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР» (Санкт-Петербург) имела гены вирулентности, комплементарные генам устойчивости пшеницы *Pm1, Pm2, Pm3a-d, Pm4a-b, Pm5, Pm6, Pm7, Pm8, Pm9, Pm10, Pm11, Pm16, Pm17, Pm19, Pm28*, и авирулентности – к генам *Pm12, PmKu и PmSp* (Лебедева, Зуев, 2018).

Наибольшую опасность для пшеницы в России представляют возбудители септориоза *Zymoseptoria tritici (Desm.)* и *Parastagonospora nodorum* (Berk.). Наиболее эффективен в отношении устойчивости к септориозу – ген *Stb6*, присутствие которого определяет полевую устойчивость пшеницы к болезни. Высокой устойчивостью к септориозу обладают линии синтетической гексаплоидной пшеницы – носители генов: *Stb5,Stb8, Stb16q, Stb17*. Важным источником STB-устойчивости является линия Kavkaz, к-4500, у которой идентифицированы гены *Stb6, Stb7, Stb10, Stb12* и неизвестный ген устойчивости к изоляту IPO32 на хромосоме 3A. По данным ВНИИ фитопатологии, при использовании 240 изолятов патогена из различных регионов России, выявлена высокая частота вирулентности в отношении сортов с генами Stb1, Stb5 и Stb7 во всех популяциях *Z. tritici*. Гены *Stb2, Stb3, Stb4* показали высокую эффективность против изолятов из Центрального, Центрально-Черноземного и Северо-Западного районов. Идентифицированы в пшенице гены и локусы количественных признаков (quantitative trait loci – QTLs), связанные с устойчивостью растений к *Z. tritici* и *P. nodorum* (Бакулина и др., 2020).

Устойчивость пшеницы к возбудителю темно-бурой пятнистости *Bipolaris sorokiniana* Sacc. крайне низкая (Agarwal et al., 2004). В работе Singh и соавторов (2017) показано, что из 250 образцов пшеницы только один был иммунен к болезни Karawani/4Nif-3/Soty/ AD63/Chris. Согласно работе Тырышкина (2021) при обследовании 3949 образцов яровой мягкой пшеницы

из Мировой коллекции ВИР высокий уровень ювенильной устойчивости к пятнистости выявлен только у линий ЛТ-5 и ЛТ-6, созданных на основе индукции сомаклональной изменчивости. По данным Барановой и соавторов (2016) среднеустойчивой к темно-бурой пятнистости является линия пшеницы KS92WGRC19 (к-65395, США). Однако существует возможность биологического контроля этого заболевания (Acharya et al., 2011).

Особенности проявления локусов устойчивости к болезням в значительной степени зависят от генотипической среды сорта-реципиента. Согласно данным, полученным на изогенных линиях и коммерческих сортах, одни и те же чужеродные гены различаются по эффективности в разном генетическом окружении (Ren et al., 2012). Зависимость экспрессии генов резистентности от генотипической среды хорошо видна на тестерных изогенных линиях, созданных на разном генетическом фоне для мониторинга вирулентности патогенов листостебельных инфекций. Для экспрессии генов устойчивости к стеблевой ржавчине *Sr15* и *Sr17*, перенесенных в сорт Chinese Spring, необходима более низкая температура, чем для их проявления в сортах Renown и Norka (McIntosh et al., 1995). Фитопатологическое тестирование изогенных линий с геном *Yr8* свидетельствует, что экспрессия гена модифицируется генотипической средой: наличие *Yr8* в сорте Avocet S дает больше некрозов по сравнению с сортами Chinese Spring или Harrier (Wellings et al., 2009). В работе Зеленевой, Судниковой (2014) показано, что популяция возбудителя *S. tritici* является гетерогенной по патогенным свойствам, вирулентность и агрессивность возбудителя зависит от сорта растения-хозяина.

Привлеченные для создания интрогрессивных линий виды рода *Triticum* превосходили сорта мягкой пшеницы по устойчивости к грибным болезням. Среди линий, созданных с участием вида *T. dicoccoides*, отмечено наибольшее количество генотипов, высокорезистентных к мучнистой росе и септориозу, а среди линий с генетическим материалом *T. dicoccum* — к бурой ржавчине (80 %). Показана достоверная статистическая разница в степени поражения

мучнистой росой и септориозом между группами линий, созданных с использованием образцов видов T. *dicoccoides,* T. *dicoccum,* T. *durum,* T. *kiharae*, и при различных погодных условиях (Орловская и др., 2021)

Таким образом, в условиях значительных сдвигов климатических условий, происходящих в последние десятилетия, возникает потребность в новых, устойчивых к болезням сортах, характеризующихся экологической пластичностью и адаптивностью. Поэтому как никогда актуален вопрос о поисках источников локусов, детерминирующих хозяйственно важные признаки (Леонова, 2018).

1.6 Использование инструментальных методов агрофизики в оценке фитосанитарного состояния и повышения продуктивности агроценозов зерновых культур

Необходимое условие получения высокого урожая зерновых культур и улучшения его качества использование при посеве полноценного зерна (Шпилев и др., 2018; Šramkováa et al., 2009; Ricachenevsky et al., 2019). При этом в настоящее время качество посевного материала зачастую оставляет желать лучшего. Доля некондиционных семян зерновых культур может доходить до 40% (Архипов и др., 2013a, 2013b). В связи с этим существует ряд стандартных тестов, регламентированных ISTA (International Seed Testing Association), а также перспективных интроскопических методов контроля качества семенного материала (Pearson et al., 2007; Huang et al., 2015; Abud et al., 2018; Arruda et al., 2018).

Очевидно, что фитосанитарный контроль посевов с использованием передовых технологий и современных средств защиты растений является необходимым и обязательным условием получения высоких урожаев зерна. При этом самое пристальное внимание важно уделять фитосанитарному состоянию семенного материала, которое бы позволило предотвращать возникновение и развитие инфекционных болезней и способствовало оздоровлению посевов (Гагкаева и др., 2009; Фирсова и др., 2019).

Метод мягколучевой микрофокусной рентгенографии на протяжении многих лет успешно применяется как в России (Архипов, Потрахов, 2008; Мусаев и др., 2016; Priyatkin et al., 2019), так и за рубежом (Burg et al., 1995; Moreira et al., 1999; Gomes-Junior et al., 2012; Silva et al., 2012). Физико-технический базис метода микрофокусной рентгенографии составляет проекционная рентген-съемка семян с прямым (до 200 крат) рентгеновским увеличением, методика и основные результаты опубликованы (Архипов и др., 2019; Архипов, 2021).

С помощью метода микрофокусной рентгенографии можно обнаруживать и идентифицировать различные структурные дефекты семян, такие, как трещиноватость, энзимомикозное истощение, внутреннее прорастание, скрытая заселенность вредителями, механические травмы и дефектность зародыша, пустозернистость и т.п. Энзимомикозное истощение наблюдается в тех случаях, когда налив, созревание и уборка урожая совпадают с влажными условиями погоды, и часто встречается в Краснодарском крае, Западной Сибири и Нечерноземной зоне. При этом не только снижается урожай, но одновременно ухудшается качество зерна и вместо доброкачественного зерна получают «труху» (Дунин, Темирбекова, 2011).

Эти методические подходы, а также современная инструментальная база позволили впервые разработать ГОСТ Р 59603-2021 «Семена сельскохозяйственных культур. Методы цифровой рентгенографии» (ГОСТ Р, 2021). Данный национальный стандарт разработан впервые и вступает в силу с 01 января 2022 года. Стандарт распространяется на семена более 500 видов сельскохозяйственных культур, в том числе, зерновых, и устанавливает требования к методам отбора проб, аппаратуре, материалам и реактивам, подготовке проб семян к анализу, проведению анализа, обработке результатов, к требованиям безопасности для здоровья операторов и окружающей среды при работе с рентгеновским оборудованием и семенами сельскохозяйственных культур. Внедрение данного цифрового стандарта

позволит подойти к решению принципиально новой задачи – снижению уровня скрытой травмированности семенного материала в условиях промышленного семеноводства, что позволит получать высококачественные семена, в том числе, зерновых культур, с минимальным уровнем скрытой поврежденности. Разработчик стандарта: ФГБНУ АФИ при участии ФГАОУ ВО СПбГЭТУ «ЛЭТИ». Руководитель разработки: д.б.н. Чесноков Ю.В., ответственный исполнитель: д.б.н., проф. Архипов М.В.

Рентгенографический метод успешно сочетается с автоматическим анализом цифровых рентгеновских изображений семян, позволяющий существенно ускорить оценку некоторых скрытых дефектов (Dell'Aquila, 2007; Marcos-Filho et al., 2010; Jiang et al., 2016; Bruggink, van Duijn, 2017), так и объективизировать рентген-позитивные признаки – степень плотности эндосперма семени (Колесников и др., 2019). Метод микрофокусной рентгенографии может успешно применяться как для оценки качества исходного семенного материала, непосредственно перед посевом (Архипов, 2021), так и для оценки качества получаемого зерна, в том числе, при использовании различных стимулирующих обработок вегетирующих растений биопрепаратами (Прияткин и др., 2016a, 2016b; Колесников и др., 2019).

Методика газоразрядной визуализации (электрофотографии) является важным дополнительным инструментом к комплексной методике оценки качества семенного материала, так как сводит воедино оценку семян с помощью морфометрических и автоматизированных рентгенографических методов (Arkhipov et al., 2014). Суть метода заключается в возможности регистрировать и количественно оценивать свечение, возникающее вблизи поверхности объекта (семени), при помещении его в электромагнитное поле высокой напряженности. Метод позволяет отличать жизнеспособные и нежизнеспособные семена древесных лесных пород на примере бука обыкновенного и клена обыкновенного (Čater, Batič, 1998), выявлять невыполненность семян (Архипов и др., 2014), а также структурно-

функциональные характеристики семян, обусловленные их сортовой принадлежностью (Архипов и др., 2015), поврежденностью возбудителями болезней грибной и бактериальной этиологии (Прияткин и др., 2004; Прияткин и др., 2018a; Priyatkin et al., 2019), а также поврежденностью сосущими вредителями (Прияткин и др., 2018b). С помощью метода электрофотографии возможно также классифицировать и выбирать лучшие семена перед посевом (Zanco, 2016). Имеются данные о связи характеристик газоразрядного свечения семян пшеницы с биологической продуктивностью растений (Архипов и др., 2016a).

Такой подход, в дополнении к оптическим методам исследования состояния поверхности семян, их геометрических и цветовых характеристик (Olesen et al., 2015; Мусаев и др., 2021) обеспечивает комплексную неинвазивную экспресс-оценку качества семенного материала, в том числе для оперативного прогноза лабораторной и полевой всхожести.

1.7 Управление фитосанитарным состоянием агробиоценозов пшеницы на основе применения в защите растений современных систем диагностики, моделирования и прогноза

Изменения климата оказывают существенное влияние на распространение вредных организмов, их биоэкологические особенности, взаимоотношения в системах патоген-хозяин. Сведения об этих изменениях будут иметь огромное значение для построения современных систем интегрированной защиты растений (Левитин, 2015). При этом на территории России преобладает тенденция потепления, темпы которого намного превышают среднеглобальные. Прирост среднегодовой температуры воздуха в среднем за десять лет на территории России составил 0,47°С (Сиптиц и др., 2021).

Для оценки и прогнозирования воздействия природно-климатических факторов на патогенез растений, обусловленный развитием возбудителей болезней применяют различные инструменты математического анализа

(Мохов и др., 2005). Математические модели эпифитотий позволяют рассматривать взаимодействие патоген – хозяин как комплексный процесс, зависящий от большого количества факторов, в том числе от устойчивости растений, скоростных параметров проникновения возбудителя в растительные ткани, латентного и инфекционного периодов, метеорологических условий, и т.п. Наряду с общепринятыми методами статистического анализа в фитопатологической практике используется широкий класс методов системного анализа, в том числе и вычислительные эксперименты.

Компьютерная техника и передовые информационные технологии открывают широкие перспективы для создания в стране современных систем управления защитой растений, контроля развития опасных фитосанитарных биообъектов (Ибрагимов и др., 1994; Слюсаранко, 1994; Гончаров и др., 1996; Терехов, Денисова, 2001; Санин, 2002).

Широкое применение в научных исследованиях современных информационных технологий превратило малодоступные методы многомерного статистического анализа в основной прием изучения особенностей развития возбудителей болезней растений. На основе применения различных регрессионных, интерполяционных (однопараметрические и многопараметрические модели) и численных методов (имитационные модели) строятся пространственно-временные модели развития эпифитотий, которые отражают объективность эпифитотиологического процесса и позволяют глубоко проникать в его сущность (Ван дер Планк, 1977; Панарин, 1987; Yang, 1995).

Информационное обеспечение фитомониторинга базируется на расчетных характеристиках, получаемых с помощью разработанных алгоритмов учета пространственного распределения патогенов и шкалах оценки развития вредоносности болезней (Стрижекозин, 1997, 2000; Ben-Ze'evl , Levy, Ben, 1993; Royle, 1994).

Созданы модели развития мучнистой росы (Полиевец, Терехов, 1988; Фиссюра, 1988; Rossberg, Kluge, 1989), желтой ржавчины (Coakley et al., 1988;

Luo, Zeng, 1995), церкоспореллеза пшеницы (Цветкова, Симон, 1992); черной пятнистотси пшеницы (Moschini et al., 2006); ринхоспориозной пятнистости ржи (Werres, Hindorf, 1991); желтой карликовости ячменя (Kendall et al., 1992); и др. Создаются геоинформационные системы на основе компьютерного картирования распространенности особоопасных болезней зерновых культур в различных регионах Российской Федерации (Ибрагимов, 2002).

Созданы шкалы оперативной оценки потерь урожая в зависимости от интенсивности развития болезней, алгоритмы и шкалы прогноза развития эпифитотий, применимые для анализа данных территориального фитомониторинга (Стрижекозин, Санин, 2003). Средневзвешенные показатели пораженности и показатели вредоносности, рассчитанные с помощью математических моделей, составляют информационную базу компьютерного построения карт, их пространственного распределения на различных территориальных уровнях. (Стрижекозин, 1999; Shaw, 1994).

В настоящее время большое значение приобретает разработка интегрированных пакетов прикладных программ для PC, содержащих детализированную информацию о фитопатогенных биообъектах важнейших с.х. культур (Кульков и др., 1997). Созданы компьютерные системы Sovet – 1; Plant Clining; More Crop; EPIPRE; Show Me Plant, Disease Forecasting System, EPJDAN, STCLASS, позволяющие диагностировать возбудителей, определять оптимальные сроки и объемы защитных мероприятий (Жаров и др., 1995; Harmuth, Weng, 1987; Stetter, 1988; Groll et al., 1989; Drenth et al., 1989; Ben-Ze 'evl et al., 1993; Flegg, 1993; Cu, Live, 1994; Nelson, 1995; Shaffer et al., 1995).

Моделирование взаимосвязей частоты встречаемости генов устойчивости и генов вирулентности в популяциях фитопатогенных микромицетов, прогноза появления новых генов вирулентности описано в работе S. Kiyosawa и соавторов (1984). Созданы модели “Gene-For-Gene” для дифференциации гибридов пшеницы по устойчивости к бурой ржавчине (Boskovic., Boskovic, 1993).

Создана информационно-аналитическая система генетических ресурсов пшеницы GRIS3.5, включающая базу данных мирового генофонда пшеницы и пакет программ генеалогического анализа. База данных содержит родословные, идентифицированные гены, оценки устойчивости / восприимчивости к различным биотическим и абиотическим стрессам для 100 тысяч сортов и линий пшеницы (Мартынов, Добротворская, 2005). С 2006 года во ВНИИР им. Н.И. Вавилова создается общеинститутская информационно-поисковая система VIRISS - VTR information Search System (Омельченко, Новикова, 2007).

На основе использования информационных технологий в центре по хлебным злакам в Южной Африке был разработан генный банк зерновых культур (Kilpatrick et al., 1985).

По результатам исследования патогенеза бурой ржавчины Стрижекозина, Пыжиковой (2001) получены различного типа зависимости для расчета уровней фитосанитарной сигнальной пораженности посевов с целью поиска объективного решения о целесообразности проведения фунгицидных обработок.

Механистические модели патогенеза позволяют, в частности, всесторонне имитировать патологический процесс во времени, изучить его механизм и учесть все возможные факторы, его определяющие, в том числе скоростные параметры развития инфекционных структур. При эмпирическом моделировании в защите растений применяют статистические модели инфекционного процесса типа «воздействие – отклик», описывающие результаты кумулятивного действия комплекса агроэкологических факторов на патогенез (Николаев и др., 2019).

В ВИЗРе разработка имитационных моделей, ориентированных на решение исследовательских задач защиты растений, велась в двух направлениях: моделирование систем типа посев – вредный объект и моделирование процессов, связанных с проведением защитных мероприятий (Левитин и др., 1999; Жаров и др., 1999).

Сотрудниками ВИЗР разработана структурная имитационная модель развития бурой ржавчины пшеницы, отражающая общие закономерности возникновения, протекания и затухания патогенеза, которая при ряде упрощающих предположений может быть сведена к уравнению Ван дер Планка для доли пораженной ткани листа (Дмитриев и др., 1995).

Результаты построения имитационной модели воздействия химических обработок на развитие бурой ржавчины приведены в работе Семеновой и соавторов (2005). Система работает под операционными системами MS Windows и включают в себя справочный материал по предметному наполнению программы, средства выполнения соответствующих вычислений, графическое сопровождение и таблицы результатов расчетов. Входная информации программы складывается из четырех групп параметров. В первую группу входят: данные о начальной стадии развития эпифитотии (плотность пустул); характеристика протекания процесса (сумма эффективных температур для выхода из латентного периода); коэффициенты, определяющие эмпирические зависимости, входящие в модель. Во вторую – данные, определяющие динамику листовой поверхности и биомассы растения. Третью группу составляют характеристики токсичности и персистентности фунгицида, а четвертую – метеоданные.

Результаты построения имитационных моделей патогенеза бурой ржавчины пшеницы приведены в работах Rossi и Racca (1997). Mundt и соавторы (1985) разработали компьютерную модель для изучения влияния генотипа растения-хозяина и первоначально пространственного распределения болезни на эпифитотии корончатой ржавчины овса в популяциях, состоящих из чувствительных и устойчивых сортов. В работе Subbarao и соавторов (1992) представлена математическая модель развития бурой ржавчины на листьях пшеницы в зависимости от их расположения на растении.

Математическая модель среднесрочного прогноза развития бурой ржавчины пшеницы предложена в работе Keqiang с соавторами (1995).

Во Франции работниками станции оповещения Бордо и Тулузы службы защиты растений созданы две модели прогнозирования воздушного распространения уредоспор биообъекта (SPIROUIL) и развития бурой ржавчины на посевах зерновых культур (EPURE). В моделях использованы в основном метеорологические данные, но, одновременно, учитываются и агрономические, фенологические показатели (Rocque, 1991).

Модели радиального распространения биообъекта по зерновым посевам от точечного источника заражения описаны в следующих работах: Gregory, 1968; Mundt, Leonard, 1986; Donald, 1989; Mundt, 1989; Ferrandino, 1996.

В работе Койшибаева и Пономарева (2005) определены основные параметры погодных условий периода вегетации пшеницы, оказывающие влияние на уровень развития бурой ржавчины и септориоза. Умеренное или эпифитотийное развитие болезней наблюдается в те годы, когда в июне-июле выпадают не менее 100-120 мм осадков, относительная влажность воздуха повышается до 65-70% и более, гидротермический коэффициент - не ниже 0,9-1,1.

Моделирование снижения урожая пшеницы под влиянием поражения листовой ржавчиной на образцах пшеницы с различной степенью устойчивости к патогену представлено в работе Roermund (1990). Скорость расширения очага болезни от места возникновения может достигать 6 см. в день (Zadoks, 1988). Скорость распространения эпифитотии может достигать 80-160 км. в неделю (Минкевич, 1976).

Eversmeyer и Kramer (1998) разработали модели для прогнозирования выживаемости перезимовавших инфекционных структур гриба *Puccinia triticina* в весенний период с учетом динамики метеорологических условий.

Методами статистического анализа временных рядов установлено, что многолетняя динамика поражения озимой пшеницы возбудителем бурой ржавчины может быть описана совместным влиянием максимального поражения растений *P. triticina* и *Blumeria graminis* в предшествующем году (Нескорожений, Зеленська, 1993).

Моделирование динамика уредоспор возбудителя бурой ржавчины в пограничном слое атмосферы представлено в работах Гузь, Мостового (1983); Никифорова и Санина (1994); Санина и др. (1983); Розакова (1983); Шнякиной (1983); Санина (1986); Ригаи и соавторов (1986). В соответствии с Gregory (1968), оседание спор на горизонтальную поверхность листа происходит по следующему закону: $V = t (U \cos \theta + V \sin\theta)$, где V - объем в 1 см ^{3} из которого за время t (сек.) осядут все споры; U – скорость оседания спор (1.26 см/сек); θ - угол наклона листа к стеблю. Отмечено, что критическая концентрация спор гриба на посевах в фазу колошения – 0,2 г., в период трубкования–колошения – 2 г., во время цветения 20 г. на 1 га (Санин и др., 1976). Минимальная скорость ветра, при которой начинается освобождение уредоспор – 0.5 м/сек. (Srivastava et al., 1987).

Использование спороулавливающей аппаратуры, устанавливаемой на автомобиле в прогнозировании появления бурой ржавчины на посевах пшеницы описано в работе Костенко, 2006. Смертность осевших на листовую поверхность уредоспор возбудителя бурой ржавчины при отсутствии увлажнения определена в работах Терехова и соавторов (1984). Продолжительность жизнеспособности уредоспор на сухих листьях пшеницы при температуре близкой к оптимальной – около 9 дней (Zadoks, Hees-Boukema, 1986). При чередовании температуры воздуха 34° днем и 22° ночью во влажной почве уредоспоры сохраняли жизнеспособность до 22 дней, на сухой почве – до 13 дней (Hassan, Kramer, 1986). Доля проявившихся пустул от осевших спор в зависимости от особенностей растения-хозяина определена Смирновой и соавторами (1991). При температуре выше 30°C, и ниже 2°C заражение растений не происходило (Терехов и др., 1984; Subba et al., 1989; Bickenstaedt et al., 1992; Kramer, Eversmyer, 1992; Eversmeyer, Kramer,1994).

Отмечено, что продолжительность инкубационного периода T развития возбудителей ржавчины определяется температурой воздуха и может быть выражена в виде зависимости: $T = \frac{c}{(t-k)}$, где c – сумма эффективных

температур; t – средняя температура воздуха за сутки; k – нижний температурный порог развития патогена (Терехов и др., 1983). Зависимость продолжительности инкубационного периода от генотипа растений описана в работе Gregory et al., 1978. По данным Широкова, Чмут (1993) длина инкубационного периода у восприимчивых сортов – 7-8 дней, у устойчивых – 9-10 дней.

Количественная оценка зависимости между степенью поражения пшеницы бурой ржавчиной по числу пустул патогена на листовой поверхности и урожаем зерна осуществлена в работах Stoyanov (1994) и Khan с соавторами (1997). Площадь пустул пустул возбудителя у медленно поражающихся сортов пшеницы увеличивается на 0,03 и 0,02 мм^2/сут., в то время, как у быстро поражающихся – на 0,04-0,07 мм^2/сут. (Гуйда, 1989). Влияние плотности и возраста пораженных тканей листьев пшеницы на спорообразование у гриба определено в работе Sache (1997).

Особый интерес в различных отраслях сельскохозяйственной науки, в том числе в селекции, интродукции новых культур, уделяется методологии создания идеальной модели сорта культуры («идеотип», «идеатип»). Создание модели идеального сорта дает возможность селекционеру более эффективно и экономично создавать сорта, максимально возможно приближающиеся к идеальным в конкретных условиях возделывания. Особая роль отводится в создании моделей сортов с высоким адаптивным потенциалом для органического земледелия, эффективность которого определяется, в основном, характеристиками возделываемой культуры и зависит от факторов окружающей среды. Это связано с отказом от применения в технологических схемах возделывания культуры пестицидов, регуляторов роста, минеральных удобрений, и т.п., в отличии от традиционного земледелия (Новоселов, 2006). Кроме того, следует ометить, что морфологические особенности растений также могут оказывать существенное влияние на их устойчивость к болезням. Поэтому важно, в том числе с использованием метода «позиционное клонирование» идентифицировать в растениях гены, ответственные за

экспрессию фенотипа . Однако результаты по тестированию моделей сортов культур могут быть протеворичивыми, поскольку идеотипы, как правило, разрабатываются для повышения адаптации растений к специфической среде возделывания (Porta-Puglia et al.., 2020).

Анализ литературных данных свидетельствует об актуальности проблемы всестороннего изучения факторов, определяющих продуктивность зерновых культур, в том числе связанных с эпифитотиями возбудителей болезней и подчеркивает необходимость разработки новых ресурсосберагующих технологий возделывания пшеницы с использованием инструментальных методов контроля качества семенного материала, программирования урожайности и прогноза развития возбудителей на основе методов компьютерного анализа и моделирования.

1.8 Взаимодействие ризосферных бактерий с растениями и их роль в повышении продуктивности и фитосанитарной стабильности агробиоценозов

Важную роль в повышении продуктивности сельскохозяйственных культур, и в том числе зерновых, имеют исследования процессов взаимодействия растений с почвенными микроорганизмами, образующими различного типа ассоциации, адаптирующие растения к изменяющимся условиям окружающей среды (Шапошников и др., 2015).

В области ризосферы и ризопланы растений микрофлора в основном представлена грамотрицательными бактериями из родов *Azospirillum, Azotobacter, Agrobacterium, Enterobacter, Klebsiella, Pseudomonas, Xantomonas* и др. и грамположительными бактериями рода *Bacillus*, актинобактериями из родов *Nocardia, Micromonospora, Streptomyces* и др., а также микроскопическими грибами родов *Penicillium, Gliocladium, Talaromyces, Humicola* и др. С корневой системой растений бактерии, населяющие области ризосферы и ризоплана формируют прочные ассоциации, образуя специфические ризосферные бактериальные сообщества. Данный тип

взаимоотношений в литературных источниках описывается терминами «ассоциативные бактерии», «ассоциативные взаимоотношения», «ассоциативный симбиоз» (Феоктистова и др., 2016).

Ризобактерии оказывают плейотропное воздействие на растения. В частности, модификация архитектуры корневой системы растений, обусловленное действием биологически активных веществ ризобактерий из группы PGPR проявляется, в основном, в усилении бокового ветвления корней и корневых волосков. Однако характер влияния биологически активных веществ на корни растений модет изменяться под дейтвием множества абиотических и биотических факторов (Vacheron et al., 2013).

Взаимоотношения между растениями и их ризомикробиомом сложны и варьируют как в зависимости от генотипов растений, так и от популяций микроорганизмов, населяющих почву. Развитие в ближайшем будущем метатранскриптомики и метапротеомики позволит получить новые знания в понимании активности и экологии естественных популяций рост стимулирующих бактерий в ризосфере (Vacheron et al., 2013).

Устойчивые и восприимчивые к болезням зерновые культуры отличаются видовым составом микробных сообществ ризосферы. В частности, после инокуляции почвы головневыми спорами *T. controversa*, где были посеяны устойчивые к болезни растения пшеницы было отмечено увеличенное количество микроскопических грибов (*Sordariomycetes* и *Mortierellomycetes*) по сравнению с контролем. В варианте опыта с восприимчивыми к карликовой головне растениями увеличилось число микросокопических грибов *Dothideomycetes* и бактероидов *Bacteroidia* (Xu et al., 2021).

Основные механизмы положительного влияния ризобактерий на жизнедеятельность растений, обусловлены прямой или непосредственной стимуляцией роста растений посредством синтеза стимуляторов роста (фитогормонов и других метаболитов) и улучшения питания растений; стимуляция роста растений путем вытеснения и подавления развития

почвенных фитопатогенных микроорганизмов, в том числе микроскопических грибов и бактерий (Fahad et al., 2015). Некоторые бактерии контролируют развитие болезней, ограничивая количество железа, доступного для фитопатогенов (Garcia-Fraile et al., 2015).

Ризобактерии могут повысить адаптивный потенциал растений к абиотическим стрессам, включая их произрастание на загрязненных тяжелыми металлами почвах и даже способны увеличить способность растений усваивать определенные тяжелые металлы, что позволяет их использовать в фиторемедиации загрязненных почв (Tak et al., 2013).

Видовой состав ризобактерий определяется стадией сукцессии микробных сообществ и непосредственно связан с историей землепользования. В частности, бактерии р. *Massilia* часто встречаемые представители ризосферы на ранней стадии сукцессии микробиома и обладают способностью прикрепляться к тканям растений и мицелию грибов и продуцировать сидерофоры и литические ферменты Они могут играть важную роль в подготовке почвы для последующей заселенности другими видами бактерий (Schlatter et al., 2019). Измерение микробиологических параметров почвы в начале посева зерновых культур может помочь точно предсказать качество и количество зерна (Asad et al., 2021). Бактерии, широко используемые в биологической защите растений: *Pseudomonas* spp., *Bacillus* spp., *Serratia* spp. и *Paenibacillus* могут индуцировать некоторые ферменты, связанные с проявлением устойчивости растений к болезням, включая хитиназу, фенилаланин-аммиачную лиазу, пероксидазу, липоксигеназу, супероксиддисмутазу (Xie et al., 2021).

Выявлено улучшение роста корневой системы растений на фоне снижения алюминиевого стресса в условиях повышенной кислотности почвы при инокуляции растений указаным бактериальным штаммом. Положительное действие ризобактерий на рост растений в данном случае не было связано со способностью бактерий утилизировать АЦК за счет АЦК-дезаминазной активности (Шапошников и др., 2015). Бактерия *Pseudomonas fluorescens*

LPK2 продуцируют хитиназу и β-глюканазу, и в связи с этим, подавляют фитопатогенных грибов, в том числе р. *Fusarium,* т.к. основными компонентами клеточной стенки грибов является хитин и β-глюкан (Garcia-Fraile et al., 2015).

Бактерии рода *Sphingomonas* – грамотрицательные бактерий, образуют колонии желтого цвета за счет образования желтого пигмента. В роде *Sphingomonas* было идентифицировано более 130 видов. Многие штаммы бактерий *Sphingomonas* способны разлагать ксенобиотические и стойкие загрязнители, в том числе полициклические, ароматические углеводороды, полихлорированные дифенилы, фенантрен, гербициды и фунгициды (Wachowska et al., 2020). В часности, внесение в почву с растениями S. chlorophenolica способствовало более быстрой деградации по сравнению с инокулированной почвой без растений пентахлорфенола, используемого в качестве пестицида и дезинфицирующегосредства. Кроме того, при сипользовании *S. chlorophenolica* определено снижение фитотоксичности растений в отношении указанного соединения (Dams et al., 2006).

Бактерии *Sphingomonas* редко используются для защиты растений от патогенов, но они применяются для стимулирования роста растений. Бактерии естественным образом колонизируют листья и колосья пшеницы и потенциально могут подавлять патогенные инфекции. Применение суспензии *Sphingomonas* S11 в течение вегетационного периода озимой пшеницы снижало содержание дезоксиниваленола (ДОН) в зерне, зараженного *Fusarium culmorum*, более чем в 22 раза (Wachowska et al., 2020).

Исследования биологической эффективности бактерий р. *Bacillus* на различных культурах были нацелены исследователями на разработку биологических средств защиты растений т.к. бактерии способны сохраняться длительное время в форме эндоспор, что обеспечивает длительный срок их хранения, в том числе в коммерческих продуктах. Благодаря свойствам активно колонизировать ризосферу растений и производству различных антибиотиков с широким спектром противогрибковой активности, виды

Bacillus могут снижать развитие многих возбудителей болезней растений (Stein, 2005). Однако жизнедеятельность бактерий большое влияние оказывают внешние факторы, такие как свет, температура и влажность. В связи с этим, при определенном сочетании метеофакторов их эффективность в полевых условиях нестабильна и может существенно снижаться в отношении вредных организмов (Zhang et al., 2020).

Бактерии р. *Bacillus*, и в частности *B. subtilis* Z-14, синтезтезируют липопептиды – противогрибковые вещества, включающие антибиотики, в том числе итурины, фенгицины и сурфактины (Moyne et al., 2004). Липопептидные антибиотики оказывают прямое или косвенное ингибирующее действие на возбудителей микозов растений, но не токсичны для самих растений (Zhang et al., 2017). Липопептидные антибиотики относительно стабильны по своей природе и устойчивы к кислотам и щелочам, что гарантирует их антагонистическое действие. Итурины и фенгицины обладают широким спектром действия против микросокпических грибов (Guo et al., 2014).

B. subtilis способен синтезировать сурфактин и повышать устойчивость пшеницы к болезням. *B. subtilis* оказал существенное влияние на снижение поражения пшеницы возбудителем мучнистой росы. Обработка растений бактериями может индуцировать биосинтез и метаболизм терпеноидов, активность хитиназы, фенилпропаноидов, активизировать механизмы активации защитных сигнальных путей. что указывает на то, что борьба с мучнистой росой пшеницы посредством применения *B. subtilis* тесно связана с индуцированной устойчивостью растений (Xie et al., 2021).

1.9 Эффективность почвенных кондиционеров и стимулирующих обработок растений биопрепаратами для повышения адаптивного потенциала растений и снижения вредоносности их болезней

Интенсификация сельского хозяйства, сопровождаемая урбанизацией и индустриализацией, резко снизила плодородие почв и ускорила темпы образования отходов различных отраслей производства (De Boodt et al., 1984).

Устойчивое производство продуктов питания стимулирует глобальные инновации, направленные на более эффективное использование различных отходов для производства продуктов с добавленной стоимостью, таких как кондиционеры почвы. В настоящее время кондиционеры почвы имеют большое значение для улучшения роста растений и повышения плодородия почвы, а также сокращения использования химических удобрений (Babla et al., 2022).

Одной из рекомендуемых стратегий восстановления плодородия почвы является кондиционирование почвы, основанное на использования некоторых природных веществ или химически синтезированных соединений, способных улучшить состояние почвы и в том числе с точки зрения ее влагоемкости, чтобы создать лучшую среду для адекватного роста и развития растений (Hamdy, Sfeir, 2012). Существуют различные типы кондиционеров почвы, которые можно подразделить на органические, состоящих из навоза, зеленого навоза, гуминовых веществ, торфа и мульчи, а также неорганические, включая гипс, серу и водорастворимые полимерные (полиэтиленгликоль, поливиниловый спирт) и гидрогелевые полимерные соединения (Zia-ur-Rehman et al., 2016; Singh et al., 2020). При возделывании сельскохозяйственных культур практикуют применение в качестве кондиционера почвы совместное гранулирование угольных отходов с агроотходами (Babla et al., 2022).

В качестве почвенных кондиционеров могут быть использованы натуральные полимеры: это экологически чистые материалы , изготовленные из натуральных растительных материалов, таких как белки, крахмал, целлюлоза, резина или продукты животного происхождения, такие как хитозан и желатин. Синтетические полимеры получают путем путем сшивания, когда молекулы полимера соединяются ковалентными связями, либо ионными связями с использованием гамма-лучей (Abobatta, 2019). Полимерные материалы классифицируют на однородные, которые состоят из гомополимерного гидрогеля с полимерной цепью одного типа (Iizawa et al.,

2007). Смешанные полимеры содержат два или более типов сополимерного гидрогеля (Zhang et al., 2013a, 2013b). Мультиполимер – этот вид полимера считается наиболее важной группой полимеров и состоит из двух или более разных типов из природных и синтетических полимеров в одном соединении: взаимопроникающий полимерный гидрогель (Hacker et al., 2011). В соответствии с физическими свойствами различают кристаллические полимеры «Твердые частицы», аморфные полимеры «Жидкая форма», полукристаллические полимеры, также называемые «Стекловидными полимерами» (Marandi et al., 2013).

Водорастворимые полимеры – этот тип гомогенных и смешанных полимеров включает линейные цепи (Zhang et al., 2006), включающие: поли (этиленгликоль), поли (виниловый спирт), полиакрилаты, полиакриламид, гелеобразующие полимеры (Зоолшоев и др., 2016). Водорастворимые полимеры не растворяются в воде и являются наиболее часто используемыми при выращивании растений в сельскохозяйственном секторе. Кристаллы поглощают воду до насыщения, они могут поглощать до ста раз больше своего первоначального размера и выделять воду и питательные вещества по мере необходимости растением (Azzam, 1980). Полимерные материалы различаются по способности поглощать воду. В частности, уперпоглощающий полимер (SAP) является одним из наиболее важных типов полимеров, используемых в настоящее время в сельском хозяйстве, благодаря таким свойствам, как высокая впитывающая способность и удержание воды – 1 г сухого вещества полимера может поглощать от 400 до 500 г воды (El-Hady et al., 1981).

Основная функция полимерных гидрогелей в сельском хозяйстве заключается улучшении физических характеристик почвы, в связывании и сохранении воды в почве, удержания питательных веществ, использовании в качестве компонентов пестицидов, стратификация семян, снижение эрозии почвы. Есть два фактора, которые определяют количество воды, поглощаемой полимером: наличие больших количеств карбоксильных групп, которые

связаны с боковой цепью полимера и с которой могут связываться молекулы воды; структурный состав полимеров и наличие соответствующих пор в их структуре, что позволяет поглощать большое количество воды (Abobatta, 2019; Bakass et al., 2002).

В Италии активно используют при возделывании с.-х. культур и в том числе пшеницы полимерный почвенный кондиционер Barbary-Plant G2, содержащий еобходимые растению макро – и микроэлементы и др. компоненты (Hamdy, Sfeir, 2012). В России наилучший эффект от применения полиакриламидного гидрогеля «AQUASORB» («SNF s.a.s.», Франция), представляющего собой сшитый сополимер акриламида акриловой кислоты, нерастворимый в воде, был отмечен на образцах легкосуглинистой светло-каштановой почвы при внесении гидрогеля в дозе 40 кг га$^{-1}$ (Данилова и др., 2018). При внесении гидрогеля диапазон доступной для растений влаги увеличился с 17% до 30%, т. е. запасы продуктивной влаги составили от 24 до 50,4 мм водн. сл., в зависимости от дозы гидрогеля. В работе Даниловой, Табынбаевой (2019) проведено испытание отечественного гидрогеля «Ритин-10» (ООО «РИТЭК–ЭНПЦ», г. Электрогорск, Россия). Самая высокая продуктивность пшеницы была выявлена в варианте опыта при сочетании N_{120} + «Ритин-10», в котором урожайность зерна была на 10 ц/га больше, чем на контроле. Результаты биологического обоснования применения экологически безопасного гидрогеля «Штокосорб 660», в составе которого отсутствует токсичный акриламид представлены в работе Ревенко, Агафонова (2018). Анализ многочисленных исследований отечественных и зарубежных ученых по технологии применения гидрогелей различных отраслях сельского хозяйства показал, что данный агроприем недостаточно проработан, особенно применительно к полевым севооборотам и культурам (Старовойтов и др., 2015).

Биостимуляторы роста растений можно классифицировать по их природе, механизму действия и получаему эффекту от применения при возделывании сельскохозяйственных культур. Наиболее часто в практике

сельскохозяйственного производства используются гуминовые вещества, экстракты водорослей, биополимеры (хитозан и его производные), микробные биостимуляторы на основе микоризных и не микоризных грибов, клубеньковых бактерий и грибов гриба р. *Trichoderma* (Abobatta et al., 2020).

Биостимуляторам, состоящием из смеси пептидов и аминокислот, полученных из сырья животного или растительного происхождения (Xu, Geelen, 2018) в настоящее время уделяется больше внимания т.к. они способны существенно повысить продуктивность и качество урожая (Colla et al., 2015), а также снизить последствия абиотического и биотического стресса на растения, вызванного засолением, засухой и тяжелыми металлами. Благотворное воздействие белковых гидролизатов на растения может быть связано со стимулирующим их влиянием на микробиомы растений, играющие важную роль в процессах усвоения растениями питательных веществ и воды. Недавними исследованиями были предоставлена доказательства того, что состав и активность микробиомов растений изменяется при применении белковых гидролизатов (Colla et al., 2017).

Белковые гидролизаты классифицируют в зависимости от используемого сырья для полученияи способа гидролиза. Рост стимулирующий эффект на растений от применения белковых гидролизатов основан на активации растительных ферментов и антиаксидантов неферментной природы, сопровождается биохимическими изменениями в первичном и вторичном метаболизме растений посредством увеличения активности нитратредуктазы, синтеза глютамина, повышения Fe (III) – хелатредуктазной активности (Vioque et al., 2000). Белковые гидролизаты вызвают изменения в растениях сходные с действием фитогормонов – ауксина (Ertani et al., 2018) и гибберлина (Colla et al., 2014).

Применение белковых гидролизатов влияет на азотный обмен растений, изменяет соотношение K/ Na в сторону увеличения, активизирует накопление пролина в листьях, повышается устойчивось растений к засолению (Abobatta et al., 2020). Стимулирующее действие белковых гидролизатов на растения

сходное с эффектом от индолилуксусной кислоты может быть обусловлено повышенным содержанием в тканях триптофана – основного предшественника для биосинтеза индолилуксусной кислоты. Пептиды, входящие в состав белковых гидролизатов могут играть роль в биорегуляции роста растений, в том числе корней и формировнию различных механизмов защиты от биотического и абиотического стрессов. В частности, могут способствать заживлению повреждений у растений посредством активации каллусных клеток и апикальной меристемы. Белковые гидролизаты индуцируют метаболизм углерода в растениях и способны стимулировать поглощение питательных веществ корневой системой, влияют на доступность для растений минеральных веществ (Ghorbani et al., 2014; Colla et al., 2017; Ertani et al., 2018; Abobatta et al., 2020). Однако, чтобы полностью практически реализовать потенциал белковых гидролизатов, необходимы дальнейшие исследования, требуется изучить механизмы, обеспечивающие благотворное их воздействие на растения и определить оптимальных аминокислотный состав и способы применения в различных технологиях возделывания сельскохозяйственных культур (Colla et al., 2017).

Альтернативой химическим средствам защиты растений является использование индукторов болезнеустойчивости растений, способные стимулировать врожденные механизмы защиты растений, в том числе изменять обмен веществ в неблагоприятную для возбудиетля болезни сторону. При этом формирование защитного ответа обусловлено экспрессией генов под действием сигнальных молекул и экзогенных биологически активных веществ (БАВ) — иммуномодуляторов (Попова и др., 2021). Перспективным индуктором болезнеустойчивости растений является хитозан, однако его биологическая эффективность определяется его составом и свойствами: молекулярной массой, наличием примесей, степенью замещения и др. Чем ниже молекулярная масса полимера, тем легче он проникает в ядра клеток растений, способствуя ускорению морфогенеза, накоплению фитоалексинов и хитиназ, вызывая ускорение роста и

повышенную устойчивость к фитопатогенам (Варламов и др., 2019). Хитозан обладает высокой ростостимулирующей и элиситорной активностью, выраженными антибактериальными и фунгицидными свойствами. Совместим с органическими и микробиологическими аналогами, усиливает и пролонгирует их действие, оставаясь безопасным для растений, почвы и человека (Павлюшин и др., 2010). Хитозан является биофунгицидом, биобактерицидом и биовируцидом, тем самым обеспечивая комплексную защиту растений от вредных организмов (Зимина и др., 2018). Хитозан – N-деацетилированное производное хитина, основного структурного полимера, являющихся, в частности, составным элементом оболочки насекомых, экзоскелета ракообразных. По химической природе хитозан – это линейный полимер, природный полисахарид, состоящий из двух субъединиц: D-глюкозамин и Nацетил-D-глюкозамин, связанных между собой 1,4-гликозидными связями (Зимина и др., 2018).

Основным источником хитинсодержащего сырья являются отходы от переработки различных ракообразных — крабов, креветок и криля. Однако постоянно ведутся поиски хитинсодержащего сырья, специфичного для отдельных регионов (Строкова, Подкорытова, 2018). Однако данное исходное сырье может быть загрязнено ядохимикатами, тяжелыми металлами и другими отходами производств. Альтернативой хитозану, получаемому из панцирей ракообразных, являются хитозан-глюкановые комплексы (ХтГК), выделенные из высших базидиальных грибов. Однако процесс получения чистого хитозана из биомассы грибов достаточно сложный и не дешовый. Поэтому выделяют не хитозан, а ХтГК, который по физико-химическим свойствам сходен с хитозаном ракообразных. К числу наиболее перспективных, безусловно, относят виды базидиальных грибов – шиитаке *Lentinula edodes* (Berk.), *Armillaria mellea* (Vahl: Fr.) P. Kumm (Минаков и др., 2019). Для практического применения в растениеводстве в России были разработаны ряд биопрепаратов на основе хитозана с коммерческими наименованиями «Нарцисс», «Экогель» и «Агрохит» (Варламов и др., 2019).

1.10 Совершенствование концептуальных подходов для стратегии оптимизации фитосанитарного состояния посевов пшеницы

Болезни пшеницы существенно ограничивают ее урожайность. В среднем от болезней теряется до 20-30% зерна пшеницы, поэтому очень важно определить влияние возбудителей болезней листьев на урожайность и экономическую эффективность возделывания яровой пшеницы. На землях и в хозяйствах с неблагоприятным фитосанитарным состоянием практически невозможно реализовать в полной мере достижения селекции, семеноводства и прогрессивных технологий (Захаренко В.А., Захаренко А.В., 2005).

Общая концепция современного этапа развития сельского хозяйства предусматривает повышение его адаптивности и использование естественных экологических механизмов регулирования функционирования агроценозов (Павлюшин и др., 2013; Letunov et al., 2022). Такой подход даёт возможность влиять на количественные взаимоотношения в системе патоген-хозяин-среда на популяционном, молекулярном и надорганизменном уровнях, используя современные методы и средства фитосанитарного мониторинга (Павлюшин и др., 2019), а также разрабатывать научно обоснованные системы защиты растений (Долженко и др., 2021).

Основной постулат интегрированной защиты растений предопределяет не простое совмещение двух и более способов борьбы с вредными организмами, а интеграцию всех доступных способов с учетом природных регулирующих и лимитирующих элементов окружающей среды (Павлюшин и др., 2013). При выборе тех или иных приемов защиты растений необходимо иметь исчерпывающую информацию об адаптивном потенциале сельскохозяйственных культур, продуктивности и фитосанитарном состоянии агроэкосистем (Павлюшин, Лысов, 2019).

Среди сложного комплекса факторов, влияющих на адаптивный потенциал пшеницы, в том числе на устойчивость к болезням, можно выделить основные – метеорологические условия периодов вегетации зерновых культур и особенности сортов как важнейшего средообразующего фактора в агробиоценозе (Кривобочек, 2014). Изменения климата будут

определять распространение вредных организмов, их биоэкологические особенности, взаимоотношения в системах патоген-хозяин (Левитин, 2015).

Существуют различные подходы к оценке влияния метеорологических факторов на интенсивность развития болезней и разработки научно-обоснованных систем прогноза (Степанов, Чумаков, 1972; Санин, 2007а, 2016; Чекмарёв и др., 2017). Построение имитационных моделей различных типов патогенеза с целью краткосрочного прогноза развития болезней и оптимизации сроков применения защитных обработок культуры является достаточно сложной задачей (Жаров и др., 1999).

В процессе развития у растений выработались разнообразные защитные реакции на воздействие патогенов: видимые физические (фенотипические) и невидимые структурные изменения в органах и тканях (Чесноков, 2007). Особое внимание в различных отраслях сельскохозяйственной науки уделяется методологии создания идеальной, адаптированной к определенным условиям модели сорта культуры, что дает возможность селекционеру более эффективно и экономично создавать сорта, максимально возможно приближающиеся к оптимальным в конкретных условиях возделывания (Новоселов, 2006).

Известно, что урожайность растений определяется комплексом сложных физиологических (фотосинтез, рост и дыхание) и биохимических процессов, экологическими условиями и агротехникой выращивания, однако главная роль в формировании урожая отводится фотосинтезу. Один из важных показателей физиологического состояния растений и фотосинтетического аппарата ФСА - количественные и качественные изменения пигментной системы. Часто они характеризуют направленность адаптивных реакций при воздействии стрессовых условий. Нашими исследованиями было установлено, что обработка растений полифункциональными комплексами на основе хитозана и бактерий-антагонистов существенно снизила пораженность пшеницы болезнями, что положительно сказалось на содержании хлорофиллов *a* и *b* в листьях пшеницы (Новикова и др., 2022).

В настоящее время одной из актуальных задач селекции является создание элементного «портрета» сортов зерновых культур для выявления

генотипов, содержащих оптимальное соотношение микроэлементов, а также обладающих значительным потенциалом адаптации к агроэкологическим условиям возделывания (Marschner, 1995). Производство пшеницы лимитировано абиотическими и биотическими стрессами, связанными как с фитосанитарным состоянием агроценозов, так и с химическим загрязнением окружающей среды (Митрофанова, 2012; Sweeney, 2000; Dordas, 2008). Несмотря на то, что устойчивость растений к возбудителям болезней — это генетически контролируемый признак, его проявление обусловлено влиянием окружающей среды и может быть связано с неоднородной структурой популяций фитопатогенов (Гультяева, 2015), с дефицитом или избытком макро- и микроэлементов, а также зависит от поступления в растения элементов, обладающих фитотоксичностью (Hanson et al., 2007).

Степень развития возбудителей болезней из разных паразитических групп (факультативных, облигатных паразитов) зависит от определенного соотношения у растений химических элементов (Dordas, 2008). При развитии патогенеза в растениях нарушаются основные физиологические функции, особенно передвижение питательных веществ вверх от корней, перераспределение химических элементов в органах, утилизация элементов. Причем в одних органах может наблюдаться недостаток химических элементов, а в других — переизбыток вплоть до токсической концентрации.

При поражении пшеницы возбудителями болезней изменяются физиологические и биохимические параметры растений. Растения противостоят действию патогенов путем задействования ряда окислительно-восстановительных процессов. В частности, устойчивые к болезням сорта, по сравнению с восприимчивыми, отличаются более интенсивным протеканием окислительно-восстановительных реакций в растительной клетке с участием таких ферментов как пероксидазы, каталаза, аскорбатоксидаза, полифенолоксидаза, дегидрогеназы (Гончар, Щербакова, 2014).

В качестве надежных индикаторов природных объектов в натурных исследованиях могут являться их спектральные характеристики, полученные с использованием оптических датчиков (тестеров), отображающиеся в виде оптических вегетационных индексов: нормализованного относительного

вегетационного индекса NDVI (Фесенко, Шпанев, 2021; Шпанев, Смук, 2021) и обратного вегетационного индекса (Сурин, Кувалдин, 2009; Сурин и др., 2011).

Для создания новых технологий, способствующих решению задач агрономии и защиты растений с использованием оптических методов, необходимы данные по оптическим характеристикам (отражательной и излучательной способности) различных биологических объектов. Оптические спектры являются их своеобразными «оптическими портретами», которые характеризуют изменение состояния жизнедеятельности, в том числе под влиянием разнообразных факторов среды (Сурин, 2013a). Для растительных объектов характерна низкая отражательная способность в синей и красной областях спектра, некоторое увеличение ее в зеленой области, и резко выраженный максимум в ближнем инфракрасном диапазоне (Сурин, 2013b). Специфичность кривых спектральной отражательной способности растительности, позволяющая с достаточной точностью распознавать сельскохозяйственные культуры вплоть до отдельного вида, зависит от типа патогенеза, как реакции растений на внедрение и развитие возбудителей болезней.

Инструментальные высокотехнологичные методы анализа отвечают современным требованиям к определению качества посевного материала. Они учитыв Zhang ают особенности и дефекты внутренней структуры, от которой зависит жизнеспособность семян. Так, в ряде статей (Прияткин и др., 2006a, 2006b; Мусаев и др., 2017) подробно описываются возможности и преимущества таких методов, их расширенная информативность. В частности, применение микрофокусной рентгенографии посредством визуализации внутренней структуры семян позволяет выявить такие признаки, как: наличие внутренней травмированности, биологическая степень выполненности зародыша и эндосперма, наличие инфицирования болезнями, заселенность и поврежденность вредителями. При селекции овощных культур без проращивания возможно определить раздельноплодность, одноростковость, самофертильность (эксперименты по изучению свеклы столовой). Различия между сортовыми-популяционными и инбредными семенами (опыты с

редисом) также хорошо выявляются с помощью микрофокусных рентгенограмм по степени выполненности внутренних структур. При этом следует особо отметить, что в процессе исследования семенной материал полностью сохраняется, что обеспечивает его дальнейшую пригодность для других методов анализа или посева. Такая возможность особенно актуальна в селекционной работе при малых партиях материала (Мусаев и др., 2017).

На рынке удобрений из года в год появляется огромное количество новых микроудобрений и органо-минеральных препаратов. Агрономическая эффективность этих новинок зачастую неизвестна ввиду их большой маркетинговой составляющей и малой изученности. Особо важна здесь роль независимой экспертизы, сопоставления данных об эффективности микроудобрений и органо-минеральных препаратов (Колесникова и др., 2019).

Высокие урожаи зерновых выносят из почвы большое количество микроэлементов, в связи с чем включение их в систему агроприемов интенсивной технологии актуально и экономически обоснованно (Привалов, Цыганов, 2009). Органо-минеральные удобрения не только обогащают почву элементами питания растений, но и улучшают ее структуру, водно-физические свойства, повышают емкость поглощения. Гуминовые вещества способны образовывать устойчивые и доступные для растений комплексные соединения с фосфатами, предотвращается их фиксация алюминием и железом, происходит оптимизация фосфорного питания (Наумова и др., 2000).

В последнее время внимание исследователей привлекают полимерные гидрогели, обладающие высокой водосорбирующей способностью, которые могут использоваться в растениеводстве для улучшения влагообеспечения растений (Тибирьков, Филин, 2012). Их использование снижает испаряемость, способствует сохранению продуктивной влаги в корнеобитаемом слое в течение всего вегетационного периода (Ревенко, Агафонов, 2018).

ГЛАВА 2. НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ, ОБЪЕКТ, ПРЕДМЕТ, МЕСТО И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

2.1 Концептуальная схема исследований

Концептуальная схема исследований по управлению фитосанитарным состоянием агроценозов мягкой пшеницы показана на рисунках 1 и 2. Первым этапом являлось совершенствование системы фитосанитарного мониторинга, необходимой для получения детальной информации о посевах, на уровне, достаточном для анализа, прогноза и контроля фитосанитарной обстановки (рис. 1).

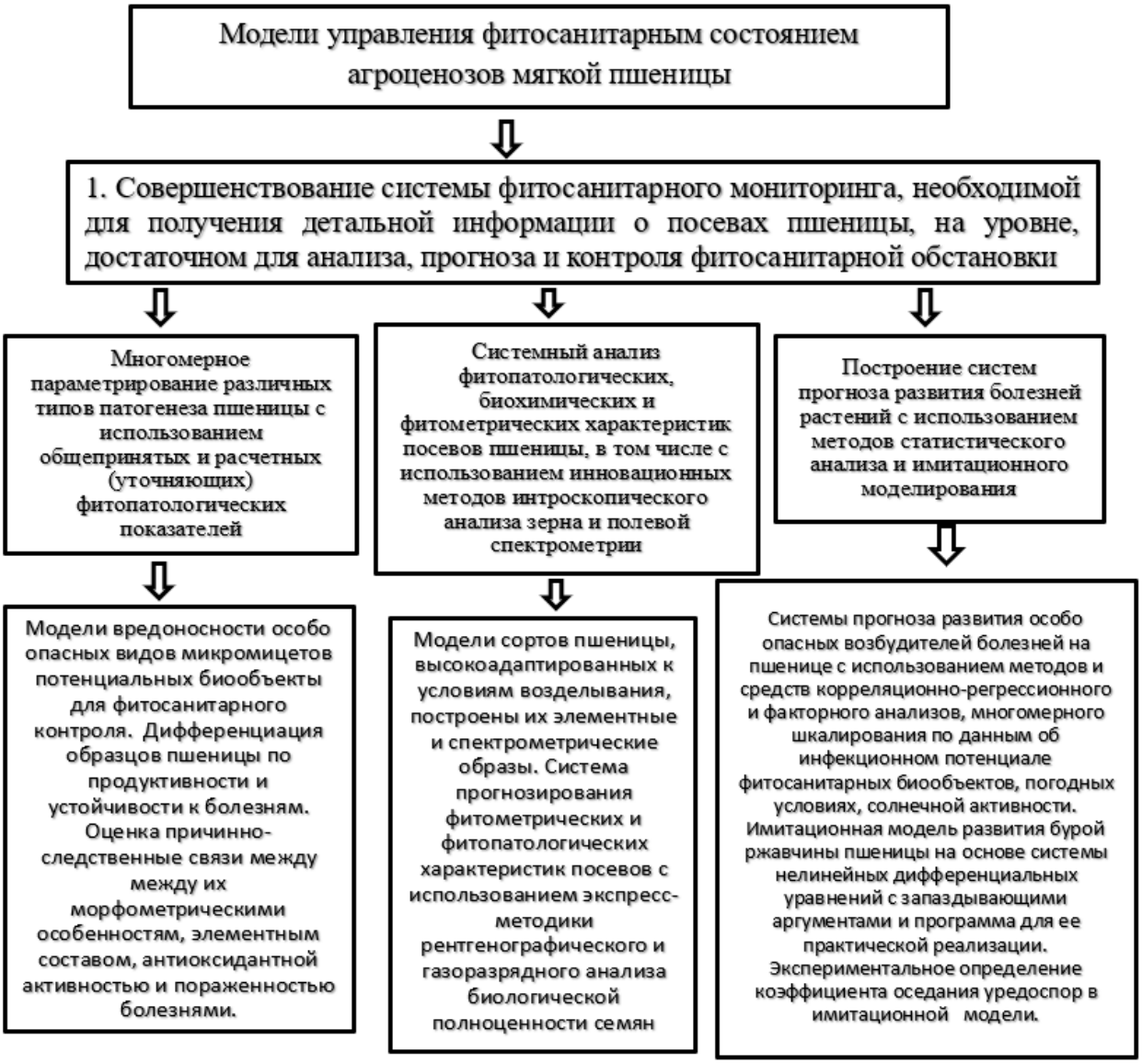


Рис. 1 – Первый этап исследований по управлению фитосанитарным состоянием агроценозов мягкой пшеницы

Второй этап включал совершенствование биологических приемов защиты культуры от болезней (рис. 2).

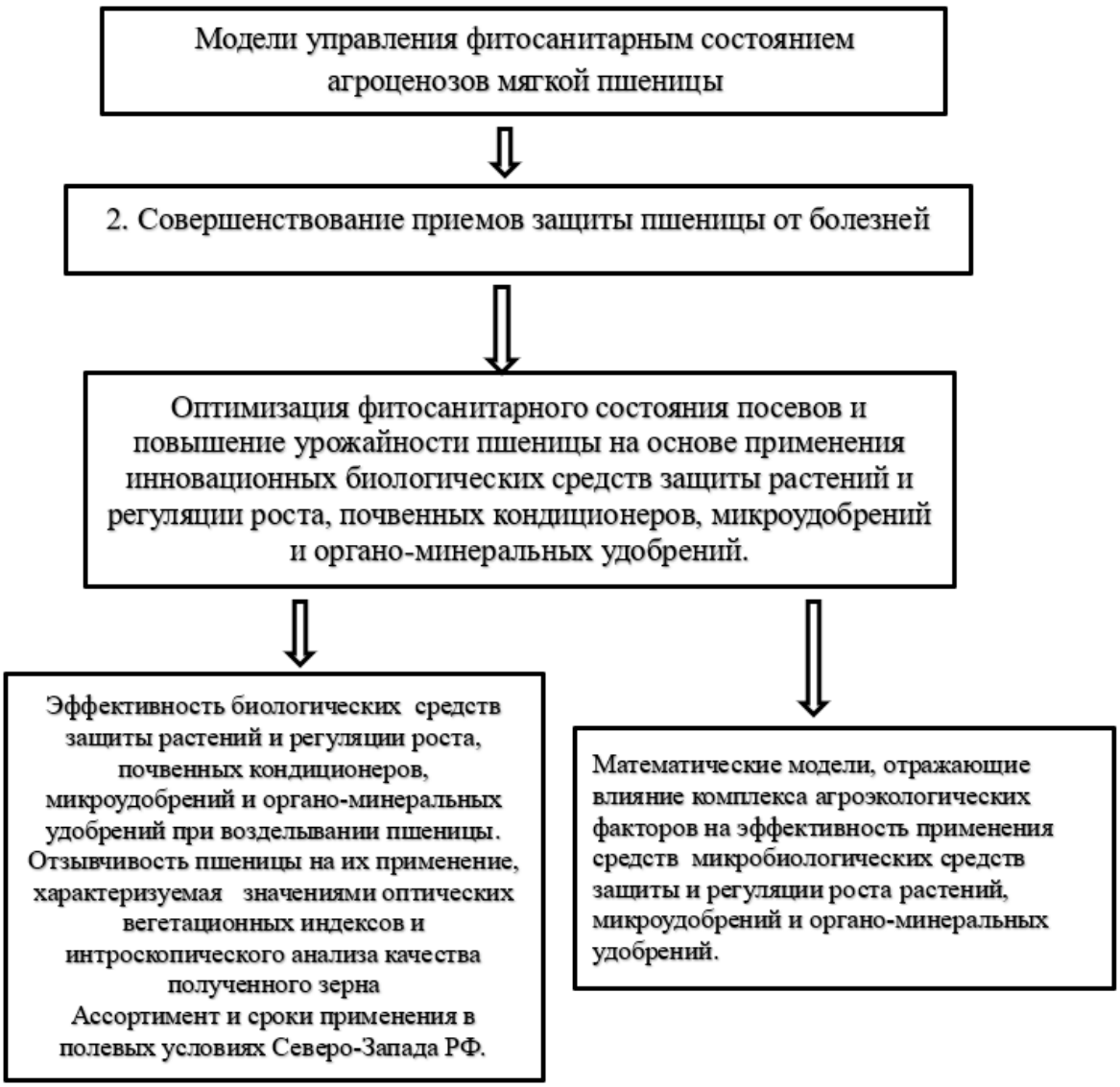


Рис. 2 – Второй этап исследований по управлению фитосанитарным состоянием агроценозов мягкой пшеницы.

2.2 Объект, предмет и места проведения исследований

Научное обоснование биологизации защиты мягкой пшеницы от болезней на Северо-Западе Российской Федерации предполагает расширенное изучение сортов – как одного из факторов влияющих на фитосанитарную ситуацию в агроценозе пшеницы, в частности оценку генетического потенциала устойчивости к абиотическим и биотическим стрессам, комплексу хозяйственно-ценных признаков и адаптивной способности.

Объектом исследования являлись сорта и селекционные линии мягкой пшеницы *Triticum aestivum* L. ярового и озимого типа развития из отдела генетических ресурсов пшениц ФГБНУ «ФИЦ Всероссийского института генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова». Были оценены их селекционно-ценные признаки, в том числе – устойчивость к болезням, фитопатологические и морфометрические показатели продуктивности и их изменение в зависимости от агроклиматических условий возделывания. Показатели, полученные в рамках данного этапа исследования были использованы для создания параметрических моделей.

Для совершенствование приемов защиты пшеницы от болезней была изучена эффективность средств биологической защиты и регуляции роста растений, а также отзывчивость сортов на их применение.

В работе использовали:

1. Микробиологические препараты: «Гамаир, СП» (*Bacillus subtilis* М-22), «Витаплан, СП» (*B. subtilis* ВКМ В-2604D и *B. subtilis* ВКМ В-2605D), включенные в Государственный каталог пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации («Гамаир, СП» – срок регистрации 21.02.2029; «Витаплан, СП» – на перерегистрации).
2. Штаммы ассоциативных ризобактерий *B. subtilis* ВКМ В-2604D и *B. subtilis* ВКМ В-2605D («Витаплан», КЖ», соотношение 1:1, титр живых клеток и спор – 10^{10} КОЕ/мл), *B. subtilis* И-5 из Государственной коллекции фитопатогенных микроорганизмов ФГБНУ ВИЗР; *Bacillus subtilis* 124-11 (ингибитор роста фитопатогенных грибов), *Sphingomonas* sp. K1B (гиперпродуцент ауксинов) и *Pseudomonas fluorescens* SPB2137 (продуцент ауксинов, содержит АЦК дезаминазу, ингибиор роста фитопатогенных грибов) из Ведомственной коллекции полезных микроорганизмов сельскохозяйственного назначения при ФГБНУ ВНИИСХМ).
3. Экспериментальные образцы и композиции из лаборатории микробиологической защиты ФГБНУ ВИЗР:

3.1 0,1%-ный салицилат хитозана 60 кДа, содержащий 25% ионно-связанных фрагментов салициловой кислоты;

3.2 Комплекс «Хитозан I» – 0,1% раствор по хитозану: Хитозан мМ 100 кДА, Хитозан мМ 50кДа (1:1), янтарная кислота, глутаминовая кислота; 0,025% салициловая кислота;

3.3 Комплекс «Хитозан II» – 0,1% раствор по хитозану: Хитозан мМ 50кДа; янтарная кислота, глутаминовая кислота; 0,0015% индолилуксусной кислоты);

4. Полифункциональные комплексы:

4.1 «Витаплан, КЖ + Хитозан II» (композиция). В культуральную жидкость лабораторного образца «Витаплан, КЖ» вводили комплекс «Хитозан II» до концентрации 0,1 %;

4.2 «Витаплан, КС и Хитозан II» (композиция). В культуральную жидкость биопрепарата «Витаплан, КС» (*B. subtilis* ВКМ B-2604D и *B. subtilis* ВКМ B-2605D соотношение 1:1, титр живых клеток и спор – 10^{11} КОЕ/мл) вводили Хитозан II до концентрации 0,1 %);

4.3 «Витаплан, КЖ + 0,1% салицилат хитозана» (композиция). К культуральной жидкости «Витаплан, КЖ» был добавлен салицилат хитозана до концентрации 0,1%.

4.4 «Витаплан, КЖ + 0,1% салицилат хитозана» (глубинное культивирование). В стандартную питательную среду для культивирования *B. subtilis* ВКМ B-2604D и *B. subtilis* ВКМ B-2605D («Витаплан, КЖ) вносили 0,1% салицилат хитозана.

4.5 «Витаплан КЖ + коллоидный хитин (0,1%)» (глубинное культивирование). В стандартную питательную среду для культивирования *B. subtilis* ВКМ B-2604D и *B. subtilis* ВКМ B-2605D («Витаплан, КЖ) вносили 0,1% коллоидный хитин (расчет на сухой вес хитина). Затем культуральную жидкость с титром 10^{11} КОЕ/мл разводили в 10 раз. Получение коллоидного хитина проводили путем растворения хитина в концентрированной соляной кислоте и последующем осаждении ацетоном коллоидного хитозана;

4.6 «Витаплан КЖ + коллоидный хитин (0,1%) + 0,1% салицилат хитозана» (глубинное культивирование). В стандартную питательную среду для культивирования *B. subtilis* ВКМ B-2604D и *B. subtilis* ВКМ B-2605D («Витаплан, КЖ) вносили 0,1% коллоидного хитина (расчет на сухой вес хитина), титр культуральной жидкости составлял 10^{11} КОЕ/мл. Затем культуральную жидкость разводили в 10 раз и добавляли 0,1% хитозан салицилата.

4.7 «*B. subtilis* И-5 + 0,1 % салицилат хитозана» (композиция). Салицилат хитозана в концентрации 0.1 % добавляли в питательную среду для культивирования штамма *B. subtilis* И-5 (титр жизнеспособных клеток 10^{10} КОЕ/мл).

5. Белковые стимуляторы роста.

5.1 Белковый гидролизат R из побочного сырья первичной переработки сельскохозяйственных животных (спилок гольевой говяжий), молекулярно-массовое распределение которого было представлено аминокислотами с преобладанием глицина и пептидов молекулярной массой от 200 до 1000 Да (Куцакова и др. Патент № 2533037 РФ: МПК C 05 F 1/00, A 01 N 33/00)

5.2 Белковый гидролизат RM – продукт из побочного сырья первичной переработки сельскохозяйственных животных (обрезь шкур свиней). Он имел молекулярную массу 700000 Да и отличался содержанием глицина на 17 % больше по отношению к вышеописанному.

Белковые гидролизаты были разработаны по уникальной технологии на мегафакультете пищевых биотехнологий и низкотемпературных систем Университета ИТМО

6. Влагопоглощающая полимерная гидрогелевая композиция на основе акрилата калия и N, N’ – метиленбисакриламида, в качестве сшивающего агента. Полимерный гидрогель был изготовлен по уникальной технологии в Международном центре химической инженерии Университета ИТМО.

7. Удобрения, включенные в Государственный каталог пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской

Федерации: «ФлорГумат» (срок регистрации – 30.01.2028); удобрения на основе гуминовых кислот «Фитоп-Флора-С» (срок регистрации – 15.11.2028); Флора С (срок регистрации – 15.11.2028); 29.08.2029); «Эдагум» (срок регистрации – 21.08.2026); минеральное удобрение «Азофоска (нитроаммофоска) марка NPK 19-9-19 (срок регистрации – 16.12.2030); кальций-магниевое удобрение «Натурал Грин» (срок регистрации – 11.11.2028).

8. Регулятор роста с фунгицидным эффектом на основе коллоидного серебра «Зеребра агро» (ГК «АгроХимПром», действующее вещество: 500 мг/л коллоидного серебра + 100 мг/л полигексаметиленбигуанид гидрохлорида); комплексное сбалансированное удобрение, сочетающее макро и микроэлементы для питания растений - NPKS+ на основе гуминовых кислот «BATR Max»; азотное комплексное удобрение с микроэлементами BATR 40N (ООО "Дол-агро"); органическое удобрение с цинком и марганцем «Trace Mix» («ZM-Grow», https://www.tracegrow.com).

9. Удобрение «Органик» – экспериментального образца кафедры почвоведения и агрохимии им. Л.Н. Александровой находящегося в стадии испытаний и сертификации (Мельников и др., 2016).

Место проведения исследования – Северо-Западный регион, Санкт-Петербург и Ленинградская обл. Полевые исследования были выполнены в условиях опытного поля научно-производственной базы «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР» ФГБНУ «ФИЦ Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова» (ВИР). Почвы дерново-слабоподзолистые, супесчаные и суглинистые по механическому составу, хорошо окультуренные. Основные агрохимические показатели почвы: водородный показатель солевой вытяжки pH = 4,8 (ГОСТ 26483-8); фосфор подвижный в пересчете на P_2O_5 (ГОСТ Р 54650-2011) 3455 ± 691 млн$^{-1}$ (мг/кг); калий подвижный в пересчете на K_2O (ГОСТ Р 54650-2011) 97,5 ± 14,6 млн$^{-1}$; органическое вещество (ГОСТ 26213-2021) 3,55 ± 0,53% (Колесников и др., 2023b).

Лабораторные исследования и обработка данных выполнены на кафедрах защиты и карантина растений, экологии и физиологии растений, почвоведения и агрохимии им. Л.Н. Александровой ФГБОУ ВО СПбГАУ, в отделе генетических ресурсов пшеницы ВИР, в лабораториях микробиологической защиты растений и микологии и фитопатологии ФГБНУ ВИЗР, на факультете биотехнологий и МНЦ БиоИНженерии университета ИТМО, лаборатории водной и промышленной экотоксикологии НИИГПЭЧ ФМБА России, в секторе биофизики растений ФГБНУ АФИ, в лаборатории ризосферой микрофлоры ФГБНУ ВНИИСХМ, на математико-механическом факультете СПбГУ.

Период проведения исследований: 1995–2022 гг.

2.3 Методы исследований

2.3.1 Методологическая схема исследований

Методологическая схема исследований представлена в таблице 1П.1 приложения 1.

2.3.2 Описание методов исследований

В работе использованы традиционные методы анализа продуктивности пшеницы, общепринятые фитопатологические методы оценки устойчивости пшеницы к болезням, методы интроскопического анализа зерна пшеницы, полевой спектрометрии, биохимического исследований, анализа элементного состава растений и почвы. Оригинальными методами, впервые использованными в данной работе, являлись:

1) Анализ продуктивности пшеницы и интенсивности развития болезней с использованием комплекса фитометрических и фитопатологических показателей с разной степенью детализации;
2) Автоматизированная систематизация данных полевых исследований с использованием оригинальной базы данных;

3) Моделирование развития болезней и анализ их вредоносности. Методологические принципы использования алгоритмов статистической обработки данных опыта.

2.3.2.1 Традиционные методы исследования

2.3.2.1.1 Методы анализа продуктивности и урожайности пшеницы

Продуктивность пшеницы изучали по комплексу показателей. В фазу развития зародышевого побега осуществляли оценку сортов пшеницы по общепринятому показателю – полевой всхожести семян. Для её определения проводился подсчёт числа растений в фазе всходов по каждому варианту опыту (сорту).

Показатели: лабораторная всхожесть семян, энергия прорастания – оценивались по ГОСТ 12038-84, масса 1000 семян - ГОСТ 12042-80 (Семена сельскохозяйственных культур. Методы анализа, 2004).

В фазы колошения-цветения исследовали комплекс показателей растений: продуктивную и общую кустистость (шт.), фазу растений (балл, по шкале Цадокса (Эукарпия), площадь флагового и предфлагового листа ($см^2$), высоту растений (см), длину колоса (см), число колосков в колосе (шт.), массу колоса (г.). Кроме того, определяли число и длину корней (главного зародышевого корня, зародышевых и колеоптильных корней), отходящих от эпикотиля. Осуществляли учет числа и длины узловых корней пшеницы. Рассчитывали показатели массы корней и вегетативной части растений. В фазу созревания (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 (Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур, 1989; Мережко и др., 1999).

При характеристике ботанических особенностей растений (угла наклона флагового листа к стеблю, балл; воскового налета, балл; окраски листа, балл; опушенности листа, балл) использовали методические указания Мережко и

соавторов (1999). При ранжировании образцов пшеницы в порядке возрастания высоты растений была использована классификация, указанная в работе Ионовой и соавторов (2009).

2.3.2.1.2 Методы фитопатологической оценки устойчивости пшеницы к болезням

В полевых условиях проводили оценку степени поражения растений корневой гнилью в фазы кущения пшеницы (стадия законченное кущение) и колошения-цветения в соответствии с общепринятой методикой (Попов, 2011). Объем выборки для каждого варианта опыта составил 15 растений. Растения были выкопаны с середины делянки, чтобы исключить краевой эффект. Почву с корней удаляли, корни и нижнюю часть стеблей помещали в полиэтиленовый мешок и добавляли бумажную этикетку с номером делянки. В лабораторных условиях вынимали сноп пшеницы из мешка, тщательно промывали корни и оставляли сушиться на несколько часов. Далее под бинокуляром МБС-9 на листе белой бумаги внимательно осматривали корни на предмет развития корневой гнили и осуществляли их оценку в по трёхбалльной шкале. Развитие корневой гнили $R_г$ по определяли по следующей формуле (Попов, 2011) и выражали в процентах:

$$R_г = \frac{\sum(n \cdot b)}{3N} \cdot 100,$$

где n – число растений с одинаковым баллом поражения b; N – общее число растений в пробе.

Учет интенсивности развития возбудителей болезней листьев пшеницы (Колесников и др., 2017b, 2018b, 2018c) был приурочен к основным фазам и стадиям онтогенеза пшеницы: фаза кущения пшеницы (стадия – законченное кущение), флагового листа (выход в трубку; раскрытие последнего листового влагалища), колошения (конец колошения), цветения (начало цветения; конец цветения), созревания (молочная спелость зерна; восковая спелость).

Интенсивность поражения флаговых и предфлаговых листьев пшеницы мучнистой росой (*B. graminis*) и септориозом учитывали по общепринятому показателю – условной степени поражения растений (Гешеле, 1971, 1978). Поражение флаговых и предфлаговых листьев пшеницы возбудителем бурой ржавчины (*P. triticina*), а также стеблевой ржавчины (*P.graminis* f. sp. *tritici*) учитывали по шкале Петерсона (Гешеле, 1978; Peterson et al., 1948). Степень поражения образцов септориозом (P. *nodorum и Z. tritici* определяли в соответствии со шкалой Джеймса (James, 1971). Интенсивность поражения пшеницы возбудителем желтой ржавчины оценивали по общепринятой шкале Маннерса (Manners, 1950; Гешеле, 1978). Степень поражения пшеницы желтой пятнистостью (*Pyrenophora tritici-repentis* (Died.) Drechsler) определяли в процентах по шкале Saari и Prescott (Волкова и др., 2020a; Saari, Prescott, 1975).

Основным фитопатологическим критерием устойчивости пшеницы к мучнистой росе, бурой, желтой и стеблевой ржавчине являлся тип реакции, выраженный в баллах – шкалы Stakman, Levine, 1922; Mains, Jackson, 1926; Mains, Dietz, 1930; Gassner, Straib, 1932; Roelfs et al., 1992).

Показатель выносливости (толерантности) сортов пшеницы был адаптирован для анализа продуктивности сортов пшеницы и оценки снижения урожая пшеницы, обусловленного развитием возбудителей болезней листьев (Колесников и др., 2012; Колесникова, Колесников, 2012a; Колесникова, 2012b). Выносливость (толерантность) сортов T определяли согласно выражению (Бабаянц и др., 1988):

$$T = \frac{Y_{п.р.}}{Y_{к.р.}} 100\%$$

В выражении: $Y_{п.р.}$ – биологическая урожайность сортов, пораженных возбудителями болезней; $Y_{к.р.}$ – биологическая урожайность сортов, не пораженных возбудителями болезней (контроль).

Оценку морозостойкости растений, степени поражения растений возбудителями снежной плесени и тифулеза проводили по 9-ти балльной шкале ВИР (Корнеев и др., 1985; Корнеев, Чадаева, 1992a, 1993), площадь очага поражения растений, выражали в процентах ко всей площади учетной делянки. Данные методы были адаптированы к исследованиям агробиологических особенностей устойчивости пшеницы к возбудителю инфекционному выпреванию (Колесников, Фунтов, 2004; Власова и др., 2004b, 2005a; Колесников, Колесникова, 2010b).

2.3.2.1.3 Методы интроскопического анализа зерна пшеницы с использованием методов микрофокусной рентгенографии и газоразрядной визуализации

При оценке влияния качества посевного материала на продуктивность пшеницы и устойчивость к болезням все зерна каждого из 10-ти образцов пшеницы, используемых в качестве посевного материала, имели «параметрический паспорт» по более 30 оптическим параметрам, в том числе газоразрядного свечения, морфо- и денситометрического анализа рентгенограмм (рис. 3). Объем выборки для каждого сорта составил 105 зерен (Kolesnikov et al., 2021g).

Для учета индивидуальных особенностей семян использовали маркировочную сетку (рис. 4). Площадь учетной делянки для одного образца – 1,3 м^2. Образцы на делянки были высеяны вручную рядовым способом посева с междурядьями 15 см и расстоянием в ряду 1 – 2 см. Глубина заделки семян: 5 – 6 см.

Рис. 3 – Зерна мягкой пшеницы, использованные в качестве посевного материала и имеющие определенный «параметрический паспорт» (Kolesnikov et al., 2021g).

Рис. 4 – Закладка полевого опыта по исследованию влияния структурно-функциональных характеристик семян пшеницы на продуктивность и устойчивость пшеницы к болезням (Kolesnikov et al., 2021g)

Для изучения интроскопических характеристик зерна пшеницы в работе были использованы методы микрофокусной рентгенографии и газоразрядной визуализации. Газоразрядные и рентгеноскопические характеристики зерна пшеницы, использованного в качестве посевного материала, были определены на экспериментальном оборудовании сектора биофизики растений ФГБНУ АФИ (Архипов и др., 2016а).

Данные методы были адаптированы для выявления зависимостей между продуктивностью, устойчивостью пшеницы к болезням и структурно-функциональными особенностями зерна пшеницы (Архипов и др., 2016b; Kolesnikov et al., 2021g). Кроме того, указанные методы были использованы для оценки качества зерна пшеницы вновь собранного урожая при использовании стимулирующих и защитных обработок пшеницы полифункциональными комплексами на основе хитозана и бактерий-антагонистов (Колесников и др., 2019b), белкового стимулятора роста (Колесников и др., 2020a).

Аппаратно-программное обеспечение метода газоразрядной визуализации (электрофотографии) – аппарат «ГРВ-Камера» в комплекте с программным комплексом «ГРВ Научная лаборатория», ООО «Биотехпрогресс» (рис. 5). Данный метод позволяет регистрировать и количественно оценивать характеристики коронного разряда, возникающего при помещении семени в электромагнитное поле высокой напряженности (Kolesnikov et al., 2021g).

С использованием метода газоразрядной визуализации семена пшеницы были охарактеризованы следующими показателями: площадь свечения (пиксели), суммарная интенсивность свечения (относительные единицы), коэффициент формы (относительные единицы), средний радиус изолинии (пиксели), нормализованное среднеквадратическое отклонение радиуса изолинии (пиксели), длина изолинии (пиксели), энтропия, рассчитанная по изолинии (относительные единицы), фрактальность, рассчитанная по изолинии (относительные единицы).

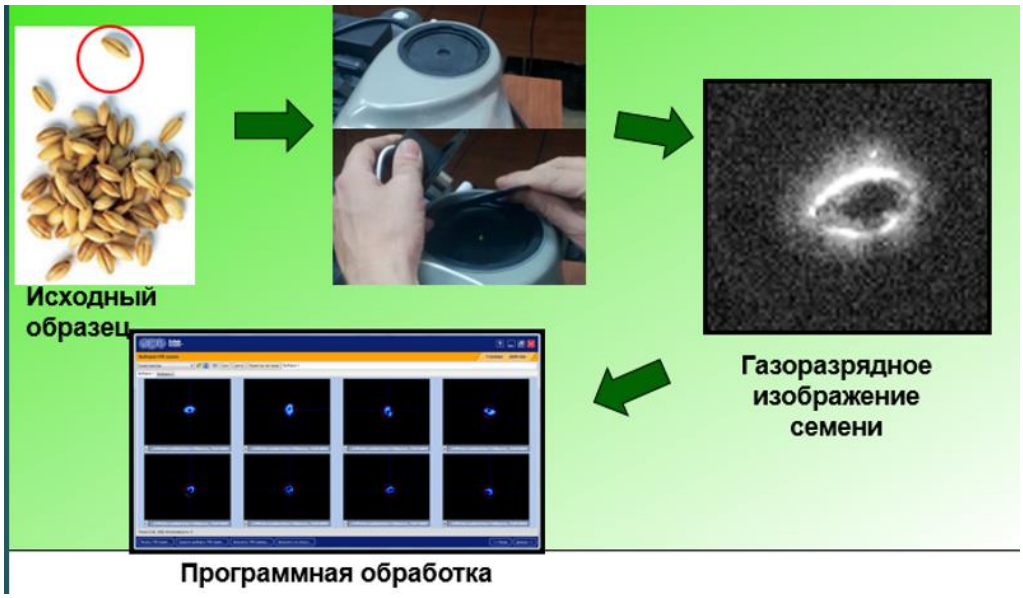


Рис. 5 – Алгоритм анализа семян пшеницы методом газоразрядной визуализации (Kolesnikov et al., 2021g)

Рентгеновские изображения были получены на серийной передвижной рентгенодиагностической установке ПРДУ-02 (ЗАО «ЭЛТЕХ-Мед»). Анализ цифровых рентгеновских изображений семян пшеницы выполнен с использованием планшетного сканера EPSON Perfection V200 Photo и программного обеспечения «Агрус-Био» производства ООО «АргусСофт» (рис. 6) (Kolesnikov et al., 2021g).

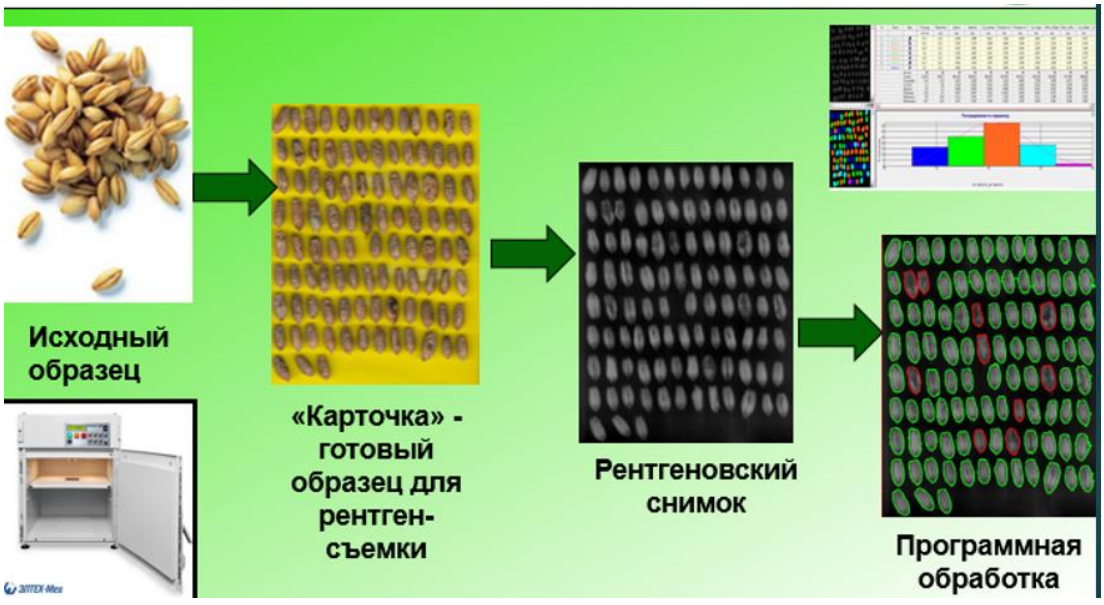


Рис. 6 – Алгоритм анализа семян пшеницы методом микрофокусной рентгенографии (Kolesnikov et al., 2021)

С использованием метода микрофокусной рентгенографии семена пшеницы были оценены по следующим показателям: площадь рентген-проекции зерновки ($см^2$), периметр рентген-проекции зерновки (см), длина рентген-проекции зерновки (см), ширина рентген-проекции зерновки (см), округлость рентген-проекции зерновки (относительные единицы), удлиненность рентген-проекции зерновки (относительные единицы), изрезанность рентген-проекции зерновки (относительные единицы), средняя яркость рентген-проекции зерновки (единицы яркости), среднеквадратическое отклонение яркости рентген-проекции зерновки (единицы яркости), оптическая плотность рентген-проекции зерновки (относительные единицы) и интегральная оптическая плотность рентген-проекции зерновки, относительные единицы (Kolesnikov et al., 2021g).

2.3.2.1.4 Методы полевой спектрометрии, используемые для оценки фитометрических и фитопатологических характеристик посевов пшеницы

Методы полевой спектрометрии (Сурин, 2013a) были адаптированы для анализа адаптивного потенциала мягкой пшеницы к условиям Северо-Западного региона Российской Федерации, в том числе – устойчивости к болезням (Сурин и др., 2005; Колесников и др., 2015a, 2015b). Кроме того, данные методы были использованы для анализа эффективности совместного применения хитозана и микробов-антагонистов в защите мягкой пшеницы от болезней (Колесников и др., 2018b) и выявления связи антиоксидантной активности сортов пшеницы с урожайностью и устойчивостью к болезням (Колесников и др., 2015c).

Фотометрический анализ посевов пшеницы был основан на использовании четырехканального портативного полевого фотометра ПИФ-М (рис. 7) (Сурин и др., 2005) и активного двухканального оптического тестера АДТ (Колесников и др., 2015a, 2015b). Приборы были разработаны в ФГБНУ АФИ, государственном оптическом институте им. С.И. Вавилова, и были

предоставлены для исследования канд. физ.-мат. наук В.Г. Суриным. Прибор АДТ является отечественным аналогом американского сенсора “Green Seeker”.

Четыре спектральных канала ПИФ-М соответствовали разным механизмам взаимодействия света с растением. В канале I (0.38-0.63 мкм) преобладает поглощение света пигментами листа, канал II (0.63-0.8 мкм) включает так называемую "красную границу", где находился максимум поглощения света хлорофиллом, канал Ш (0.8-1.0 мкм) соответствует области максимума клеточного поглощения, канал IV (1.0-1.75 мкм) приходится на область преимущественного поглощения водой, содержащейся в тканях листа (Сурин и др., 2005).

Рис. 7 – Внешний вид оптического прибора ПИФ-М (Сурин и др., 2005)

Прибор АДТ (рис. 8) фиксировал значения коэффициентов отражения в красной U_r (0,66 мкм) и инфракрасной (0,95 мкм) U_{ir} областях спектра, являющихся индикатором процессов, происходящих в области поглощения хлорофиллом и состояния клеточных структур. В красном диапазоне спектра растительность характеризуется наименьшей степенью отражения, а в ближнем ИК-диапазоне спектра - наибольшей, по сравнению с другими природными объектами. Для растительности в хорошем состоянии характерно

падение спектральной кривой в красном диапазоне и резкий подъем в ближнем ИК-диапазоне (Колесников и др., 2015).

Рис. 8 – Активный двухканальный оптический тестер АДТ-М

В качестве интегрального индикатора состояния растений при использовании двухканального оптического тестера был использован стресс-индекс (обратный вегетационный индекс):

$$F = \frac{U_r}{U_{ir}}$$

который численно характеризует степень угнетения растения. Минимальная величина F соответствует наилучшему состоянию растения, при котором, как правило, в растении отмечается больше хлорофилла и наибольшая биомасса. С ростом F эти показатели обычно снижаются.

Оптические характеристики фитосанитарного состояния посевов пшеницы, обработанных полифункциональными комплексами на основе хитозана и бактерий-антагонистов определяли также при помощи портативного ручного датчика GreenSeeker фирмы Trimble (США) на основе расчета вегетационного индекса NDVI (Normalized Difference Vegetation Index). Указанный прибор был предоставлен для исследования доктором биол. наук А.М. Шпаневым (Novikova et al., 2020).

2.3.2.1.5 Методы биохимического исследований, анализа элементного состава растений и почвы

Количество микроорганизмов в единице объема почвы по вариантам опыта определяли согласно методике Титовой и Козлова (2011). В основе метода лежит принцип Коха, который заключается в том, что при посеве почвенной суспензии на твердую питательную среду одна вырастающая колония является потомством одной клетки какого-либо микроорганизма – бактерии или ее споры, актиномицета, споры или гифы гриба. Определение числа микроорганизмов таким методом включает три этапа: приготовление разведений; посев на среду в чашки Петри; подсчет выросших колоний.

Содержание в зернах яровой мягкой пшеницы общего азота, фосфора (P_2O_5) определяли фотоэлектрометрическим методом (ГОСТ 10846-91, ГОСТ Р 51420-99), калия (K_2O) – методом пламенной фотометрии (ГОСТ 30504-97). Определение общего азота в вегетативной массе образцов пшеницы проводили в лабораторных условиях по методу Кьельдаля (Ермаков, 1987).

Содержание хлорофиллов *a, b* во флаговых листьях пшеницы определяли в биохимической лаборатории СПбГАУ спектрофотометрическим методом (Ермаков, 1987) с использованием спектрофотометра SPEKOL-11 (Carl Zeiss Jena). Для определения содержания пигментов фотосинтеза использовали среднюю часть пластинок листьев. Расчет концентрации пигментов (мг/дм^3) осуществляли согласно выражениям:

$$C_a = 9{,}784 \cdot D_{662} - 0{,}99 \cdot D_{644};$$

$$C_b = 21{,}426 \cdot D_{644} - 4{,}650 \cdot D_{662};$$

$$C_a + C_b = 5{,}134 \cdot D_{662} + 20{,}436 \cdot D_{644};$$

$$C_{кар} = 4{,}695 \cdot D_{440{,}5} - 0{,}268 \cdot (C_a + C_b),$$

где C_a – концентрация хлорофилла *a,* мг/дм^3; C_b – концентрация хлорофилла *b,* мг/дм^3; $C_{кар}$ – концентрация каротиноидов, мг/дм^3; D_{662} – оптическая плотность при длине волны 662 нм, ед.; D_{644} – оптическая плотность при

длине волны 644 нм, ед.; $D_{440,5}$ – оптическая плотность при длине волны 644 нм, ед.

Содержание пигментов (мг/100 г) определяли по формуле:

$$X = \frac{CVV_2 \bullet 100}{нV_1} \bullet 1000,$$

где C – концентрация пигмента, мг/дм^3; V – объем исходной вытяжки, см^3; V_1 – объем исходной вытяжки, взятой для разбавления, см^3; V_2 – объем разбавленной вытяжки, см^3; *н* – масса навески, г.

Вышеперечисленные методы биохимического анализа были адаптированы для исследований, связанных с определением адаптивного потенциала сортов пшеницы к условиям Северо-Западного региона Российской Федерации с использованием метода полевой спектрометрии (Колесников и др., 2015b), изучением интенсивности развития бурой ржавчины пшеницы при различном уровне азотного питания растений (Колесников, Власова, 2001a) и оценкой эффективности применения белкового стимулятора в отношении урожайности и повышения устойчивости пшеницы к болезням (Колесников и др., 2020b).

Методика определения антиоксидантной активности растительного сырья была адаптирована для проведения анализа продуктивности и устойчивости сортов пшеницы к бурой ржавчине, а также выявления их связи с оптическим обратным вегетационным индексом. Об антиоксидантной активности исследуемого растительного сырья судили по способности ингибировать аутоокисление адреналина in vitro и тем самым предотвращать образование активных форм кислорода (Колесников и др., 2015c).

Содержание комплекса химических элементов в растениях пшеницы и почве было определено методом масс-спектрального анализа с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-МС) на масс-спектрометре ICP-MS 7700x («Agilent Technologies», США). Содержание каждого элемента определяли по среднему значению пяти повторных измерений с использованием программного

обеспечения ICP-MS MassHunter, «Agilent Technologies», США (Колесников и др., 2014a, 2014b, 2014c, 2018a).

Элементный состав почвы определяли по результатам анализа проб с 10 рандомизированных делянок. По соотношению количества элемента в растениях к его содержанию в почве рассчитывали коэффициенты биологического накопления, характеризующие степень избирательного поглощения элемента растениями (Колесников и др., 2018a).

Метод определения элементного состава растений был адаптирован для изучения биохимического состава листьев и зерна устойчивых и восприимчивых к бурой ржавчине сортов пшеницы и линий серии Thatcher – носителей *Lr*-генов (Колесников и др., 2014a; 2014b; Колесников и др., 2018a); анализа внутривидовой изменчивости пшеницы и выявления ее связи с урожайностью и устойчивостью к вредителям (Колесников и др., 2014c).

2.3.2.2 Оригинальные методы исследований

2.3.2.2.1 Метод анализа продуктивности пшеницы и интенсивности развития болезней с использованием комплекса фитометрических и фитопатологических показателей с разной степенью детализации

Метод позволяет осуществлять системный анализ продуктивности пшеницы, оценивать вредоносность болезней и выявлять источники устойчивости к болезням, определять факторы, способствующие снижению развития болезней, в том числе:

- сорта и линии пшеницы (Власова, Колесников, 2002; Колесников и др., 2011);
- метеорологические условия и активность Солнца (Колесников и др., 2022a, 2022b);
- инновационные средства биологической защиты и регуляции роста растений (Мельников и др., 2016; Попова и др., 2017; Белимов и др., 2018; Кременевская и др., 2022);

– электрофизические методы предпосевной обработки семян: электрическое поле переменного напряжения и полупроводниковое лазерное излучение (Колесников и др., 2024a, 2024b)

Одним из важнейших фенотипических признаков пшеницы *Triticum aestivum* L. является опушение листа, которое состоит из структурно однородных трихом, различающихся по размерам. Оно имеет большое адаптационное и физиологическое значение. Сильно опушённые сорта пшеницы значительно более устойчивы к вредным насекомым (Афонников и др., 2017). В наших исследованиях оценку количества волосков опушения на 1 $см^2$ флагового листа проводили по результатам измерений в не менее, чем в 10-и полях зрения микроскопа, при увеличении 56х. Кроме того, при аналогичном увеличении микроскопа с использованием объективного и окулярного микрометров определяли длину волосков опушения, мм (Колесников и др., 2022a).

Профиль прямостоячести листьев может использоваться для оптимизации архитектуры растений, поскольку прямостоячие листья могут усиливать фотосинтез и производство сухого вещества за счет большего захвата солнечного света (Isidro et al., 2012). В наших исследованиях угол наклона флагового листа к стеблю был определен в стадиях начало цветения, завершение цветения, ранняя молочная спелость, и был выражен в баллах (Мережко и др., 1999) и в градусах с использованием транспортира (Колесников и др., 2022a).

Важным показателем, характеризующим продуктивность пшеницы, является урожайность $Y_п$ (т/га), которую мы рассчитывали по продуктивной кустистости и числу растений, высеянных на 1 $м^2$: $Y_п = 10 \times M_к K_п P_п$, где $M_к$ – масса зерен колоса одного растения, г; $K_{пп}$ – продуктивная кустистость образца; $P_п$ – плотность посева (количество растений на 1 $м^2$). В работе также использовали показатель – продуктивность одного растения пшеницы $Y_р$: $Y_р = M_к K_п$, г/растение (Колесников, 2022a, 2022b).

При построении моделей вредоносности болезней пшеницы были определены $Y_п$ и $Y_р$, которые были достигнуты при отсутствии у образцов симптомов поражения возбудителями болезней (Колесников и др., 2012; Колесникова, Колесников, 2012a; Колесникова, 2012b).

В качестве дополнительных к общепринятым фитопатологическим характеристикам интенсивности поражения пшеницы болезнями использовали следующие показатели: для бурой ржавчины *P. triticina*– число пустул ($N_п$) и площадь пустулы ($S_п$), число спор в пустуле ($N_с$); желтой ржавчины (*P. striiformis*) – число и длина полос с пустулами, суммарное число пустул, площадь пустулы, число спор в пустуле ($N_с$); стеблевой ржавчины (*P. graminis* f. *sp. tritici*) – число пустул на 1 см длины верхнего колосонесущего междоузлия, площадь пустулы; мучнистой росы (*B. graminis*) – число и площадь пятен с налетом, число конидий с 1 $см^2$ листа. Характеристику фитопатологических показателей давали по результатам их определения на флаговых и предфлаговых листьях пшеницы с использованием бинокуляра МБС-9 и тринокуляра «Микмед-6» (Колесников и др., 2013a, 2022a, 2022b; Kolesnikov et al., 2021c).

Размер пустул для видов ржавчины (рис. 9) и пятен с налетом для возбудителя мучнистой росы устанавливали с помощью окулярного и объективного микрометров, предполагая их эллиптическую форму, с использованием формулы: $S_п = m\ \pi ab$, где a и b – значения полуосей эллипса (в линиях окулярного микрометра), m – масштабный коэффициент микроскопа, $S_п$ – площадь пустулы или пятна с налетом, $мм^2$ (Власова и др., 2002; Колесников и др., 2003; Колесников и др., 2022a, 2022b).

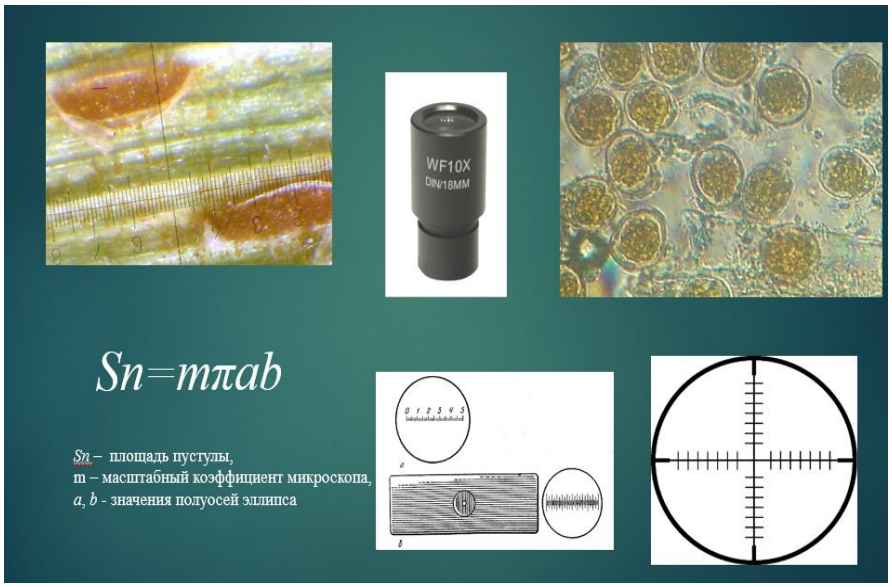


Рис. 9 – Определение площади пустулы возбудителя бурой ржавчины пшеницы

Расчетную (действительную) величину развития возбудителей болезней пшеницы R_d (бурой и желтой ржавчины, мучнистой росы, септориоза) определяли с использованием формулы:

$$R_d = \frac{S_{и.с.} N_{и.с.}}{S_{л.}} 100\%$$

где $S_{и.с.}$ – площадь инфекционной структуры (пятна с налетом, пустулы ржавчины); $N_{п.}$ – число инфекционных структур; $S_{л.}$ – площадь листа пшеницы (Власова и др., 2007).

С целью изучения факторов, влияющих на частоту встречаемости видов *P. nodorum* и *Z. tritici* на сортах пшеницы различного происхождения, и анализа их микроскопических характеристик проведены экспериментальные расчеты по определению длины и ширины пикноспор, коэффициента вытянутости, объема пискноспор. Объем пикноспор *P. nodorum* (мкм^2) был рассчитан по формуле эллипсоида вращения: $V_{sn} = \frac{4}{3}\pi ab^2$, где а и в – полуоси длины и ширины пикноспор. Размер пикноспор *Z. tritici* (мкм^2) был определен по формуле расчета объема кругового цилиндра: $V_{st} = \pi r^2 h$, где r – полуширина пикноспоры; h – длина пикноспоры (Колесников и др., 2010а).

Частоту встречаемости отдельных видов септориоза F_c пшеницы определяли по формуле: $F_C = \frac{F_1}{F_{общ}} \cdot 100$, F_1 - число случаев, в которых отмечен данный вид септориоза; $F_{общ}$ - общее число случаев, в которых встречался как данный вид, так и другие (Колесников и др., 2010а).

2.3.2.2.2 Метод автоматизированной систематизации данных полевых исследований с использованием оригинальной базы данных

Алгоритм осуществления автоматической систематизации большого массива данных многомерного параметрирования фитометрических и фитопатологических показателей посевов пшеницы включал ввод экспериментальных данных в электронные таблицы MS Excel с их предварительным распределением по наименованиям опытов и факторам, влияющим на распределение (происхождение, стимулирующие обработки, ботанические, биохимические, спектральные характеристики образцов и т.п.). В дальнейшем были созданы электронные базы данных в системе IBM SPSS – по сортам и линиям пшеницы генофонда ВИР (рис. 10) и по эффективности биопрепаратов различной природы, органо-минеральных удобрений, микроудобрений, полимерного гидрогеля, в том числе при их совместном применении (госзадание Министерства сельского хозяйства РФ по теме: «Моделирование влияния агроэкологических факторов на развитие возбудителей болезней зерновых культур и определение возможности повышения урожайности мягкой пшеницы в изменяющихся условиях Северо-Запада Российской Федерации, номер государственного учета НИОКТР 122011300483-3, 2021 г.). Для изучения вредоносностей возбудителей болезней в отношении элементов структуры урожая создана отдельная электронная база данных (Колесников и др., 2012; Колесникова, Колесников, 2012а).

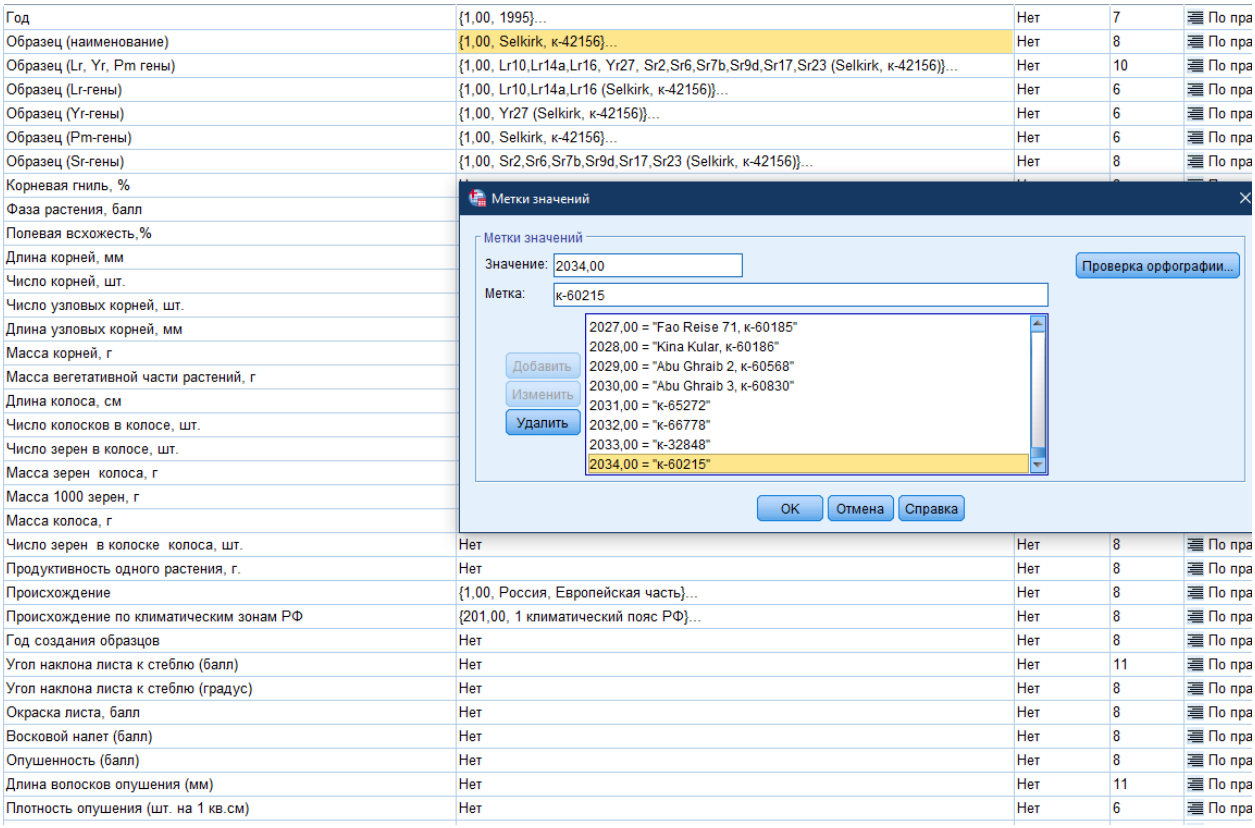


Рис. 10 – Электронная база данных сортов и линий пшеницы генофонда ВИР в системе IBM SPSS (1995-2022 гг.)

2.3.2.2.3 Моделирование развития болезней и анализ их вредоносности. методологические принципы использования алгоритмов статистической обработки данных опыта

Создана имитационная модель развития возбудителя бурой ржавчины на основе системы нелинейных дифференциальных уравнений с запаздыванием, описывающих динамику переменных уредостадии микромицета. Модель позволяет при экспериментальном определении соответствующих коэффициентов, прогнозировать вспышки развития болезни и применять защитные обработки в оптимальные сроки. Предложена методика экспериментального определения коэффициента оседания уредоспор для практической реализации имитационной модели (Колесников и др., 2022а).

При изучении динамики развития болезней пшеницы основным критерием оценки интенсивности развития возбудителей болезней пшеницы являлись средневременные значения $\overline{Q}$, рассчитанные по формуле:

$$\overline{Q} = \sum_{i=1}^{n-1} \Delta t_i \frac{[Q(t_i) + Q(t_{i+1})]}{2(t_n - t_1)},$$

где n-число учетов, Δt_i - промежуток времени между (i)-м и (i+1)-м учетами, $Q(t_i)$ - значение функции Q при (i)-м учете, $Q(t_{i+1})$ - значение Q при (i+1)-м учете (Колесников, Власова, 2003).

Стандартную ошибку показателей патогенеза $\overline{S}_Q$ определяли согласно выражению:

$$S_{\overline{Q}} = \frac{1}{2(t_n - t_1)} \sqrt{\Delta t_1^2 S_Q^2(t_1) + \sum_{i=2}^{n=2} (\Delta t_1 + \Delta t_{i+1})^2 S_Q^2(t_i) + \Delta t_{n-1}^2 S_Q^2(t_n)},$$

где $S_Q(t_i)$ - значение функции S_Q при (i)-м учете, $S_Q(t_n)$ - значение S_Q при n-м учете (Колесников, 2017а).

При анализе сопряженности изменения комплекса фитопатологических показателей с метеорологическими условиями и солнечной активностью были созданы и проанализированы корреляционные матрицы, полученные по данным учета развития болезней на различных по происхождени. сортах мягкой пшеницы. В дальнейшем коэффициенты корреляции ранжировали, после чего был рассчитан относительный показатель – доля коэффициентов корреляции Спирмена, как отношение числа отрицательных или положительных коэффициентов, характеризующих метеообусловленность патогенеза по месяцам текущего (январь–август) и предшествующего (сентябрь–декабрь) года проведения фитосанитарного мониторинга, к числу анализируемых сортов (Колесников и др., 2009а, 2022а).

2.3.2.3 Методы оценки эффективности биопрепаратов и экспериментальных образцов при возделывании пшеницы

Полевые опыты по оценке эффективности биопрепаратов и экспериментальных образцов при возделывании пшеницы выполнены согласно «Методическим указаниям по государственным испытаниям фунгицидов, антибиотиков и протравителей семян сельскохозяйственных культур», М.,1965; «Методическим указаниям по регистрационным

испытаниям фунгицидов в сельском хозяйстве», Санкт-Петербург, 2009; «Методическим указаниям по регистрационным испытаниям пестицидов в части биологической эффективности», М., 2018.

Для расчета биологической эффективности по показателям снижения пораженности пшеницы возбудителями болезней применяли формулу Аббота:

$$БЭ = \frac{R_к - R_в}{R_к} 100,$$

где $R_к$ и $R_в$ – развитие болезни или дополнительные фитопатологические характеристики патогенеза (число пустул, пятен и т.п.), определенные в контроле и опытном варианте (Abbott, 1968; Новикова и др., 2015; Novikova et al., 2024).

2.3.2.3.1 Микробиологические препараты, 0,1% салицилат хитозана, композиции, полифункциональные комплексы на основе хитозана и бактериальных штаммов *B. subtilis* ВКМ B-2604D, *B. subtilis* ВКМ B-2605D, *B. subtilis*-И5

Исследования выполнены в период 2016-2022 гг. В полевом опыте семена сорта пшеницы Ленинградская 6 (к-64900) были высеяны ручным способом на делянки площадью 1 м^2 (способ посева - рядовой с междурядьями 15 см и расстоянием в ряду 2 см). Для каждого образца учетная делянка состояла из 6 рядков, в каждый рядок при посеве было помещено 50 зерен. Норма высева семян составила 300 зерен на 1 м^2. Глубина заделки семян: 5 – 6 см. Посев, уход за растениями и уборка проведены согласно Методическим указаниям ВИР (Мережко, 1999).

Размещение вариантов в полевом опыте – систематическое, варианты опыта были размещены в трехкратной повторности. Схема опыта предусматривала следующие варианты:

- ✓ без обработки (контроль, вода);
- ✓ "Витаплан, КЖ" - культуральная жидкость штаммов *Bacillus subtilis* ВКМ B-2604D и *B. subtilis* ВКМ B-2605D при соотношении 1:1 с титром живых клеток и спор/г *B. subtilis* – 1010 КОЕ/мл. Для глубинного культивирования

штаммов *B.subtilis* использовали кукурузно-мелассовую среду оптимизированного состава (кукурузный экстракт – 30г/л; меласса – 15г/л (pH=7.8). В состав культуральной жидкости входят споры штаммов-продуцентов, остатки питательной среды и метаболиты, выделенные в среду микроорганизмами в процессе ферментации;

- ✓ Культуральная жидкость (КЖ) штамма *B. subtilis* И-5
- ✓ "Витаплан, СП" (стандарт), биопрепарат на основе штаммов *B. subtilis* ВКМ B-2604D и *B. subtilis* ВКМ B-2605D. Штамм *B. subtilis* ВКМ-2604D синтезирует антибиотики различного строения (полипептидный антибиотик из группы бактериоцинов и полиеновый антибиотик), а штамм *B. subtilis* ВКМ B-2605D образует полипептид, близкий к бациллину, и гексаеновые антибиотики, один из которых отнесен к подгруппе медиоцидина;
- ✓ «Гамаир, СП» (стандарт), биопрепарат на основе штаммов *B. subtilis* ВКМ широкого спектра действия
- ✓ 0,1%-ный салицилат хитозана мМ 60кДа, содержащий 25% ионно-связанных фрагментов салициловой кислоты.
- ✓ комплекс «Хитозан I» – 0,1% раствор по хитозану: Хитозан мМ 100 кДА, Хитозан мМ 50кДа (1:1), янтарная кислота, глутаминовая кислота; 0,025% салициловая кислота;
- ✓ комплекс «Хитозан II» – 0,1% раствор по хитозану: Хитозан мМ 50кДа; янтарная кислота, глутаминовая кислота; 0,0015% индолилуксусной кислоты);
- ✓ полифункциональные комплексы: «Витаплан, КЖ + 0,1% салицилат хитозана» (салицилат хитозана введен в состав питательной среды для глубинного культивирования штаммов) и полифункциональный комплекс Витаплан, КЖ + 0,1% салицилат хитозана (салицилат хитозана введен в состав композиции при приготовлении конечной препаративной формы).

- ✓ Полифункциональный комплекс «*B. subtilis* И-5 + 0.1 % салицилат хитозана». Салицилат хитозана в концентрации 0.1 % добавляли в питательную среду для культивирования штамма
- ✓ «Витаплан, КЖ + Хитозан II». В культуральную жидкость препарата «Витаплан, КЖ» вводили Хитозан II до концентрации 0,1 %.
- ✓ «Витаплан КЖ + коллоидный хитин (0,1%)». При глубинном культивировании «Витаплана, КЖ» в стандартную питательную среду вносили 0,1% коллоидного хитина (расчет на сухой вес хитина). Затем культуральную жидкость с титром 10^{11} КОЕ/мл разводили в 10 раз. Получение коллоидного хитина осуществляли из хитина с мМ 100кДа (путем растворения хитина в концентрированной соляной кислоте и последующем осаждении ацетоном коллоидного хитозана.
- ✓ «Витаплан КЖ + коллоидный хитин (0,1%) + 0,1% Хитозан» (салицилат хитозана). При глубинном культивировании «Витаплана, КЖ» в стандартную питательную среду вносили 0,1% коллоидного хитина (расчет на сухой вес хитина), титр культуральной жидкости составлял 10^{11} КОЕ/мл. Затем культуральную жидкость разводили в 10 раз и добавляли 0,1% хитозан салицилата.
- ✓ полифункциональный комплекс «Витаплан, КС и Хитозан II». Комплекс Хитозан II включал хитозаны 100 кДа и 50 кДа в соотношении 1:1, смесь янтарной и глутаминовой кислот при соотношении хитозан: органические кислоты 1:1 и 0,1 % ванилина.

Для получения полифункционального комплекса: «Витаплан, КЖ + 0,1% салицилат хитозана (глубинное культивирование)» в исходную кукурузно-мелассовую среду вносили 0,1% салицилат хитозана. Затем колбы с питательной средой стерилизовали, остужали и засевали 5-ти суточной культурой штаммов *B.subtilis*. Время культивирования – 3-е суток на орбитальной качалке (180 оборотов/мин) при T = 27–28°C. Композиция «Витаплан, КЖ + 0,1% салицилат хитозана» получена добавлением 0,1 %

салицилата хитозана в культуральную жидкость биопрепарата «Витаплан, КЖ» (Kolesnikov et al., 2021e).

Хитозан (60 кДа) получали методом окислительной деструкции из хитозана с молекулярной массой 150 кДа и степенью деацетилирования 85 % («Биопрогресс», Россия). На его основе синтезировали салицилат хитозана, содержащий ионно-связанные фрагменты СК, составлявшие 25 %. Образование соли между хитозаном и СК было подтверждено наличием в ИК-спектре характеристических полос от карбоксилатной группы $CO2-$: 1552,92 $см-1$ и 1386,12 $см-1$. Широкая сильная полоса в области 3100-2600 $см-1$ содержала валентные колебания от функциональных групп $NH3+$ и OH (Kolesnikov et al., 2021e, 2021h).

Схема опыта предусматривала проведение предпосевной обратки семян пшеницы, а также внекорневое опрыскивание растений. Способы подготовки биопрепаратов и лабораторных образцов, а также методы предпосевной и внекорневой обработки растений приведены в следующих работах: Поповой и др., 2017; Колесникова и др., 2018b; Novikova et al., 2020; Novikova et al., 2024. В частности, внекорневая обработка растений включала четырехкратное их опрыскивание в фазы кущения, выхода в трубку, колошения и цветения. Норма расхода рабочей жидкости при обработке семян полусухим способом – 1 мл/100 г, при опрыскивании растений – 100 мл/м^2 (Колесников и др., 2022c).

Алгоритм компьютерной обработки результатов исследования включал перенос результатов измерений фитопатологических и фитометрических показателей посевов пшеницы из полевого журнала в электронную таблицу MS Excel, создание кодировочной таблицы значений показателей в системе IBM SPSS, конвертирование абсолютных значений показателей, полученных в вариантах опыта с применением бактериальных штаммов в относительные величины, характеризующие их изменение к контролю (без обработки), сопоставление полученных относительных величин показателей с метеорологическими условиями и активностью Солнца по вариантам опыта,

повторностям и периоду исследования в программном комплексе Statistica 12.0 (Колесников и др., 2017а).

Графические средства пакетов IBM SPSS и Statistica 12.0 были реализованы для построения категоризированных графиков рассеяния (2D Categorized Scatterplots) средних абсолютных и относительных значений фитопатологических и фитометрических характеристик посевов с указанием стандартной ошибки опыта; построения линий регрессий с указанием их доверительных областей с вероятностью 0,95 по вариантам опыта, сроку исследования.

Численные методы обработки данных были основаны на выявлении различий между относительными изменениями фитометрических и фитопатологических показателей в вариантах опыта к контролю с использованием критерия Стьюдента при $P<0,05$. Кроме того, были построены полиномиальные регрессионные уравнения с использованием алгоритма *Curve Estimation* нахождения оптимального числа коэффициентов регрессии в модели (по коэффициенту детерминации, r^2), определения их достоверности (по критерию Стьюдента была отвергнута нулевая гипотеза H_0 о равенстве отдельных коэффициентов регрессии нулю), проверки гипотезы адекватности регрессионной модели имеющимся наблюдениям (по F-критерию отвергнута H_0 о том, что уравнение в целом статистически незначимо).

При анализе взаимосвязей изменения относительных величин фитометрических и фитопатологических показателей при применении бактериальных культур (2017-2022 гг.) как между собой, так и в зависимости от комплекса метеорологических факторов, активности Солнца (по числу пятен, индексу Вольфа, УФ-индекса), были построены диагональные матрицы коэффициентов корреляции Пирсона по вариантам опыта и повторностям с указанием уровня их значимости. По относительному числу выявленных положительных $\theta_{к+}$ и отрицательных коэффициентов корреляции $\theta_{к-}$ в вариантах опыта с применением препарата «Витаплан, СП» и культуральной

жидкости (КЖ) штаммов *B. subtilis* ВКМ В-2604D и *B. subtilis* ВКМ В-2605D, анализировали преобладающие тенденции в изменениях фитометрических и фитопатологических показателей, обусловленных природно-климатическими факторами (Колесников и др., 2023b).

При построении многомерной модели различий в значениях относительных изменений комплекса фитопатологических показателей в вариантах опыта «Витаплан, СП» и КЖ штаммов *B. subtilis* ВКМ В-2604D + *B. subtilis* ВКМ В-2605D в зависимости от метеорологических условий периодов вегетации, была использована методика многомерного шкалирования. Многомерное шкалирование – это способ наиболее эффективного размещения показателей измерения, приближенно сохраняющий наблюдаемые между ними расстояния. При многомерном шкалировании матрица различий между вышеуказанными показателями в Евклидовом пространстве была представлена в виде двухмерного графического изображения их взаимного расположения. Достоверность модели была подтверждена диаграммой Шепарда, отражающей зависимость воспроизведенных расстояний Евклида, рассчитанных для фитопатологических показателей пшеницы и метеофакторов, от исходных с использованием метода монотонного преобразования (регрессии). Исходные данные расстояний были согласованы со ступенчатой функцией их преобразования (Колесников и др., 2023b).

Метод факторного анализа применяли для анализа причинно-следственных связей в изменении фитометрических и фитопатологических характеристиках посевов пшеницы в зависимости от метеорологических условий и активности Солнца. При построении факторной модели, представленной в работе Колесникова и др., 2022a, было выявлено пять факторов ($F_1 \ldots F_5$), описывающих линейные статистические связи (корреляции) между указанными выше показателями. Выявленные факторы включали группы показателей, коррелирующих между собой больше, чем с показателями, входящими в другой фактор. Каждый из факторов представлял одну из сторон внутренней структуры взаимосвязи между переменными, что

было выражено коэффициентами в линейных комбинациях – факторными нагрузками на переменные. По знакам, величинам нагрузок и природе исходных переменных делали интерпретацию выделенных линейных комбинаций.

2.3.2.3.2 Штаммы ассоциативных ризобактерий

Полевой опыт по определению влияния бактериальных штаммов на продуктивность пшеницы сортов Тризо, к-64981, Сударыня, к-66407, Ленинградская 6 (к-64900), Ajeeba (к-55721, сортов ярового тритикале (*Triticosecale* Wittm. exA. Camus): Dua (к-828) и Аист Харьковский (к-2778), а также интенсивность развития болезней выполнен в соответствии со следующей схемой:

- ✓ без обработки (контроль);
- ✓ инокуляция семян и профилактическое опрыскивание растений штаммом *Bacillus subtilis* 124-11;
- ✓ инокуляция семян и профилактическое опрыскивание растений штаммом *Sphingomonas* sp. K1B;
- ✓ инокуляция семян и профилактическое опрыскивание растений штаммом *Pseudomonas fluorescens* SPB2137.

С целью размножения и получения в дальнейшем культуральной жидкости бактериальные штаммы выращивали двое суток на картофельно-глюкозном агаре. Для инокуляции семян бактериальными штаммами их заливали суспензией бактерий (10^9 кл/мл) из расчета 2 мл суспензии на 10 г семян и выдерживали 1 ч. Профилактическое опрыскивание растений культуральной жидкостью бактерий (10^9 кл/мл) осуществлено в двукратной повторности в фазы кущения и колошения (Kolesnikov et al., 2021b, 2024).

«Кроме того, схема опыта в 2022 г. включала варианты с использованием органо-минерального удобрения Batr Gum. Доза применения 10 мл/л воды. При формировании полифункциональных комплексов к рабочему раствору Batr Gum были добавлены чистые бактериальные

культуры в пропорции 1:1, в частности, к 100 мл рабочего раствора Batr Gum – 100 мл культуральной жидкости согласно вариантам опыта: *B. subtilis* 124-11+ Batr Gum, *Sphingomonas* sp. K1B+ Batr Gum, *Ps. fluorescens* SPB2137+ Batr Gum. Расход рабочего раствора Batr Gum и полифункциональных комплексов: при замачивании семян – 2 мл на 10 г семян, при опрыскивании растений – 100 мл/м^2. Опрыскивание растений осуществляли в вечерние часы в фазы выхода в трубку и начала цветения. Удобрение Batr Gum – жидкая органо-минеральная композиция на основе гуминовых кислот, имеющая в своем составе микроэлементы и полигидроксикарбоновые кислоты (янтарную, лимонную, молочную, аскорбиновую)» (Колесников и др., 2023а).

Полевой опыт в период 2017-2022 гг. был заложен в четырехкратной повторности (методом организованных повторений). Для одного варианта опыта площадь учетной делянки составила 1,0 м^2, варианты по делянкам в повторениях расположены систематически.

По результатам анализа относительных изменений (по сравнению с контролем) фитометрических и фитопатологических характеристик посевов в зависимости от метеорологических условий и солнечной активности при применении ассоциативных ризобактерий были созданы и проанализированы корреляционные матрицы, построенные на основе расчета коэффициента корреляции Спирмена и определения его уровня значимости. В дальнейшем коэффициенты корреляции ранжировали, после чего был рассчитан относительный показатель – доля отрицательных и положительных коэффициентов корреляции Спирмена, а также доля достоверных коэффициентов корреляции при $P<0,05$.

2.3.2.3.3 Белковые стимуляторы роста и почвенный кондиционер

Полевой опыт по определению эффективности внекорневой обработки растений белковым гидролизатом R (Куцакова и др. Патент № 2533037 РФ: МПК C 05 F 1/00, A 01 N 33/00) был выполнен в 2017 г. на 10-ти сортах пшеницы (рис. 11): Ленинградская 6, к-64900; Сударыня, к-66407; Trizo, к-

64981; Уральская кукушка, к-66267; Челяба ранняя, к-66268; Сибирская 21, к-66269; Кинельская юбилейная, к-66270; Тюменочка, к-66271; Ирень 2, к-66272; Кинельская волна, к-66274 (Кременевская и др., 2018) и в 2018-2019 гг. на 15-и сортах пшеницы: ЛП–588–1–06, к–65446; Уралосибирская, к–65244; к–32666; Оренбургская 22, и–147624; Памяти Юдина, к–65243; Ленинградская 97, к–62935; Амурская красноколоска, к–32095; Ульяновская 100, к–65250; Кампанин, к–65445; Василиса, к–65443; Тюменская 30, к–65248; Красноуфимская 110, к–65478; Тулайковская 108, к–65452; Тулайковская 110, к–65454; Тюменская 29, к–65247 (Kolesnikov et al, 2020b).

За периоды 2017-2018 гг. и 2017–2019 гг. осуществлен сравнительный анализ изменения структуры продуктивности и интенсивности поражения пшеницы болезнями у 25 сортов пшеницы при внекорневой подкормке растений белковым стимулятором роста R (Колесников и др., 2020; Кременевская и др., 2022).

Рис. 11 – Белковый стимулятор роста R (Кременевская и др., 2022)

Основными действующим веществами в белковом гидролизате R являются аминокислоты в следующих количествах (микромоль/мг): глицин – 1,20; пролин – 0,57 – 0,63; аланин – 0,58 – 0,60; глутаминовая кислота – 0,37 – 0,41; лизин – 0,230; лейцин – 0,115 – 0,120; аспарагиновая кислота – 0,155; валин – 0,140; фенилаланин – 0,085; серин – 0,07 – 0,08; гистидин – 0,050 – 0,054; изолейцин – 0,034 – 0,040; аргинин – 0,018; тирозин – 0 – 0,007;

метионин – 0,002; аргинин – 0,018; оксипролин, треонин – следы (Кременевская и др., 2018).

Исследования массовой доли аминокислот проводили методом высокоэффективной жидкостной хроматографии. Метод заключается в расщеплении пептидных связей белка соляной кислотой при нагревании, последующей модификации аминокислот фенилизотиоционатом (ФИТЦ), разделении фенилтиокарбамильных (ФТК) производных аминокислот на колонке с обращенной фазой C_{18} в режиме градиентного элюирования и их спектрофотометрическим детектированием на длине волны 254 нм. Исследования проводили на жидкостном хроматографе LC-20 Prominence производства фирмы Shimadzu (Кременевская и др., 2018)

В исследованиях 2021-2022 гг. был использован новый белковый гидролизат RM с молекулярной массой 700000 Да с содержанием глицина на 17 % больше по отношению к R (Kolesnikov et al., 2023).

Полевые опыты были заложены в двухкратной повторности методом организованных повторений. Для одного варианта опыта площадь учетной делянки составила 1,0 м^2, варианты по делянкам в повторениях расположены систематически. Схема опыта включала трёхкратное опрыскивание сортов пшеницы белковым гидролизатом (0,195 г/л), которое было приурочено к основным фазам развития пшеницы: кущения, выхода в трубку, начала колошения.

2.3.2.3.4 Полимерный гидрогель

Исследования по оценке эффективности влагопоглощающей полимерной гидрогелевой композиции на основе акрилата калия и N, N’ – метиленбисакриламида (Baidakova et al., 2019), в том числе при совместном использовании с белковым стимулятором роста R, при предпосевном внесении в почву выполнены за период 2019-2020 гг. Растительным материалом исследования являлись сорта пшеницы: Ленинградская 97, к-62935, Ленинградская 6, к-64900; Trizo, к-64981 (Россия, Ленинградская обл.).

Технологическая схема синтеза композиционного супервлагоабсорбента приведена в работах Колесникова и соавторов (2021) и Kolesnikov et al. (2021a).

Схема опыта в 2019-2020 гг. предусматривало следующие варианты, размещенные систематизированно в трехкратной повторности :

- ✓ без внесения препаратов в почву (контроль) – К;
- ✓ гидрогель (в перерасчете на возможность связывания 200 мл влаги в почве), 3 г на 1 м^2 или 30 кг/га – 0,5G;
- ✓ гидрогель (в перерасчете на возможность связывания 400 мл влаги в почве), 6 г на 1 м^2 или 60 кг/га – 1G;
- ✓ гидрогель, 3 г на 1 м^2 или 30 кг/га + белковый стимулятор R, 2 г на 1 м^2 или 20 кг/га (в перерасчете на возможность связывания 200 мл влаги в почве) – 0,5G:1S;
- ✓ гидрогель, 6 г на 1 м^2 или 60 кг/га + белковый стимулятор R, 4 г на 1 м^2 или 40 кг/га (в перерасчете на возможность связывания 400 мл влаги в почве) – 1G:2S.

В 2021-2022 гг. исследования были продолжены, однако схема опыта была изменена, полимерный гидрогель был внесен в почву в сухом виде перед посевом мягкой пшеницы, как и в 2019-2020 гг., однако семена пшеницы были предварительно замочены в растворах двух белковых стимуляторов (гидролизатов) R и RM, различающихся по молекулярной массе и аминокислотному составу, в том числе содержанию глицина (Kolesnikov et al., 2023).

Схема опыта в 2021-2022 г. предусматривало следующие варианты, размещенные систематизировано в трехкратной повторности (Kolesnikov et al., 2023).

- ✓ без внесения препаратов в почву (контроль) – К;
- ✓ гидрогель (в перерасчете на возможность связывания 200 мл влаги в почве), 3 г на 1 м^2 или 30 кг/га – 0,5G;
- ✓ гидрогель (в перерасчете на возможность связывания 400 мл влаги в

почве), 6 г на 1 м^2 или 60 кг/га – 1G;

- ✓ гидрогель, 3 г на 1 м^2 или 30 кг/га + семена, замоченные в белковом стимуляторе роста, R – 0,5G:1R;
- ✓ гидрогель, 6 г на 1 м^2 или 60 кг/га + семена, замоченные в белковом стимуляторе роста, R – 1G:2R.
- ✓ гидрогель, 3 г на 1 м^2 или 30 кг/га + семена, замоченные в белковом стимуляторе роста RM – 0,5G:1RM;
- ✓ гидрогель, 6 г на 1 м^2 или 60 кг/га + семена, замоченные в белковом стимуляторе роста RM – 1G:2RM.

2.3.2.3.5 Органо-минеральные удобрения и микроудобрения

Исследования по внекорневой обработке пшеницы были выполнены в период 2014-2021 гг. (Мельников и др., 2016; Колесников и др., 2018c, 2019a, 2020b; Прияткин и др., 2020; Kolesnikov et al., 2021c)

Схема опыта предусматривало использование следующих препаратов. В 2014-2015 гг. – «ФлорГумат», «Флора-С», «Зеребра агро», «Органик», «Фитоп-Флора-С» (растительный материал – 78 сортов мягкой пшеницы: Norka, к-26950, Webster, к-33771, Pusa 114, к-31993, Arkas, к-55891, Jufy I, к-44842, Ангарида, к-64116, Leguan, к-64387 и др.) (Мельников и др., 2016).

В 2017 г. были использованы «ФлорГумат», «Флора-С», «Эдагум», «Фитоп-Флора-С», «Зеребра агро», «БатырMax», «Батыр 40N», «Батыр 40N+Max», «Азофоска», «Trace Mix» (Колесников и др., 2018 c; Колесников и др., 2019a), а с 2018 г. по 2020 г. – «ФлорГумат», «ФлораС», «Зеребра агро», «Фитоп-Флора-С», «Эдагум», в 2021 г. – «ФлорГумат», «ФлораС», «Зеребра агро», «Фитоп-Флора-С», «Эдагум», Trace Mix (растительный материал – 3 сорта мягкой пшеницы: Ленинградская 6, к-64900; Сударыня, к-66407; Trizo, к-64981 (Колесников и др., 2020b; Kolesnikov et al., 2021c).

В 2019 г. изучена эффективность влияния минерального удобрения «Natural Green» на продуктивность и интенсивность развития болезней у двух

сортов пшеницы – Сударыня, к-66407 и Trizo, к-64981. Схема опыта по каждому сорту мягкой пшеницы включала: контроль (без обработки) и вариант, где растения были обработаны минеральным удобрением «Natural Green». Опыт был заложен в четырехкратной повторности. Обработка вегетирующих растений пшеницы препаратом «Natural Green» выполнена в трехкратной повторности в фазы: формирования 4-6 листьев, кущения, начала молочной спелости зерна (Прияткин и др., 2020).

2.3.2.4 Методы статистической обработки данных опыта

В рамках выполнения исследований были адаптированы некоторые современные методы статистического анализа, реализованных в программных комплексах IBM SPSS, Statistica. При построении моделей вредоносности возбудителей болезней в отношении элементов структуры урожая были найдены коэффициенты описывающих их функций с использованием регрессионного анализа. Общая оценка соответствия регрессионной модели эмпирическим данным была сделана по F-критерию Фишера и коэффициенту детерминации (r^2). Влияние факторного признака рассматривалось как статистически существенное, если уровень значимости F-критерия был меньше 0,05, и построенное уравнение регрессии рассматривалось как статистически значимое.

При оценке влияния стимулирующих обработок на посев пшеницы достоверность различий между средними значениями фитометрических и фитопатологических показателей определяли на основе статистики Стьюдента. При этом выбор t-критерия, адаптированного для равных и неравных дисперсий выборок осуществлялся по показателю равенства дисперсий Левина Levene´s Test (Мельников и др., 2016). Кроме того, статистическая обработка данных включала использование метода множественных сравнений Шеффе (Scheffe's method), а также Q-критерий Кохрена Cohen's test (Kolesnikov и др., 2021b).

Взаимосвязи между отдельными показателями патогенеза возбудителей болезней, ботаническими особенностями растительного материала и

метеофакторами изучали методами параметрического и непараметрического корреляционного анализа, на основании вычисления коэффициентов корреляции Пирсона, Спирмена и Кендалла (Колесников и др., 2011, 2020c, 2022a, 2022b).

Методом кросстабуляции исследована достоверность влияния на развитие болезней ботанических особенностей образцов пшеницы (разновидности, наличия воскового налета, угла наклона листа к стеблю, площади листовой поверхности), их происхождения. В качестве критерия сопряженности указанных показателей был использован коэффициент Крамера (Колесников и др., 2010a).

Оценку многолетней вариабельности интенсивности развития болезней, в том числе при стимулирующих обработках посевов проводили с использованием результатов дисперсионного анализа. Для каждого факторного элемента вычисляли статистику Фишера (F) с соответствующим уровнем значимости (P). Следует отметить, что чем больше значение F-критерия, тем сильнее нарушается нулевая гипотеза (H_0) об отсутствии влияния на показатели развития болезней экологических условий периодов фитосанитарного мониторинга (Власова, Колесников, 2002).

Результаты фитосанитарного мониторинга развития возбудителей бурой и желтой ржавчины, септориоза и мучнистой росы на различных по устойчивости образцах пшеницы были обработаны методами многомерной статистики. Метод факторного анализа использовали для определения взаимосвязей между показателями, характеризующими развитие возбудителей болезней листьев пшеницы, элементы структуры её урожайности, метеорологические условия и солнечную активность. Выявленные факторы включали группы показателей, коррелирующих между собой больше, чем с показателями, входящими в другой фактор. Алгоритм факторного анализа был основан на последовательном выделении факторов, в том числе F_1, объясняющего наибольшую долю дисперсии показателей, F_2, объясняющего меньшую, вторую после первого латентного фактора часть дисперсии, и так далее. Для отбора минимального числа факторов, вносящих наибольший вклад в дисперсию переменных показателей, использовали метод

главных компонент, а для получения более простой структуры факторов и их лучшего разделения путем уменьшения числа показателей, связанных с каждым фактором, – метод варимакс нормализированного вращения. Адекватность применения данного метода к обработке данных эксперимента проверяли на основе расчета показателя Кайзера-Мейера-Олкина (Колесников и др., 2022a, 2022b).

Распределение образцов пшеницы в группы со сходным уровнем устойчивости к возбудителям болезней осуществляли с использованием алгоритма PAM (Partition Around Medoid) пакета NCSS and PASS; методом определения k-средних кластерного анализа пакета Statistica. Для проверки гипотезы о непротиворечивости предлагаемой классификации образцов пшеницы по устойчивости к болезням, а также для нахождения коэффициентов классифицирующих функций использовали метод дискриминантного анализа пакета STATGRAPHICS Plus (Власова, Колесников, 2002).

Методом многомерного шкалирования изучена сопряженность в изменении значений комплекса фитопатологических показателей, формируемого при развитии возбудителей мучнистой росы, бурой ржавчины и септориоза с использованием биопрепаратов. Для определения близости пары точек в многомерном пространстве использовали евклидово расстояние, равное корню квадратному из суммы квадратов разностей значений одноименных показателей, взятых для данной пары объектов (Колесников и др., 2023b).

Графические методы обработки данных включали в себя построение контурных и тональных карт трехмерных поверхностей, отражающих основные взаимосвязи между отдельными фитопатологическими показателями, создание мультипанельных и категоризированных графиков, гистограмм и сплайн-сглаженных аппроксимационных зависимостей для анализа динамики развития возбудителей болезней (Колесников, Власова, 2003; Колесников и др., 2011).

ГЛАВА 3. МОНИТОРИНГ, МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПРОГНОЗ РАЗВИТИЯ ОСОБО ОПАСНЫХ БОЛЕЗНЕЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ ДЛЯ СТАБИЛИЗАЦИИ ФИТОСАНИТАРНОГО СОСТОЯНИЯ АГРОЭКОСИСТЕМ

3.1 Анализ генетических ресурсов мягкой пшеницы яровой по устойчивости к болезням

Северо-Западный регион относится к зоне рискованного земледелия. Одним из факторов, лимитирующих урожайность пшеницы, является фитосанитарное состояние посевов. Основными особо опасными листостебельными болезнями в регионе являются: бурая ржавчина (*P. triticina*), желтая ржавчина (*P. striiformis*), стеблевая ржавчина (*P. graminis*), мучнистая роса (*B. graminis*), септориоз (*P. nodorum* и *Z. tritici*). Не меньшую опасность для посевов пшеницы представляют возбудители корневых гнилей, в том числе гельминтоспориозной гнили (*B. sorokiniana*). В последние дисятилетия наблюдаются изменения в частоте встречаемости доминирующих видов микромицетов, поражающих пшеницу. Так, до 2000 г. преобладало большее поражение пшеницы облигатными паразитами (бурая ржавчина, мучнистая роса), а также возбудителями пятнистостей септориозной этиологии (доминировал вид *P. nodorum*). С 2008 г. ситуация стала меняться и произошли изменения в составе фитопатогенного комплекса. Экономически значимой болезнью остается мучнистая роса, однако снизилась вредоносность бурой ржавчины и возросла – желтой ржавчины. Стеблевая ржавчина присутствовала в посевах, появляясь в конце вегетационного периода, однако в 2010 г., отличавшемся экстремально высокими температурами в период вегетации пшеницы, была зафиксирована эпифитотия болезни. Существенно возросла поражённость септориозом, причем отмечена большая частота встречаемости вида *Z. tritici* и меньшая – *P. nodorum.* Кроме того, возросла экономическая значимость пиренофороза (*P. tritici-repentis*), особенно в смешанной инфекции с септориозом (в зависимости от природно-климатических факторов доминировал тот или иной вид). Поражение

пиренофорозом до 2000 г. регистрировалось, но развитие болезни было незначительно.

Эффективным способом оздоровления фитосанитарного состояния агроценозов зерновых культур является генетическая защита пшеницы. Для ее успешной реализации требуется возделывание генетически разнородных сортов. Для этого необходимо создать коллекцию доноров устойчивости для использования в селекционном процессе. В связи с этим была проведена многолетняя работа по оценке генофонда мягкой пшеницы ВИР к комплексу фитопатогенов.

3.1.1 Бурая ржавчина пшеницы

Многолетняя динамика развития бурой ржавчины пшеницы на флаг-листе мягкой пшеницы сорта Ленинградская 6 представлена на рис. 12.

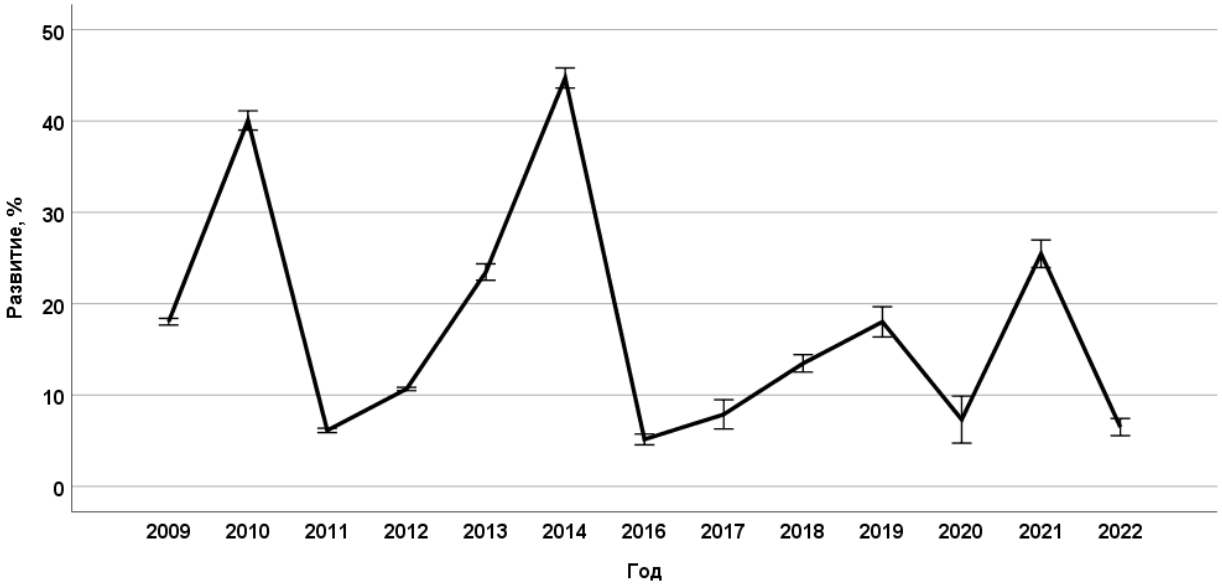


Рис. 12 – Динамика развития возбудителя бурой ржавчины на флаг-листе мягкой пшеницы сорта Ленинградская 6 в 1995-2022 гг.

На диаграмме четко визуализируются два два пика – в 2010 г. ($R_б$=40,1±1,1%) и в 2014 г. ($R_б$=44,7±1,1%). Данная фигура в техническом анализе графических моделей определяется «Двойная вершина», что может указывать о снижении вредоносности болезни в ближайшие годы (Колесников и др., 2020с).

Средние месячные значения температуры и суммы осадков в 2010 г. составили: июль – 24,4°С и 61 мм; в 2014 г.: июль – 21,2°С и 44 мм. Минимальное развитие болезни $R_б$=5,1±0,6% было зарегистрировано в вегетационный период 2016 г., отличавшийся средней среднемесячной температурой в июле 19,0°С, но большей суммой выпавших осадков (июль – 151 мм)» (Колесников и др., 2020с).

Наиболее сильное развитие болезни, характеризуемое числом пустул на лист, было зафиксировано в 2014 г. Из 377 обследованных образцов пшеницы не было выявлено симптомов развития болезни только на 4,5%, в том числе на районированном сорте Курьер (к-65561) и селекционной линии ИТ-6 (к-50852). Среднее число пустул на листьях пшеницы составляло 1167,5±52,40 шт.

В 1995-2021 гг. минимальное развитие бурой ржавчины было выявлено на образцах из Латинской (Южной) Америки (Мексики, Аргентины, Эквадора, Бразилии): $R_б$=5,25±0,44% (число пустул на флаговом листе $N_{п.б}$= 41,58±6,68; площадь пустулы $S_п$=0,04300±0,00177мм^2, тип реакции $Т_б$ = 2,0± 0,06) (рис. 13-14). Из 66-и образцов пшеницы указанной группы развитие болезни менее 1% было зарегистрировано на 9-ти сортах: Nainari S 60 (к-45795), Bacanora 88 (к-64402); Sel.49 4838 H 603 (к-51201); H 603 Sel.47 872 (к-51188); Rafaela (к-45168) и др.

Средняя интенсивность поражения болезнью образцов из Европейской части Российской Федерации была следующая: $R_б$=9,45±0,37%; $N_{п.б}$= 78,04±5,84; $S_п$=0,18790±0,08406 мм^2, $Т_б$ = 2,33± 0,04. Из 169 образцов развитие болезни менее 1% было отмечено на 13 сортах и линиях: Северодвинская 1 (к-40166); Саратовская 56 (к-57098); Курьер (к-65561); Пысар 29 (к-54516); Линия ИТ-3 (к-50849); Ершовская 32 (к-57079) и др. Интенсивность развития болезни более 50% была зарегистрирована на сортах: Trizo (к-64981); Северодвинская 1 (к-40166); Волна (к-40766); Двина (к-40790); Сударыня (к-66407); Кинельская юбилейная (к-66273) и др.

Максимальная средняя интенсивность развития болезни была зарегистрирована на образцах из Австралии и Океании (Новой Зеландии): $R_б$=21,42±0,62%; $N_{п.б}$= 130,72±6,02; $S_п$= 0,06707± 0,00271мм^2, $T_б$ = 2,58± 0,03. Из 77 образцов пшеницы развитием болезни менее 1% отличался только один сорт Bass (к-59810).

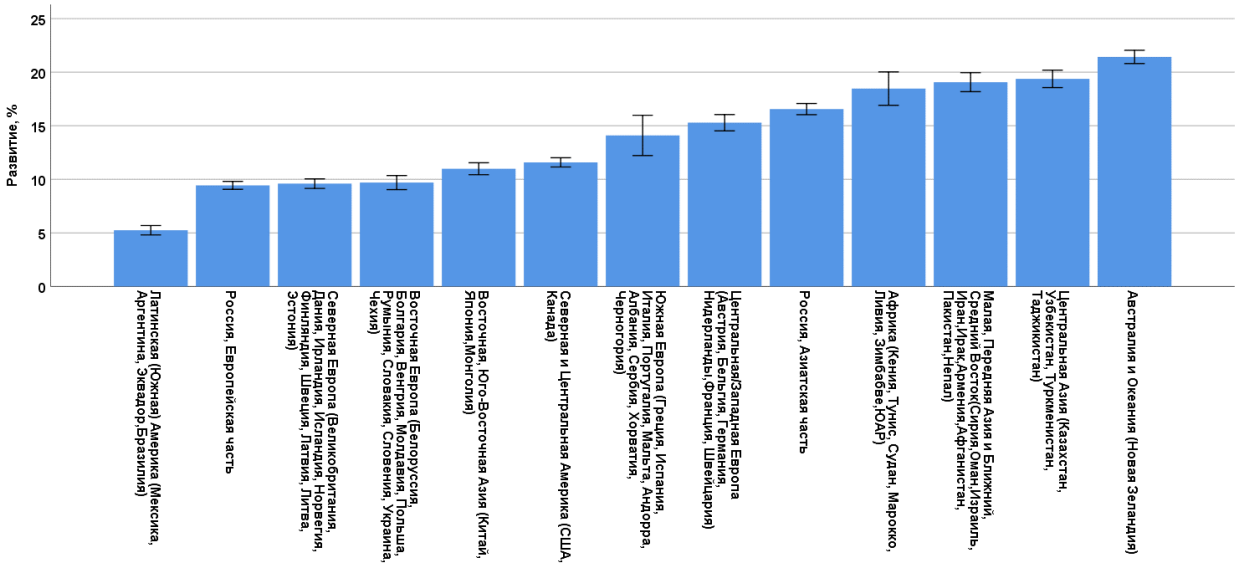


Рис. 13 – Развитие возбудителя бурой ржавчины на пшенице различного происхождения. 1995-2022 гг.

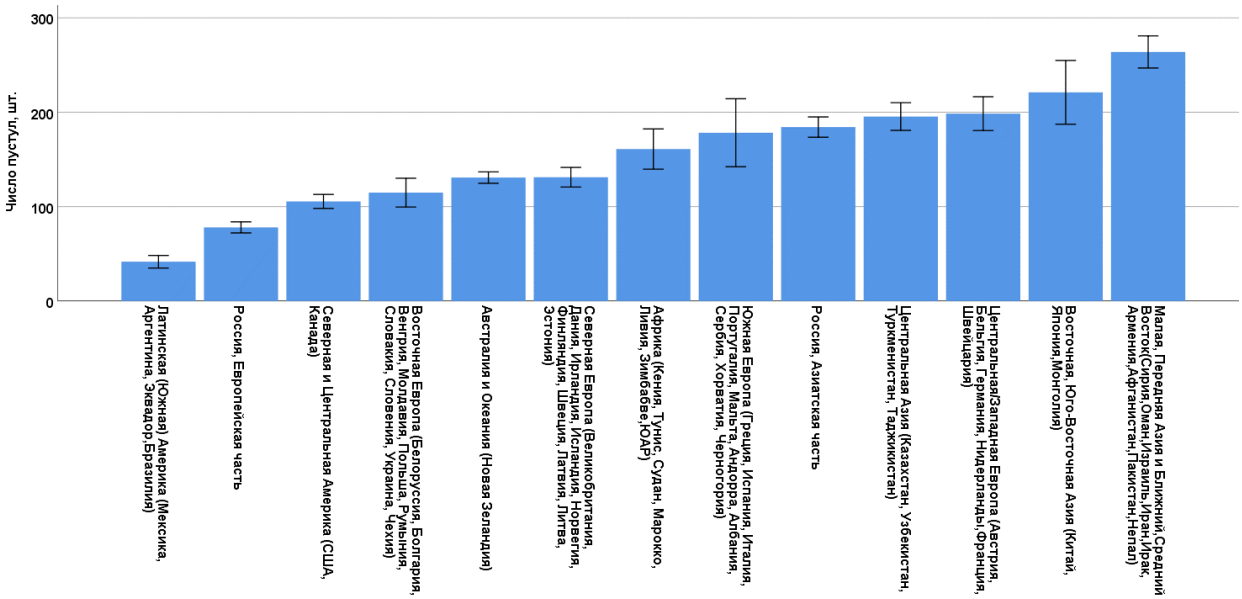


Рис. 14 – Число пустул возбудителя бурой ржавчины на пшенице различного происхождения. 1995-2022 гг.

Результаты многомерного анализа развития бурой ржавчины на изогенных линиях Thatcher позволяют провести сравнительный анализ эффективности генов устойчивости в полевых условиях (Власова,

Колесников, 2002; Колесников, Власова, 2003; Колесников и др., 2018а). Методом кластерного анализа комплекса фитопатологических показателей осуществлено распределение образцов пшеницы в группы по устойчивости к бурой ржавчине с использованием алгоритма PAM (Partition Around Medoid), а также предложена классифицирующая функция для включения в выявленные группы новых сортов и линий пшеницы. Характер динамики развития болезни определялся эффективностью Lr-генов, и находился в существенной зависимости от погодных условий в изучаемые годы (Колесников, Власова, 2003).

Меньшее поражение бурой ржавчиной отмечено на староместных сортах мягкой пшеницы ($R_{б.фл.}$ = 4,30 ± 1,30%, $R_{п.фл}$ = 11,07 ± 2,99, $S_п$ = 0,0576 ± 0,00670 мм$^{2)}$. Наиболее сильно поражались сорта, включенные в реестр России: $R_{б.фл}$ = 27,25 ± 3,09%, $R_{п.фл}$ = 128,14 ± 23,71, $S_п$ = 0,0835 ± 0,00514 мм^2» (Колесников и др., 2011).

Для 40,74% и 66,7% сортов, несущих по несколько *Lr*-генов, отмечено относительное снижение среднего числа спор в пустулах и площади пустулы бурой ржавчины по сравнению с сортами, содержащими идентичные одиночные *Lr*-гены (Колесников и др., 2008с).

Для сортов пшеницы, содержащих ген устойчивости *Lr19* (ППГ-596, к-58750; Т4, к-49703; Пысар 29, к-54516; Kawfers, к-55249; WW15, к-48159) средневременное значение числа спор в пустуле составило 78,5 спор в пустуле (доверительный интервал D_c: 68,9-88,1); *Lr23* (Димитровка 5-14 ИЗР, к-45198; Gamenya, к-44556; Crim, к-46690; Timstein, к-38498) – 54,8 спор в пустуле (D_c: 51,6-57,9); *Lr19* – 78,5 спор в пустуле (D_c = 68,9-88,1); *Lr24* (Torres, к-59817; Tovre, к-45012; Skua, к-60613; Bass, к-59810; Blueboy, к-48246; Seaspray, к-33972; Blueboy 2, к-49851) – 105,0 спор в пустуле (D_c: 99,6-110,4). Число спор в пустуле возбудителя бурой ржавчины у сорта Ленинградская (к-47882) было 1277,7 (D_c: 1228,5-1326,8) (Власова и др., 2005b).

Интенсивность развития бурой ржавчины пшеницы на изогенных линиях Thatcher с идентифицированными *Lr*-генами за период 2001-2014 гг.

приведена в таблице 2П.2 Приложения 2. Не выявлено симптомов развития бурой ржавчины на линии Thatcher, защищенной чужеродным геном *Lr47* (2014 г.), который был интрогрессирован в пшеницу от *Aegilops speltoides* Tausch. По литературным данным известно, что на территории России не выявлены клоны в популяциях бурой ржавчины, обладающие признаком вирулентности к гену *Lr47*. Также нашими исследованиями установлено, что высокой полевой устойчивостью к местной популяции бурой ржавчины Северо-Запада Российской Федерации обладают линии Thatcher – *TcLr45* (2009 г.), Tc*Lr19,* Tc*Lr24,* Tc*Lr29* (2014, 2019 гг.), на которых были выявлены единичные пустулы и развитие болезни не превышало 1% (тип реакции 1). Линия TcLr9 характеризовалась умеренной устойчивостью к болезни (2009 г. – тип реакции 1, 2010-2015 гг. – тип реакции 2). Развитие болезни на линии TcLr9 не превышало 1-2% (4,9-10 пустул/лист).

Заключение. Бурая ржавчина – наиболее распространенное заболевание пшеницы во всем мире. Однако ее значимость относительно снизилась в последние годы, в том числе и Северо-Западном регионе. Это подтверждается и нашими данными (графической моделью). Считается, что одной из причин снижения вредоносности бурой ржавчины во всем мире, в том числе и России, является использование районированных устойчивых к болезни сортов. Тем не менее, как показано в работах ряда исследователей, в том числе – в нашей работе, большинство сортов, рекомендованы к возделыванию в Северо-Западном регионе, в разной степени восприимчивы к болезни. Это указывает на то, что при изменении фитосанитарной ситуации с бурой ржавчиной в регионе, генетическая защита не будет эффективна и потребуется применение фунгицидов. Выделенные устойчивые образцы и изогенные линии Thatcher могут быть рекоменованы для селекции в качестве источников устойчивости.

3.1.2 Желтая ржавчина пшеницы

Многолетняя динамика развития желтой ржавчины пшеницы представлена на рис. 15. В 2014 г. и 2021 г. не было зафиксировано развития болезни. Сильное поражение пшеницы возбудителем желтой ржавчины было отмечено в 2009 и 2019 г. Метеорологические условия в июле 2019 г. были следующие: температура - 16,6°С и сумма выпавших осадков - 93 мм. При этом в июле указанного года была зарегистрирована минимальная среднемесячная температура (Колесников и др., 2020с).

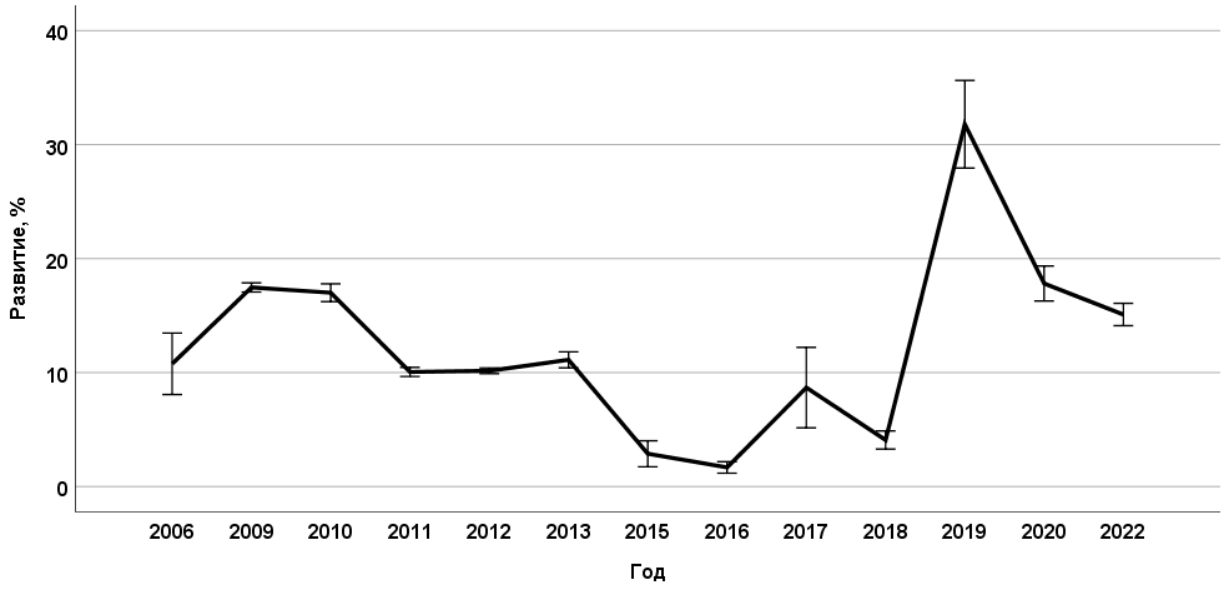


Рис. 15 – Многолетняя динамика развития желтой ржавчины на пшенице сорта Ленинградская 6, к-64900. 2006-2022 гг.

В 2019 г. развитие болезни менее 1% было отмечено только на двух сортах: Кубанка 2447 (к-30734) и Sin Rival x 38 M.A. (к-32771). В 2009 г. не выявлено симптомов болезни на сортах: Алешина (к-63199); Арюна (к-63198); Воевода (к-64997); Кинельская 61 (к-64869); Лубнинка (к-64866); Маргарита (к-64851); Фаворит (к-64998); Челяба 75 (к-64871). Более 1000 пустул патогена на флаговых листьях растений было отмечено на сортах: Manitou (к-45492); Лавруша (к-64984); Harrier (к-59812); Прохоровка (к-62644); Gabo (к-38574); ФПЧ-Ppd-m0 (к-65125); Приморская 39 (к-62511) и др. Наименьшее число спор в пустуле (менее 50) в 2009 г. выявлено на образцах: ППГ-596 (к-58750); Алтайская 70 (к-64986); Т-4 (к-49703); Skua (к-60613); Л 505 (к-62892), а

наибольшее (более 600) – Agatha (к-49912); Canthatch (к-44431); Chinese Spring (к-44435); Trapp (к-57729).

В 2006-2022 г. наименьшая интенсивность развития болезни $R_ж$ выявлена на образцах из Северной Европы (Великобритания, Дания, Ирландия, Исландия, Норвегия, Финляндия, Швеция, Латвия, Литва, Эстония) – $R_ж$ = 4,57±0,31%, а наибольшая – из Малая, Передняя Азия и Ближний, Средний Восток (Сирия, Оман, Израиль, Иран, Ирак, Армения, Афганистан, Пакистан, Непал) – $R_ж$ = 26,97±1,39%. На образцах из Северной Европы выявлены: число пустул микромицета – $R_{п.ж}$ =84,66±8,16; площадь пустулы $S_ж$ = 0,01572± 0,00067 мм^2; число пустул в полосе $N_{п.п.ж}$=17,73±9,92; длина полосы $L_ж$= 8,7±2,95 мм; число спор в пустуле $N_{с.ж}$ = 312,98±19,26, тип реакции $T_ж$=1,23±0,03, а из Южной Европы – $R_{п.ж}$ =395,50±87,07; $S_ж$ = 0,01637± 0,00254 мм^2; $L_ж$= 18,7±3,42 мм; $N_{с.ж}$ = 26,25±4,59, $T_ж$=2,11±0,18. Среди образцов из Северной Европы развитием менее 1% характеризовались сорта: Rollo, к-46567; Snabbe, к-46571; Extra-Kolben II, к-25018; Trippel, к-54222; Reno, к-57056; Ella, к-44780; Jo 3499, к-54590; Saffran, к-57725 и др.

За период 2011-2012 гг. симптомы поражения болезнью не выявлены на линиях Avocet с генами: *Yr5, Yr7, Yr10, Yr15, Yr24, Yr26, Yr27, Yr32* и сорте Jupateco 73R – носителе *Yr18* (таблица 1). При этом развитие болезни на восприимчивом сорте Morocco составило 26,1±3,1%. Согласно Hovmøller с соавторами (2020), гены *Yr5, Yr10* и *Yr15* являются высокоэффективными во всем мире. Изоляты, вирулентные к *Yr24*, встречаются, в основном, в странах Восточной Африки и Западной Азии, а изоляты, обладающие вирулентностью к *Yr24*, отмечаются единично на Европейской территории (Шайдаюк и др., 2020). Гены устойчивости *Yr24* и *Yr26* является эффективными к желтой ржавчине на территории РФ, в том числе - в Южном федеральном округе, и способны обеспечить надежную защиту пшеницы на начальной стадии ее развития (Шумилов, Волкова, 2013; Вожжова и др., 2018). Гены *Yr27* и *Yr32* широко используются в генетической защите пшеницы от болезни (Бабоев и др., 2014; Ali S. и др., 2017), однако в настоящее время частота вирулентности

изолятов к линии *Yr27*/6*Avocet S и *Yr32*/6*Avocet S составляет 87% (Шайдаюк и др., 2020).

Таблица 1 – Интенсивность развития желтой ржавчины на линиях и сортах-дифференциаторах с идентифицированными Yr-генами. 2011-2012 гг.

Ген	Линия/сорт с геном Yr	Развитие болезни, %	Число пустул	Площадь пустулы, кв.мм	Тип реакции
Yr18	Jupateco 73R	0,0±0,0	0,0±0,0	0,00000±0,00000	0
Yr32	Yr32/6*Avocet S	0,0±0,0	0,0±0,0	0,00000±0,00000	0
Yr7	Yr7/6*Avocet S	0,0±0,0	0,0±0,0	0,00000±0,00000	0
Yr26	Yr26/6*Avocet S	0,0±0,0	0,0±0,0	0,00000±0,00000	0
Yr27	Yr27/6*Avocet S	0,0±0,0	0,0±0,0	0,00000±0,00000	0
Yr5	Yr5/6*Avocet S	0,0±0,0	0,0±0,0	0,00000±0,00000	0
Yr15	Yr15/6*Avocet S	0,0±0,0	0,0±0,0	0,00000±0,00000	0
Yr10	Yr10/6*Avocet S	0,0±0,0	0,0±0,0	0,00000±0,00000	0
Yr24	Yr24/6*Avocet S	0,0±0,0	0,0±0,0	0,00000±0,00000	0
YrAR	YrR/6*Avocet S	1,0 ±0,0	24,4±2,0	0,00837± 0,00172	1
YrSp	YrSp/6*Avocet S	1,0±0,5	17,8±1,2	0,05666±0,01692	2
YrAS	YrS/6*Avocet S	1,0±0,0	6,5±0,3	0,03169±0,00049	2
Yr1	Yr1/6*Avocet S	3,0±1,5	27,9±4,8	0,04306±0,00452	3
YrS	Yupateco S	17,5±0,8	170,0±33,4	0,03266±0,00790	4
Yr6	Yr6/6*Avocet S	25,0±0,0	818,7±16,6	0,07021±0,00074	4
Yr17	Yr17/6*Avocet S	52,2±3,7	944,2±45,2	0,02759±0,00353	4
Yr9	Yr9/6*Avocet S	73,1±10,0	1027,3± 60,3	0,03690±0,02176	4
Yr8	Yr8/6*Avocet S	77,9±19,4	1448,0±22,0	0,01767±0,00424	4
Yr18	Yr18/6*Avocet S	84,4±5,9	2643,6±38,5	0,04473±0,00702	4
	Morocco (Nil)	26,1±3,1	247,8±38,2	0,02030±0,00445	4

Было проведено сравнение показателей патогенеза пшеницы, формируемого при развитии бурой и желтой ржавчины с использованием теоретических и визуально-лабораторных методов, при этом в качестве способов оценки развития указанных фитопатогенов были использованы показатели условной и действительной интенсивности поражения патогеном флаг-листа (Власова и др., 2007).

Заключение. Желтая ржавчина с 2000 годов стала доминировать среди других видов ржавчины пшеницы во многих странах мира. Расширяется ее ареал значимости и в РФ, в том числе и Северо-Западном регионе. Показано, что вредоносность желтой ржавчины существенно выше, чем у бурой. Для Северо-Западного региона это может быть обусловлено более ранним проявлением болезни, чем других видов *Puccinia*. Селекция на устойчивость к желтой ржавчине в Северо-Зарадном регионе до настоящего времени не проводилась. Выделенные устойчивые образцы из коллекции ВИР и линии Avocet могут быть рекомендованы для использования в гибридизации при создании новых сортов.

3.1.3 Стеблевая ржавчина пшеницы

Наряду с традиционными болезнями (мучнистая роса, бурая ржавчина, септориоз и др.), возросла угроза эпифитотий стеблевой ржавчины, потери урожая зерна от которой могут достигать 50% и выше (Бабкенова, Бабкенов, 2012; Кохметова, Атишова, 2012). В связи с этим создание и использование в сельскохозяйственном производстве устойчивых сортов остается актуальной проблемой (Павлюшин, 2002). Развитие стеблевой ржавчины пшеницы было зарегистрировано на коллекции мягкой пшеницы в период 2010-2013 гг. В период 2014-2023 гг. симптомов развития болезни не наблюдалось (рис. 16-17).

В 2010 г. развитие болезни $R_{ст.рж.}$ на восприимчивых российских сортах Закамская (к-64854), Памяти Вавенкова (к-65132), Иргина (к-60074),

Ленинградская 6 (к-64900) достигало 100%, что соответствовало 360-930 пустулам на верхнем колосонесущем междоузлии» (Колесников и др., 2013а).

В 2010 году из 490 изученных образцов мягкой пшеницы яровой иммунную реакцию (отсутствие симптомов поражения) имели два сорта: Cajeme (к-47108, Мексика) и Арюна (к-63198, Бурятия). Умеренную устойчивость (тип реакции 1 балл) показали 4,3% образцов: Линия ИТ-1 (к-50847, Ленинградская обл.), Бэль (к-64664, Новосибирская обл.); Фори 1 (и-145275, Ленинградская обл.); Фори 2 (и-145276, Ленинградская обл.)» (Колесников и др., 2013а). Развитие болезни менее 1% было зарегистрировано на сортах Свеча (к-64642, Кировская обл.), Полюшко (к-64856, Новосибирская обл.), Иволга (к-60975, Московская обл.), включенных в Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию на территории Российской Федерации. Устойчивые образцы могут быть рекомендованы в качестве источников устойчивости к стеблевой ржавчине.

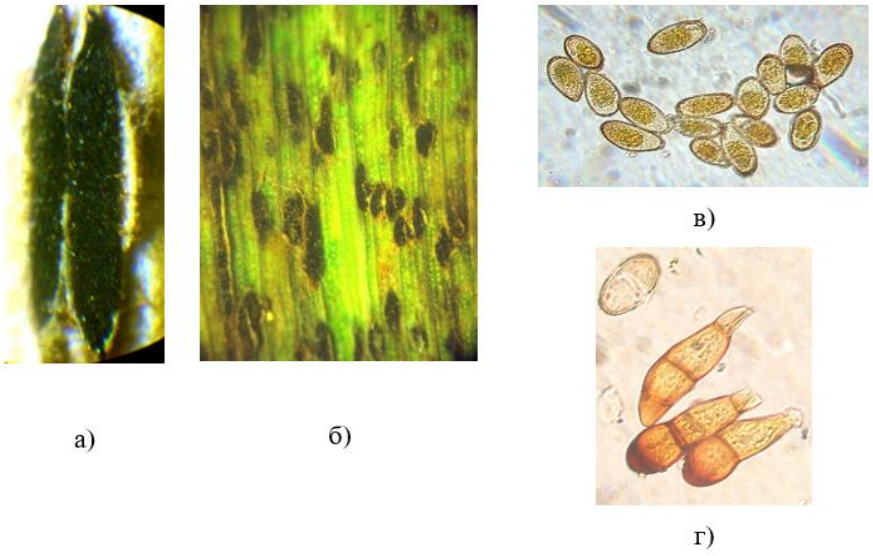


Рис. 16 – Симптомы и инфекционные структуры стеблевой ржавчины пшеницы *Puccinia graminis Rers. f. sp. tritici* Eriks. et Henn (а – телейтопустулы на стебле; б – телейтопустулы на листе; в– уредоспоры; г – телейтоспоры). 2010 г.

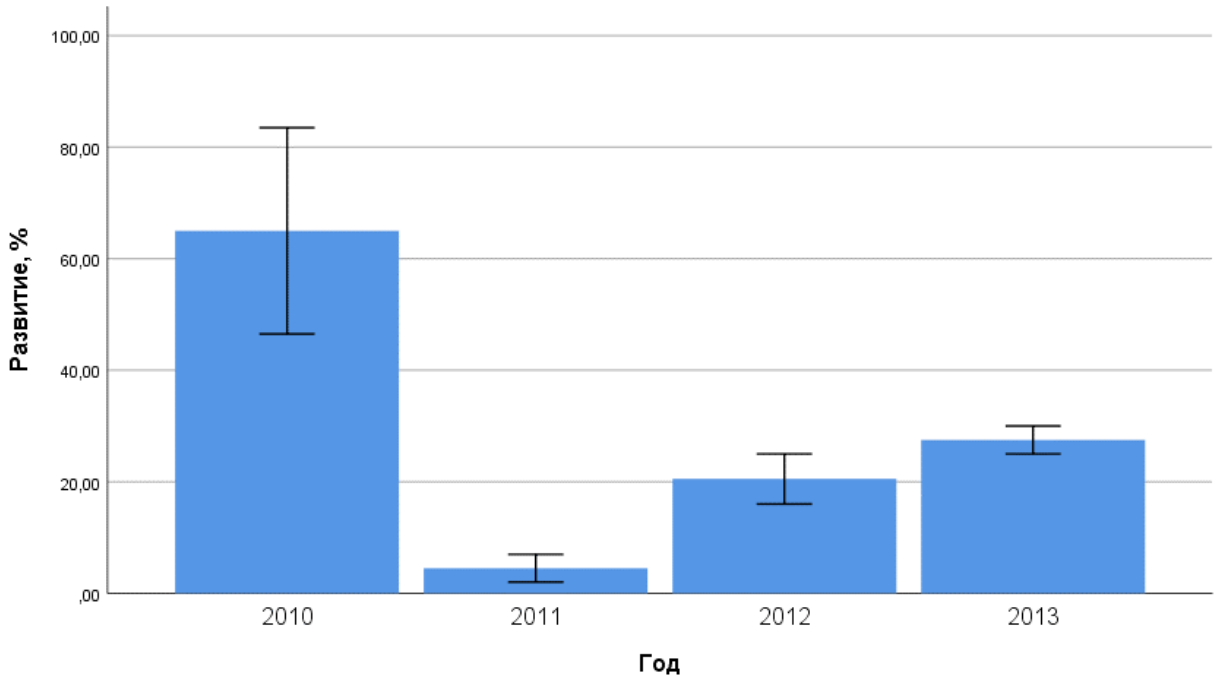


Рис. 17 – Развитие стеблевой ржавчины на мягкой пшенице в 2010-2013 гг. (сорт Ленинградская 6)

Минимальной степенью поражения характеризовались сорта из Латинской (Южной) Америки – $R_{ст.рж.}$ =8.9±0.9%. Большинство сортов из Малой и Передней Азии, а также Ближнего и Среднего Востока (R $R_{ст.рж.}$ =28.0±5.9%), а также староместных сортов (ландрасов) ($R_{ст.рж.}$ = 29,9 ± 1,6%) (таблица 2П.1 Приложения 2) показали высокую степень восприимчивостии: (рис. 18). Умеренной восприимчивостью ($R_{ст.рж.}$ = 16,5 ± 2,9%) отличались российские селекционные линии (таблица 2П.1 Приложения 2): к-65127, к-65121, к-65122, к-65123, к-65124 (происхождение Ленинградская обл.), ранее выделенные как источники селекционно-ценных признаков (длина колоса, число зерен с колоса, содержание белка, клейковины).

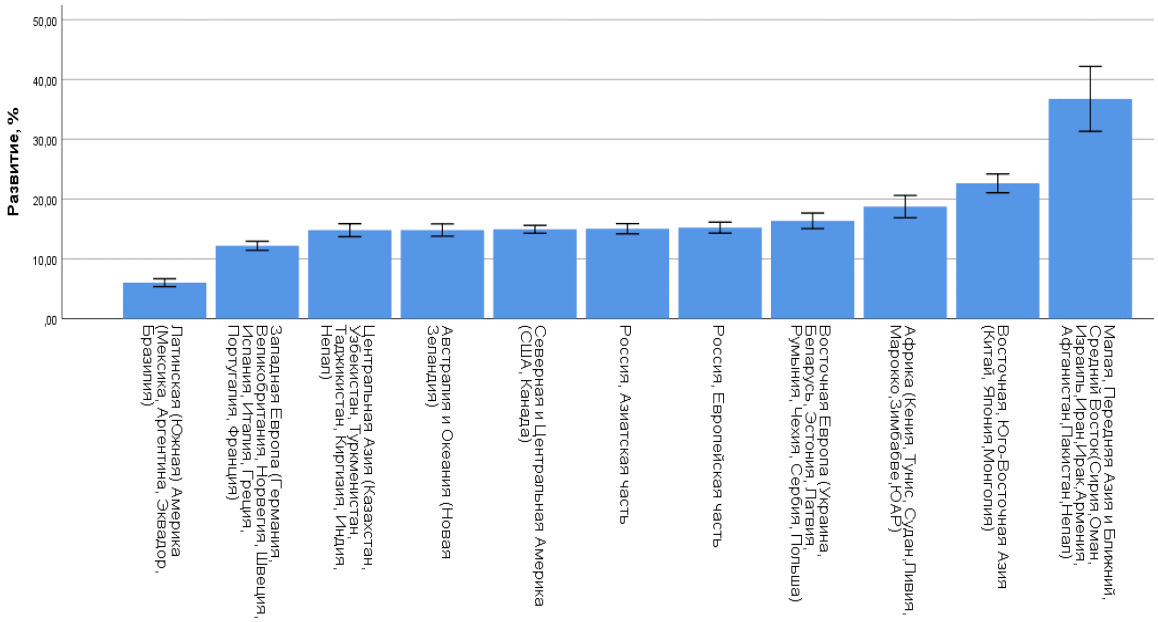


Рис. 18 – Интенсивность развития стеблевой ржавчины на пшенице различного происхождения. 2010 г.

На рисунке 19 представлена многомерная диаграмма (Multidimensional Scaling) распределения образцов мягкой пшеницы яровой различного происхождения по устойчивости к стеблевой ржавчине (Колесников и др., 2013а).

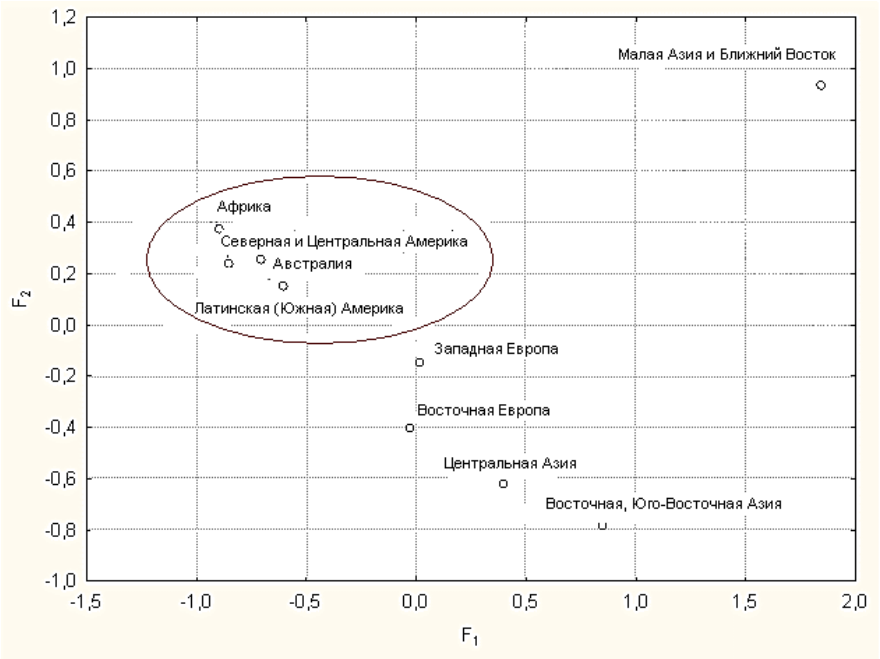


Рис. 19 – Многомерная диаграмма распределения образцов яровой мягкой пшеницы по устойчивости к стеблевой ржавчине в зависимости от их происхождения

Заключение. Несмотря на то, что стеблевая ржавчина имеет умеренную вредоносность для мягкой пшеницы в условиях Северо-Запада, проведенный анализ показал низкий потенциал изученного материала мягкой пшеницы яровой по устойчивости к *P. graminis*, в том числе и перспективных, широко возделываемых в регионе сортов. Выделенные высокоиммунные сорта Cajeme (к-47108, Мексика) и Арюна (к-63198, Бурятия) могут быть рекомендованы в качестве источников устойчивости для селекции.

3.1.4 Мучнистая роса пшеницы

Данные по определению устойчивости мягкой пшеницы яровой к возбудителю мучнистой росы приведены в следующих работах: Колесников и др., 2007, 2008d, 2009c, 2015c). Многолетняя динамика развития болезни на сорте мягкой пшеницы Ленинградская 6 отражена на рис. 20. Минимальное среднее развитие болезни за период 2001-2021 гг. было зафиксировано в 2001 г. ($R_м$=1,25±1,00%), а максимальное – в 2018 г. ($R_м$=23,71±1,89%). В 2018 г. из 93 образцов пшеницы 1% развитием болезни отличались только 12 образцов: Пысар 29 (к-54516); Arina (к-57737); Dhurum Sola (к-23885); М-5 (к-58212); Novodvorska Niva (к-38731); Tesopaco S 76 (к-61857); ИЛ Одесская 16-1 (к-60663); Ноэ (к-23303); Северодвинская 1 (к-40166). Развитие болезни более 50% было зафиксировано на 17-ти сортах: ИЛ Johnes Five 1,3 (к-60643); Келак (к-49192); F.173-72 (к-54582) и др.

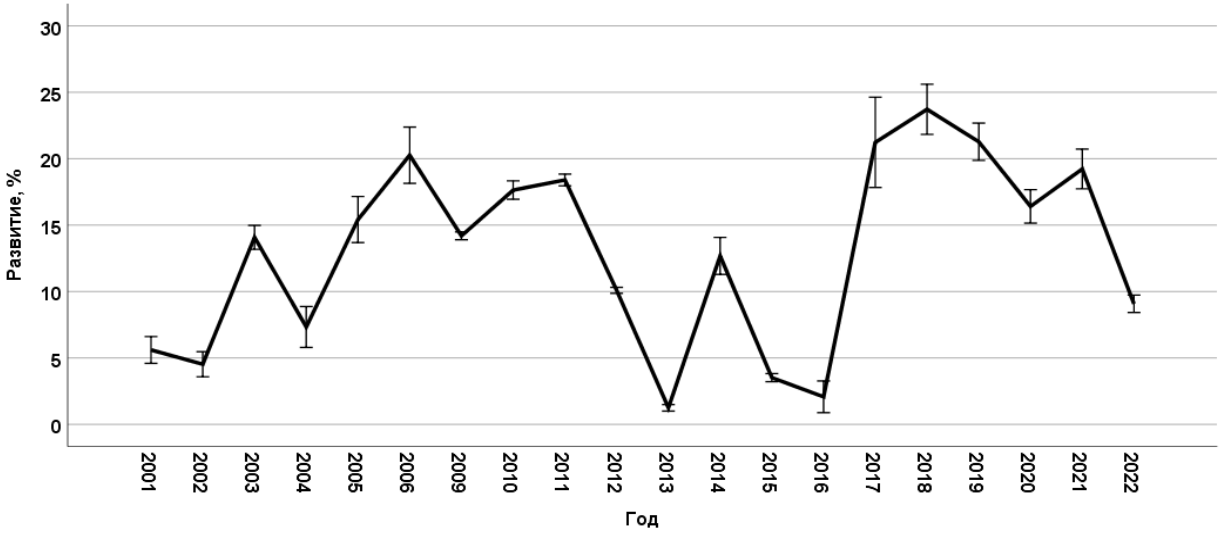


Рис. 20 – Многолетняя динамика развития мучнистой росы на предфлаговых листьях пшеницы сорта Ленинградская 6, к-64900. 2001-2022 гг.

За период 2001-2022 гг. отмечается тенденция усиления степени поражения мягкой пшеницы возбудителем мучнистой росы. Причем кривая динамики развития болезни формирует фигуру, известную в техническом анализе графических моделей как «Двойное дно», что свидетельствует о возможном возрастании вредоносности болезни в ближайшие годы.

Наименьшие значения развития болезни были отмечены в 2013 (S_n= 94,0±6,9) и 2016 гг. (S_n= 39,8±3,9), максимальные значения – в 2018 г. (S_n= 7,0±1,1). Июль и август 2017-2019 гг. отличались меньшими значениями средней температуры на 2,02°С и 0,02°С, соответственно, по сравнению с предыдущим периодом 2009-2016 гг. Количество выпавших осадков в июле 2017-2019 гг. увеличилось на 22 мм, а в августе снизилось на 26 мм по сравнению с 2009-2016 гг.

При анализе динамики числа пятен с налетом возбудителя мучнистой росы (2009-2021 гг.) минимальное среднее значение показателя было отмечено в 2013 г. ($N_{п.м}$ = 1,54±0,28), а максимальное – в 2019 г. ($N_{п.м}$ = 46,99±5,17) – рис. 21.

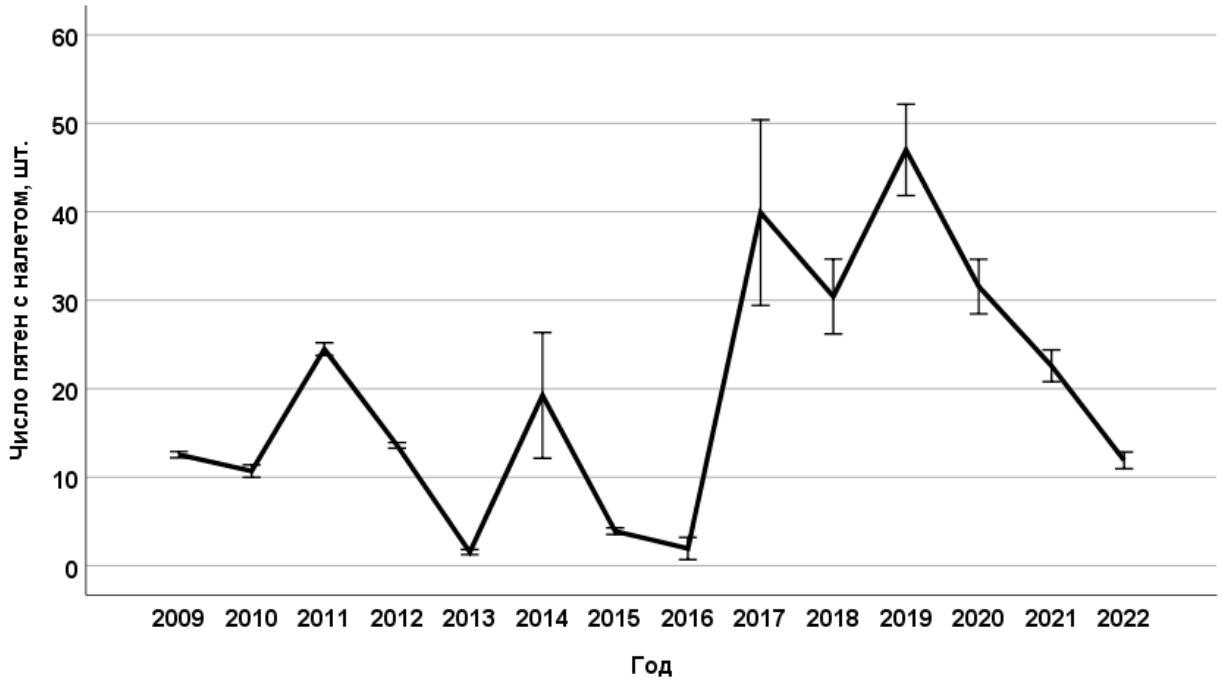


Рис. 21 – Многолетняя динамика числа пятен с налетом мучнистой росы на предфлаговых листьях пшеницы сорта Ленинградская 6, к-64900. 2009-2022 гг.

В 2019 г. из 69 образцов пшеницы только на двух сортах Manbrouk x Manga, к-51022 и к-36707 было зафиксировано 1% развитие болезни (2 пятна с налетом мучнистой росы на лист). Наименьшая средняя площадь пятен с налетом возбудителя мучнистой росы $S_{п.м}$ была зарегистрирована в 2013 г. – $S_{п.м}$ = 1,53±0,28 мм^2, а наибольшая в 2019 г. – $S_{п.м}$ = 1,53±0,28 мм^2 (рис. 22). В 2019 г. из 69 образцов пшеницы площадью пятен с налетом менее 1,0 мм^2 отличались сорта: к-58896; к-38744; NP 412, к-46475; к-23889; к-47879; к-49151; к-47801. Площадью пятен с налетом более 6,0 мм^2 характеризовались – Двина, к-40790 и к-41759.

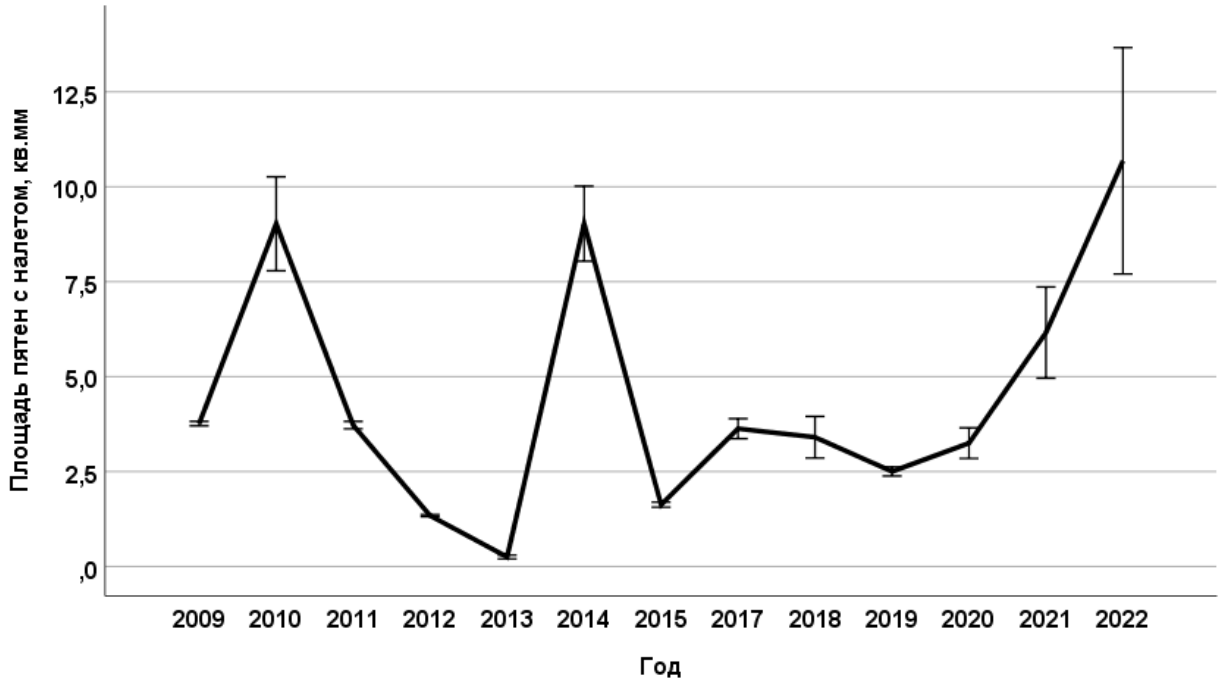


Рис. 22 – Многолетняя динамика площади пятен с налетом мучнистой росы на предфлаговых листьях пшеницы сорта Ленинградская 6, к-64900. 2009-2022 гг.

Особенности развития возбудителя мучнистой росы на мягкой пшенице различного происхождения отражено на рис. 23. Минимальное среднее развитие болезни было выявлено на образцах из Центральной/Западной Европы (Австрия, Бельгия, Германия, Нидерланды, Франция, Швейцария): $R_м$=2,43±0,32%. Из указанной группы 1% развитием болезни характеризовались: Normandie, к-40371; Thasos, к-63469; Hadmerslebener 35730, к-48511; Bergers Giersdorfer, к-40418; Arina, к-57737. Максимальным

средним развитием болезни отличались образцы из Малой, Передней Азии и Ближнего, Среднего Востока (Сирия, Оман, Израиль, Иран, Ирак, Армения, Афганистан, Пакистан, Непал): $R_м$=29,08±1,03%.

Кроме того, образцы из Центральной/Западной Европы характеризовались минимальными значениями числа ($N_{пм}$=3,85±0,48) и площади пятен с налетом ($S_{пм}$=1,00±0,10 мм^2) возбудителя мучнистой росы, а образцы из Малой, Передней Азии и Ближнего, Среднего Востока – максимальными величинами $N_{пм}$=44,69±1,91 и $S_{пм}$=4,42±0,31 мм^2, соответственно.

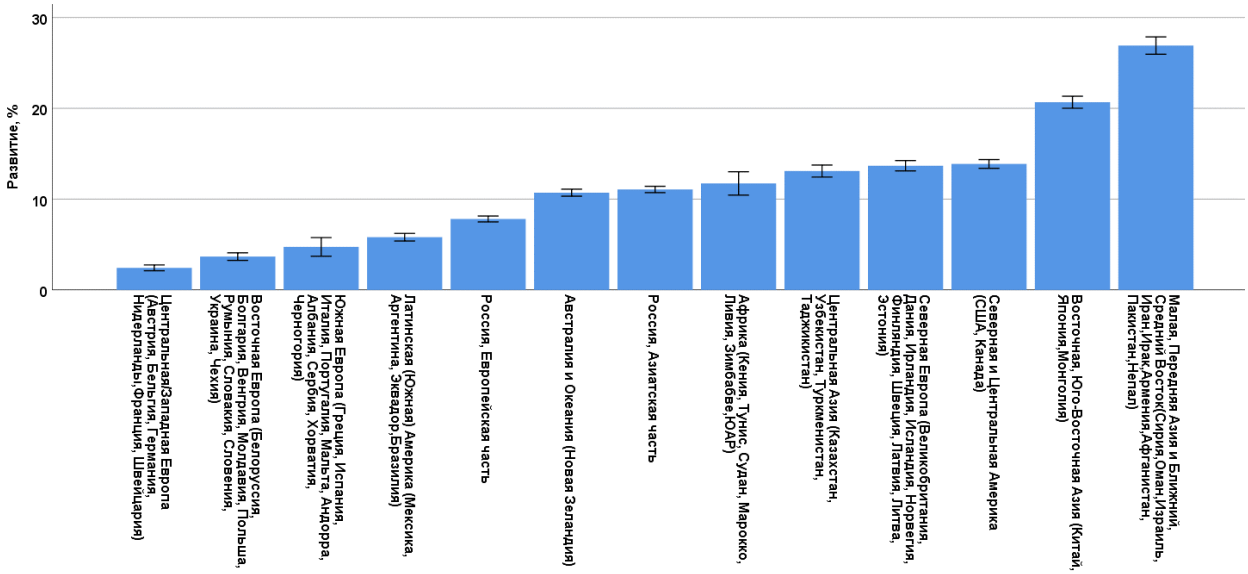


Рис. 23 – Развитие возбудителя мучнистой росы на пшенице различного происхождения. 2001-2022 гг.

За вегетационный период 2009 г. проведен анализ количества конидий с 1 мм^2 пятна с налетом $N_{к.м}$ и со всей средней площади одного пятна с налетом $N_{к.п.м}$, образующихся при поражении образцов пшеницы возбудителем мучнистой росы. Минимальное значение показателя выявлено на сорте Челяба 75, к-64871 ($N_{к.м}$ = 85,78±5,32), а максимальное – Гераклит, к-65129 ($N_{к.м}$ = 3495,48±136,55). Наименьшее число конидий, сформированных на всей площади одного пятна с налетом выявлено на сорте Лавруша, к-64984 – $N_{к.п.м}$ = 95,70±6,70, наибольшее – на сорте Гераклит, к-65129 ($N_{к.п.м}$ = 12109,06±714,63). Установлено, что образцы пшеницы из Малой, Передней

Азии и Ближнего, Среднего Востока и Африки отличались наибольшими значениями числа конидий с 1 мм^2 (рис. 24). Минимальные значения показателя выявлены у образцов из Латинской (Южной) Америки ($N_{к.м}$=203,4±12,2).

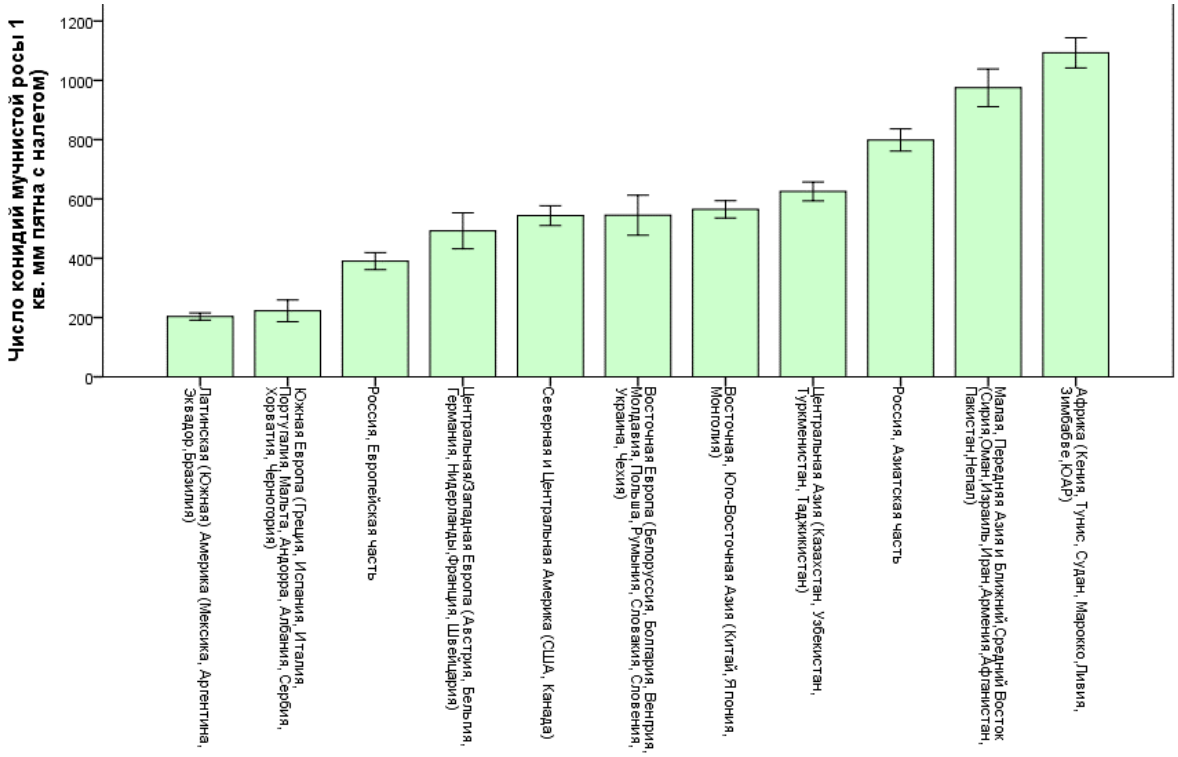


Рис. 24 – Число конидий с 1 мм^2 площади пятна с налетом мучнистой росы в зависимости от происхождения пшеницы. 2019 г.

Заключение. Мучнистая роса по настоящее время остается значимой болезнью для пшеницы в Северо-Западном регионе. Ежегодно она сильно поражает посевы пшеницы, что предопределяет усиление генетической защиты. Как показали наши исследования, большинство яровых сортов, возделываемых в Северо-Западном регионе, восприимчивы к болезни, что усложняет фитосанитарную ситуацию с этой болезнью в регионе. Выделенные устойчивые образцы пшеницы могут быть рекомендованы для селекции на устойчивость к мучнистой росе.

3.1.5 Септориоз пшеницы

Результаты изучения устойчивости мягкой пшеницы к септориозу отражены в следующих работах: Власова и др., 2005с; Колесников и др., 2009с, 2010а. Многолетняя динамика болезни на сорте мягкой пшеницы Ленинградская 6 отражена на рисунке 25. С помощью метода микроскопического анализа листьев пшеницы было установлено, что возбудителями септориоза являлись виды *P.nodorum* и *Z. tritici* .

На рисунке 25 сформирован восходящий "Треугольник" между горизонтальным уровнем сопротивления и восходящей линией поддержки, что свидетельствует о возможном усилении интенсивности поражения пшеницы септориозом в ближайшем будущем. Классический технический анализ графических изображений трактует паттерн "Треугольник" как фигуру продолжения тенденции. Максимальная интенсивность развития болезни была зарегистрирована в 2010 г. (R_s = 43,39±1,05%) и 2011 г. (R_s = 54,64%±1,12%), а минимальная в 2002 г. (R_s = 3,94%±0,86%). В 2021 г. поражение растений септориозом выявлено не было.

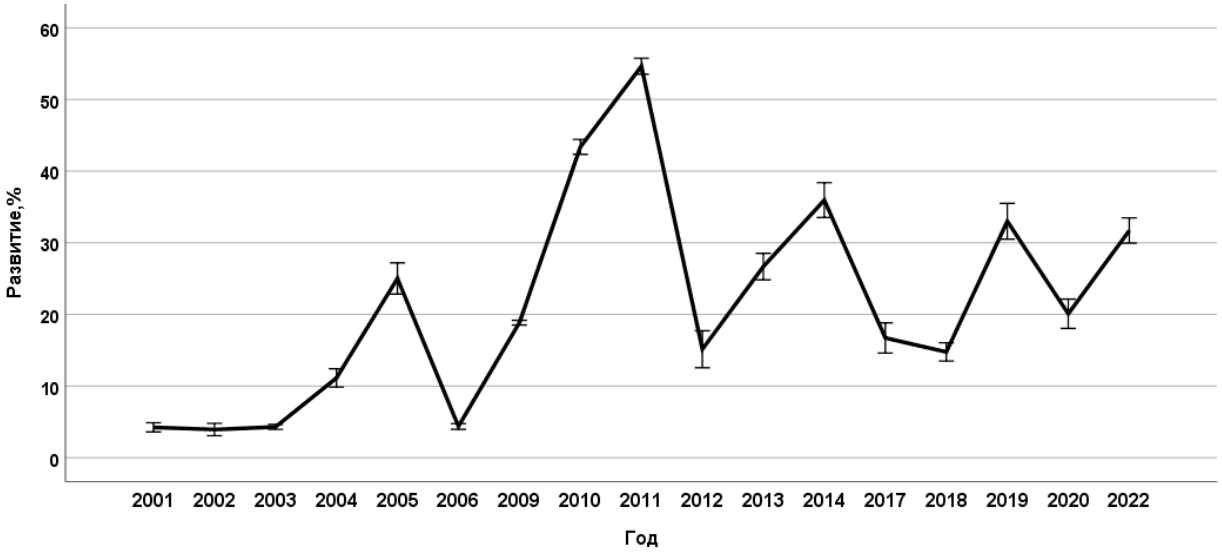


Рис. 25 – Многолетняя динамика септориоза на мягкой пшенице сорта Ленинградская 6 в. 2001-2022 гг.

В 2010 г. изучено 564 образца. Симптомов болезни не обнаружено на 30 образцах (5,3%). Более половины изученной коллекции характеризовалось

высокой или умеренной степенью поражения. В 2011 г. изучено 183 образца мягкой пшеницы яровой. Умеренную устойчивость к болезни (развитие болезни менее 1%) проявили только три образца: Сибирская (к-23347), к-29970 и к-36801. Более 50% изученного материала имело высокую степень поражения (свыше 40%). Умеренная пораженность определена для образцов пшеницы из Азиатской (R_s = 20,00%±0,64%) и Европейской части России (R_s = 22,17%±0,91%), Австралии и Океании (Новая Зеландия) (R_s = 19,85%±0,72%), Северной и Центральной Америки (США, Канада) (R_s = 19,90%±0,98%) Южной Европы (Греция, Испания, Италия, Португалия, Мальта, Андорра, Албания, Сербия, Хорватия, Черногория) (R_s = 20,75%±3,71%) (рис. 26). Максимальная интенсивность развития болезни была зафиксирована на образцах из Малой, Передней Азии и Ближнего, Среднего Востока (Сирия, Оман, Израиль, Иран, Ирак, Армения, Афганистан, Пакистан, Непал) – R_s = 44,91%±1,71%.

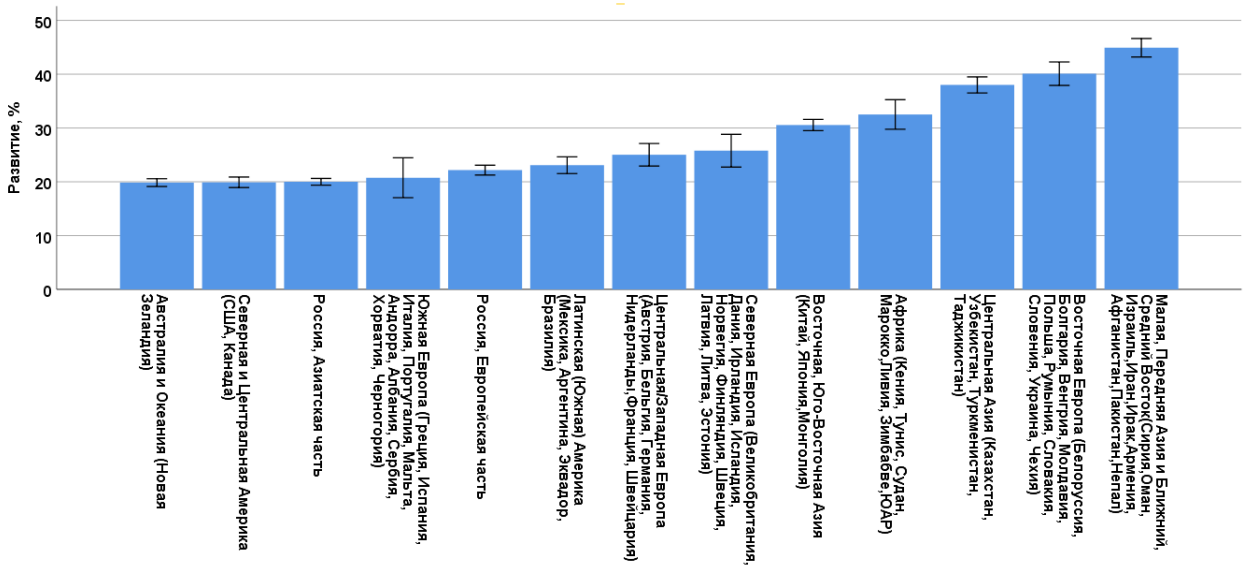


Рис. 26 – Интенсивность развития септориоза на пшенице различного происхождения. 2001-2022 гг.

Умеренной устойчивостью к септориозу среди российских образцов отличались районированные сорта МИС (к-64567), Л503 (к-60620, Прохоровка (к-62644), Л 505 (к-62892), ДальГАУ 1 (к-64639), Новосибирская 29 (к-64258), Красноуфимская 100 (к-64640), СКЭНТ 3 (к-64690), Баганская 95

(к-64864), Курагинская 2 (к-65563) и перспективные селекционные линии: ФПЧ-Ppd-s(к-65122), ФПЧ-Ppd-m0 (к-65125), ГДС-25 (к-32081).

Образцы из Северной Европы (Великобритания, Дания, Ирландия, Исландия, Норвегия, Финляндия, Швеция, Латвия, Литва, Эстония) были менее поражены септориозом (минимальное число пятен N_s= 1,00±0,00 шт.), чем образцы из Малой, Передней Азии и Ближнего, Среднего Востока (Сирия, Оман, Израиль, Иран, Ирак, Армения, Афганистан, Пакистан, Непал), N_s= 13,33±0,23 шт. (рис. 27).

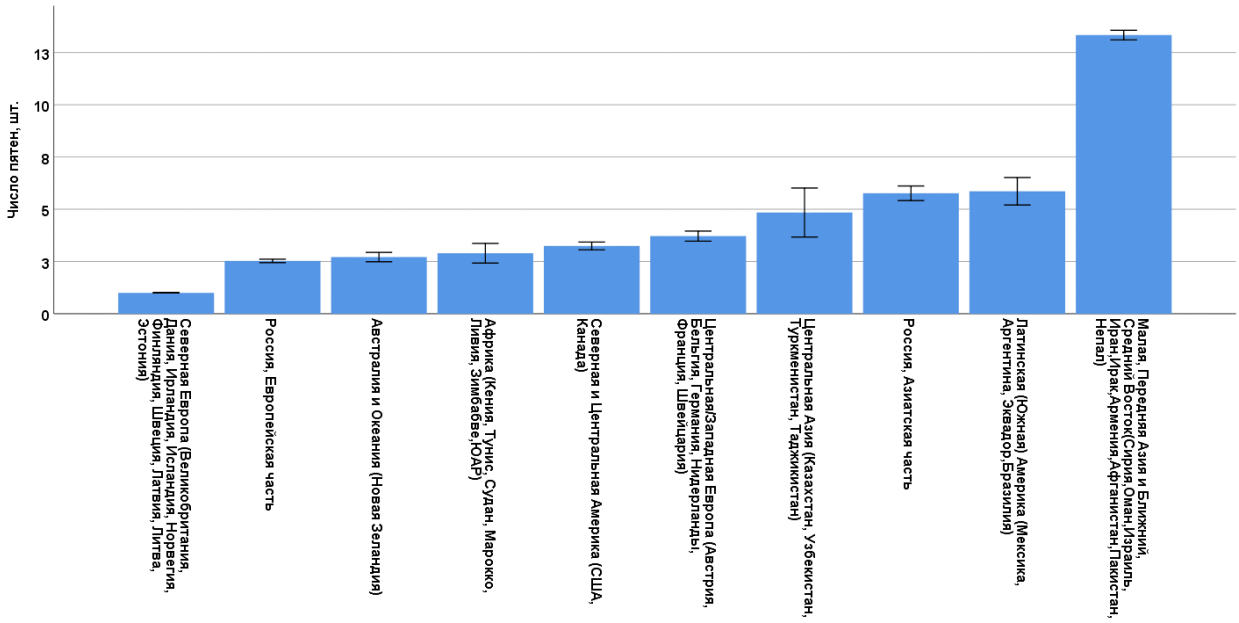


Рис. 27 – Степень развития септориоза на образцах мягкой пшеницы яровой различного происхождения согласно показателю число пятен на лист. 2001-2022 гг.

На образцах из Северной Европы и Азии, изучавшихся до 2010 годов отмечено доминирование вида *P. nodorum*. Минимальные средние значения объема пикноспор *P. nodorum* (по формуле эллипсоида вращения) идентифицированы на образцах из Африки: V_{sn} = 64,84±1,29 мкм^3; максимальные - на образцах из Южной Америки: V_{sn} = 124,85±37,93 мкм^3. Образцы из Центральной Европы характеризовались максимальными значениями объема пикноспор *Z. tritici* (по формуле объема кругового цилиндра): V_{st}=376,21±27,53 мкм, из Африки - минимальными: V_{st} = 529,09±29,20 мкм^3» (Колесников и др., 2010а).

Заключение. Выявлена низкая устойчивость сортов мягкой пшеницы к септориозу. Отмечена тенденция усилинения развития болезни в ближашие годы. Отмечено преобладание частоты встречаемости вида *P. nodorum* во всех пробах, взятых с листовой поверхности образцов, интродуцированных из Северной Европы и Азии до 2010 годов. По результатам многолетней оценки яровой пшеницы из коллекции ВИР выделены образцы с высоким и умеренным уровнем устойчивости, которые могут быть использованы в селекции на устойчивость к септориозу.

3.2 Оценка мягкой пшеницы озимой по устойчивости к инфекционному выпреванию

В 2002-2006 гг. проведены учеты развития инфекционного выпревания на образцах коллекции мягкой пшеницы на опытном поле ВИР (Власова и др., 2004b, 2005a; Колесников, Фунтов, 2004; Колесников, Колесникова, 2010b). Растительный материал для исследований был предоставлен отделом генетических ресурсов пшениц ВИР. Симптомы проявления болезни показаны на рис. 28-29.

Рис. 28 – Микросклероции р. *Typhula* – возбудителя инфекционного выпревания озимой пшеницы (сорт: Фактор, к-60716)

Рис. 29 – Развитие обыкновенной снежной плесени на образце пшеницы Эритроспермум, к-11814

Методом микроскопирования в инфекционном материале определены конидии *Microdochium nivale* (Fr.) Samuels& I.C. Hallett (18,2±0,9 Х 2,7±0,5 мкм с 2-3 перегородками, рис. 30); склероции р. *Typhula*» (Колесников, Колесникова, 2010b).

Рис. 30 – Конидии *Microdochium nivale* (Fr.) Samuels& I.C. Hallett (увеличение порядка 300^{x})

В 2002 г. не выявлено развития болезни на 205 образцах из 363 изученных. Слабое поражение инфекционным выпреванием отмечено у 78 образцов пшеницы. Практически полная гибель растений была отмечена на сортах Северодонская 14 (к-62740) и Смуглянка (к-62741) (Колесников, Колесникова, 2010b).

В 2003 г. отсутствовали симптомы поражения инфекционным выпреванием на 215 из 347 изученных образцов. Незначительное поражение было отмечено у 81 образца пшеницы (1-й балл). Сильное развитие инфекционного выпревания выявлено у образцов пшеницы (7-й балл поражения): С 6-11-32 (к-59215); МРт-833 (к-59228); МГс-353 (к-59226); Horoshiri Komugi (к-59318). Устойчивые к инфекционному выпреванию образцы пшеницы были, в основном, получены из стран бывшего СССР (СНГ), в том числе из России и Европейской части бывшего СССР (Беларуси,

Украины, Молдовы) – 190 образцов; из Средней Азии (Казахстана, Кыргыстана) – 24 образца; из Азербайджана – 1 образец» (Колесников, Колесникова, 2010b).

В 2004 г. среди 339 изученных озимых образцов выделено 34 с отсутствием симптомов болезни. Выявлено 95 образцов мягкой пшеницы с симптомами умеренного развития болезни (балл поражения 1). Значительная часть (84,8%) образцов пшеницы, выделенных по устойчивости к инфекционному выпреванию в 2004 г., была получена из России или интродуцирована из стран Ближнего зарубежья. Остальные были представлены образцами из США (3%), Норвегии (9,2 %) и Канады (3%)» (Колесников, Колесникова, 2010b).

В 2005 году на всех изученных образцах (81) выявлены симптомы болезни. Слабая интенсивность развития болезни была отмечена на 51 образце мягкой пшеницы (1-й балл поражения). Средним поражением растений инфекционным выпреванием характеризовались 20 образцов мягкой пшеницы (3-й балл поражения) (Колесников, Колесникова, 2010b).

В 2006 г. изучили устойчивость 234 образцов мягкой пшеницы, преимущественно иностранной селекции (54,7% образцов). Резистентных к инфекционному выпреванию сортов и линий пшеницы не выявлено. Умеренной интенсивностью поражения растений (1-й балл) отличался только один образец: Бугда (к-34174) (Колесников, Колесникова, 2010b).

В 2004-2005 гг. изучили зимостойкость 73 образцов мягкой пшеницы озимой (табл. 2). Определено, что минимальной относительной величиной гибели растений характеризовались образцы, интродуцированные из Северной Америки, США, для которых также отмечено низкое развитие инфекционного выпревания $R_в = 5,17\%$» (Колесников, Колесникова, 2010b).

Таблица 2 – Комплексная оценка факторов зимостойкости образцов пшеницы в зависимости от происхождения растительного материала. 2004-2005 гг (Колесников, Колесникова, 2010b)

Происхождение	Число растений до снежного покрова		Число растений после снежного покрова		Гибель растений, %	Площадь поражения инфекционным выпреванием, %		Балл уст.
	Ср.зн.	Ст. ош.	Ср.зн.	Ст. ош.		Ср.зн.	Ст. ош.	
Средняя Азия (Казахстан)	9,75	0,63	8,50	0,65	12,82	5,00	0,00	1,00
Европейская часть бывш. СССР (Украина)	11,21	0,54	8,07	0,64	18,48	5,67	0,94	1,00
Северная Америка (США)	14,50	2,33	13,75	0,85	5,17	2,67	0,92	1,00
Россия	15,64	0,47	9,89	0,38	33,93	8,79	0,79	1,27
Азия (Япония)	16,50	3,93	9,25	3,04	43,94	14,00	2,45	3,00
Восточная Европа (Чехословакия до 1992 г., Болгария, Венгрия, Польша)	18,99	0,48	11,57	0,42	37,08	10,19	0,68	1,57
Центральная Европа (Швейцария, Германия)	21,08	0,53	11,08	0,46	41,22	12,44	1,20	1,88
Северная Европа (Швеция, Финляндия)	21,94	1,24	11,50	0,76	47,05	19,17	1,59	3,00

Заключение. На основании результатов фитосанитарного мониторинга образцов мягкой пшеницы по устойчивости к инфекционному выпреванию за период 2002-2006 гг. выявлены образцы, резистентные к болезни. Наибольшее число образцов мягкой пшеницы с отсутствием симптомов инфекционного выпревания было выявлено, когда в посадках пшеницы превалировали образцы, выведенные в России и интродуцированные из сопредельных стран Ближнего зарубежья. Наиболее интенсивное развитие возбудителей выпревания было отмечено в 2006 г. на посевах мягкой пшеницы преимущественно иностранной селекции (площадь очага поражения для большинства исследуемых образцов достигала 90-100%). Представленные данные подтверждают предположение о том, что чем сильнее климатические условия стран, из которых были завезены исследуемые образцы, отличаются

от условий Северо-Западного региона Российской Федерации, тем более такие образцы будут поражаться инфекционным выпреванием вследствие отсутствия у них генетической приспособленности к такого рода климатическим условиям.

3.3 Влияние особо опасных болезней на фитометрические показатели посевов мягкой пшеницы

«В настоящее время наблюдается тенденция снижения толерантности сортов пшеницы к болезням при росте их потенциальной урожайности, что может быть связано с многолетней селекцией пшеницы, направленной только на повышение продуктивности сортов. Наименее адаптированными к условиям Северо-Запада являются образцы из Африки (Кения, Тунис, Судан, Марокко) и Латинской (Южной) Америки (Мексика, Аргентина, Эквадор), характеризующиеся наибольшим снижением биологической урожайности (по массе зерен) при развитии возбудителей болезней по сравнению с контролем».

«Усиление интенсивности развития возбудителя бурой ржавчины на 1% приводило к снижению биологической урожайности (по числу зерен на одно растение) – на 0,6 %; биологической урожайности (по массе зерен на одно растение) – на 0,9 %». «Увеличение развития возбудителя мучнистой росы на 1% приводило к снижению высоты растений на 0,3%, длины колоса – на 0,2%, площади листа – на 0,4%, а также обуславливало снижение числа зерен в колосе на 0,6%, массы зерен – на 1%» (Колесников и др, 2012; Колесникова, Колесников, 2012a; Колесникова, 2012b)».

«При развитии возбудителя желтой ржавчины 75-80% потери урожая по массе 1000 зерен и массе зерен с колоса могут достигать 35-40%. При наличии на листьях 1000 пустул (25%) на умеренно устойчивом сорте ($S_{п.ж.}$ = 0,01 мм^2), снижение массы 1000 зерен по сравнению с контролем (без развития болезни) составит: 6,17%. При тех же значениях патогенеза на восприимчивом сорте при площади пустулы ($S_{п.ж.}$ = 0,07 мм^2): 25,24%» (Колесников и др., 2013b).

В таблице 3 приведены данные о средних потерях урожая сортов и линий мягкой пшеницы, рассчитанных на одно растение при развитии особо опасных болезней листьев. Наибольшие потери урожая - 56-59% были отмечены при развитии мучнистой росы на уровне 75%, а также при смешанной инфекции листьев: бурая ржавчина (R=43%), мучнистая роса (R=5%), септориоз (R=12%).

Таблица 3 – Потери урожая мягкой пшеницы при развитии особо опасных болезней. 2010-2011 гг.

Интенсивность развития болезней, %	Потери урожая, %
Бурая ржавчина (R=28%)	41,9± 4,1
Мучнистая роса (R=75%)	56,3± 2,7
Бурая ржавчина (R=15%), мучнистая роса(R=32%)	53,7± 2,9
Мучнистая роса (R=52%), септориоз (R=8%)	38,8 ± 11,3
Бурая (R=27%) и желтая ржавчина(R=21%)	49,4± 4,1
Бурая (R=12,5%) и желтая ржавчина (R=5%), септориоз (R=28%)	42,0 ± 8,0
Бурая (R=28%) и желтая ржавчина (R=14%), мучнистая роса (R=17%)	49,0± 3,0
Бурая (R=28%) и желтая ржавчина (R=10%), мучнистая роса (R=26%), септориоз (R=12%)	44,0± 3,9
Мучнистая роса (41%), желтая ржавчина (R=1%)	48,8 ±3,0
Бурая ржавчина (29%), септориоз (5%)	47,2± 17,0
Бурая ржавчина (R=43%), мучнистая роса (R=5%), септориоз (R=12%)	59,0 ± 3,0

Согласно данным расчета коэффициента толерантности Т для 107 сортов мягкой пшеницы, представляющего собой отношение урожайности растений с выявленными симптомами поражения возбудителями болезней листьев к урожайности растений без симптомов поражения, осуществлено ранжирования образцов в группы. К группе высокотолерантных сортов (Т=47,9%–100%) было отнесено 18,7% образцов, из них включены в Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию: Алтайская 70, к-64986 (Т=80,1%), Баганская 95, к-64864 (Т=80,9%), Лада, к-62635 (Т=84,5%). Интенсивность поражения образцов

указанной группы достигала: бурая ржавчина ($R_б$=17,4%); мучнистая роса ($R_м$=24,2%); желтая ржавчина ($R_ж$=13,2%); септориоз ($R_с$=26,4%). В группе среднетолерантных сортов (Т=31,1%–68,2%) на фоне $R_б$=23,9%; $R_м$=34,5%; $R_ж$=12,3%; $R_с$=18,0% оказалось 72% образцов, из них в Госреестре – Л 505, к-62892 (Т=37,5%), Эстер, к-64544 (Т=43,6%), Новосибирская 44, к-64867 (Т=53,5%), Челяба 75, к-64871 (Т=53,5%), Челяба Степная, к-64872 (Т=65,5%), Омская 24, к-64118 (Т=67,4%), Омская 37, к-64985 (Т=67,7%). К группе низкотолерантных сортов ($R_б$=22,3%; $R_м$=30,7%; $R_ж$=2,7%; $R_с$=26,7%) отнесено 22,4% образцов, из них в Госреестре: Кинельская 61, к-64869 (Т=7,4%); Маргарита, к-62851 (Т=14,4%); Ленинградская 97, к-62935 (Т=19,6%).

«За период 2016-2020 гг. сорт Ленинградская 6, к-64900 отличался максимальной урожайностью в 2020 г., когда было отмечено его минимальное поражение корневой гнилью (рис. 31).

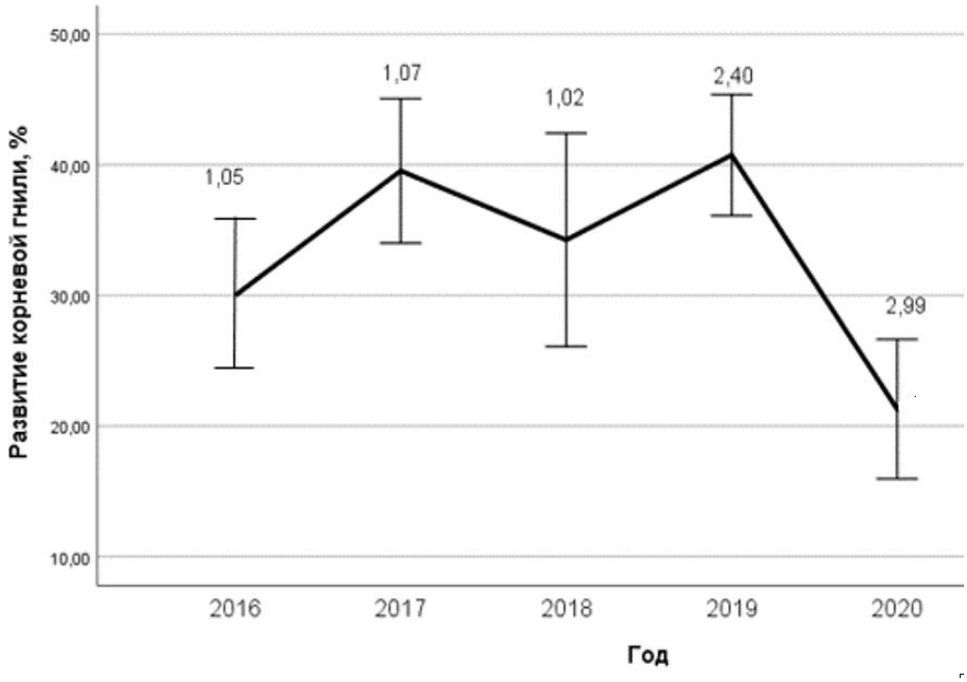


Рис. 31 – Зависимость урожайности пшеницы Ленинградская 6, к-64900 (т/га) от интенсивности развития корневой гнили (%). 2016-2020 гг. (Колесников и др., 2022b)

У растений с сильным развитием болезни (3 балл) по сравнению со здоровыми растениями было выявлено статистически достоверное снижение

числа корней на 44,1%, числа узловых корней на 45,0%, продуктивной кустистости на 35,0%, общей кустистости на 45,0%. Растения с признаками поражения корней корневой гнилью в средней степени характеризовались меньшим числом узловых корней на 31,5%, меньшей массой корней на 44,8%, меньшей массой колоса на 23,9%» (Колесников и др., 2022b). Усиление интенсивности развития корневой гнили пшеницы приводило к снижению площади флаговых (r= -0,8; P=0,01) и предфлаговых листьев (r= -0,3; P=0,04); длины узловых корней (r= -0,9; P=0,001) и длины первичных корней (r= -0,9; P=0,01) (Kolesnikov et al,, 2021c).

За период 2009-2013 гг. отмечена максимальная урожайность сорта Ленинградская 6, к-64900 в 2013 г.: $Y_п$=5,22 т/га. В указанный год интенсивность развития особо опасных болезней была незначительна: бурая ржавчина $R_б$=16,4%; желтая ржавчина $R_ж$=0,33%; септориоз R_{ps} = 15,3%; мучнистая роса $R_м$=0%; стеблевая ржавчина R_s=27,5%. Минимальная урожайность пшеницы была выявлена в 2009 г. Вегетационный период 2009 г. характеризовался сильным развитием желтой ржавчины и мучнистой росы ($R_б$=4,0%; $R_ж$=50,0%; R_{ps} = 23,9%; $R_м$=30,9%; R_s=0%). Снижение урожайности одного растения пшеницы $Y_п$ в зависимости от интенсивности развития мучнистой росы $R_м$ (r= -0,9) можно описать выражением (рис. 32): $Y_п$=3,55499-0,406187$R_м$+0,0217586 $R_м^2$ - 0,000329677$R_м^3$, а уменьшение урожайности с площади посева, т/га (r= - 0,7) – $Y_з$= -0,0752444476914085$R_м$ + 4,74359511981297.

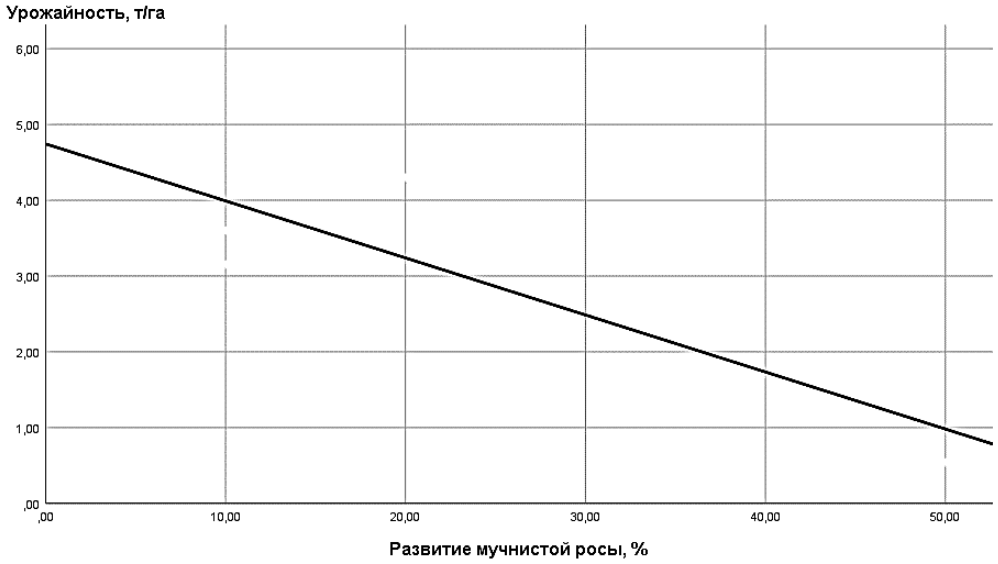


Рис. 32 – Снижение урожайности пшеницы в зависимости от интенсивности развития мучнистой росы. 2016-2020 гг.

Изменение урожайности пшеницы в зависимости от площади пятен с налетом мучнистой росы (по данным 2009-2013 гг.): $Y_п$=3,82944 – 1,11579$S_м$ + 0,197401$S_м^2$ – 0,0113042$S_м^3$ (r^2=0,53). В соответствии с регрессионным уравнением при $S_м$ = 0 мм^2 урожайность пшеницы была 3,83 т/га, а при 1 мм^2 – 2,90 т/га. Изменение площади пятен с налетом на листе пшеницы от 1 до 2 мм^2 приводило к снижению урожая на 0,5 т/га, а при возрастании показателя с 1 до 6 мм^2 наблюдалось уменьшение урожая на 1,1 т/га.

Снижение урожайности пшеницы ($Y_п$) в зависимости от интенсивности поражения пшеницы септориозом (R_{ps}) и мучнистой росой ($R_м$), а также от значений площади пустул, формируемых при развитии возбудителя бурой ржавчины ($S_б$), можно описать формулой: $Y_п$ = 3,10 – 0,00568R_{ps} – 0,04655 $R_м$ –1,10673$S_б$ (R^2=0,56). В соответствии с выражением, при R_{ps} = $R_м$ = 50% и $S_б$ = 0,11 мм^2 потери урожая пшеницы будут составлять 2,73 т/га, а при R_{ps} = $R_м$ = 15% и $S_б$ =0,06 мм^2 – 0,85 т/га в сравнении с урожайностью пшеницы при R_{ps} = $R_м$ = $S_б$=0.

Влияние смешанной инфекции листьев пшеницы, обусловленной развитием септориоза и мучнистой росы, на урожайность пшеницы можно отразить в виде выражения: $Y_п$ = 2,95356 – 0,0048 R_{ps} – 0,04394 $R_м$ (R^2=0,61).

При $R_{ps} = R_м = 50\%$ потери урожая пшеницы будут составлять 2,44 т/га, а при $R_{ps} = R_м = 15\%$ – 0,73 т/га.

Выявлена зависимость между урожайностью пшеницы и интенсивностью поражения пшеницы желтой ржавчиной $R_ж$ и мучнистой росой, характеризуемой числом пятен с налетом на лист $N_{м.п}$: $Y_п = 2{,}86820 – 0{,}00334\ R_ж – 0{,}04883\ N_{м.п}$ (R^2=0,58). При развитии желтой ржавчины $R_ж$ = 5% и числе пятен на лист $N_{м.п}$= 1, потери урожая будут составлять 0,07 т/га, а при $R_ж$ = 50% и $N_{м.п}$ = 10 – 0,66 т/га. Для определения числа пятен с налетом возбудителя мучнистой росы на лист $N_{м.п}$ в зависимости от интенсивности развития болезни $R_м$: $N_{м.п} = 3{,}03399+0{,}681695\ R_м$ (R^2=0,68). Например, при развитии болезни $R_м = 50\%$ число пятен с налетом составит $N_{м.п}$ = 37,1 шт., а при 1% – $N_{м.п}$ = 3,7 шт.

Отмечено усиление развития мучнистой росы и бурой ржавчины с возрастанием интенсивности поражения растений корневой гнилью (Колесников и др., 2022b).

3.4 Выявление взаимосвязей морфобиологических признаков мягкой пшеницы с продуктивностью и устойчивостью к болезням

«При анализе влияния морфологических особенностей пшеницы на элементы продуктивности было установлено, что высокорослые сорта отличались наибольшей длиной колоса $L_к$=12,7±5,28 см (низкорослые $L_к$=10,5±1,5 см) и числом колосков в колосе $N_к$=15,4±0,24 шт. (низкорослые $N_к$=13,65±0,30 шт.), но меньшим числом зерен в колосе $N_з$=23,75±2,55 шт. (низкорослые $N_з$=28,07±1,16 шт.), массой зерен колоса $M_з$=0,78±0,04 г (низкорослые $M_з$=0,92±0,04 г); массой 1000 зерен M_{1000}=26,86±0,92 г (низкорослые $M_з$=29,59±0,71 г). Максимальными величинами массы колоса и интегрального показателя – продуктивности одного растения характеризовались среднерослые растения: $M_к$=1,33±0,14 г и $Y_п$ = 1,76±0,12 г/растение (низкорослые: $M_з$=1,18±0,09 г и Y = 1,61±0,12 г/растение; высокорослые: $M_з$=1,48±0,27 г и $Y_п$ = 1,66±0,18 г/растение)» (Колесников, 2022b).

«Методом непараметрического корреляционного анализа установлено, что рост содержания хлорофилла *b* во флаговых листьях пшеницы сорта Ленинградская 6, к-64900 приводил к увеличению числа зерен в колосе (коэффициент корреляции Спирмена: $r_{ch\mathit{b}}$= 0,79; P=0,006); массы зерен одного колоса ($r_{ch\mathit{b}}$= 0,69; P=0,03); массы колоса с зернами ($r_{ch\mathit{b}}$= 0,72; P=0,02), и в целом влиял на повышение потенциальной урожайности ($r_{ch\mathit{b}}$= 0,69; P=0,03). Зависимость изменения массы колоса с зернами от содержания во флаговых листьях пшеницы хлорофилла *b* может быть описана уравнением регрессии: $M_к = 0{,}26Ch\mathit{b} + 0{,}81$; R^2=0,45» (Колесников и др., 2019c).

«Методом подбора уравнений множественной регрессии было установлено, что из комплекса фитометрических характеристик посевов пшеницы наиболее чувствительным к совокупному действию комплекса метеорологических факторов оказался показатель «высота растений». На основании определения достоверных коэффициентов ранговой корреляции Спирмена ρ было установлено, что значения высоты растений положительно коррелировали с числом пятен на Солнце в июле (ρ = 0,6, P=0,04); площадь флагового листа – с суммой осадков (ρ = 0,7, P=0,01) и средней температурой (ρ = 0,7, P=0,02), числом пятен на Солнце (ρ = 0,7, P=0,04), числом Вольфа (ρ = 0,6, P=0,04) в июле; число зерен в колосе – с суммой выпавших осадков в мае (ρ = 0,7, P=0,01). Число колосков, число зерен в колосе, масса зерен в колосе, масса 1000 зерен обратно коррелировало с суммой осадков в июне (ρ =- 0,7, P=0,04), средней температурой в августе (ρ =- 0,7, P=0,02), суммой температур в июле (ρ =- 0,7, P=0,03), суммой температур выше 10°C с 11 числа месяца (ρ =- 0,7, P=0,02). Длина колоса растений существенно не изменялась под действием метеофакторов. Продуктивность одного растения положительно коррелировала с суммой осадков в мае с 11 числа (ρ = 0,9, P=0,001) и суммой температур в июне (ρ = 0,6, P=0,04)» (Колесников и др., 2022b).

«Морфологические особенности сортов пшеницы могут оказывать влияние на интенсивность развития болезней. В 2011 г. проводили

исследование влияния угла наклона листа к стеблю на поражение 477 сортов пшеницы болезнями листьев. Данный показатель определяли с использованием транспортира. Минимальные значения числа пустул бурой и желтой ржавчины $N_{пж}$= 67,2± 25,5; $N_{пб}$= 21,8± 6,9; числа пятен $N_м$ = 7,3± 2,9 и площади пятен с налетом мучнистой росы $S_м$= 9,7±4,0 мм^2 выявлены на образцах с листьями, расположенными в интервале угла наклона 121-180°, максимальные – $N_{пж}$ = 697,7±393,7; $N_{пб}$= 78,1± 22,7, $N_м$ = 15,5±3,6 шт. при угле наклона от 0 до 30°. Максимальная величина площади пятен с налетом мучнистой росы $S_м$= 26,9±5,22 мм^2 зарегистрирована на сортах с углом наклона флагового листа 91-120°. Это может быть связано с большей возможностью сохранения спор на поверхности и в пазухах листьев с небольшим углом наклона, тогда как угол наклона более 120° может способствовать их осыпанию с листа» (Колесников и др., 2022b).

«За период 2010-2012 гг. при анализе 1068 образцов пшеницы выявлено более интенсивное развитие возбудителя мучнистой росы на образцах, характеризующихся наличием опушенных предфлаговых листьев, по сравнению с неопушенными. Максимальное развитие болезни было отмечено в 2010 г. ($R_м$= 24,0±3,0%) и 2012 г. ($R_м$= 26,2±4,2%) на сортах, характеризующихся сильно опушенными листьями (3-й балл)» (Колесников и др., 2022b).

«В 2013 г. при оценке влияния опушённости флаговых листьев на интенсивность развития 364 образцов пшеницы было установлено, что число пустул желтой ржавчины снижалось с возрастанием степени опушённости флагового листа. Минимальное среднее число пустул на лист ($N_{пж}$= 98,3±32,7 шт.) было зарегистрировано на образцах с сильно опушённым листьями (число волосков опушения на 1 см^2 ($N_{во}$ = 3715,5±644,9 шт.). При дальнейшем анализе указанной тенденции на 1214 образцах за период 2009-2015 гг. она была подтверждена – максимальное число пустул желтой ржавчины $N_{пж}$=319,2±15,7 выявлено на слабо опушённых листьях с $N_{во}$ = 584,8±14,8 шт., минимальное $N_{пж}$=150,1±18,3 – на сильно опушённых листьях ($N_{во}$ =

2492,1±72,8 шт.). На образцах пшеницы с отсутствием опушённости листьев число пустул микромицета составило: $N_{пж}$=273,9±11,1» (Колесников и др., 2022b).

«Исследование влияния плотности и длины волосков опушения на развитие бурой ржавчины на 701 образце пшеницы за период 2009-2020 гг. показало, что наименьшее поражение болезнью выявлено у образцов с числом волосков опушения (трихом) 941,7±63,8 шт. на 1 $см^2$ листа, а самое высокое – при 1451,4±124,7 шт./ на 1 $см^2$ листа» (Колесников и др., 2022a).

«Установлена тенденция снижения развития бурой ржавчины пшеницы с увеличением длины волосков опушения, что, возможно, связано с затруднённым доступом спор к тканям листа. Наибольшая интенсивность развития бурой ржавчины ($R_б$ = 64,8±3,1) была выявлена у группы образцов с минимальной длиной волосков опушения – 0,6±0,3 мм. Самой высокой устойчивостью к болезни отличались генотипы, характеризующиеся наибольшей длиной волосков опушения – 2,2±0,1 мм. У образцов пшеницы с сильным восковым налетом на флаговых листьях отмечали существенно меньшее число пустул бурой ржавчины ($N_п$ = 149,2±19,0; $R_б$=17,1±1,8 %), по сравнению с генотипами, имеющими листья со слабым восковым налетом ($N_п$ = 248,9±26,2; $R_б$=23,4±1,7 %)» (Колесников и др., 2022a).

«Возрастание площади пятен с налетом мучнистой росы с ростом значений плотности опушения и длины волосков может быть связано с тем, что в данном случае волоски на поверхности листа способствовали удержанию и, впоследствии, закреплению на нем инфекционного начала – конидий возбудителя, причем при повышенной плотности опушения мог создаваться микроклимат, благоприятный для их прорастания и дальнейшего развития. Как известно, плотный растущий стеблестой создает благоприятные условия (повышенная влажность) для развития мучнистой росы, в случае с листовым опушением могут действовать сходные механизмы. Различие в степени поражения опушённых и неопушённых листьев мучнистой росой и видами ржавчины, кроме прочего, может быть обусловлено геометрией их

инфекционных структур – конидий и спор. Наименьшее развитие желтой ржавчины и мучнистой росы выявлено на низкорослых сортах пшеницы» (Колесников и др., 2022a).

«За период 2009-2018 гг. изучено влияние высоты растений на интенсивность развития болезней пшеницы. Минимальное число пустул желтой ржавчины выявлено на низкорослых образцах, менее 81 см ($N_{пж}$= 137,2±37,2), а максимальное – на высокорослых образцах, более 98 см ($N_{пж}$= 226,0±35,0). Кроме того, развитие желтой ржавчины на низкорослых образцах сопровождалось минимальными значениями числа спор в пустуле ($N_{сж}$=181,4±47,9) и площади пустулы ($S_{пж}$=0,01660±0.00198 мм^2). Обратная тенденция выявлена в отношении бурой ржавчины» (Колесников и др., 2022b).

«За 2009–2020 гг. выявлено существенное снижение числа пустул бурой ржавчины на высокорослых образцах пшеницы ($N_п$=127,7±26,2 шт.), по сравнению с низкорослыми ($N_п$=265,1±45,6 шт.) и среднерослыми ($N_п$=265,0±43,6 шт.). Развитие мучнистой росы пшеницы, число пятен с налетом существенно не зависело от высоты растений, однако выявлены большие значения площади пятен с налетом мучнистой росы на высокорослых образцах ($S_{пм}$=2,9±0,29 мм^2) по сравнению с низкорослыми ($S_{пм}$=1,90±0,28 мм^2)» (Колесников и др., 2022b).

«Выявлены обратные корреляционные связи между развитием бурой ржавчины и окраской флаговых листьев сортов пшеницы, общей кустистостью. Наименьшее поражение растений было отмечено на образцах со светло-зелеными листьями: развитие болезни $R_б$ = 5,7±1,0 %; число пустул $N_п$ = 28,1 ± 5,4; площадь пустулы $S_п$ = 0,03402±0,00283 мм^2; тип реакции $Т_б$ = 1,6±0,1)» (Колесников и др., 2022b).

«Увеличение содержания в листьях пшеницы сорта Ленинградская 6, к-64900 хлорофиллов α и *b* определяло снижение интенсивности развития ($r_{chα}$= - 0,66; P=0,04; r_{ch*b*}= - 0,87; P=0,005), числа полос ($r_{chα}$= - 0,79; P=0,02; r_{ch*b*}= - 0,63; P=0,04), числа пустул желтой ржавчины ($r_{chα}$= - 0,73; P=0,04; r_{ch*b*}= - 0,97; P=0,00007). Зависимость интенсивности развития желтой ржавчины от

содержания во флаговых листьях пшеницы хлорофилла α и *b* может быть описана следующими выражениями: $R_ж$ = -37,03 + 52,72 Clα (R^2=0,60) и $R_ж$ = 144,52 – 108,23Clb + 20,53 Clb^2 (R^2=0,81), соответственно» (Колесников и др., 2019с).

Заключение. Структура урожайности пшеницы и интенсивность поражения растений болезнями зависела от ботанических особенностей сортов. Наибольшая урожайность выявлена у среднерослых сортов пшеницы (81-98 см). Высокорослые сорта (более 98 см) по сравнению с низкорослыми (менее 81 см) отличались наибольшей длиной колоса и числом колосков в колосе, но меньшим числом зерен в колосе, массой зерен колоса, массой 1000 зерен. Урожайность пшеницы положительно коррелировала с площадью флагового листа. Болезни пшеницы существенно ограничивали её урожайность. Между показателями различных типов патогенеза выявлены определенные взаимосвязи. По годам исследования выявлена сопряженность развития корневой гнили и мучнистой росы. Отмечено снижение развития мучнистой росы и бурой ржавчины с возрастанием интенсивности поражения растений корневой гнилью. Зарегистрирована меньшая пораженность флаговых листьев разных сортов пшеницы бурой и желтой ржавчиной, мучнистой росой при угле наклона к стеблю в интервале 121-180°. Плотность опушения листьев по-разному оказывала влияние на развитие болезней. С возрастанием плотности опушения листьев отмечено снижение развития желтой ржавчины, но возрастание интенсивности развития мучнистой росы.

Разная интенсивность поражения сортов пшеницы болезнями, связанная, в том числе, с их морфометрическими особенностями, свидетельствует о необходимости применения адаптивного подхода к выбору агротехнических приемов возделывания и требует корректировки системы защитных мероприятий. Особое внимание должно быть уделено селекции болезнеустойчивых сортов, в частности, созданию генотипов с более широкими адаптационными возможностями

3.5 Моделирование влияния приодно-климатических факторов на интенсивность развития листостебельных болезней

3.5.1 Анализ и прогноз развития особо опасных болезней мягкой пшеницы

Разработка системы прогноза особо опасных болезней пшенцы была основана на выявлении доминирующих тендендий в изменении комплекса фитопатологичексих показателей, характеризующих интенсивность поражения возбудителями болезней сортов пшеницы генофонда ВИР, в зависимости от природно-климатических факторов многолетних периодов фитосанитарного мониторинга. Кроме того, при построения метопатологического прогноза были использованы алгоритмы многомерного анализа патогенеза с целью выявления причинно-следственных связей между развитием болезней пшеницы и метеорологическими условиями периодов наблюдений (Колесников и др., 2009a; Колесников и др., 2020c, 2022a, 2022b).

В результате многолетних исследований (1995–2012 гг.) выявлены наиболее значимые факторы, способствующие усилению или снижению интенсивности развития болезней растений и разработаны соответствующие статистические модели. В наибольшей степени на интенсивность поражения пшеницы бурой и желтой ржавчиной, характеризуемой числом пустул на лист, оказывала влияние среднемесячная температура декабря предшествующего года, а также значения температуры мая текущего года. При повышении средних значений температуры в декабре и мае отмечено усиление поражения 83,8% и 81,1% образцов пшеницы бурой ржавчиной, 72,1% и 67,4% - желтой ржавчиной, соответственно (таблицы ЗП.1 и ЗП.2 приложения 3).

Обратные корреляционные связи доминировали между значениями температуры июля и интенсивности развития бурой и желтой ржавчины. Однако в отношении желтой ржавчины данная тенденция была более выражена – доля отрицательных коэффициентов корреляции составила 76,7% (бурая ржавчина – 55,4%). Увеличение числа выпавших осадков в мае способствовало снижению интенсивности развития бурой и желтой ржавчины, что выявлено на 81,1% и 74,4% образцов пшеницы,

соответственно. Полиномиальная регрессионная модель изменения числа пустул бурой ржавчины на сорте Canthatch, к-44431 в зависимости от суммы выпавших осадков в мае представлена на рис. 33.

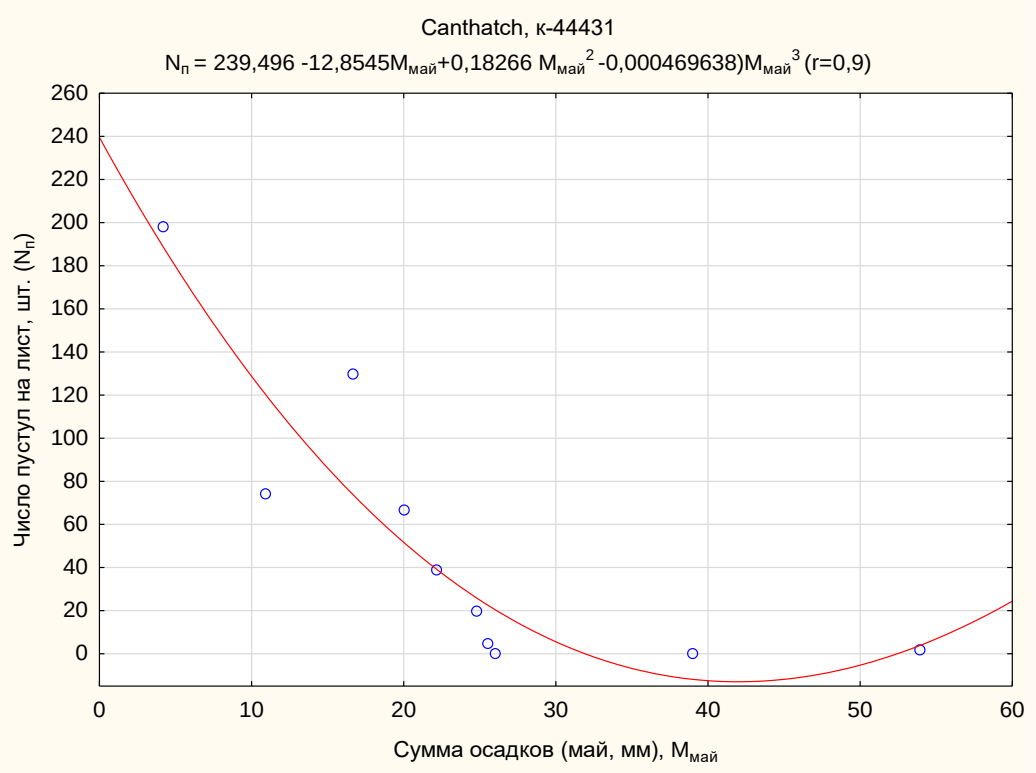


Рис. 33 – Зависимость интенсивности развития бурой ржавчины (по числу пустул на лист) на сорте Canthatch, к-44431 от значений суммы осадков мая. 1995-2012 гг.

Положительные корреляционные взаимосвязи выявлены между числом выпавших осадков в июне и интенсивностью поражения сортов пшеницы ржавчиной (бурая ржавчина – доля положительных коэффициентов корреляции: 81,1%; желтая ржавчина – 74,4%).

Большие значения относительной влажности в январе способствовали усилению интенсивности развития бурой ржавчины пшеницы и снижению поражения пшеницы желтой ржавчиной, что выявлено на 70,3% и 48,8% образцов, соответственно. Аналогичная тенденция отмечена в отношении развития бурой ржавчины в зависимости от относительной влажности мая Противоположная тенденция выявлена в отношении желтой ржавчины - доля отрицательных коэффициентов корреляции составила 53,5%.

Развитие мучнистой росы на 59,8% образцов пшеницы усиливалось с ростом значений температуры в январе и обратно коррелировало с температурой в мае и июле (доля отрицательных коэффициентов корреляции – 60,9% и 67,8%, соответственно) – таблица ЗП.3 приложения 3. При этом увеличение суммы выпавших осадков и относительной влажности в мае способствовало усилению развития болезни (доля положительных коэффициентов корреляции – 77,0% и 65,5%, соответственно).

Определена тенденция усиления интенсивности развития септориоза пшеницы с уменьшением среднемесячной температуры воздуха в весенний период (март, апрель, май). Данная зависимость выявлена на 79,4%, 55,6% и 52,4% образцов, соответственно (таблица ЗП.4 приложения 3). При этом снижение значений температуры в июне и рост значений температуры в июле способствовали усилению развития болезни на 63,5% и 54,0% образцов, соответственно.

Рост значений числа выпавших осадков в весенне-летний период приводил к усилению поражения сортов пшеницы септориозом. В частности, доля положительных коэффициентов корреляции между суммой осадков в мае (июне) и интенсивностью развития септориоза составила 65,1 % (90,5%). Увеличение значений относительной влажности в январе и мае способствовало усилению септориоза на 65,1% и 76,2% образцов, соответственно.

За период 1995-2012 гг. с уменьшением числа пятен на Солнце за период январь-август выявлено увеличение интенсивности развития бурой и желтой ржавчины (по числу пустул на лист), а также септориоза. В отношении мучнистой росы пшеницы тенденция была аналогичной, за исключением выявленных положительных корреляционных взаимосвязей между развитием болезни и числом пятен на Солнце в январе и апреле (у 48,3% образцов), июне (у 50,6% образцов).

Методом множественной регрессии построена модель, отражающая зависимость изменения числа пустул бурой ржавчины пшеницы $N_п$ от

температуры ($T_{май}$), относительной влажности ($V_{май}$) и суммы осадков ($M_{май}$), зарегистрированных в мае на сорте Frassineto, к-40269: $N_п$ = -5594,45+193,03 $T_{май}$+47,15 $V_{май}$ – 0,99 $M_{май}$ (r^2=0,74). Изменение числа пустул желтой ржавчины $N_{пж}$ в зависимости от метеоусловий мая имеет вид: $N_{пж}$ = -9434,3+508,4 $T_{май}$+54,23 $V_{май}$ – 11,15 $M_{май}$ (r^2=0,95). Развитие мучнистой росы $R_м$ на сорте Norka, к-26950 может быть описано выражением: $R_м$ = 53,44-3,81$T_{май}$+0,10 $V_{май}$ – 0,12 $M_{май}$ (r^2=0,97).

По результатам оценки взаимосвязи между показателями развития бурой ржавчины и других возбудителей болезней листьев с показателями структуры урожайности пшеницы сорта Ленинградская 6, к-64900 и метеорологическими условиями за 2009–2020 гг. методом главных компонент факторного анализа с использованием Варимакс-процедуры вращения осей построена факторная модель, которая объясняет 81,2 % общей дисперсии измерений показателей (таблица ЗП.5, приложение 3). Первый фактор (F_1) объясняет 33,3 % общей дисперсии переменных показателей, второй (F_2) – 17,3 %, третий (F_3) – 13,5 %, четвертый (F_4) – 9,7 %, пятый (F_5) – 7,4 %.

Зависимости между отдельными показателями развития бурой ржавчины пшеницы и факторами, влияющими на патогенез, описаны в F_3. Развитие болезни, число и площадь пустул снижались с возрастанием поражения листьев пшеницы мучнистой росой и септориозом. Развитие болезни усиливалось с увеличением суммы температур выше 10 °С в мае и суммы осадков в июне.

В F_1 отмечено усиление развития желтой ржавчины с уменьшением суммы температур в августе и снижением солнечной активности (по числу пятен на солнце и индексу Вольфа). В F_5 показано увеличение урожайности пшеницы при уменьшении площади пятен с налетом мучнистой росы и с ростом суммы осадков в мае и суммы температур в июне.

3.5.2 Выявление зависимостей развития болезней пшеницы от УФ-индекса вегетационного периода

Выявлены статистически достоверные обратные корреляционные связи между УФ-индексом в июле – периодом проведения фитосанитарного мониторинга, и числом пустул (коэффициент корреляции Спирмена $r_п$ = -0,64, $P_п$ = 0,026), значениями площади пустулы ($r_п$ = -0,61, $P_п$ = 0,035) возбудителя бурой ржавчины. Данные зависимости можно описать регрессионными нелинейными уравнениями (рис. 34, 35). Согласно выражению, при УФ-индексе в июле I_{uv} = 4,9 среднее число пустул бурой ржавчины на листе пшеницы составило $N_б$=188,2 шт. (площадь пустулы $S_б$ = 0,10872 мм^2), а при I_{uv} = 5,4 – $N_б$=20,5 шт. ($S_б$ = 0,4653 мм^2). Кроме того, возрастание УФ-индекса в сентябре предшествующего года приводило с снижению интенсивности развития болезни (число пустул – $r_п$ = -0,60, $P_п$ = 0,038; площадь пустулы – $r_п$ = -0,66, $P_п$ = 0,021).

Выявлена обратная корреляционная связь между значениями УФ-индекса сентября предшествующего года и интенсивностью поражения пшеницы корневой гнилью, оцениваемой в баллах ($r_г$ = -0,93, $P_п$ = 0,031) и процентах ($r_г$ = -0,81, $P_п$ = 0,008).

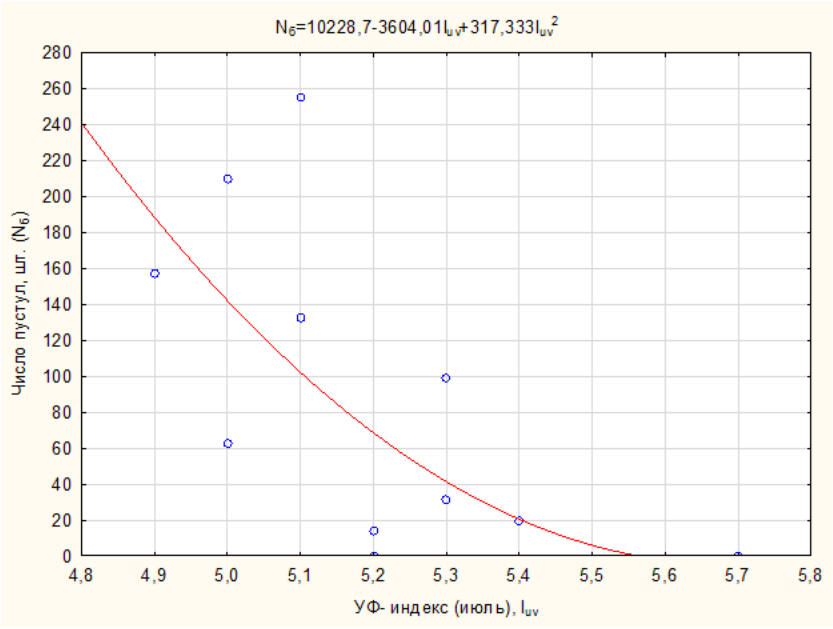


Рис. 34 – Зависимость числа пустул бурой ржавчины на сорте Ленинградская 6, к-64900 от УФ-индекса в июле. 2009-2021 гг. (r^2=0,53; F=6,61; P=0,012)

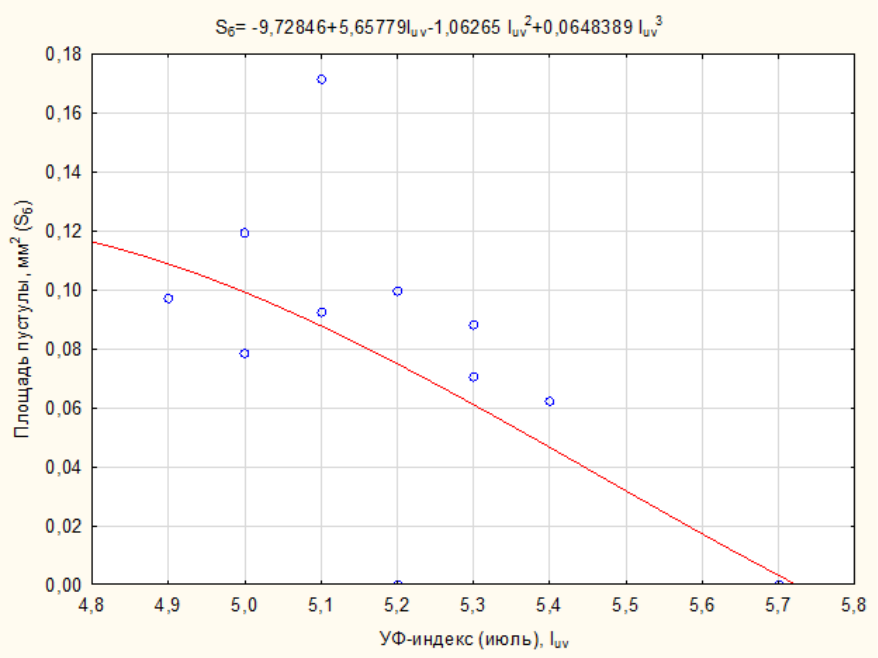


Рис. 35 – Зависимость площади пустулы бурой ржавчины на сорте Ленинградская 6, к-64900 от УФ-индекса в июле. 2009-2021 гг. (r^2=0,56; F=7,01; P=0,01)

С целью прогнозирования изменений числа пустул бурой ржавчины пшеницы $N_{пб}$ на флаговой листовой поверхности сорта Ленинградская 6, к-64900 построена многофакторная регрессионная модель (r^2= 0,75; F=6,05; P=0,015), отражающая совместное влияние на патогенез метеофакторов и УФ-индекса: $N_{пб} = a+bT_{июнь}+cV_{май}+dW_{май}+mI_{uv}$, где $T_{июнь}$ – средняя температура в июне, ^{0}C; V – сумма осадков в мае, мм; $dW_{май}$ – средняя относительная влажность в мае; I_{uv} – УФ-индекс мая. Коэффициенты многофакторной регрессии приведены в таблице 4. В соответствии со значениями стандартизированных коэффициентов регрессии ß, наибольшее влияние на число пустул бурой ржавчины оказала сумма осадков в мае.

С возрастанием ультрафиолетового индекса в апреле отмечено усиление интенсивности развития желтой ржавчины пшеницы по всем показателям патогенеза: развитие болезни ($r_ж$=0,56; P=0,043) – рис. 36; число пустул на лист ($r_{п.ж}$=0,51; P=0,044); площадь пустулы ($r_{пл.ж}$=0,55; P=0,041); число пустул в полосе ($r_{п.п.ж}$=0,61; P=0,031); число полос ($r_{п.п.ж}$=0,58; P=0,042); длина полосы ($r_{д.п.ж}$=0,59; P=0,037). Кроме того, выявлены сильные положительные корреляционные связи между УФ-индексом в декабре предшествующего года и интенсивностью поражения пшеницы болезнью ($r_ж$=0,67; P=0,018; $r_{п.ж}$=0,61;

P=0,032; $r_{пл.ж}$=0,57; P=0,044; $r_{п.п.ж}$=0,67; P=0,018; $r_{п.п.ж}$=0,62; P=0,031; $r_{д.п.ж}$=0,72; P=0,009).

Таблица 4 – Коэффициенты множественной регрессионной зависимости изменения числа пустул бурой ржавчины пшеницы от метеофакторов и УФ-индекса. 2009-2021 гг.

Показатели	Бета, ß	Стандартная ошибка ß	Коэффициент регрессии, b	Стандартная ошибка b	t	Уровень значимости, P
Константа			-1731,27	659,670	-2,62	0,030
Средняя температура (июнь), ^{0}C	-0,504	0,267	-35,22	18,669	-1,89	0,096
Сумма осадков (май), мм	1,358	0,306	6,21	1,401	4,43	0,002
Относительная влажность в мае, %	0,440	0,200	8,82	4,024	2,19	0,060
УФ- индекс мая	0,639	0,221	374,71	129,562	2,89	0,020

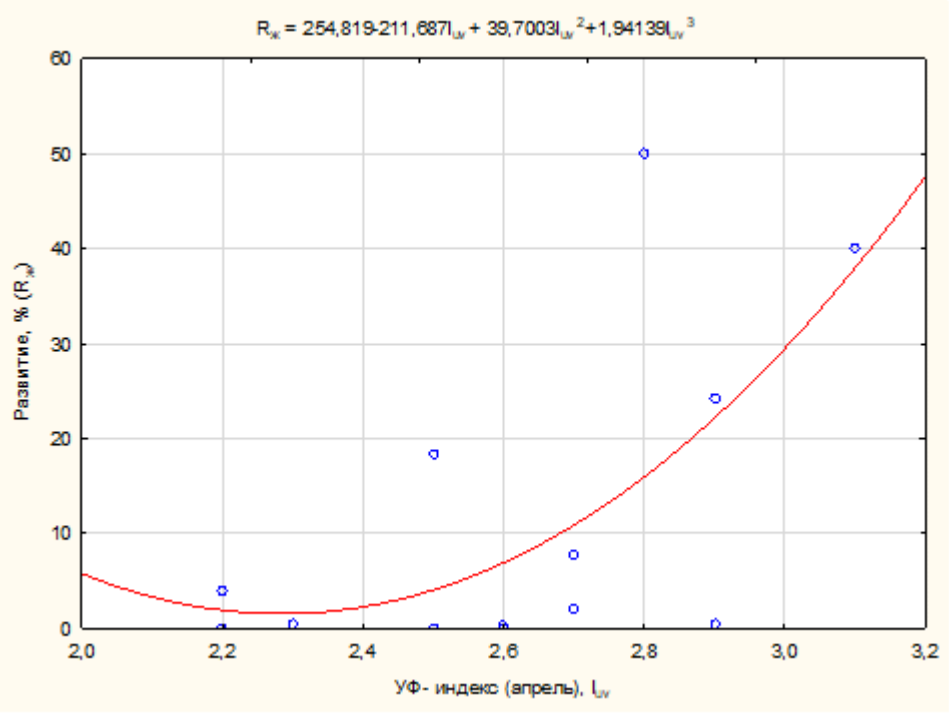


Рис. 36 – Зависимость развития желтой ржавчины пшеницы от УФ-индекса в апреле. 2009-2021 гг. (r^2=0,48; F=5,35; P=0,04)

С целью прогноза изменения урожайности пшеницы $Y_п$ от УФ-индекса в мае I_{uv}, средней температуры в июне $T_{июнь}$, интенсивности развития мучнистой росы $R_м$ в июле, построена регрессионная модель вида: $Y_п$ = a+b

I_{uv}+ c $T_{июнь}$+ d $R_м$ (r^2= 0,83; F=14,24; P=0,0009). В таблице 5 приведены стандартизованные коэффициенты регрессии ß, отражающие относительную степень влияния каждого из предикторов на зависимую переменную, и нестандартизированные коэффициенты регрессии b. Выявлена существенная зависимость урожайности от вышеперечисленного комплекса факторов (P<0,05), но особенно от средней температуры в июне.

Таблица 5 – Коэффициенты множественной регрессионной зависимости урожайности пшеницы от метеофакторов и интенсивности развития мучнистой росы. 2009-2021 гг.

Показатели	Бета, ß	Стандартная ошибка ß	Коэффициент регрессии, b	Стандартная ошибка b	t	Уровень значимости, P
Константа			3,971	3,375	1,18	0,270
УФ- индекс (май)	-0,378	0,141	-1,791	0,670	-2,67	0,025
Средняя температура (июнь)	0,639	0,143	0,361	0,081	4,47	0,002
Развитие мучнистой росы, %	-0,371	0,141	-0,036	0,014	-2,63	0,028

Заключение. Наиболее значительное влияние на проявление фенотипической изменчивости пшеницы по устойчивости к болезни оказывал комплекс метеорологических факторов (температура, количество осадков, влажность воздуха), а также солнечная активность.

При этом данные по влиянию солнечной активности на развитие болезней сельскохозяйственных культур в разных литературных источниках достаточно противоречивы. Не выявлено существенного влияния на поражение пшеницы бурой ржавчиной солнечной активности, характеризуемой числом пятен на Солнце и числами Вольфа по данным 2009-2020 гг. Однако отмечено существенное влияние показателей на патогенез пшеницы, формируемый желтой ржавчиной. Выявлено усиление развития желтой ржавчины с повышением суммы температур в мае, выше 10˚С и в августе. При усилении пораженности посевов мучнистой росой снижалось

развитие бурой ржавчины пшеницы. Полученные в ходе наших исследований сведения об усилении интенсивности развития ржавчины зерновых культур с уменьшением числа пятен на Солнце согласуются с данными, приведёнными в работе Мединец (2014), где указано, что эпифитотии бурой ржавчины возникали в основном в годы слабой, реже средней солнечной активности.

В результате построенной факторной модели патогенеза по данным 2009–2020 гг. отмечено, что развитие бурой ржавчины в наибольшей степени было связано с ростом суммы температур выше 10°С в мае и суммы осадков в июне, что совпадает с исследованиями, проведенными за период 1995–2012 гг. Выявленная зависимость согласуется с данными, представленными в работе Чекмарева (2016).

Зависимость метеорологических условий периодов, определяющих развитие болезней, от солнечной активности была неоднозначна. Выявлена положительная непараметрическая корреляционная связь между среднегодовым общим числом солнечных пятен и средними значениями температуры в июле – метод ранговой корреляции Спирмена: r=0,49 (Колесников и др., 2019с), что, вероятно, согласуется с гипотезой о возможном глобальном похолодании климата планеты в ближайшие десятилетия, обусловленном предстоящим длительным периодом минимума солнечной активности (Стожков, Охлопков, 2013). Зависимость суммы осадков от числа пятен на Солнце не выявлена. Однако в работе Кулик и соавторов (2016) отмечено, что в периоды, когда на Солнце мало пятен, засухи формируются значительно чаще, чем в годы с большим числом пятен.

Число пустул и значения площади пустулы бурой ржавчины пшеницы обратно коррелировали с УФ-индексом июля. Согласно математической зависимости было установлено, при УФ-индексе в июле I_uv = 4,9 среднее число пустул бурой ржавчины на листе пшеницы составило N_6=188,2 шт., а при I_{uv} = 5,4 – N_6=20,5 шт.

Интенсивность развития бурой ржавчины и корневой гнили отрицательно коррелировала со значениями УФ-индекса сентября

предшествующего года, а развитие желтой ржавчины положительно коррелировало с УФ-индексом апреля и декабря предшествующего года. Выявлено снижение интенсивности развития мучнистой росы с возрастанием УФ-индекса в июне. Разработана многофакторная регрессионная модель, позволяющая прогнозировать урожайность пшеницы на основании значений УФ-индекса в мае, средней температуры в июне, интенсивности развития мучнистой росы. Построенные математические модели могут быть использованы для разработки информационных систем фитосанитарной экспертизы агроценозов, прогноза и поддержки принятия решений в области защиты растений.

3.5.3 Анализ и прогноз развития инфекционного выпревания на мягкой пшенице в Северо-Западном регионе РФ

Распределение образцов мягкой пшеницы по значениям площади поражения инфекционным выпреванием за период 2002-2006 гг. представлено на рис. 37».

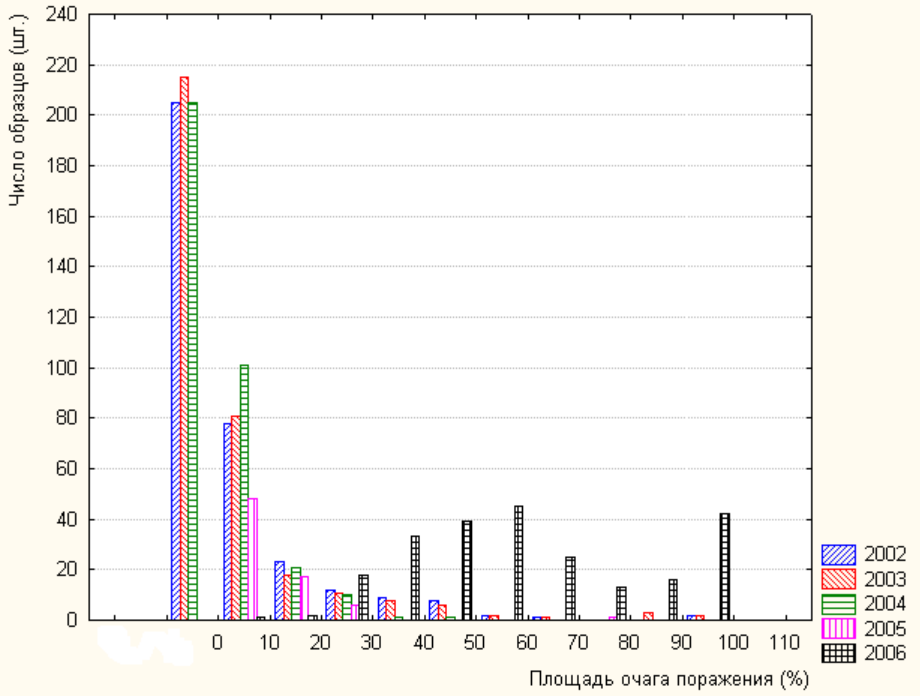


Рис. 37 – Распределение образцов мягкой пшеницы по значениям площади поражения инфекционным выпреванием. СПб. – Пушкин, 2002-2006 гг. (Колесников, Колесникова, 2010b)

«На рис. 38-39 приведены 95%-доверительные интервалы для средних значений площади и балла поражения мягкой пшеницы возбудителями инфекционного выпревания, рассчитанных по годам мониторинга (2002-2006 гг.)» (Колесников, Колесникова, 2010b).

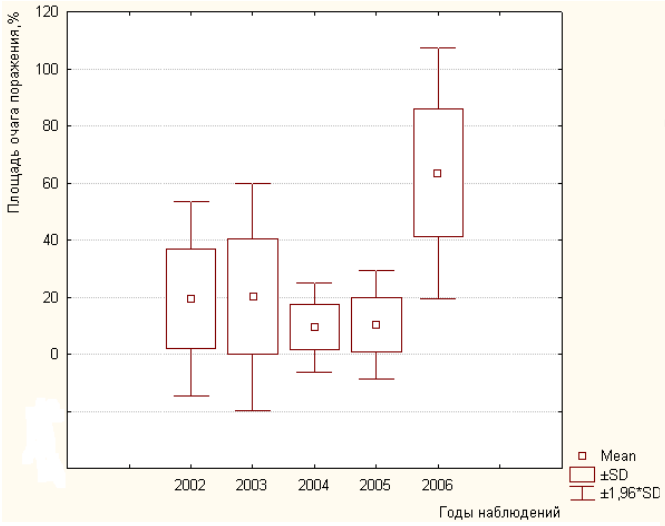


Рис. 38 – Доверительные интервалы средних значений площади очага поражения образцов *Triticum aestivum* L. инфекционным выпреванием. СПб. – Пушкин, 2002-2006 гг.

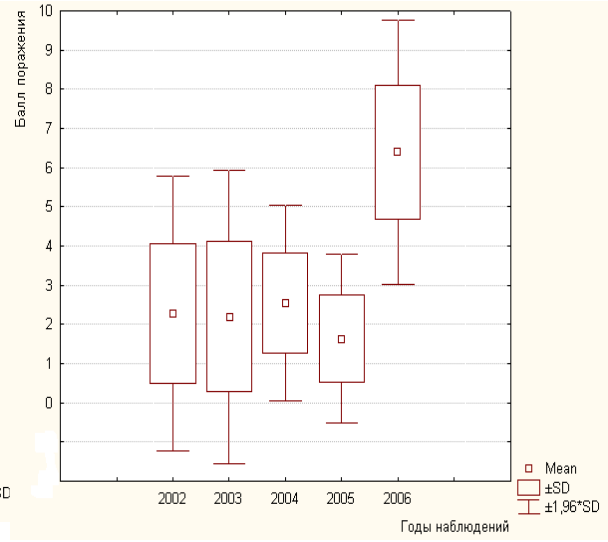


Рис. 39 – Доверительные интервалы средних значений балла поражения образцов *Triticum aestivum* L. инфекционным выпреванием. СПб. – Пушкин, 2002-2006 гг.

«Наибольшее число образцов мягкой пшеницы, не подверженных инфекционному выпреванию, было выявлено в 2003 г., когда в посадках пшеницы превалировали образцы, выведенные в России или интродуцированные из сопредельных стран Ближнего зарубежья. Наиболее интенсивное развитие возбудителей выпревания было отмечено в 2006 г. на посевах мягкой пшеницы преимущественно иностранной селекции (площадь очага поражения для большинства исследуемых образцов достигала 90-100%» (Колесников, Колесникова, 2010b).

«На рис. 40 обобщены многолетние данные (2002-2006 гг.) ранжирования образцов по площади очага поражения инфекционным выпреванием $R_{в.}$ с учетом фактора происхождения растительного материала. Наименьшей интенсивностью развития болезни отличались образцы из

России ($R_{в.}$=21,68±0,93%). Максимально высокая интенсивность поражения ($R_{в.}$=90,00±0,0%) отмечена на образцах, полученные из Южной Европы» (Колесников, Колесникова, 2010b).

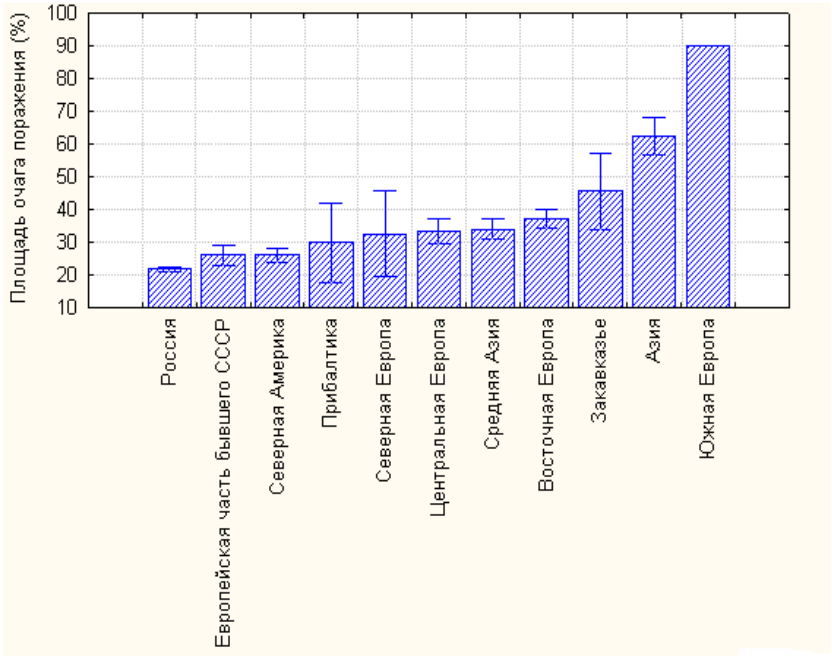


Рис. 40 – Площадь очага поражения растений инфекционным выпреванием в зависимости от регионов происхождения (СПб.-Пушкин, 2002-2006 гг.)

За период 2002-2006 гг. исследовали сопряженность интенсивности развития инфекционного выпревания на образцах мягкой пшеницы с метеорологическими условиями периодов наблюдений (таблицы 4П.1-4П.7, приложение 4). В качестве основных метеопоказателей были использованы: среднемесячная температура воздуха, среднемесячная сумма осадков, среднемесячная относительная влажность воздуха. С помощью данных метеопоказателей были охарактеризованы климатические условия периодов, предшествующих фитосанитарному мониторингу.

Распределения коэффициентов корреляции Пирсона r в зависимости от выявленной отрицательной или положительной корреляционной связи между площадью очага поражения образцов пшеницы инфекционным выпреванием, ранжированных по разновидностям и происхождению, и комплексом метеопоказателей (температура воздуха, сумма осадков, относительная влажность воздуха) отражены в таблице 6 и 7.

Интенсивность поражения инфекционным выпреванием большинства изученных образцов пшеницы возрастала с понижением температуры в январе и уменьшением суммы выпавших осадков, а также определялась значениями относительной влажности воздуха. Непосредственно в период проведения наблюдений (апрель) отмечена сопряженность интенсивности патогенеза инфекционного выпревания с ясной и теплой погодой, без осадков.

Таблица 6 – Сопряженность развития инфекционного выпревания на разновидностях мягкой пшеницы озимой с метеоусловиями многолетних периодов ФСМ. 2002-2006 гг.

Месяцы	Температура		Сумма осадков		Относительная влажность воздуха, %	
	R > 0	R < 0	R > 0	R < 0	R > 0	R < 0
Январь	0	100	0	100	78	22
Февраль	56	44	89	11	67	33
Март	89	11	44	56	100	0
Апрель	11	89	0	100	78	22
Сентябрь	89	11	11	89	0	100

Примечание. В таблице приведено относительное число образцов мягкой пшеницы, характеризующихся положительными (отрицательными) значениями коэффициента корреляции Пирсона

Таблица 7 – Сопряженность развития инфекционного выпревания на мягкой пшенице озимой различного происхождения с метеоусловиями многолетних периодов ФСМ. 2002-2006 гг.

Месяцы	Температура		Сумма осадков		Относительная влажность воздуха,%	
	R > 0	R < 0	R > 0	R < 0	R > 0	R < 0
Январь	40	60	40	60	40	60
Февраль	20	80	30	70	40	60
Март	40	60	60	40	60	40
Апрель	70	30	40	60	40	60
Сентябрь	90	10	10	90	0	100
Октябрь	80	20	10	90	10	90
Ноябрь	90	10	20	80	10	90
Декабрь	80	20	40	60	0	100

Примечание. В таблице приведено относительное число образцов мягкой пшеницы, характеризующихся положительными (отрицательными) значениями коэффициента корреляции Пирсона

Данные мониторинга инфекционного выпревания на образцах мягкой пшеницы (2002-2006 гг.) позволили построить регрессионные уравнения (Piecewise linear regression), отражающие основные количественные закономерности между площадью очага поражения растений, зарегистрированного в апреле и суммарными индексами погоды, отражающими метеоусловия периодов, предшествующих проявлению болезни (январь, февраль, март). Частные индексы погоды рассчитывали по среднемесячной температуре и сумме осадков указанных месяцев с предварительным нахождением среднего значения $\overline{X}$ и стандртного отклонения S за указанный период, суммарные индексы погоды - алгебраической суммой частных индексов погоды. Достоверность взаимосвязи между развитием болезни по разновидностям пшеницы и суммарными индексами погоды по январю, февралю, марту изучена методом параметрического корреляционного анализа.

Коэффициенты регрессионного уравнения метеопатологического прогноза развития инфекционного выпревания вида: $R_{в.} = a + bE$ приведены в таблице. В выражении: $R_{в.}$ – площадь очага поражения растений инфекционным выпреванием, E – величина суммарного индекса погоды, рассчитанная по месяцам наблюдений.

Таблица 8 – Коэффициенты регрессионного уравнения ($R_{в.}$=a + bE) для прогнозирования развития инфекционного выпревания на изученных разновидностях мягкой пшеницы

Разновидность	Январь		Февраль		Март	
	a	b	a	b	a	b
aestivum	7,414	-4,414				
lutescens	3,286	5,451	6,709	-6,106	10,802	4,238
albidum	11,648	-3,661			4,468	2,670
erythrospermum	1,233	2,003				
ferrugineum	1,600	2,619				
graecum	6,832	-4,067				
milturum	-3,594	7,982				

Заключение. Интенсивность поражения инфекционным выпреванием большинства изученных образцов пшеницы возрастала с понижением

температуры в январе и уменьшением суммы выпавших осадков, а также определялась значениями относительной влажности воздуха. Непосредственно в период проведения наблюдений (апрель) отмечена сопряженность интенсивности патогенеза инфекционного выпревания с ясной и теплой погодой, без осадков.

3.5.4 Влияние листовых инфекций мягкой пшеницы предшествующего года на элементы продуктивности и устойчивость к болезням

«Для оценки влияния на элементы структуры урожая текущего года данных о развитии болезней предшествующего периода (2011 г.) в 2012 году образцы пшеницы были высеяны с использованием посевного материала, полученного от образцов с симптомами развития возбудителей листовых инфекций и без них. В результате исследования были сопоставлены данные об изменении элементов структуры урожая пшеницы и поражения ее болезнями в 2012 г. в зависимости от наличия/отсутствия листовых инфекций в 2011 году» (Колесников и др., 2013с).

«В наибольшей степени снижение массы 1000 зерен (на 59%) выявлено у образцов из Африки (Кения, Тунис, Судан, Марокко), полученных из зерен растений с выявленными симптомами патогенеза в предшествующем году по сравнению с контрольной группой: без выявленной инфекции на листовой поверхности (таблица 9). Данная тенденция отмечена для 100% образцов. В наименьшей степени снижение массы 1000 зерен (4,15%) отмечено у образцов из Центральной Западной Европы (Австрия, Бельгия, Германия, Нидерланды, Франция, Швейцария)» (Колесников и др., 2013с).

Выявлены тенденции снижения высоты растений у 91,6%, общей и продуктивной кустистости у 94,5%, площади флагового листа у 75,5% образцов, полученных из зерен растений с выявленными симптомами патогенеза в предшествующем году по сравнению с контрольной группой (без выявленной инфекции на листовой поверхности).

«Между массой 1000 зерен пшеницы предшествующего года $М_{1000п.г.}$ (2011 г.) и некоторыми элементами продуктивности культуры в 2012 г. выявлены сильные корреляционные связи, которые могут быть описаны регрессионными уравнениями:

– масса 1000 зерен $М_{1000\ т.г.}$ (r=0,9; P=00): $М_{1000\ т.г.} = 0{,}959М_{1000п.г.}$ (r^2=0,778; F=1133,0; P=0,00).

– высота растений $h_{т.г.}$ (r=0,9; P=00): $h_{т.г..} = 3{,}294\ М_{1000\ п.г.}$ (r^2=0,863; F=2200,4; P=0,00).

– продуктивная кустистость (r=0,81; P=00): $К_{п.} = 0{,}177\ М_{1000\ п.г.}$. (r^2=0,671; F=712,88; P=0,00)» (Колесников и др., 2013с).

«В 2012 г. интенсивность поражения растений мучнистой росой и бурой ржавчиной усиливалась на 66,7% и 50% сортов пшеницы, на которых в предшествующем году были обнаружены симптомы различных типов патогенеза, соответственно. Большую устойчивость к болезни по сравнению с контрольной группой (без симптомов развития болезней) в 2012 г. проявили образцы, полученные из зерен растений с симптомами листовых инфекций предшествующего года из следующих географических регионов: Россия, Европейская часть; Центральная/Южная Азия (Казахстан, Узбекистан; Африка (Кения, Тунис, Судан, Марокко); Северная Европа (Великобритания, Дания, Ирландия). В отношении бурой ржавчины большей устойчивостью по сравнению с контрольной группой характеризовались образцы, полученные из зерен растений с симптомами листовых инфекций предшествующего года из следующих географических регионов: Центральной Южной Азии (Казахстан, Узбекистан, Туркменистан, Таджикистан, Киргизия, Индия, Непал); Восточной, Юго-Восточной Азии (Китай, Япония); Латинской (Южная) Америки (Мексика, Аргентина, Эквадор)» (Колесников и др., 2013с).

Выявлена тенденция усиления интенсивности поражения образцов пшеницы стеблевой ржавчиной (по развитию болезни – у 58%, по площади

пустулы – у 83,3%), на которых в предшествующем году были обнаружены признаки листовых болезней» (Колесников и др., 2013с).

Таблица 9 – Сопоставление данных о массе 1000 зерен сортов мягкой пшеницы различного происхождения в 2012 г., полученных из зерен здоровых (без симптомов патогенеза) и больных (с симптомами патогенеза) растений по данным предшествующего года (2011 г.)

Происхождение	Стат. показатель	Масса 1000 зерен (контроль)	Масса 1000 зерен (больное)	Изменение, %
Россия, Европейская часть	Среднее	34,00	22,62	-33,48
	Стд. ошибка	1,12	1,20	
Россия, Азиатская часть	Среднее	32,03	24,38	-23,87
	Стд. ошибка	1,46	0,88	
Восточная Европа (Белоруссия, Болгария, Венгрия, Молдавия, Польша, Румыния, Словакия, Словения, Украина, Чехия)	Среднее	36,06	25,13	-30,29
	Стд. ошибка	1,61	1,11	
Центральная/Западная Европа (Австрия, Бельгия, Германия, Нидерланды,Франция, Швейцария)	Среднее	33,41	32,02	-4,15
	Стд. ошибка	1,57	2,97	
Центральная/Южная Азия (Казахстан, Узбекистан, Туркменистан, Таджикистан, Киргизия, Индия, Непал)	Среднее	37,89	31,92	-15,74
	Стд. ошибка	2,29	0,68	
Восточная, Юго-Восточная Азия (Китай, Япония)	Среднее	28,42	21,05	-25,92
	Стд. ошибка	2,24	0,28	
Австралия и Океания (Новая Зеландия)	Среднее	30,19	20,27	-32,84
	Стд. ошибка	1,27	1,02	
Африка (Кения, Тунис, Судан, Марокко)	Среднее	47,86	19,26	-59,75
	Стд. ошибка	6,39	1,90	
Северная и Центральная Америка (США, Канада)	Среднее	35,91	24,93	-30,60
	Стд. ошибка	3,24	0,58	
Латинская (Южная) Америка (Мексика, Аргентина, Эквадор)	Среднее	30,22	25,31	-16,24
	Стд. ошибка	1,69	0,98	
Северная Европа (Великобритания, Дания, Ирландия, Исландия, Норвегия, Финляндия, Швеция, Латвия, Литва, Эстония)	Среднее	32,73	28,88	-11,78
	Стд. ошибка	1,66	0,88	
Южная Европа (Греция, Испания, Италия, Португ., Албания, Сербия, Хорватия, Черногория)	Среднее	35,95	19,21	-46,55
	Стд. ошибка	1,10	1,92	

На рис. 41-42 отражены результаты сопоставления данных об интенсивности развития возбудителя желтой ржавчины на образцах яровой

мягкой пшеницы различного происхождения в 2012 г., полученных из зерен здоровых (без симптомов патогенеза) и больных (с симптомами патогенеза) растений по данным предшествующего года (2011 г.).

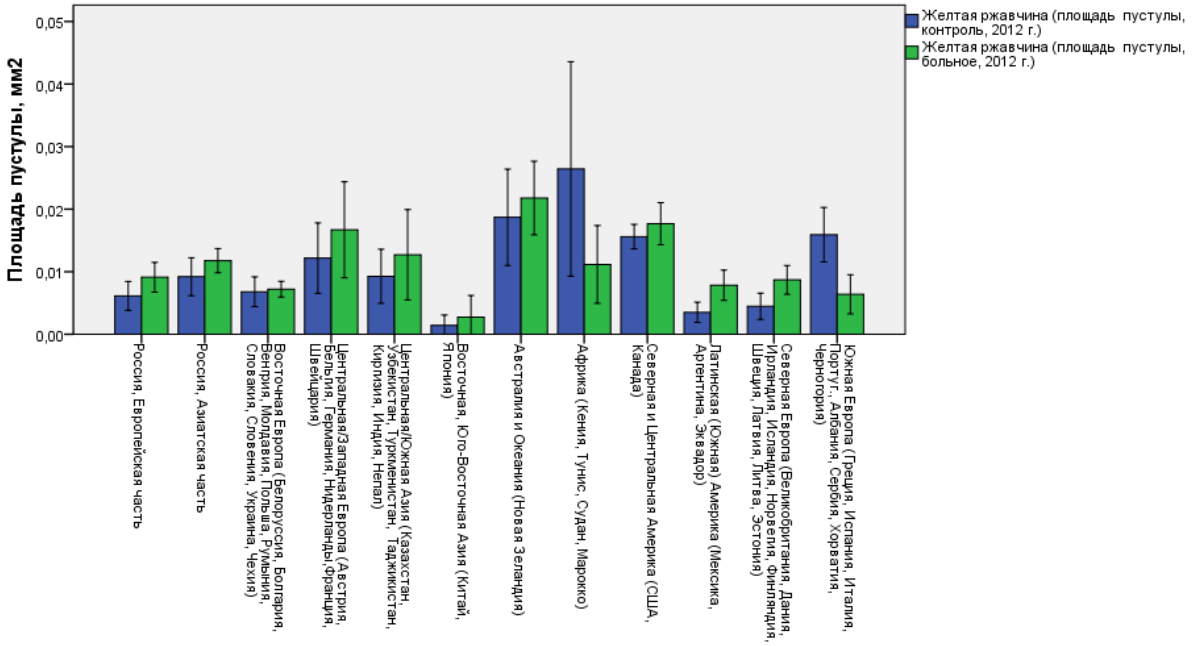


Рис. 41 – Изменение значений площади пустулы желтой ржавчины на мягкой пшенице различного происхождения в 2012 г., полученных из зерен здоровых (без симптомов патогенеза) и больных (с симптомами патогенеза) растений по данным предшествующего года (2011 г.).

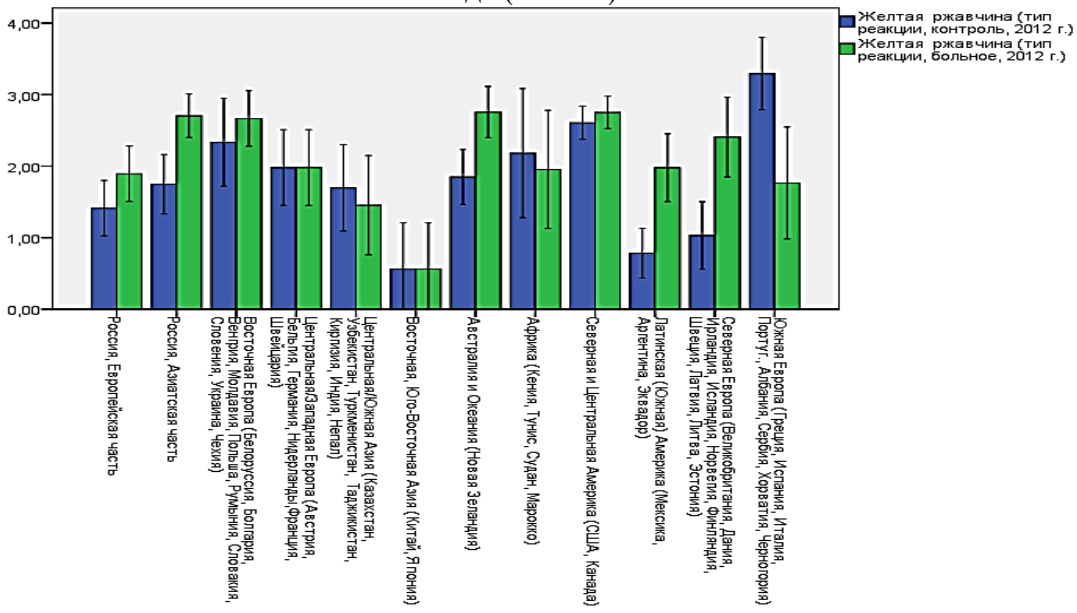


Рис. 42 – Изменение значений типа реакции мягкой пшеницы различного происхождения к желтой ржавчине в 2012 г., полученных из зерен здоровых (без симптомов патогенеза) и больных (с симптомами патогенеза) растений по данным предшествующего года (2011 г.).

Показано, в частности, что в 58% и 83,3% случаев значения развития болезни и площади пустулы были увеличены на тех образцах мягкой пшеницы, где в предшествующем году были обнаружены признаки листовых болезней.

Заключение. Большинство изученных образцов пшеницы, полученных из зерен растений с симптомами патогенеза в предшествующем году по сравнению с контрольной группой (без выявленной инфекции на листовой поверхности) характеризовались: меньшей массой 1000 зерен, высотой растений, площадью флагового листа, общей и продуктивной кустистостью. Развитие мучнистой росы, желтой и стеблевой ржавчины усиливалось на образцах мягкой пшеницы, полученных из зерен растений с выявленными в предшествующем году признаками листовых болезней, по сравнению с контрольной группой (здоровые растения). Оценка образцов по устойчивости к бурой ржавчине выявила разносторонние тенденции» (Колесников и др., 2013с).

3.5.5 Влияние уровня азотного питания растений на изменение интенсивности развития бурой ржавчины

Данные о влиянии уровня азотного питания сортов и линий мягкой пшеницы, защищенных Lr-генами, на развитие бурой ржавчины в вариантах опыта с применением аммиачной селитры в дозах 180 кг/га, 90 кг/га и 0 кг/га приведены в работе Колесникова и соавторов (2011). «Методом Кьельдаля установлено, что содержание общего азота в листьях сорта Ленинградка в фазе выхода в трубку без применения удобрения (0 кг/га) составило 2,75%, при дозе 90 кг/га – 3,18%, 180 кг/га – 4,20%. Рост числа пустул на флаговых (предфлаговых) листьях по сравнению с контролем при дозе N_{180} достигал 62% (49%), N_{90} – 22% (19%) по данным определения средневременных значений фитопатологического показателя за 29 дней учета». Отмечена тенденция возрастания значений площади пустулы бурой ржавчины на флаговых листьях пшеницы с увеличением дозы азотного питания растений (рис. 43).

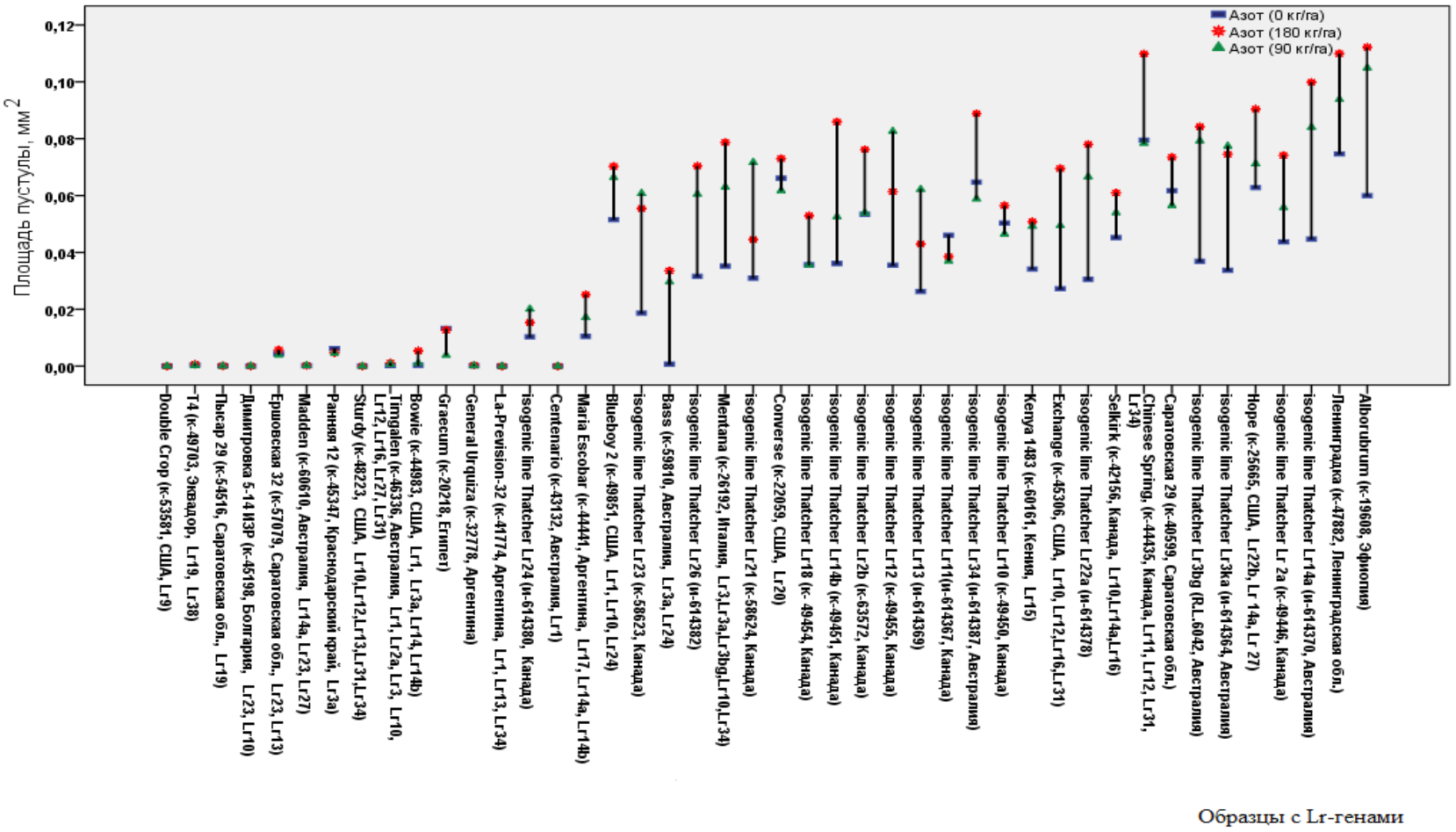


Рис. 43 –Изменение площади пустулы возбудителя бурой ржавчины на флаговых листьях пшеницы в вариантах опыта с применением аммиачной селитры в дозах 180 кг/га, 90 кг/га и 0 кг/га. 2000-2001 гг.

Заключение. «С повышением дозы вносимого под пшеницу азотного удобрения на большинстве сортов и линий пшеницы отмечали усиление развития бурой ржавчины. В тоже время, на фоне повышенных доз азота отмечали некоторое замедление интенсивности поражения растений болезнью на образцах, защищенных Lr-генами по сравнению восприимчивым стандартом «Ленинградка» (Колесников и др., 2011).

3.6 Внутривидовая изменчивость мягкой пшеницы по элементному составу, антиоксидантной активности и их связь с урожайностью и устойчивостью к вредным организмам

3.6.1 Продуктивность пшеницы, поврежденность личинками пьявицы и элементный состав растений

«В зерне у подавляющего большинства сортов различного происхождения обнаружено содержание следующих элементов, превышающих ПДК: Fe, Cu, Cr, Cd (таблица 10)» (Колесников и др., 2014с).

«Данные по потенциальной урожайности сортов мягкой пшеницы, сгруппированных по их происхождению, представлены на рис. 44. Наибольшим этот показатель (в среднем 9,12 т/га) оказался у образцов из Восточной Европы. Элементный состав зерен указанной группы образцов отличался от образцов Российской селекции (Европейской части) достоверно большим содержанием Na (на 50,6%); Al (на 59,3%);Ca (на 30,1%); Co (на 31,4%); Ba (на 44,4%); Pb (на 55,2%); Sc (на 19,7%) и сниженными концентрациями Mg (на 9,25%); Mn (на 12,9%); Cu (на 28,4%); Ni (на 14,9%); Se (на 77,7%); Mo (на 21,8%)» (Колесников и др., 2014с).

Таблица 10 – Концентрации металлов и металлоидов в зернах мягкой пшеницы различного происхождения, выраженные относительно ПДК (Колесников и др., 2014с).

Происхождение	Al	Fe	Cu	Cr	Ni	Se	Pb	As	Cd
Россия, Европейская часть (ЛТ 4, и-146754, Мерцана, и-156545, (Московская 35, к-48762)	0,27 ±0,03	1,3 ±0,1	1,6 ±0,0	4,1 ±0,1	0,5 ±0,0	0,2 ±0,0	0,3 ±0,0	0,3 ±0,0	5,3 ±0,2
Россия, Азиатская часть (Памяти Юдина, и-144680, ОмГАУ 90, и-144683, Тюменская 25, и-146788, Тепсей, и-146738)	0,3 ±0,0	1,4 ±0,0	1,6 ±0,0	3,6 ±0,1	0,5 ±0,0	0,4 ±0,1	0,4 ±0,0	0,3 ±0,0	5,6 ±0,3
Восточная Европа (Banti, и-620574, Sirael, и-620336, Septima, и-620337, Seance, и-620338)	0,4 ±0,0	1,2 ±0,0	1,2 ±0,0	3,9 ±0,1	0,5 ±0,0	0,049 ±0,002	0,5 ±0,1	0,3 ±0,0	4,2 ±0,2
Восточная, Юго-Восточная Азия (Ke Quan, к-618040, Cao Yuan 1 Hao, к-618046, Zhang Chun 9 Hao, к-618062, Xin Chun 2 Hao, к-618132	0,00018 ±0,00001	1,2 ±0,0	1,4 ±0,0	4,1 ±0,3	0,6 ±0,1	0,1 ±0,0	0,2 ±0,0	0,3 ±0,0	5,8 ±0,2
Австралия и Океания (Thatcher, и-614386, K 1483, и-614292, CS 2A/2M, к-614296, Line S, и-614254, W 2402, к-614257)	0,00027 ±0,00001	1,4 ±0,0	1,4 ±0,0	3,5 ±0,1	0,4 ±0,0	0,2 ±0,0	0,2 ±0,0	0,3 ±0,0	4,6 ±0,2
Северная и Центральная Америка (Alikat, к-616270, RL 6001, к-616297, M 77-1140, к-616339, 93-11-2-3-2, к-616486, UI Lochsa, к-616500)	0,00032 ±0,00002	1,2 ±0,1	1,3 ±0,0	3,4 ±0,0	0,5 ±0,1	0,1 ±0,0	1,1 ±0,3	0,3 ±0,0	4,8 ±0,2
Северная Европа (WW 14069, к-52786, WW 16151, к-52790	0,0002 ±0,0001	0,9 ±0,1	1,2 ±0,1	4,4 ±0,4	0,7 ±0,0	0,2 ±0,1	0,4 ±0,0	0,3 ±0,1	6,3 ±0,6

«Содержание Cd в зернах образцов пшеницы увеличивалось с увеличением значений показателя массы 1000 зерен. С возрастанием содержания кадмия в зернах пшеницы выявлено существенное снижение площади листьев. Отмечено отрицательное влияние содержания кадмия на повреждаемость растений личинками пьявицы как в процентах, так и по абсолютному числу повреждений на лист, а также - на площадь повреждений листьев личинками. Накопление свинца в зернах пшеницы отрицательно

коррелировало с длиной колоса, числом колосков в колосе, высотой растений, площадью листа. Выявлено положительное влияние накопления в зернах

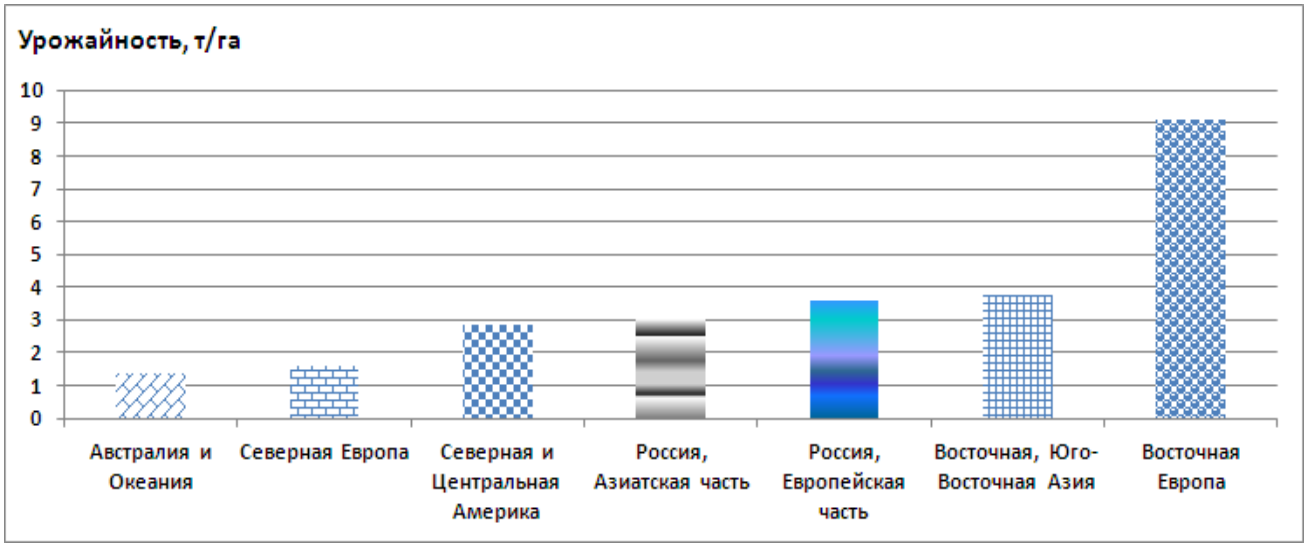


Рис. 44 – Потенциальная урожайность яровой мягкой пшеницы различного происхождения (Колесников и др., 2014с).

свинца на окраску листа, продуктивную и общую кустистость образцов. Отмечено отрицательное влияние содержания свинца в зернах на повреждаемость растений личинками пьявицы, как в процентах, так и по числу, площади повреждений на лист. Полученные результаты по изучению влияния Cd и Pb на элементы структуры урожая в некоторой степени согласуются с данными, представленными в работе (Казнина, 2003), где отмечено отрицательное влияние свинца и кадмия на рост и дифференциацию стеблевых апикальных меристем, а также - на темпы органогенеза злаков, на физиологические процессы и показатели работы листового аппарата злаков» (Колесников и др., 2014с). Уровни хрома, скандия и кобальта по данным таблицы 11, положительно коррелируют с комплексом показателей структуры урожая».

Увеличение содержания хрома в зерне обратно коррелировало с повреждением листьев пьявицей, а увеличение содержания скандия и кобальта – усиливало повреждение растений вредителем» (Колесников и др., 2014с).

Таблица 11 – Значимые коэффициенты ранговой корреляции Спирмена (P<0,05) между показателями элементного состава зерна яровой пшеницы, продуктивности пшеницы и поврежденности ее листьев пьявицей (Колесников и др., 2014с)

Химический элемент	$l_к$	$N_к$	$N_з$	M_{1000}	H	$S_ф$	$Y_п$	$O_л$	$П_к$	$O_к$	$R_п$	$N_п$	$S_п$
K	+0,5	+0,6	+0,7		+0,5	+0,6	+0,5	+0,6	+0,6	+0,6			
Cu	+0,3			+0,6	+0,7			+0,4	–0,3	–0,3	–0,4	–0,4	–0,6
Mo		+0,5		+0,5				+0,6	– 0,4	–0,4	–0,5	–0,5	–0,5
Se			–0,5	+ 0,5	+0,5	+0,5	–0,4		– 0,5	– 0,5	–0,5	–0,3	–0,3
Cr		+0,8	+0,3			+0,4					–0,4	–0,3	–0,3
Fe			–0,7	–0,4	+0,5								
Sc			+0,3		+0,6				+0,7	+0,7	+0,7	+0,6	–0,6
Pb	– 0,4	–0,4			–0,7	–0,5					–0,6	–0,7	–0,6
Cd		–0,6				–0,8					– 0,7	–0,4	–0,6
Bi		–0,5									– 0,6	–0,7	–0,7
Mn			–0,4						–0,4	–0,4	– 0,8	– 0,8	– 0,8
Mg	– 0,5	–0,6		– 0,8		–0,7			–0,4	–0,4	–0,4	–0,4	– 0,5
Ca				– 0,8				–0,3	+0,6	+0,6			
Ba				– 0,7					+0,7	+0,6	–0,5	–0,6	–0,4
Ni				+0,6			–0,3	– 0,7	–0,4				
Co			+0,3	–0,4			+0,4		+0,4	+0,3	+0,3	+0,3	+0,4
Tl	– 0,5	–0,5			–0,5	–0,6							
As	– 0,4	–0,4	– 0,7				–0,6						
Na	– 0,4		–0,6						+0,4	+0,3	+0,7	+0,7	+0,6
Al	– 0,5		–0,4						+0,4	+0,4	+0,8	+0,8	+0,8

* $l_к$ – длина колоса (мм); $N_к$– число колосков в колосе (шт.); $N_з$– число зерен в колосе (шт.); M_{1000} – масса 1000 зерен (г); H – высота растений (см), $S_ф$ – площадь флагового листа ($см^2$); $Y_п$ – урожайность пшеницы (т/га); $O_л$ – окраска листа (балл), $П_к$ – продуктивная кустистость (шт.), $O_к$ – общая кустистость (шт.); $R_п$ – поврежденность листа пьявицей (%); $N_п$ – число повреждений пьявицы (шт.); $S_п$ – площадь повреждений пьявицей ($мм^2$)

Заключение. «Проведенные исследования свидетельствуют о том, что элементы структуры урожайности мягкой пшеницы и признак устойчивости к вредителям зависит от тонко сбалансированного содержания в сортах пшеницы комплекса химических элементов, влияющих на основные процессы обмена веществ путем координирования, стимуляции и ингибирования жизненных функций. Отмечено положительное влияние увеличения содержания в зернах пшеницы калия, скандия и меди (по данным непараметрического корреляционного анализа) на большинство рассматриваемых показателей продуктивности пшеницы. Выявлено снижение повреждения листьев пшеницы личинками пьявицы обыкновенной с увеличением содержания в зернах кадмия,

селена, свинца, висмута, марганца (по данным непараметрического корреляционного анализа), некоторые из которых относится к группе тяжелых металлов, и являются, при определенных концентрациях, достаточно токсичными элементами для различных групп живых организмов в биосфере». Выявленные зависимости между поврежденностью растений личинками пьявицы и многоэлементным составом пшеницы позволяют рекомендовать личинок пьявицы обыкновенной в качестве тест-объектов для биотестирования агроэкосистем на наличие тяжелых металлов» (Колесников и др., 2014c).

3.6.2 Биохимический состав зерна у устойчивых и восприимчивых к бурой ржавчине сортов мягкой пшеницы

«Зерна устойчивых к бурой ржавчине, по сравнению с восприимчивыми, отличались достоверно бóльшими значениями ($p<0,05$) содержания легких металлов в зерне: Na (на 129,13%), Al (на 88,65%), Ba (на 67,27%), Ca (на 41,66%), а также повышенным содержанием: Sc (на 35,2%), Co (на 24,11%), Fe (на 17,91%), Pb (на 10,21%), K (на 2,64%), Cu (на 0,53%) – таблица 12» (Колесников и др., 2014b).

«Повышенное содержание натрия в устойчивых к бурой ржавчине сортах пшеницы можно объяснить тем, что натрий совместно с калием и другими микроэлементами отвечает в растениях за поддержание тургора клеток, а чем выше осмотическое давление у одних сортов по сравнению с другими при одинаковых условиях, тем устойчивее должны быть такие формы к паразитическим грибам (хемотроническая теория иммунитета растений)» (Колесников и др., 2014b).

«Данных о фунгитоксическом действии алюминия в литературе недостаточно (Широких, 2004) однако в тоже время данный элемент присутствует в некоторых пестицидах (фосэтил алюминия – характер действия: иммунизирующий фунгицид) и лекарственных средствах для лечения микозов кожи человека: 25%-й раствор алюминия хлорида» (Колесников и др., 2014b).

Таблица 12 – Содержание химических элементов в зернах у устойчивых и восприимчивых к возбудителю бурой ржавчины образцов яровой мягкой пшеницы (Колесников и др., 2014b)

Элемент	Устойчивый сорт			Восприимчивый сорт		
	Медиана	25-й центиль	75-й центиль	Медиана	25-й центиль	75-й центиль
Na, мкг/г*	167,38	120,38	192,86	73,05	70,76	80,88
Mg, мкг/г	2092,49	1931,30	2452,74	2221,58	1938,01	2303,35
Al*	7181,55	6582,70	8945,43	3806,79	3486,31	5085,68
K, мкг/г	5958,77	4972,20	6989,49	5805,38	5235,58	6242,06
Ca, мкг/г *	2291,27	1872,05	2428,44	1617,48	1375,37	1872,89
Cr, нг/г	709,42	671,20	785,77	839,34	654,34	918,63
Mn, нг/г	58732,94	51212,38	64040,99	61250,92	49119,58	66655,30
Fe, мкг/г	68,27	57,28	77,59	57,90	52,96	63,08
Co, нг/г	11,89	10,61	12,35	9,58	8,97	11,89
Cu, нг/г	6929,89	5783,50	7686,10	6893,25	6617,86	7160,39
Ni, нг/г *	207,76	193,49	240,59	306,67	252,28	360,62
Se, нг/г *	37,21	28,98	62,79	96,46	65,33	103,89
Mo, нг/г	1060,07	945,83	1370,20	1233,01	1165,07	1557,86
Ba, нг/г *	17386,97	13704,23	18539,26	10394,63	9921,19	13093,69
Pb, нг/г	62,39	48,30	80,49	56,61	36,98	66,32
Bi, нг/г	11,49	6,75	17,33	18,89	11,87	20,82
Sc, нг/г	37,25	27,47	40,78	27,56	25,42	32,03
As, нг/г	53,54	51,36	56,95	56,76	52,11	70,90
Cd, нг/г *	89,29	68,26	101,10	110,25	103,20	121,15
Tl, нг/г	0,75	0,59	0,97	0,76	0,38	1,34

*элементы, содержание которых достоверно отличалось у устойчивых и восприимчивых к бурой ржавчине образцов ($p<0,05$)

«Большое содержание Ca в зерне сортов яровой мягкой пшеницы, устойчивых к болезни, можно объяснить тем, что ионы Ca оказывают влияние на активность антиоксидантов, интенсивность перекисного окисления липидов (ПОЛ), активность гваяколпероксидазы, супероксиддисмутазы (СОД), каталазы мягкой пшеницы. Анионные пероксидазы выделяют в группу изоформ, ответственных за устойчивость пшеницы к грибным инфекциям и за защиту тканей листа от окислительного стресса» (Колупаев и др., 2005; Юсупова и др., 2006).

«Снижение развития возбудителя бурой ржавчины на устойчивых образцах на фоне содержания больших концентраций железа в растениях пшеницы можно объяснить участием Fe в процессе фотосинтеза,

стимулирующего естественный иммунитет растений. В тоже время, повышенное содержание железа в растении подавляет рост и развитие пшеницы» (Кудрявцева и др., 2013).

«Восприимчивые образцы пшеницы отличались сильным развитием бурой ржавчины на фоне повышенных концентраций Cd в зерне, что можно объяснить высокой фитотоксичностью элемента, обуславливающего возможное снижением фитоиммунитета. Кадмий ингибирует транспорт электронов и протонов в митохондриях, что может приводить к нарушению работы электронно-транспортной цепи, вызывает снижение интенсивности процессов перекисного окисления липидов, подавляет активность ключевых ферментов гликолиза и пентозофосфатного окислительного пути, нарушает водный статус и рост растения» (Belimov et al., 2003).

«Изучение корреляционных связей содержания 20-ти химических элементов (Na, Mg, Al, K, Ca, Cr, Mn, Fe, Co, Cu, Ni, Se, Mo, Ba, Pb, Bi, Sc, As, Cd, Tl) у групп устойчивых и восприимчивых образцов показало достоверно ($p<0,05$ и $P<0,01$) выраженное межэлементное взаимодействие. Устойчивые образцы отличались большим числом достоверных корреляционных связей между изученными химическими элементами (число достоверных коэффициентов корреляции Спирмена: $N=58$ при $P<0,05$ и $N=20$ при $P<0,01$), чем восприимчивые образцы ($N=45$ при $P<0,05$ и $N=12$ при $P<0,01$). Можно предположить, что у устойчивых образцов межэлементное взаимодействие выражено сильнее, чем у восприимчивых, что обуславливает более согласованное протекание химических реакций, отвечающих за активность метаболизма и механизмы защиты» (Колесников и др., 2014b).

Заключение. «Группа устойчивых и восприимчивых к бурой ржавчине образцов пшеницы определенно различалась по биохимическому (элементному) составу зерен яровой мягкой пшеницы, что может быть связано с опосредованным влиянием химических элементов на патогенез после их вовлечения в важнейшие процессы жизнедеятельности растений, и в том числе – в механизмы фитоиммунитета» (Колесников и др., 2014b).

3.6.3 Биохимический состав листьев у устойчивых и восприимчивых к бурой ржавчине сортов мягкой пшеницы

«Устойчивые к бурой ржавчине образцы пшеницы, по сравнению с восприимчивыми, отличались достоверно меньшими значениями содержания преимущественно тяжелых металлов во флаговых листьях: V (на 20,7%), Cr (на 56,9%), Fe (на 24,5%), Co (на 28,2%), Zn (на 44,6%); Pb (на 32,4%), Sb (на 70,7%), а также Na (на 79,5%). Методом нахождения достоверных значений ранговой корреляции Спирмена ($P<0,05$) определено, что рост значений отдельных показателей устойчивости определялся увеличением содержания в листьях Al (интенсивность развития, % - $R_{б.}$: r= 0,33; число пустул - $N_{п.}$: r= 0,30); Mn ($R_{б.}$: r= 0,48); Mg (площадь пустулы, мм^2 - $S_{б.}$: r= 0,45, тип реакции - $T_{б.}$: r= 0,44). Интенсивность развития болезни снижалась с увеличением содержания в листьях Se ($R_{б.}$: r= - 0,59). Вероятно, селен оказывает сильное влияние на основные жизненные процессы в растениях, стимулирует их рост и развитие, что может сказываться на устойчивости пшеницы к болезням. Токсическое воздействие сурьмы на образцы (фитотоксичность) может проявляться в конкуренции с жизненно важными метаболитами растений (Савинова и др., 2013), что способствует ослаблению проявлений признака устойчивости пшеницы к болезням» (Колесников и др., 2014а).

«Накопление в листьях пшеницы тяжелых металлов (V, Fe, Co, Zn, Pb, Cr, Mn) приводило к усилению интенсивности развития возбудителя бурой ржавчины. Возможно, это можно объяснить тем, что тяжелые металлы вызывают изменения белкового спектра грибов, воздействуя, по-видимому, на синтез белков на уровне транскрипции и трансляции, влияют на их ферментную активность, а также на прорастание спор» (Горбунова, Терехова, 1995). Результаты сопоставления данных по содержанию химических элементов в листьях и зернах у устойчивых и восприимчивых к бурой ржавчине образцов яровой мягкой пшеницы представлено в таблице 13.

Таблица 13 – Изменение в биохимическом составе листьев и зерен у сортов и линий яровой мягкой пшеницы, характеризующихся устойчивостью к бурой ржавчине, по сравнению с восприимчивыми образцами (Колесников и др., 2014а)

Хим. элемент	Изменение, %	
	Зерно	Лист.
Na* **	129,13	-79,49
Mg	-5,81	-9,27
Al**	88,65	-1,42
K	2,64	-7,06
Ca	41,66	-7,06
Cr*	-15,47	-56,86
Mn	- 4,11	-26,59
Fe*	17,91	-24,47
Co*	24,11	-28,23
Cu	0,53	15,39
Ni	- 32,25	14,31
Se**	- 61,42	-1,92
Mo	-14,03	6,57
Pb*	10,21	-32,38

*- статистически достоверно различались по содержанию в листьях
** - статистически достоверно различались по содержанию в зернах

«У группы устойчивых образцов, по сравнению с восприимчивыми образцами, отмечены более низкие значения содержания Mg, Cr, Mn, Se и повышенное содержание Cu. Указанные микроэлементы необходимы для нормального роста и развития пшеницы. Они отвечают за важнейшие физиологические процессы в растении, участвуют, в частности, в регулировании окислительно-восстановительных реакций процессов дыхания, фотосинтеза» (Колесников и др., 2014а). Помимо этого, под действием меди активизируется синтез хлорофилла даже в тканях, утративших эту способность за счет активирования дыхательных цепей с участием медьсодержащих оксидаз (Школьник, 1974).

Заключение. «Для сортов и линий яровой мягкой пшеницы, безусловно, характерны различия в распределении исследованных химических элементов в листьях и зернах, что согласуется с результатами исследований, приведенными в работе (Валеева, 2004). Нами, помимо вышеизложенного,

показана зависимость проявления признака устойчивости образцов к возбудителю бурой ржавчины от их многоэлементного состава. Выявлены достоверные различия в биохимическом составе устойчивых и восприимчивых к болезни сортов и линий яровой мягкой пшеницы. Отмечено, что изменения содержания большинства изученных химических элементов (64,3%) как в листьях, так и в зернах у устойчивых образцов, по сравнению с восприимчивыми, характеризовались разнонаправленными тенденциями. Сорта и линии яровой мягкой пшеницы, характеризующиеся отсутствием симптомов патогенеза, отличались меньшим содержанием в листьях тяжёлых металлов V, Fe, Co, Zn, Pb, Cr, Mn, а также Sb и Al, некоторые из которых относятся к группе особо опасных экотоксикантов» (Колесников и др., 2014а).

3.6.4 Масс-спектральный анализ содержания некоторых химических элементов во флаговых листьях изогенных линий Thatcher с различной устойчивостью к бурой ржавчине

«При сопоставлении средних значений состава элементов было установлено, что группа высокоустойчивых линий Thatcher, на которых не выявляли признаки развития бурой ржавчины (*TcLr24, TcLr28, TcLr29, TcLr47*), отличалась от объединенной группы умеренно устойчивых, умеренно восприимчивых и сильно восприимчивых линий по ряду показателей. Она характеризовалась достоверно меньшим ($P < 0,05$) содержанием K (на 21,41 %), Ni (на 56,54 %), а также несущественно меньшим количеством Ca (на 10,64 %), Mg (на 10,06 %), Al (на 14,18 %), Cr (на 44,24 %), Mn (на 1,41 %), Fe (на 9,03 %), Co (на 11,34 %), Pb (на 0,25 %), Sb (на 23,40 %), Cd (на 18,23 %), Be (на 28,03 %), Ag (на 35,97 %). Различия были недостоверными ($P > 0,05$) для микроэлементов Na (на 33,04 %), Cu (на 6,73 %), Zn (на 4,65 %), Se (на 15,16 %), Mo (на 3,07 %), Ba (на 3,31 %), As (на 5,56 %), большинство из которых относятся к необходимым для нормального роста и развития растений» (Колесников и др., 2018а).

«На основании расчета 95% доверительных интервалов для средних (рис. 45) высокоустойчивые линии Thatcher (I группа) имели существенно меньшее содержание K, Cr, Fe, Co, Ni, Cd, Ag по сравнению с сильно восприимчивыми (IV

группа). Проявились различия между умеренно устойчивыми (II группа) и умеренно восприимчивыми (III группа) линиями по содержанию Ni, а также между III и IV группами по Cr, Fe, Co, Ni, Ag» (Колесников и др., 2018а).

«Методом непараметрического корреляционного анализа Спирмена (при $P < 0,05$) было установлено, что интенсивность поражения изогенных линий Thatcher с *Lr*-генами ювенильной устойчивости бурой ржавчиной достоверно повышалась с ростом содержания в листьях Al (по интенсивности развития болезни $R_б$ – $r = 0,6$), Cr ($R_б$ – $r = 0,5$; по числу пустул $N_п$ – $r = 0,5$), Co ($R_б$ – $r = 0,6$; $N_п$ –$r = 0,5$), Ni ($R_б$ – $r = 0,7$; $N_п$ – $r = 0,6$; по типу реакции Т – $r = 0,5$), Sb ($r = 0,5$; $N_п$ – $r = 0,4$), K (Т – $r = 0,6$). Интенсивность поражения изогенных линий Thatcher с *Lr*-генами возрастной устойчивости достоверно снижалась с увеличением содержания в листьях Se ($R_б$ – $r = –0,91$; $N_п$ – $r = –0,89$; по площади пустулы $S_п$ – $r = –0,96$), тогда как у линий с *Lr*-генами ювенильной устойчивости она повышалась ($R_б$ – $r = –0,11$; $N_п$ – $r = –0,13$; $S_п$ – $r = –0,34$)» (Колесников и др., 2018а).

«В результате анализа матрицы взаимных корреляций элементного состава листьев пшеницы было установлено, что группа изогенных линий Thatcher с *Lr*-генами ювенильной устойчивости характризовалась меньшим числом достоверных значений коэффициентов корреляции Спирмена и Пирсона (соответственно на 65,34 и 74,22 %) по сравнению с линиями — носителями генов возрастной устойчивости» (Колесников и др., 2018а).

«В листьях у изогенных линий с *Lr*-генами, определяющими ювенильную устойчивость, по сравнению с линиями — носителями *Lr*-генов частичной полевой устойчивости ($R_б = 32,50±10,05$ %; $N_п = 606,06±316,40$; $S_п = 0,095±0,010$ мм^2), выявляли существенно большее ($P < 0,05$) содержание Ca (на 53,47 %), Al (на 55,38 %), Mg (на 85,76 %), а также недостоверно большее ($P > 0,05$) содержание Pb (на 6,03 %), Zn (на 6,78 %), Mn (на 7,68 %), K (на 9,67 %), Be (на 10,14 %), As (на 15,40 %), Co (на 16,46 %), Fe (на 17,89 %), Cd (на 29,04 %), Sb (на 51,60 %), Mo (на 56,90 %), Ni (на 107,56 %) и меньшее ($P > 0,05$) — Cu (на

49,84 %), Ag (на 25,58 %), Cr (на 19,82 %), Ba (на 13,19 %), Na (на 3,93 %), Se (на 3,14 %)» (Колесников и др., 2018а).

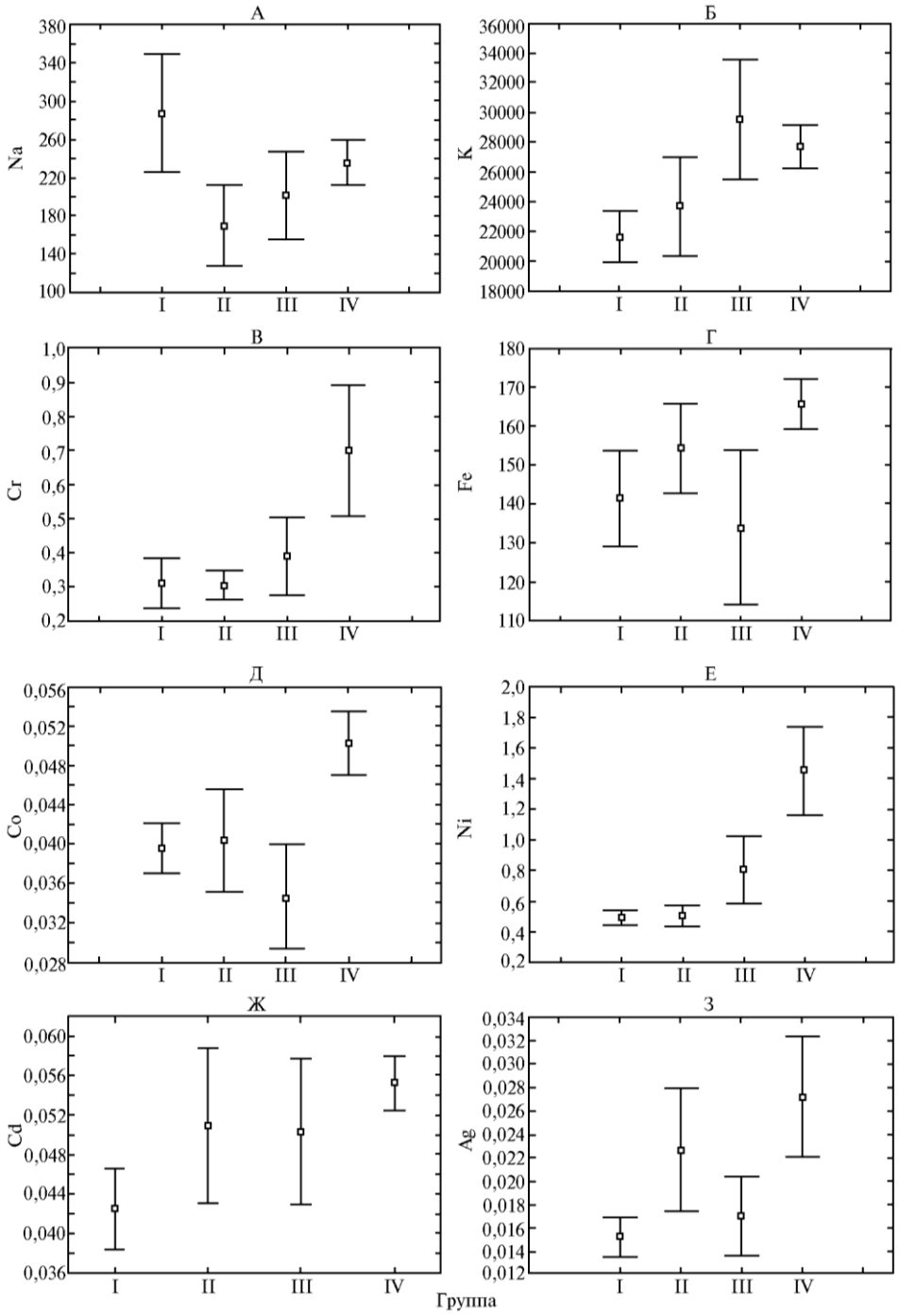


Рис. 45 – Содержание микроэлементов в листьях у растений пшеницы (*Triticum aestivum* L.) изогенных линий Thatcher — носителей Lr-генов ювенильной устойчивости: А — Na, Б — K, В — Cr, Г — Fe, Д — Co, Ж — Ni, З — Cd, И — Ag (I группа — высокоустойчивые линии, не выявлены симптомы болезни; II группа — умеренно устойчивые линии: $R_б$ = 2,5±1,2 %; $N_п$ = 22±7,5; Sп = 0,043±0,018 мм^2; Т = 2,3±0,7; III группа — умеренно восприимчивые линии: $R_б$ = 14,8±3,2 %; $N_п$ = 344,1±97,5; $S_п$ = 0,043±0,013 мм^2; Т = 3,6±0,2; IV группа — сильно восприимчивые линии: $R_б$ = 84,2±5,2 %; $N_п$ = 1602,7±244,4; $S_п$ = 0,067±0,011 мм^2; Т = 4,0±0,0). На графиках представлены средние значения показателей, мкг/г и 95 % доверительные интервалы (Колесников и др., 2018а)

«В листьях изогенных линий с *Lr*-генами возрастной устойчивости по сравнению с линиями — носителями *Lr*-генов частичной полевой устойчивости наблюдалось недостоверно меньшее (P > 0,05) содержание Cu (на 67,44 %), Ba (на 16,19 %), K (на 11,07 %), Se (на 8,55 %), Ag (на 5,0 %), Cr (на 3,55 %), Na (на 2,12 %), Zn (на 0,80 %) и недостоверно большее (P > 0,05) — Mn (на 3,21 %), As (на 10,20 %), Fe (на 16,13 %), Co (на 19,66 %), Pb (на 22,83 %), Sb (на 49,01 %), Ca (на 50,85 %), Ni (на 53,09 %), Mg (на 55,34 %), Al (на 58,07 %), Mo (на 60,12 %), Cd (на 65,71 %), Be (на 147,22 %)» (Колесников и др., 2018а).

«Методом непараметрического корреляционного анализа определили взаимосвязи между элементным составом у изогенных линий Thatcher — носителей генов *Lr1, Lr10, Lr21, Lr3a, Lr24,* кодирующих растительные NBS-LRR-белки (Feuillet и др., 2003; Huang и др., 2003; Spielmeyer и др., 2000) и показателями интенсивности развития бурой ржавчины пшеницы. Установлено, что повышение содержания Al, Fe, Ni, Zn усиливало интенсивность развития бурой ржавчины пшеницы (значения коэффициента корреляции Спирмена были достоверными)» (Колесников и др., 2018а).

«Отношение содержания элемента в листьях пшеницы к его количеству в почве позволило рассчитать коэффициенты биологического накопления, характеризующие степень избирательного поглощения элемента растениями. Как оказалось, развитие возбудителя бурой ржавчины пшеницы достоверно усиливалось с ростом коэффициента биологического накопления Al, K, Cr, Fe, Co, Ni, Sb и Cd во флаговых листьях» (Колесников и др., 2018а).

«Значения коэффициентов биологического накопления у изогенной линии Thatcher — носителя гена *Lr34*, кодирующего у пшеницы белок, аналогичный ABC-транспортерам, которые участвуют в детоксикации (Krattinger и др., 2009), в отличие от линий с генами *Lr1, Lr10, Lr21, Lr3a, Lr24,* были достоверно ниже (P < 0,05) по Cr (на 75,1 %) и Ni (на 49,5 %), несущественно ниже (P > 0,05) — по Na (на 15,6 %), Mg (на 38,0 %), Al (на 41,2 %, K (на 22,9 %), Ca (на 45,1 %), Mn (на 8,4 %), Fe (на 17,5 %), Co (на 98,5%), Zn (на 12,7 %), Mo (на 47,9 %), Pb (на 13,3 %), Cd (на 37,5 %), тогда как по Cu

достоверно выше (на 50,3 %, P < 0,05). При этом интенсивность развития и число пустул бурой ржавчины на флаговых листьях у линии Тс*Lr34* по сравнению с линиями Тс*Lr1,* Тс*Lr10,* Тс*Lr3a* были достоверно меньше (P < 0,05) — соответственно на 66,7 % и 45,8 %; на 90,5 % и 36,5 %; на 66,8 % и 158,9 %» (Колесников и др., 2018а).

«Линии Thatcher с *Lr*-генами ювенильной устойчивости (*Lr28, Lr29, Lr24, Lr47*), на которых за весь период вегетации не были выявлены признаки развития бурой ржавчины, выделялись достоверно меньшим содержанием тяжелых металлов Ni, Ag, Cr, Fe, Co, Ni, Cd, а также K, что согласуется с результатами исследований, приведенными нами ранее на других сортах и линиях пшеницы (Колесников и др., 2014a, 2014b). Это можно объяснить возможной фитотоксичностью тяжелых металлов при их содержании в листьях в повышенных концентрациях, что приводит к снижению фитоиммунитета (Belimov et al., 2003) и способствует более интенсивному поражению растений пшеницы, особенно восприимчивых сортов (Наумов и др., 2013). Избыточное количество калия в листьях задерживает поступление натрия в растение, вызывая нарушения метаболизма и задержку роста. В лабораторном опыте показано (Тырышкин, 2015), что использование раствора хлористого калия при выращивании проростков и размещении отрезков листьев пшеницы на вате позволило значительно повысить эффективность наработки инокулюма бурой ржавчины пшеницы (в 4,9 раза)».

«Интенсивность развития возбудителя бурой ржавчины снижалась с увеличением во флаговых листьях изогенных линий Thatcher содержания селена, оказывающего положительное влияние на ростовые процессы пшеницы и фотосинтетические показатели (Кашин, Шубина, 2011). Эта тенденция в наибольшей степени была характерна для линий с *Lr*-генами возрастной устойчивости» (Колесников и др., 2018а).

Заключение. «У изогенных линий Thatcher с *Lr*-генами ювенильной устойчивости имелось меньшее число достоверных корреляционных взаимосвязей между количеством химических элементов во флаговых листьях

(при большей степени поражения возбудителем бурой ржавчины), чем у линий — носителях генов возрастной устойчивости, что подтверждалось коэффициентами параметрической и непараметрической корреляции Пирсона и Спирмена (при $P < 0,05$). Выявленные особенности корреляционных связей свидетельствуют о более тонкой координации биохимических процессов при включении защитных механизмов растения-хозяина, направленных против возбудителей болезней. Мы выявили достоверные положительные корреляционные связи между содержанием в флаговых листьях Al, Cr, Co, Sb, K (линии с *Lr*-генами ювенильной устойчивости); Al, Fe, Ni, Zn (линии с генами *Lr1, Lr10, Lr21, Lr3a, Lr24*) и степенью поражением бурой ржавчиной пшеницы. Интенсивность развития возбудителя бурой ржавчины достоверно повышалась с ростом значений коэффициента биологического накопления Al, K, Cr, Fe, Co, Ni, Sb, Cd во флаговых листьях» (Колесников и др., 2018а).

«Таким образом, элементный профиль *Lr*-линий яровой мягкой пшеницы серии Thatcher, обусловленный генетически детерминированным признаком устойчивости и отражающий агрохимические условия выращивания культуры, влиял на интенсивность развития возбудителя бурой ржавчины. Проявление болезни усиливалось с увеличением содержания в листьях пшеницы ряда токсичных элементов, в том числе тяжелых металлов. Полученные результаты могут быть использованы в селекционной работе по созданию сортов яровой мягкой пшеницы, адаптированных к экологическим условиям Северо-Западного региона России» (Колесников и др., 2018а).

3.6.5 Антиоксидантная активность мягкой пшеницы и ее связь с урожайностью и устойчивостью к болезням

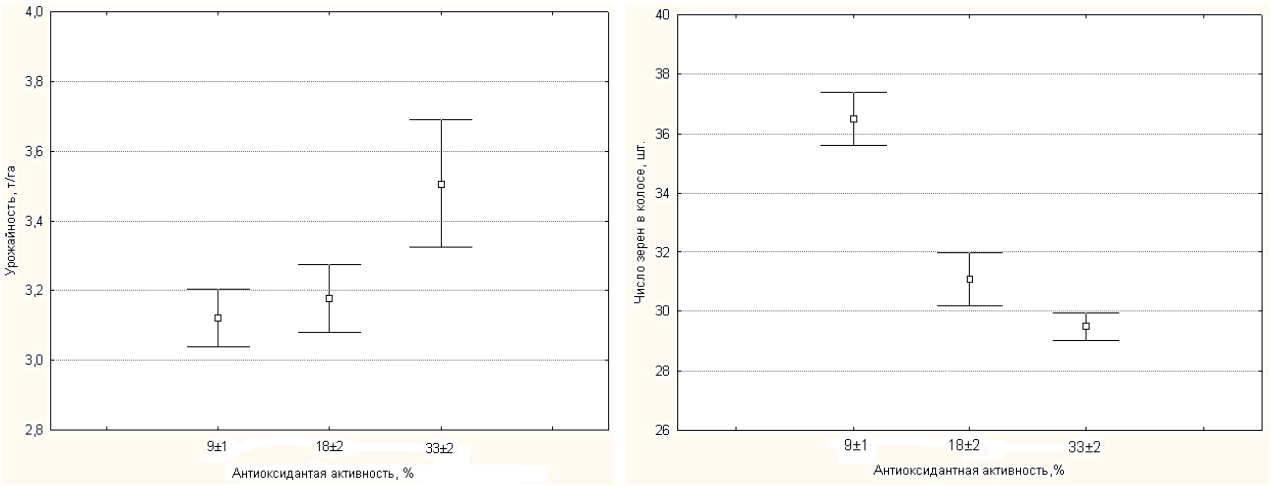
«Зависимости между массой зерен и показателям урожайности пшеницы с одной стороны, и АОА - с другой, иллюстрирует рис. 46. В частности, при росте АОА образцов с 9% до 33% выявлена тенденция роста урожайности пшеницы с 3,1 т/га до 3,5 т/га, что может быть связано с увеличением продуктивной кустистости изученных сортов (с 1 до 1,7 стеблей на растение), а

также с ростом значений площади флаг-листа, непосредственно влияющей на урожайность пшеницы (с 1350 мм^2 до 1460 мм^2)» (Колесников и др., 2015с).

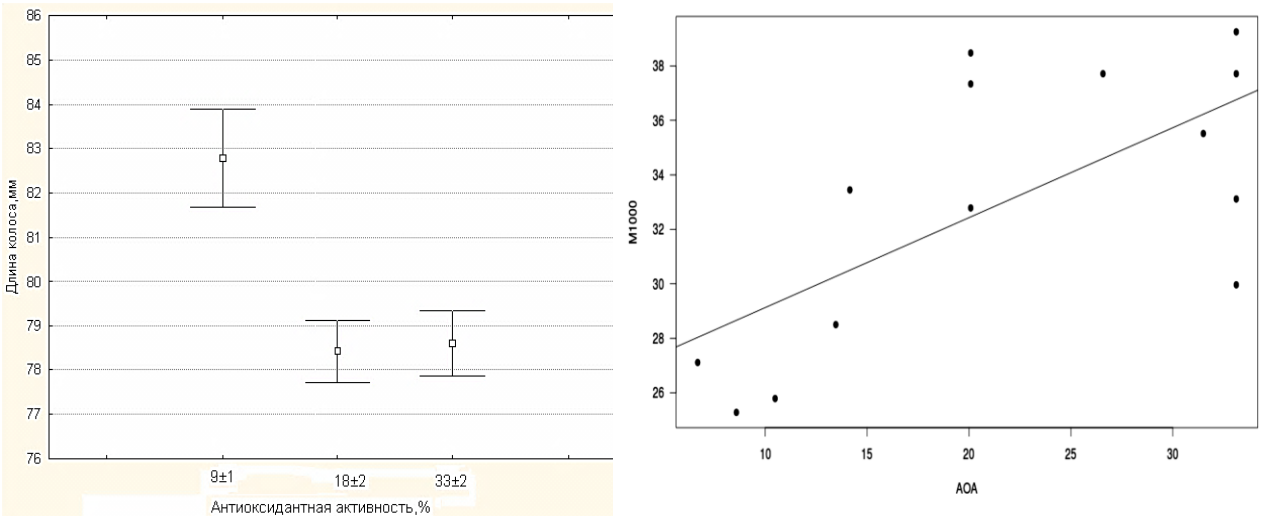
«Корреляционную связь между АОА и массой 1000 зерен сортов и линий пшеницы можно оценить по уравнению линейной регрессии: М1000=26+0,33АОА (R=0,67, p<0,01), которое означает, что в пределах исследуемой области масса 1000 зерен несколько увеличивается при возрастании АОА. Регрессионные модели, отражающие влияние антиоксидантной активности на интенсивность развития возбудителя мучнистой росы и число пятен с налетом имеют вид: $R_м$=-69,65+exp (4,93-0,02 АОА), r=-0,66 и $R_{п.м.}$= -149,70+exp (5,58-0,02 АОА), r=-0,66, соответственно. Повышение АОА с 10 до 20% сопровождалось снижением развития болезни на 21% и уменьшением числа пятен с налетом (на 39 пятен), что следует из данных моделей» (Колесников и др., 2015с).

Максимальной антиоксидантной активностью (АОА=56,4%) обладали линии Thatcher, наиболее устойчивые к болезни, защищенные Lr-генами: Lr12, Lr19, Lr22, Lr27, Lr29, Lr31, Lr35, Lr36, Lr46, Lr47, Lr48 ($R_б$= 9±3%, $N_п$=197,5±90,9, $S_п$= 0,04±0,01, $T_б$= 2,2±0,5). Указанные линии, отличались существенно меньшими значениями интенсивности развития болезни (на 89,8%); числа пустул (на 88,3%), типа реакции (на 31,58%), а также площади пустулы (на 39,1%)» (Колесников и др., 2015с).

«Влияние антиоксидантной активности листьев изогенных линий на интенсивность развития бурой ржавчины, характеризуемой числом пустул на 1 см^2 может быть описано выражением экспоненциальной регрессии (рис. 47). Коэффициент корреляции в этом случае доходит до 0,6÷0,77. Видно, что при увеличении АОА число пустул сначала снижается, а дальше остается практически неизменным» (Колесников и др., 2015с).



а) б)



в) г)

Рис. 46 – Изменение продуктивности мягкой пшеницы в зависимости от антиоксидантной активности по показателям: а- урожайность, б – число зерен в колосе, в – длина колоса (Группа 1. AOA=9±1%: Памяти Леонтьева, к-65245, SSL 56-57, и-616509, Gregory, и-614334, Shu Wan 761, и-618102, Накзос, к-65262. Группа 2. AOA=18±2%: Arrino, и-616492, SSL 19-24, и-616505, Jin Mai 71, и-618092, M 83-1621, и-616336. Группа 3. AOA=33±2%: Ke Han 8 Hao, и-618039, Ke Zhuang, и-618043, Амир, к-64253, к-52361, Thasos, к-63469), г – регрессионная модель зависимости массы 1000 зерен от AOA (Колесников и др., 2015с).

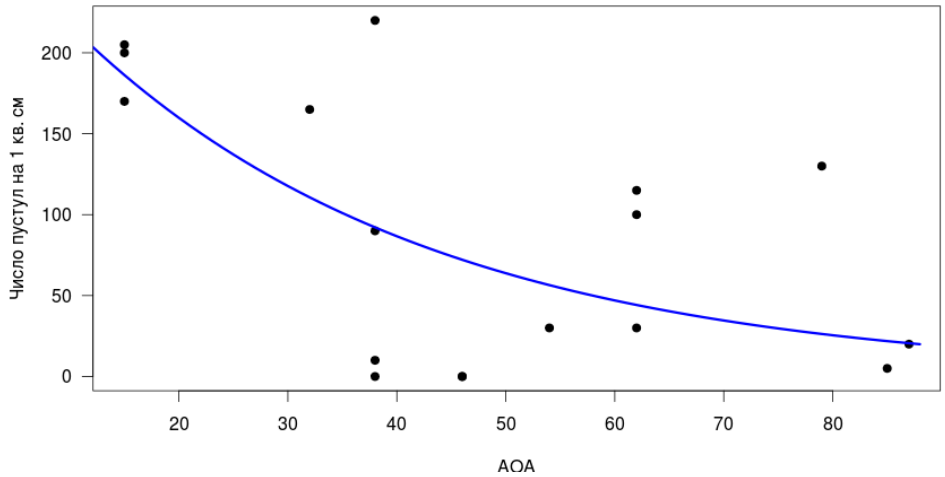


Рис. 47 – Экспоненциальная зависимость изменения развития бурой ржавчины пшеницы на изогенных линиях Thatcher, характеризуемого числом пустул на 1 см^2 флаг-листа от антиоксидантной активности. 2014 г. (Колесников и др., 2015с)

«Высокоустойчивые сорта яровой мягкой пшеницы, характеризующиеся отсутствием симптомов развития бурой ржавчины: и-614282, Р 8901-АР1А2В1В, и-616376, Новосибирская 18, и-147855, Курьер, к-65561, отличались наименьшей величиной стресс-индекса: F=0,21±0,004, т.е. состояние растений было оптимальным. Кроме того, указанная группа сортов обладала наибольшей антиоксидантной активностью АОА= 52,92±1,05%» (Колесников и др., 2015с).

«Относительно устойчивые сорта яровой мягкой пшеницы (и-614281, Line S, и-614254) отличались незначительной интенсивностью развития возбудителя бурой ржавчины: $R_б$= 3,00±0,34%, $N_п$=29,00±3,25, $S_п$= 0,05±0,006 мм^2, $T_б$= 3,00±1,00 и отличались величиной стресс-индекса, большей на 34,08%: F=0,28±0,02, их АОА была на 27,55% меньше по сравнению с предыдущей группой (АОА = 38,34±18,34%), растения находились в более угнетенном состоянии» (Колесников и др., 2015с).

«Восприимчивые сорта яровой мягкой пшеницы с сильным поражением листьев бурой ржавчиной: $R_б$= 64,55±2,40%, $N_п$=1892,25±116,71, $S_п$= 0,06±0,02 мм^2, $T_б$= 3,91±0,09 (Liao Chun 5 Hao, и-618047, Самгау,и-619864, К 1483, и-614292, CS 2A/2M , и-614296, Jin Mai 2148, и-618090, и-613640, UI Pettit, и-616520, и-614385, Jin Mai 71, и-618092, W 3534, и-614280, и-614386) обладали

максимальным значением стресс-индекса: F=0,32±0,004, т.е. характеризовались наихудшим состоянием растений при минимальной величине антиоксидантной активности АОА = 26,82±6,92%» (Колесников и др., 2015с).

Заключение. «Сорта пшеницы, зерна которых отличались более высокой антиоксидантной активностью АОА, отличались большими значениями массы 1000 зерен, потенциальной урожайности, продуктивной кустистости, площади флаг-листа и меньшими значениями числа зерен в колосе, длины колоса. Антиоксидантная активность зерна различных по устойчивости сортов яровой мягкой пшеницы связана со степенью поражения листьев растений возбудителем мучнистой росы. Зерна устойчивых сортов пшеницы, при незначительном развитии болезни ($R_м$ = 10±3%), отличались антиоксидантной активностью, большей на 66%. Повышение АОА с 10 до 20% сопровождалось снижением развития болезни на 21% и уменьшением числа пятен с налетом (на 39 пятна)» (Колесников и др., 2015с).

«Интенсивность развития бурой ржавчины на линиях пшеницы серии Thatcher – носителях Lr-генов зависела от антиоксидантной активности их листьев. Изогенные линии Thatcher, проявившие большую устойчивость к возбудителю бурой ржавчины и характеризующиеся развитием болезни $R_б$= 8,8±3,1%, отличались большей антиоксидантной активностью (на 129%), чем восприимчивые образцы, в умеренной и сильной степени пораженные болезнью: $R_б$= 85±12%» (Колесников и др., 2015с).

«Определены взаимосвязи между оптическим показателем - стресс-индексом (F, обратным вегетационным индексом), антиоксидантной активностью зерен и интенсивностью развития бурой ржавчины пшеницы. Сорта яровой мягкой пшеницы, отличающиеся наименьшими значениями стресс-индекса (F=0,210±0,004), обладали наибольшей антиоксидантной активностью АОА= 53±1%, наилучшей жизнеспособностью и отсутствием симптомов развития возбудителя бурой ржавчины по сравнению с другими

сортами, на которых было зарегистрировано развитие болезни» (Колесников и др., 2015с).

3.7 Прогнозирование урожайности и интенсивности поражения мягкой пшеницы болезнями с использованием методов интроскопического анализа зерна

3.7.1 Идентификация нежизнеспособных и выполненных семян мягкой пшеницы методом газоразрядной визуализации

Изучена возможность контроля качества семян пшеницы с помощью методов неразрушающего контроля – газоразрядной визуализации и микрофокусной ренгенографии для программирования урожайности пшеницы и прогнозирования изменений в интенсивности поражения пшеницы болезнями (Kolesnikov et al., 2021g).

Площадь газоразрядных характеристик семян мягкой пшеницы была сопоставлена со следующими признаками полевой всхожести: семена не взошли (нежизнеспособные семена - НЖС); семена взошли (жизнеспособные (полноценные, выполненные) семена - ЖС); взошли, но растения погибли (условно жизнеспособные семена -УЖС).

Незначительное снижение площади газоразрядного изображения (ГРИ) нежизнеспособных семян, не давших всходы, по сравнению с жизнеспособными семенами, давшими всходы, выявлено у 40% изученных сортов пшеницы – рис. 48. Наибольшие различия в изменении площади ГРИ семян в сторону снижения отмечено у УЖС по сравнению с ЖС. Данная тенденция выявлена у 80% сортов (Kolesnikov et al., 2021g).

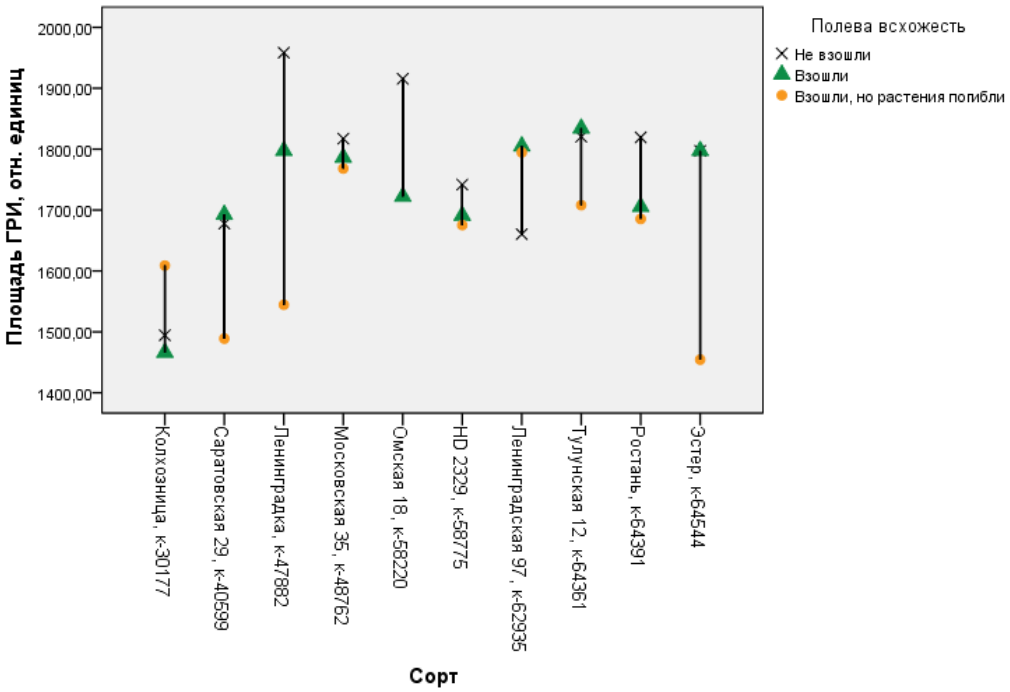


Рис. 48 – Влияние площади ГРИ семян пшеницы на полевую всхожесть. 2016 г.

По сравнению с жизнеспособными семенами, нежизнеспособные семена характеризовались преимущественно большими значениями показателя яркости газоразрядного изображения (рис. 49). Указанная закономерность выявлена у 70% сортов. Следует отметить, что в работе Архипова и соавторов (2016a) найдена отрицательная корреляционная связь данного показателя с параметрами: длина ростка, площадь флагового листа пшеницы (Kolesnikov et al., 2021g).

Коэффициент формы ГРИ может отражать «щуплость» зерен, вызванную энзимомикозным истощением (Архипов и др., 2016a). У 40% сортов зарегистрировано снижение значений коэффициента формы у НЖС по сравнению с ЖС. Значения коэффициента формы УЖС снизились у 40% сортов по сравнению с ЖС. В работе Архипова и соавторов (2016a) найдена положительная корреляционная связь с параметром «масса 1000 семян».

По сравнению с ЖС, снижение трехмерной фрактальности по изолинии газоразрядного изображения выявлено у НЖС 40% сортов. Аналогичная тенденция выявлена у 40% сортов с УЖС (Kolesnikov et al., 2021g). Предположительно, параметр фрактальности зависит от размерных

характеристик семян. В работе Архипова и соавторов (2016а) найдена положительная корреляционная связь указанного показателя с массой 1000 семян.

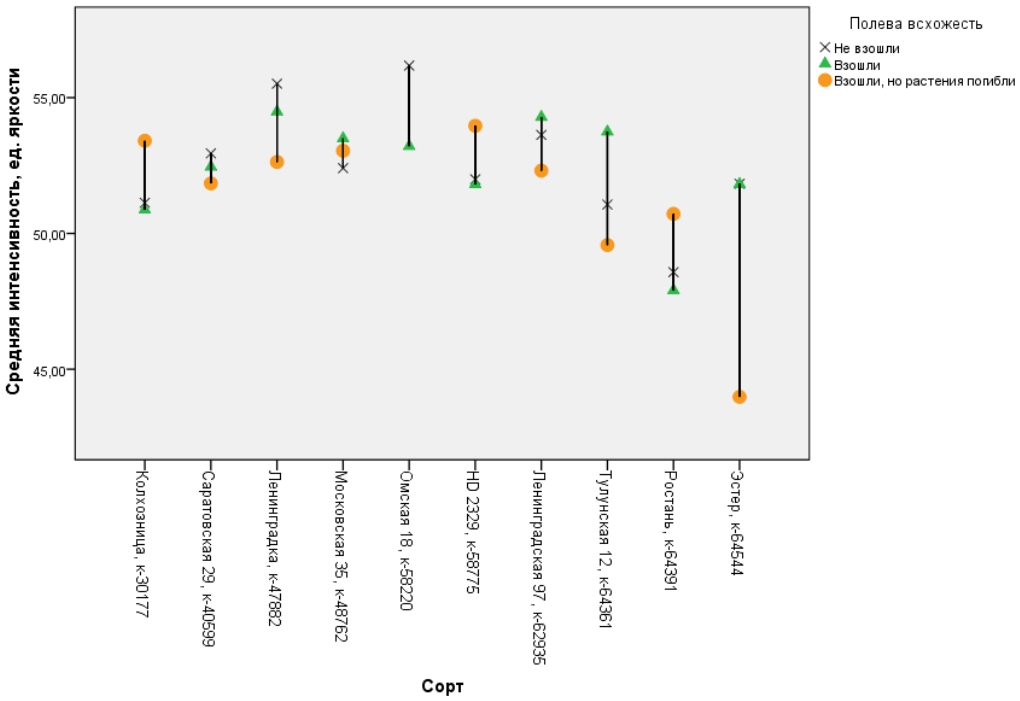


Рис. 49 – Влияние интенсивности газоразрядного свечения семян пшеницы на полевую всхожесть. 2016 г.

Длина изолинии – важный показатель качества семян. В нашем опыте наибольшее снижение показателя зарегистрировано у группы УЖС, по сравнению с ЖС (рис. 50). Указанная закономерность выявлена у 60% сортов. НЖС отличались сниженными характеристиками показателя только у 30% образцов (Kolesnikov et al., 2021g). Следует отметить, что в работе Архипова М.В. и соавторов (2016а) выявлена положительная корреляционная связь длины изолинии с параметром «масса 1000 семян»

Параметр средний радиус изолинии отображает «ширину» свечения вокруг объекта, параметр нормализованное СКО радиуса изолинии дает возможность оценить неравномерность ширины свечения по контуру (Архипов и др., 2016а). У НЖС 40% сортов отмечено снижение среднего радиуса изолинии по сравнению с ЖС. Указанная тенденции выявлена и у 60% сортов при анализе среднего радиуса изолинии УЖС по сравнению с ЖС. Рост

значений нормализованного СКО радиуса изолинии ГРИ НЖС было выявлено у 60% сортов и у 30% сортов при оценке УЖС, по сравнению с ЖС (Kolesnikov et al., 2021g).

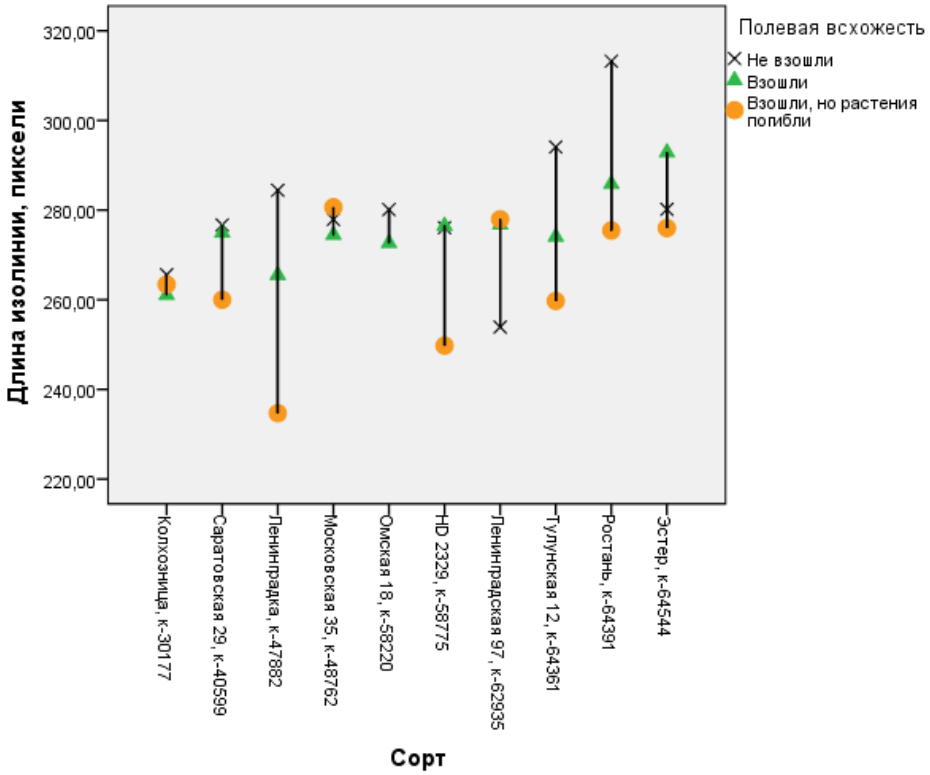


Рис. 50 – Влияние длины изолинии семян пшеницы на полевую всхожесть. 2016 г.

Значения энтропии по изолинии были снижены у НЖС и УЖС, по сравнению со здоровыми семенами. Данная закономерность была отмечена у 60 % образцов и 30% образцов, соответственно. В работе Архипова и соавторов (2016а) определена положительная корреляционная связь данного показателя с параметром «энергия прорастания семян» (Kolesnikov et al., 2021g).

Заключение. Нежизнеспособные семена пшеницы по сравнению со здоровыми (выполненными) отличались преимущественно меньшей площадью, коэффициентом формы, среднеквадратическим отклонением (СКО) трехмерной фрактальности по изолинии, энтропии по изолинии, большей яркостью и среднеквадратическим отклонением радиуса изолинии газоразрядного изображения ГРИ (Kolesnikov et al., 2021g).

3.7.2 Идентификация нежизнеспособных и выполненных семян мягкой пшеницы методом микрофокусной мягколучевой рентгенографии

Одним из показателей, характеризующим «выполненность» эндосперма, является площадь проекции семян (рис. 51). Набольшее снижение площади проекции зерен было зарегистрировано у УЖС по сравнению с ЖС. Данная закономерность выявлена у 50% сортов. Снижение площади проекции НЖС, не давших всходы, по сравнению с ЖС, было зарегистрировано у 40% сортов (Kolesnikov et al., 2021g).

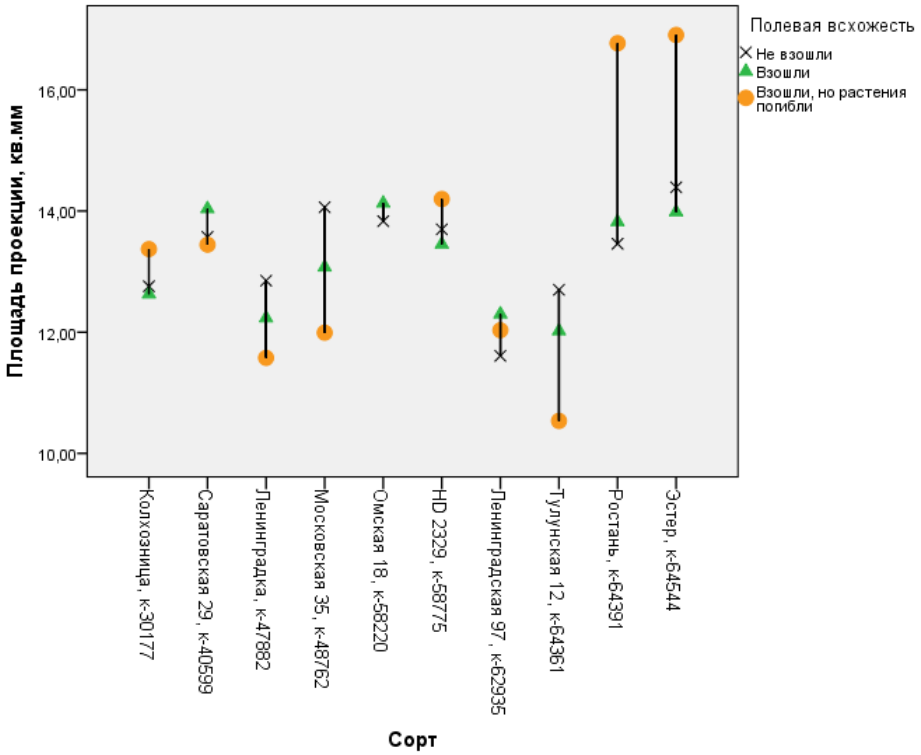


Рис. 51 – Влияние площади проекции семян пшеницы на полевую всхожесть. 2016 г.

Наиболее выраженное снижение периметра проекции семян было зарегистрировано у УЖС по сравнению с ЖС. Данная закономерность выявлена у 50% сортов. Снижение периметра проекции НЖС по сравнению с ЖС было зарегистрировано только у 30% сортов. Наибольшее снижение длины проекции семян было зарегистрировано у УЖС по сравнению с ЖС. Указанная закономерность была выявлена у 40% сортов. Снижение длины проекции НЖС по сравнению со здоровыми семенами было зарегистрировано также у 40% сортов. Наибольшее снижение ширины проекции семян было

зарегистрировано у УЖС по сравнению с ЖС. Указанная закономерность была выявлена у 50% сортов. Снижение ширины проекции НЖС по сравнению с ЖС было зарегистрировано также у 50% сортов (Kolesnikov et al., 2021g).

Наибольшее снижение средней хорды проекции семян было зарегистрировано у УЖС по сравнению с ЖС. Указанная закономерность была выявлена у 60% сортов (рис. 52). Снижение средней хорды проекции НЖС, по сравнению со здоровыми семенами, было выявлено также у 30% сортов (Kolesnikov et al., 2021g).

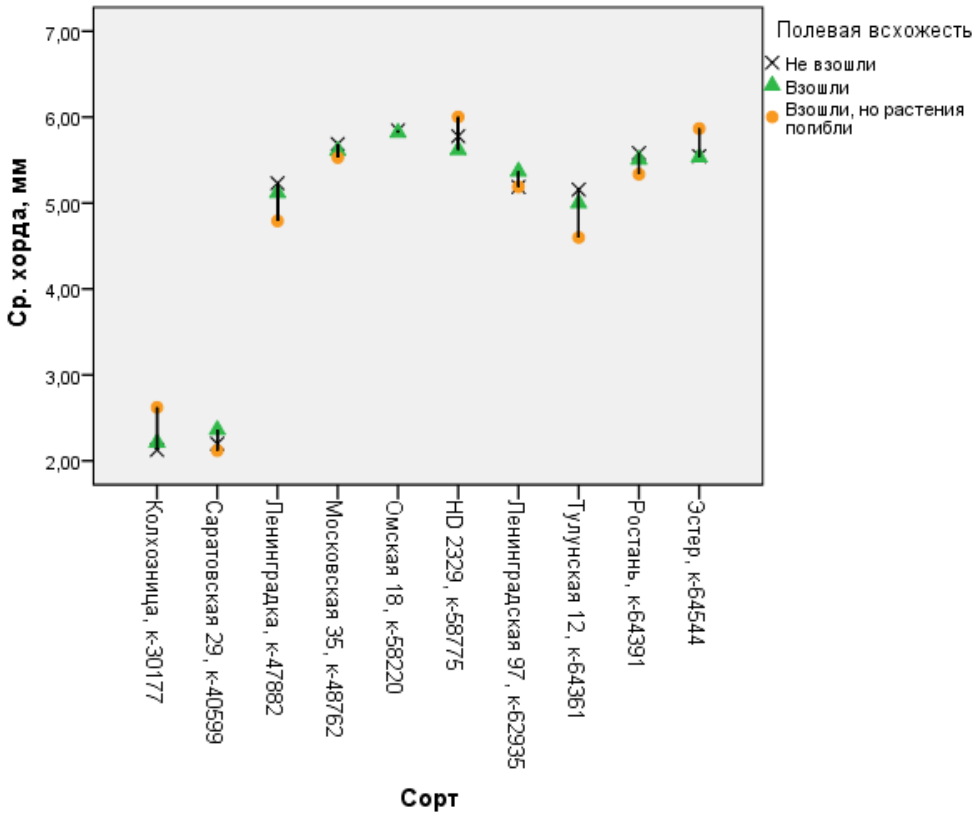


Рис. 52 – Влияние средней хорды проекции семян пшеницы на полевую всхожесть. 2016 г.

У 70% сортов НЖС пшеницы характеризовались большей удлиненностью проекции семян по сравнению с ЖС (рис. 53). Снижение удлиненности проекции УЖС, по сравнению с ЖС, было зарегистрировано у 50% сортов (Kolesnikov et al., 2021g).

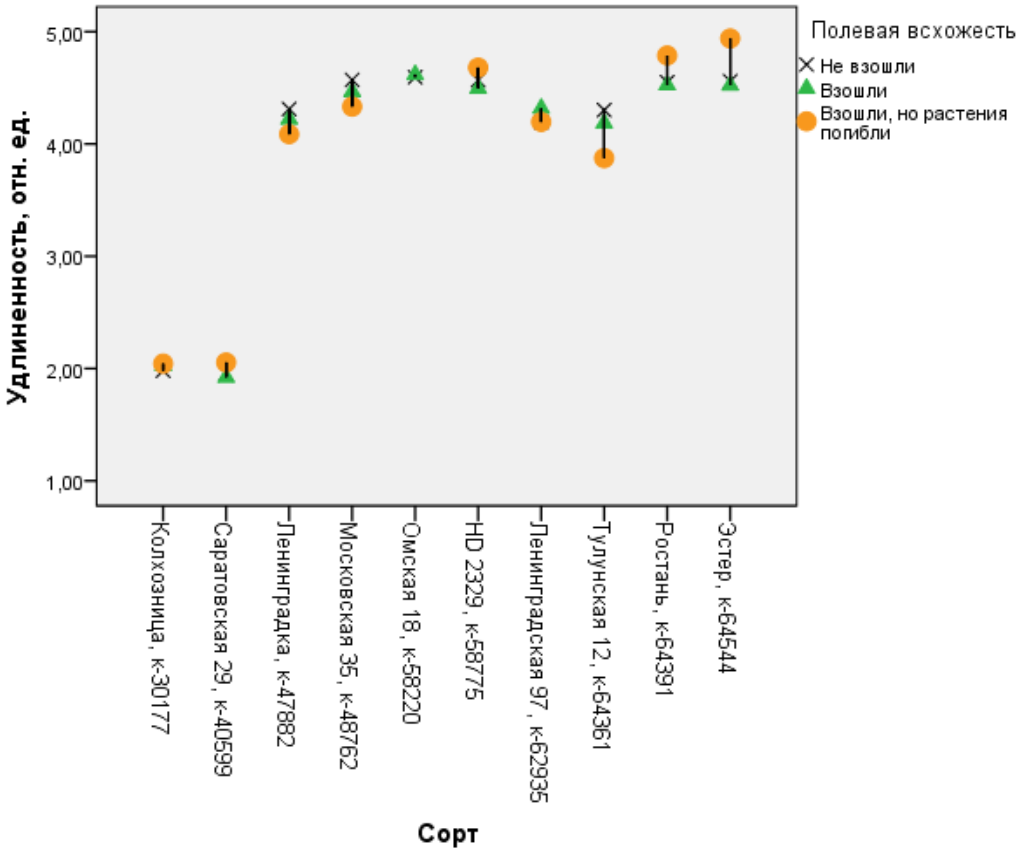


Рис. 53 – Влияние удлиненности проекции семян пшеницы на полевую всхожесть. 2016 г.

Меньшие значения фактора круга проекции НЖС по сравнению с ЖС выявлено у 70% сортов пшеницы. В отношении УЖС тенденция снижения фактора круга отмечена только у 40% образцов. Наибольшее увеличение значений фактора эллипса проекции семян было зарегистрировано у УЖС по сравнению со здоровыми семенами. Указанная тенденция выявлена у 60% сортов. В то время как НЖС характеризовались меньшими значениями показателя у 50% сортов (Kolesnikov et al., 2021g).

Выявлено снижение значений округлости проекции семян у НЖС и УЖС, по сравнению с ЖС (рис. 54). Данная тенденция выявлена у 60% и 70% сортов, соответственно. У 40% сортов пшеницы НЖС и УЖС характеризовались меньшей средней яркостью проекции по сравнению с полноценными семенами. НЖС и УЖС отличались большей СКО средней яркости проекции семян по сравнению с ЖС. Данная зависимость выявлена 40% сортов (Kolesnikov et al., 2021g).

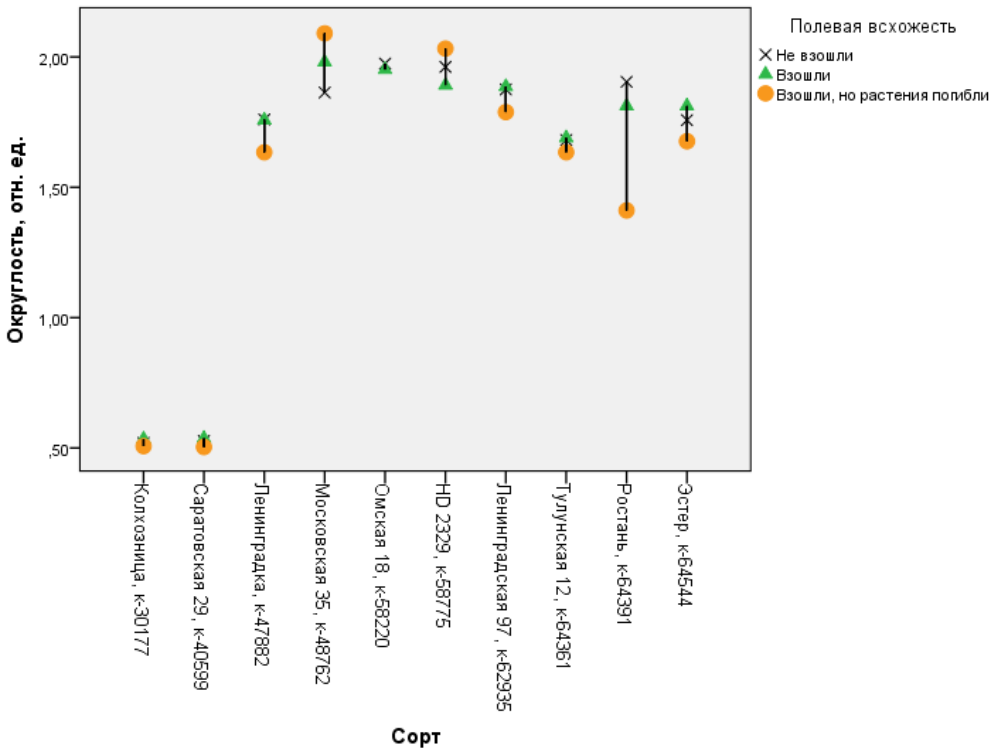


Рис. 54 – Влияние фактора округлости проекции семян пшеницы на полевую всхожесть. 2016 г.

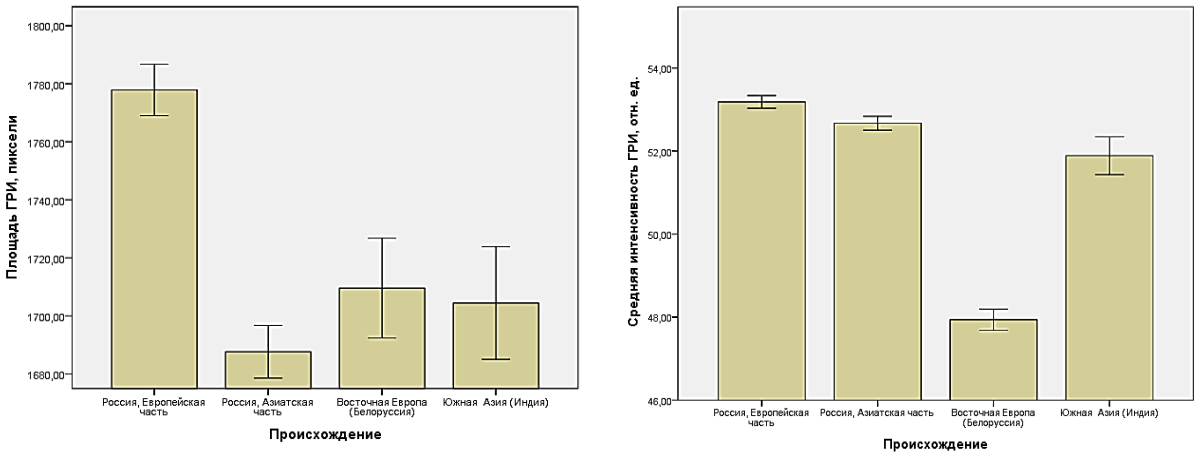
Снижение значений минимальной средней яркости проекции НЖС по сравнению со здоровыми выявлено у 60% сортов. У 30% сортов с УЖС выявлена тенденция снижения минимальной средней яркости по сравнению с ЖС. У 50% и 60% сортов пшеницы с НЖС и УЖС проекции семян характеризовались меньшей максимальной яркостью по сравнению с полноценными семенами. У НЖС и УЖС зарегистрировано снижение интервала яркости (по сравнению с ЖС). Указанная тенденция определена у 50% и 70% сортов. Отмечен рост значений интегральной оптической плотности НЖС по сравнению с ЖС у 60% сортов. У 40% сортов с УЖС выявлена тенденция увеличения интегральной оптической плотности по сравнению с ЖС (Kolesnikov et al., 2021g).

Заключение. Морфо- и денситометрические показатели нежизнеспособных семян пшеницы отличались преимущественно сниженными значениями фактора круга, округлости, минимальной и максимальной средней яркости, но большей удлиненностью и оптической плотностью проекции рентгенограмм. Семена пшеницы, давшие всходы, погибшие впоследствии, обладали меньшей

площадью, СКО трехмерной фрактальности по изолинии, средним радиуса изолинии, энтропии по изолинии, длины изолинии ГРИ, средней хорды и округлости проекции рентгенограмм, но большими значениями фактора эллипса проекции рентгенограмм (Kolesnikov et al., 2021g).

3.7.3 Выявление зависимостей продуктивности и интенсивности развития болезней пшеницы от газоразрядных характеристик семенного материала

Согласно данным рис. 55, сорта из Европейской части РФ по сравнению с образцами из Азиатской части отличались лучшими показателями структуры урожая и наибольшими значениями площади ГРИ и средней интенсивности свечения ГРИ семян (Kolesnikov et al., 2021g)



а) б)

Рис. 55 – Площадь (а) и средняя интенсивность свечения (б) газоразрядного изображения семян мягкой пшеницы различного происхождения. 2016 г. (Kolesnikov et al., 2021g)

В таблице 14 приведены данные о структуре урожайности и интенсивности развития болезней на сортах пшеницы различного происхождения. Образцы из Европейской части РФ отличались лучшими показателями структуры урожайности, чем образцы из Азиатской части. Максимальной величиной массы зерна с растения характеризовался образец Ростань, к-64391 из Восточной Европы (Белоруссия) - 2,36±0,15 г/растения.

Таблица 14 – Влияние происхождения сортов на структуру урожайности и интенсивность развития болезней пшеницы (Kolesnikov et al., 2021g)

Происхож-дение	Длина колоса, см	Число колоско в шт.	Число зерен в колосе, шт.	Масса зерна с растения, г	Развитие бурой ржавчины, %	Развитие септориоза, %	Развитие мучнистой росы, %
Россия, Европейская часть	7,60 ±0,06	13,61 ±0,08	19,80 ±0,26	1,73 ±0,08	28,40 ±2,13	80,89 ±1,46	1,34 ±0,13
Россия, Азиатская часть	6,53 ±0,06	12,73 ±0,10	18,09 ±0,26	1,69 ±0,08	17,76 ±1,77	86,48 ±1,69	2,63 ±0,29
Восточная Европа (Белоруссия)	6,95 ±0,08	15,27 ±0,14	24,38 ±0,51	2,36 ±0,15	14,84 ±2,29	86,14 ±1,89	0,02 ±0,02
Южная Азия (Индия)	6,48 ±0,11	11,39 ±0,20	16,44 ±0,62	1,66 ±0,14	0,35 ±0,16	89,56 ±3,13	5,80 ±1,54

Влияние происхождения сортов (по климатическим зонам) на структуру урожая и интенсивность развития возбудителей болезней растений отражено в таблице 15. Наибольшие значения площади и средней интенсивности свечения ГРИ семян выявлены у сортов пшеницы из 2-го климатического пояса РФ, адаптированных к более теплым условиям возделывания, по сравнению с образцами из 3-го климатического пояса.

Методом корреляционного анализа выявлена тенденция возрастания большинства показателей продуктивности пшеницы со снижением площади ГРИ, СКО радиуса изолинии ГРИ семян, средней хорды, удлиненности и с увеличением энтропии по изолинии ГРИ, длины изолинии ГРИ. В частности, число зерен в колосе сорта HD 2329, к-58775 возрастало с увеличением средней интенсивности яркости ГРИ (r= 0,6; P=0,01), энтропии по изолинии (r= 0,4; P=0,03), среднего радиуса изолинии (r= 0,4; P=0,01) и снижением коэффициента формы (r= 0,6; P=0,01), нормализованного СКО радиуса изолинии (r= - 0,6; P=0,004). Число колосков в колосе сорта HD 2329, к-58775 увеличивалось с ростом средней интенсивности яркости ГРИ (r= 0,4; P=0,02) и уменьшением СКО радиуса изолинии (r= - 0,5; P=0,008), коэффициента формы (r= - 0,6; P=0,001) (Kolesnikov et al., 2021g).

Таблица 15 – Влияние происхождения сортов (по климатическим зонам) на структуру урожая и интенсивность развития возбудителей болезней растений. 2016 г. (Kolesnikov et al., 2021g)

Климатические пояса	Длина колоса, см	Число колосков (шт.)	Число зерен в колосе, шт.	Масса зерна с растения, г	Развитие бурой ржавчины, %	Развитие септориоза, %	Развитие мучнистой росы, %
Второй климатический пояс РФ (Ленинградская, Московская, Саратовская обл.)	7,60 ±0,06	13,61 ±0,08	19,80 ±0,26	1,73 ±0,08	28,40 ±2,13	80,89 ±1,46	1,34 ±0,13
Третий климатический пояс РФ (Иркутская, Омская обл., Красноярский край)	6,53 ±0,06	12,73 ±0,10	18,09 ±0,26	1,69 ±0,08	17,76 ±1,77	86,48 ±1,69	2,63 ±0,29

В таблице 5П.1 приложения 5 представлены данные долевого распределения положительных и отрицательных коэффициентов корреляции, характеризующих зависимости между показателями продуктивности пшеницы, интенсивностью развития болезней и газоразрядными характеристиками семян пшеницы. В частности, отмечено, что у 45,4% показателей продуктивности выявлена тенденция возрастания со снижением площади ГРИ семян. Поражение пшеницы бурой ржавчиной усиливалось с ростом площади ГРИ. В отношении септориоза и мучнистой росы выявлена обратная тенденция. Доминировала положительная корреляционная связь между 36,3% показателей продуктивности и средней интенсивностью свечения семян. Обратная связь была характерна для 18,1% показателей. Поражение пшеницы бурой ржавчиной усиливалось с ростом оптического показателя, а септориозом и мучнистой росой – снижалось (Kolesnikov et al., 2021g).

Возрастание значений коэффициента формы ГРИ семян определяло рост 36,3% показателей: высоты растений, фазы растений, продуктивной кустистости, общей кустистости и снижение 45,5% показателей - числа колосков в колосе, длины колоса, массы колоса, числа зерен в колосе, а также

биологической урожайности. Интенсивность развития септориоза и число пустул бурой ржавчины снижалось с ростом показателя, а мучнистой росы – увеличивалась (Kolesnikov et al., 2021g).

Рост значений энтропии по изолинии ГРИ семян обуславливал увеличение значений 63,6% показателей продуктивности и снижение интенсивности развития бурой ржавчины, но определял усиление поражения растений септориозом. Снижение значений фрактальности по изолинии ГРИ семян определяло рост 63,6% показателей продуктивности и обуславливало усиление поражения растений мучнистой росой и септориозом, но уменьшение поражения бурой ржавчиной (Kolesnikov et al., 2021g).

Со снижением значений СКО фрактальности по изолинии ГРИ семян наблюдалась тенденция роста 36,4% показателей продуктивности пшеницы. Интенсивность развития мучнистой росы и септориоза отрицательно коррелировала со значениями указанного показателя, а бурой ржавчины – положительно (Kolesnikov et al., 2021g).

Отмечено преобладание тенденции роста 54,5% показателей продуктивности со снижением нормализованного СКО радиуса изолинии ГРИ семян. Аналогичная положительная корреляционная связь была характерна для 36,4% показателей продуктивности. С ростом оптического показателя поражение пшеницы бурой ржавчиной снижалось, а мучнистой росой – усиливалось (Kolesnikov et al., 2021g).

Прослеживалась тенденция преобладания роста 36,4% показателей продуктивности с увеличением величины изрезанности контура ГРИ. Поражение пшеницы мучнистой росой и септориозом снижалось с ростом оптического показателя, а бурой ржавчиной – усиливалось (Kolesnikov et al., 2021g).

Рост значений длины изолинии ГРИ семян определял снижение значений 81,8% показателей продуктивности, усиление развития бурой ржавчины и снижение – септориоза и мучнистой росы (Kolesnikov et al., 2021g).

Заключение. Выявлена тенденция возрастания большинства показателей продуктивности пшеницы со снижением площади ГРИ, СКО радиуса изолинии ГРИ семян, средней хорды, удлиненности и с увеличением энтропии по изолинии ГРИ, длины изолинии ГРИ. Поражение пшеницы бурой ржавчиной усиливалось, а септориозом и мучнистой росой - снижалось с ростом площади ГРИ семян, формы ГРИ семян, СКО фрактальности по изолинии ГРИ семян, изрезанности контура ГРИ семян и с уменьшением – энтропии по изолинии ГРИ семян, фрактальности по изолинии ГРИ семян, СКО радиуса изолинии ГРИ семян (Kolesnikov et al., 2021g).

3.7.4 Выявление зависимостей продуктивности и интенсивности развития болезней пшеницы от рентгеноскопических характеристик семенного материала

В таблице 5П.2 приложения 5 представлены данные долевого распределения положительных и отрицательных коэффициентов корреляции, характеризующих зависимости между показателями продуктивности пшеницы, интенсивностью развития болезней и рентгеноскопическими характеристиками семян пшеницы.

В отношении площади проекции семян и 63,6% показателей продуктивности пшеницы доминировали положительные корреляционные зависимости. Периметр проекции семян определял возрастание, а также и снижение 45,4% показателей продуктивности пшеницы. Развитие септориоза на большинстве сортов усиливалось с возрастанием значений показателя, а мучнистой росы и бурой ржавчины (по числу пустул) – снижалось. Доминировала тенденция возрастания значений 54,5% показателей продуктивности пшеницы с ростом длины семян. Развитие септориоза усиливалось с ростом значений оптического показателя у 70% сортов, а бурой ржавчины и мучнистой росы – снижалось у 80% сортов (Kolesnikov et al., 2021g).

Выявлено резкое возрастание значений 81,8% показателей продуктивности с ростом ширины проекции семян. В частности, урожайность пшеницы увеличилась с ростом оптического показателя у 60% сортов. Развитие септориоза на большинстве сортов усиливалось с возрастанием значений показателя, а мучнистой росы и бурой ржавчины (по числу пустул) – снижалось (Kolesnikov et al., 2021g).

Рост значений минимальной яркости проекции семян сопровождался увеличением 36,3% показателей продуктивности – продуктивной кустистости (отмечено на 80% сортов), общей кустистости (отмечено на 90% сортов), длины колоса (отмечено на 60% сортов), биологической урожайности (отмечено на 60% сортов) и снижение 45% показателей – числа листьев у всходов, высоты растений, площади флагового листа, числа колосков в колосе, числа зерен в колосе. Развитие септориоза и бурой ржавчины чаще всего усиливалось с увеличением минимальной яркости проекции семян, а мучнистой росы снижалось (Kolesnikov et al., 2021g).

Определена преимущественно обратная корреляционная связь между 45,5% показателями продуктивности и максимальной яркостью проекции семян. Урожайность 60% сортов снижалась с увеличением величины оптического показателя. Поражение растений септориозом, как правило, усиливалось с увеличением показателя, а мучнистой росы – снижалось (Kolesnikov et al., 2021g).

Для 72,7% показателей продуктивности были характерны обратные корреляционные связи с интервальной яркостью проекции семян, снижение биологической урожайности с ростом оптического показателя было зафиксировано на 70% сортов. Интенсивность поражения пшеницы септориозом увеличивалось с ростом интервальной яркости проекции семян, а мучнистой росы – снижалась (Kolesnikov et al., 2021g).

Отмечено преобладание положительных корреляционных связей в отношении значений интегральной яркости проекции семян и 45,4% показателей продуктивности, включая биологическую урожайность пшеницы,

которая выросла у 60% сортов при увеличении данного показателя. Развитие бурой ржавчины, мучнистой росы снижалось с ростом оптического показателя, а септориоза – увеличивалось (Kolesnikov et al., 2021g).

Согласно данным, приведенным в работе Архипова и соавторов (2016a), «выявлена достоверная обратная корреляционная связь ($P<0,05$) между интегральной яркостью рентгенограмм зерен и интенсивностью развития мучнистой росы ($r= - 0,4$), числом пятен с налетом ($r= - 0,5$), выявленных на предфлаговой листовой поверхностности растений. Возрастание значений показателя стандартного квадратичного отклонения (СКО) яркости рентгенограмм зерен приводило к усилению интенсивности поражения болезнью флаг-листьев растений ($r=-0,4$). Следует отметить, что некачественные семена (по сравнению с нормальными выполненными семенами) меньше ослабляют рентгеновское излучение и, соответственно, дают на рентгенограмме более темное изображение».

«Выявлена обратная корреляционная связь между интенсивностью развития мучнистой росы, числом пятен с налетом, типом реакции и коэффициентом формы свечения зерен: $r= - 0,4$; $r= - 0,5$; $r= - 0,5$ (соответственно). Тип реакции растений на развитие мучнистой росы, определенный на флаг-листьях пшеницы, обратно коррелировал с показателем нормализованного СКО радиуса изолинии, оценивающего неравномерность ширины свечения по контуру зерен: $r= - 0,4$. Выявлено снижение значений площади пятен с налетом мучнистой росы $S_{п.м.}$ на предфлаговых листьях пшеницы с ростом величины параметра газоразрядного изображения – коэффициента формы зерна $К_ф$ ($r^2=0,45$; $F=11,8$; $P=0,00$): $S_{п.м.}=7,15504-1,041К_ф+0,045899К_ф^2-0,00247К_ф^2$. Аналогичная тенденция прослеживается при изучении связи типа реакции растения $Т_м$ и коэффициента формы свечения зерна $К_ф$ ($r^2=0,47$; $F=34,3$; $P=0,00$): $Т_м=37,3539-15,527\ К_ф+2,33477\ К_ф^2-0,11989\ К_ф^3$» (Архипов и др., 2016b).

Заключение. Выявлены тенденции возрастания большинства показателей продуктивности с ростом площади, средней яркости, минимальной

яркости, периметра, длины и ширины, размера, фактора круга проекции семян. Выявлены обратные корреляционные связи между элементами продуктивности пшеницы и значениями средней хорды, удлиненности, интервальной яркости проекции семян. С возрастанием значений периметра, длины, ширины, средней хорды, СКО яркости, максимальной яркости, интегральной яркости проекции семян развитие септориоза на большинстве сортов пшеницы усиливалось, а мучнистой росы и бурой ржавчины (по числу пустул) – снижалось. Рост среднего размера и средней яркости проекции семян приводил к увеличению интенсивности поражения растений бурой ржавчиной, мучнистой росой, септориозом. С увеличением фактора круга проекции семян на большинстве сортов развитие бурой ржавчины снижалось, а мучнистой росы усиливалось. С увеличением округлости проекции семян степень поражения пшеницы мучнистой росой снижалась. При увеличении минимальной яркости проекции семян развитие септориоза и бурой ржавчины преимущественно усиливалось, а мучнистой росы снижалось. Интенсивность поражения пшеницы септориозом увеличивалось с ростом интервальной яркости проекции семян, а мучнистой росы – снижалась (Kolesnikov et al., 2021g). Построенные завивисимости между оптическими характеристиками зерна пшеницы, их структурно-функциональными характеристиками, продуктивностью и устойчивостью пшеницы к болезням, в перспективе, могут быть использованы для программирования возможной биологической урожайности культуры и оптимизации фитосанитарного состояния посевов (Архипов и др., 2016b).

3.7.5 Использование методов газоразрядной визуализации и микрофокусной рентгенографии для анализа качества зерна мягкой пшеницы при применении защитных и стимулирующих обработок

Данные по эффективности применения биопрепаратов и хитозановых комплексов («Гамаир, СП», «Витаплан, Ж», хитозановый комплекс «Хитозан I», хитозановый комплекс «Хитозан II», полифункциональный комплекс «Витаплан + Хитозан II») при возделывании пшеницы приведены в работе

Колесникова и соавторов (2019b). Методами рентгенографии и газоразрядной визуализации были проанализированы интроскопические характеристики собранного зерна яровой мягкой пшеницы.

«При использовании метода микрофокусной рентгенографии в варианте опыта, где был применен состав «Хитозан I», зерна пшеницы отличались наилучшими морфометрическими и денситометрическими характеристиками по сравнению с контролем. Они характеризовались существенно большей площадью проекции рентгенограмм (на 9,26 %, t = 2,5), периметром (на 4,0 %, t = 2,4), длиной (на 3,9 %, t = 2,5), шириной (на 5,84 %, t = 2,3), средним размером (на 4,5 %, t = 2,7), средней яркостью свечения (на 5,76 %, t = 3,5) и достоверно меньшими значениями оптической плотности (на 3,8 %, t = 3,5). То есть обработка растений пшеницы хитозановым составом «Хитозан 1» привела не только к увеличению размера семян, но и повысила их выполненность – плотность эндосперма» (Колесников и др., 2019b).

«По сравнению с контролем большей средней яркостью рентгенограмм отличались зерна пшеницы, полученные при применении комплекса «Витаплан, Ж + Хитозан II» (на 6,0 %, t = 4,3), состава «Хитозан I» (на 5,76 %, t = 3,5) и «Хитозан II» (на 9,93 %, t = 5,4). Большей максимальной яркостью отличались зерна, из вариантов опыта с хитозановым составом «Хитозан I» (на 6,4 %, t = 2,5) и Хитозан II (на 10,2 %, t = 3,6). Меньшей средней яркостью рентгенограмм по сравнению с контролем (на 7,6 %, t = 2,7) характеризовались зерна, полученные при использовании препарата «Гамаир, СП». Зерна в варианте опыта с «Хитозаном II» характеризовались меньшими значениями фактора круга (на 3,7 %, t = 3,0), округлостью (на 7,22 %, t = 2,9) и большей удлиненностью (на 4,9 %, t = 2,2) по сравнению с контролем» (Колесников и др., 2019b).

«В варианте опыта с применением состава «Хитозан II» газоразрядные характеристики зерна пшеницы существенно различались по показателю коэффициент формы, характеризующему изрезанность контура газоразрядного изображения и связанному с массой зерен (больше на 23,1 %, t = 2,4). При

использовании состава «Хитозан I» зерна отличались большими значениями фрактальности по изолинии и длиной изолинии газоразрядного изображения по сравнению с контролем (больше соответственно на 2,8 %, t=3,8 и на 20,9 %, t = 2,2). Эти параметры, предположительно, также связаны с размерными характеристиками зерен» (Колесников и др., 2019b).

«В вариантах опыта «Витаплан, Ж + Хитозан II» и «Хитозан II» зерна имели существенно меньшую величину суммарной интенсивности газоразрядного изображения по сравнению с контролем (соответственно на 19,3 %, t=4,1 и 15,9 %, t=3,1). Снижение интенсивности газоразрядного свечения характерно для зерен, имеющих лучшие ростовые показатели при их проращивании» (Колесников и др., 2019b).

«По результатам микрофокусной рентгенографии и газоразрядной визуализации, в наибольшей степени по сравнению с контролем интроскопические показатели зерен были изменены в вариантах «Хитозан I», «Витаплан, Ж + Хитозан II», «Хитозан II». Обработка пшеницы только биопрепаратом «Витаплан, Ж» не оказала влияние на интроскопические характеристики зерен. При использовании биопрепарата «Гамаир, СП» (стандарт) интроскопические характеристики зерен изменились незначительно» (Колесников и др., 2019b).

В 2022 г. осуществлен сравнительный анализ эффективности: полифункционального комплекса «*B. subtilis* ВКМ B-2604D + ВКМ B-2605D + 0.1 % СХ», биопрепарата «Витаплан, СП», бактериальных штаммов *B. subtilis* ВКМ; *B. subtilis* B-2604D, *B. subtilis* ВКМ B-2605D, *B. subtilis* И-5, полифункционального комплекса «*B. subtilis* И-5 + 0.1 % СХ». Во всех вариантах опыта с использованием микробиологических препаратов и полифункциональных комплексов отмечено существенное снижение интенсивности развития желтой ржавчины на посевах пшеницы (Novikova et al, 2024).

Результаты морфометрической и рентгенографической оценки полученных семян пшеницы при обработке растений бактериальными штаммами и полифункциональными комплексами представлены в таблице 16.

Таблица 16 – Результаты морфометрической и рентгенографической оценки семян пшеницы при обработке растений бактериальными штаммами и полифункциональными комплексами (Novikova et al, 2024)

Вариант опыта	Показатель, единица измерения			
	Средний размер, мм	Средняя яркость рентген-проекции, единицы яркости	Округлость, относительные единицы	Удлиненность, относительные единицы
Контроль (вода)	4,97 ± 0,042	135,4 ± 0,61	0,508 ± 0,005	1,990 ± 0,0188
B. subtilis ВКМ B-2604D + ВКМ B-2605D	4,91± 0,043	133,7± 0,62 *	0,520 ± 0,006 *	1,957 ± 0,0196
Витаплан, СП	5,16± 0,076 *	132,1± 0,84 *	0,507 ± 0,008	2,007 ± 0,0288
B. subtilis ВКМ B-2604D + ВКМ B-2605D + 0,1 % СХ	5,04 ± 0,040	134,7± 0,57	0,510 ± 0,005	1,978 ± 0,0188
B. subtilis И-5 + 0.1 % СХ	5,07± 0,038 *	136,8± 0,58 *	0,520 ± 0,005 *	1,951 ± 0,0186 *
B. subtilis И-5	4,99 ± 0,083	136,4± 1,11	0,510 ± 0,008	1,980 ± 0,0426

Примечание. * – различия существенны при $p<0,05$ по сравнению с контролем. «Контроль (вода)» – без обработки; «*B. subtilis* ВКМ B-2604D + ВКМ B-2605D» – культуральная жидкость (КЖ) штаммов *B. subtilis* ВКМ B-2604D и B. *subtilis* ВКМ B-2605D в соотношении 1:1 (титр жизнеспособных клеток 10^{10} КОЕ/мл); «Витаплан, СП» – стандарт (титр жизнеспособных клеток 10^{10} КОЕ/г); «*B. subtilis* ВКМ B-2604D + ВКМ B-2605D + 0.1 % СХ» – полифункциональный комплекс: КЖ штаммов *B. subtilis* ВКМ B-2604D и B. *subtilis* ВКМ B-2605D (титр жизнеспособных клеток 10^{10} КОЕ/мл), салицилат хитозана (СХ) в концентрации 0.1 % добавляли в питательную среду для культивирования штаммов (титр жизнеспособных клеток 1010 КОЕ/мл); «*B. subtilis* И-5 + 0.1 % СХ» – полифункциональный комплекс: КЖ штамма *B. subtilis* И-5 (титр жизнеспособных клеток 10^{10} КОЕ/мл), салицилат хитозана в концентрации 0.1 % добавляли в питательную среду для культивирования штамма; «*B. subtilis* И-5» – КЖ штамма *B. subtilis* И-5 (титр жизнеспособных клеток 10^{10} КОЕ/мл)

После обработки растений бактериальными штаммами и полифункциональными комплексами на основе 0,1% салицилата хитозана достоверно увеличился средний размер получаемых семян, особенно варианте: «*B. subtilis* И-5 + 0.1 % СХ), а также округлость зерен (варианты: «*B. subtilis* ВКМ B-2604D + ВКМ B-2605D» и «*B. subtilis* И-5 + 0.1 % СХ»). Удлиненность зерен, напротив, снизилась достоверно лишь во варианте «*B. subtilis* И-5 + 0.1 % СХ». Средняя яркость рентген-проекции семян достоверно увеличилась в

варианте *B. subtilis* И-5 + 0.1 % СХ и снизилась во варианте «*B. subtilis* ВКМ B-2604D + ВКМ B-2605D» и «Витаплан, СП» (Novikova et al, 2024).

По данным Cicek, Tilki (2007) параметры прорастания тесно связаны с морфометрическими параметрами семян, которые могут определяться и с помощью рентгенографического анализа: большие семена прорастают раньше и показали лучшее прорастание, чем мелкие семена при лабораторных условиях.

Согласно Huang и соавторов (2015) оптические характеристики рентгенограмм важны для обеспечения качества семян. По данным Abud и соавторов (2018), параметр относительной оптической плотности позволяет делать выводы относительно плотности внутренних тканей семян и, следовательно, относительно физиологического качества семян. При формировании зерна в неблагоприятных условиях увеличивается количество внешних оболочек и снижается объём эндосперма. С увеличением округлости зерен их посевные качества ухудшаются, а с увеличением удлиненности зерен – наоборот улучшаются (Рутковская и др., 2022). Мы предполагаем, что удлиненные зерна имеют более полноценно сформированный зародыш (Novikova et al, 2024).

В работе Л.Е. Колесникова и др. (2020а) методом микрофокусной (мягколучевой) рентгенографии выявлено влияние белкового стимулятора на оптические характеристики зерен, характеризующие их структуру и форму по сравнению с контрольной группой. В варианте опыта, где был применен белковый стимулятор роста, зерна пшеницы имели наилучшие оптические характеристики по сравнению с контролем: существенно большую площадь проекции рентгенограмм ($мм^2$) – на 5,1% (выявлено у 80.0% образцов, статистически достоверно – у 30% образцов), длину (мм) – на 3,5% (выявлено у 50% образцов, статистически достоверно – у 10% образцов) и ширину (мм) – на 2,8% (выявлено у 80% образцов, статистически достоверно – у 10% образцов), увеличенный периметр (мм) – на 3,5% (выявлено у 70% образцов, статистически достоверно – у 16% образцов) и средний размер (мм) – на 2,5%

(выявлено у 70% образцов, статистически достоверно – у 10% образцов), отличались большей округлостью (фактор круга, отн. ед.) – на 3,0% (выявлено у 80% образцов, статистически достоверно – у 20% образцов), большим отклонением яркости (ед. яркости) – на 4,8% (выявлено у 80% образцов, статистически достоверно – у 30% образцов). В варианте опыта, где был использован белковый стимулятор роста, зерна характеризовались меньшими значениями: фактора эллипса (отн. ед.) – на 0,2% (выявлено у 80% образцов, статистически достоверно – у 20% образцов); удлиненности (отн. ед.) – на 2,5% (выявлено у 70% образцов, статистически достоверно – у 20% образцов), изрезанности контура изображения (отн. ед.) – на 69,3% (выявлено у 70% образцов, статистически достоверно – у 30% образцов). Методом оптического анализа отмечен рост значений периметра зерен (мм) – на 1, 9% (выявлено у 70% образцов), тона (отн. ед.) – на 1,9% (выявлено у 60% образцов, статистически достоверно – у 10% образцов), насыщенности (отн. ед.) – на 2,5% (выявлено у 70% образцов, статистически достоверно – у 20% образцов).

Заключение. «Основной проблемой оценки эффективности влияния стимулирующих обработок вегетирующих растений на качество семенного и продовольственного зерна является количественная объективизация стимулирующего эффекта. Одним из эффективных решений этой проблемы может являться разработка и применение современной интроскопической аппаратуры и информационных средств экспресс-диагностики скрытой неоднородности зерна. Параметры прорастания тесно связаны с морфометрическими характеристиками семян, которые могут определяться и с помощью рентгенографического анализа: большие семена прорастают раньше и качественнее, чем мелкие семена при лабораторных условиях. Оптические характеристики рентгенограмм важны для обеспечения оптимальных свойств семян. Параметр относительной оптической плотности позволяет делать выводы относительно плотности внутренних тканей семян и, следовательно, относительно физиологического качества семян» (Колесников и др., 2019b). «Обработка растений пшеницы белковым стимулятором роста привела к

выраженному увеличению размера зерен, их округлости и полноценности по сравнению с контрольной группой, определяемой вышеперечисленными показателями, в том числе большей площадью, наличием неравномерных теней (отклонение яркости) на проекции ренгенограммы. Цифровые сканированные изображения зерен пшеницы, обработанных белковым стимулятором, отличались большим разнообразием спектров яркости, природа этих различий нуждается в дополнительном исследовании» (Колесников и др., 2020а).

3.8 Применение спектрометрических индексов при оценке адаптивного потенциала мягкой пшеницы к условиям Северо-Западного региона РФ

3.8.1 Исследование устойчивости растений к болезням с использованием четырехканального портативного полевого фотометра ПИФ-М

Определение оптических характеристик листьев в полевых условиях важно при проведении фитоиндикаторных исследований в экологии, сельском хозяйстве и других областях, когда необходимо проследить изменение состояния отдельного листа в условиях его произрастания, в том числе – при патогенезе возбудителей болезней растений, особенно если признаки болезни не проявляются визуально (Сурин и др., 2005, 2013b, 2014). Развитие болезней оказывает непосредственное влияние на состояние пораженного листа, что, в свою очередь, изменяет его оптические характеристики. Факторами, определяющими оптические характеристики фитоэлементов, являются: содержание пигментов и воды в листовых тканях, их морфологоанатомическое строение (Сурин и др., 2005).

Фотометрический метод применяли при проведении исследований фитосанитарного состояния посевов пшеницы с использованием оптического прибора ПИФ-М. В таблице 17 приведены данные анализа измерений фотометрического индекса стресса на поверхности флагового листа пшеницы сорта «Ленинградка» при патогенезе возбудителей бурой ржавчины с градациями степени поражения: 0%, 10%, 30% и септориоза с градациями степени поражения: 0%, 10%, 60%. Кроме того, указанный показатель был

рассчитан для варианта опыта с поражением колоса возбудителем септориоза» (Сурин и др., 2005).

Таблица 17 – Фотометрический индекс стресса пшеницы при разной интенсивности поражения растений возбудителями бурой ржавчины и септориоза (Сурин и др., 2005)

Варианты опыта	Интенсивность поражения растений	Фотометрический индекс стресса	Коэффициент вариации	Доверительный интервал	
Бурая ржавчина (листья)	0 %	0,129	1,108	0,13	0,13
	30%	0,173	1,159	0,18	0,17
	10%	0,136	1,149	0,14	0,13
Септориоз (листья)	0%	0,129	1,108	0,13	0,13
	60%	0,433	1,144	0,44	0,43
	10%	0,185	1,213	0,19	0,18
Септориоз (колосья)	0 %	0,284	1,505	0,29	0,28
	70%	0,359	1,229	0,36	0,35

Результаты измерений в виде спектров коэффициентов отражения для вариантов опыта с различной степенью поражения листовой поверхности представлены на рис. 56.

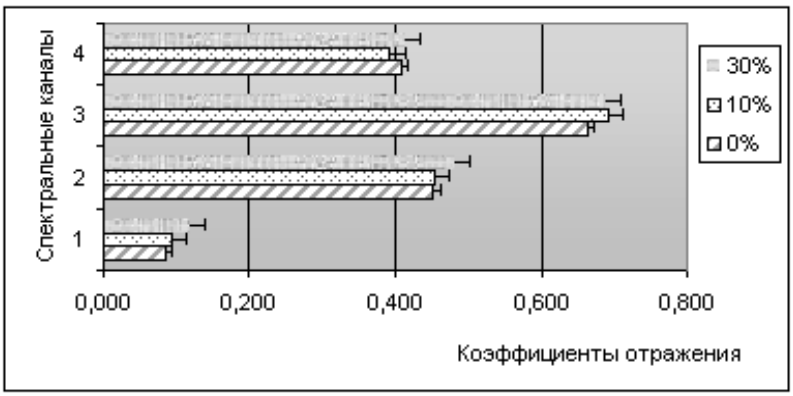


Рис. 56 – Спектры коэффициентов отражения поверхности флагового листа пшеницы при различной степени поражения возбудителем бурой ржавчины (контрольное растение, без поражения; растение со степенью поражения 10%; растение со степенью поражения 30%). (Сурин и др., 2005)

«Величина коэффициента отражения в спектральном диапазоне канала 3 при 30 % интенсивности поражения флагового листа возбудителем бурой ржавчины пшеницы значительно выше, чем в контроле (лист без поражения), что говорит о деградации клеточных структур ткани растения-хозяина при патогенезе биообъекта» (Сурин и др., 2005).

На рис. 57 приведены спектральные характеристики в диапазонах четырех каналов для вариантов опыта с поражением и без поражения растений септориозом. При развитии патогена на листовой поверхности пшеницы у растения-хозяина наблюдается биологический стресс, который характеризуется обесцвечиванием поверхности листа, что связано со снижением пигментов в растительных тканях (канал 1). Кроме того, наблюдается клеточная деструкция тканей (канал 3), а также нарушения в области «красной границы» хлорофилла (канал 2). Причем согласно спектральным характеристикам канала 4, в тканях пораженного листа наблюдается обезвоживание в результате усиленной транспирации растения в ответ на стрессовый фактор. Следствием чего является увеличение величины коэффициента отражения в инфицированных возбудителем септориоза листьях пшеницы (Сурин и др., 2005).

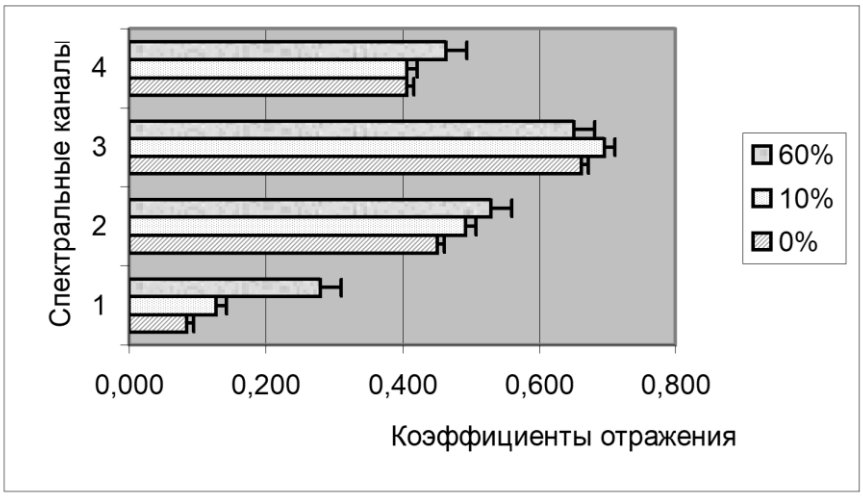


Рис. 57 – Спектры отражения поверхности флагового листа пшеницы при различной степени поражения возбудителем септориоза (контрольное растение, без поражения; растение со степенью поражения 10%; растение со степенью поражения 60%) (Сурин и др., 2005).

Заключение. «Предложенный метод позволяет в полевых условиях определять основные оптические характеристики листьев, коэффициенты отражения, пропускания и поглощения *in situ*. Учитывая вышеизложенное, можно сделать вывод о перспективности применения фотометрического анализа при определении физиологических и биохимических изменений в растениях; при характеристике признаков устойчивости растений к болезням,

проведении дистанционного фитосанитарного мониторинга посевов с.-х. культур» (Сурин и др., 2005).

3.8.2 Использование обратного вегетационного индекса для анализа фитометрических характеристик посевов пшеницы с использованием активного двухканального оптического тестера АДТ-М

«Образцы пшеницы с потенциальной урожайностью $Y_з$= 3,08±0,10 т/га, d=2,88-3,28 т/га характеризовались величиной стресс-индекса F = 0,18±0,01, d=0,15-0,20. Образцы пшеницы с $Y_з$= 2,13±0,33 т/га, d=1,48-2,79 т/га отличались F = 0,33±0,04, d=0,24-0,42. Снижение потенциальной урожайности пшеницы с ростом стресс-индекса может быть описано выражением (r^2=0,52): $Y_з$=2,16 + EXP(1,89 - 19,47F)» (Колесников и др., 2015а).

«Снижение стресс-индекса на 46,37% (с 0,32 до 0,17) определяло возрастание массы 1000 зерен на 20,02% (с 29,85 г до 37,32 г), площади флаг-листа - на 11,77% (с 12,52 см^2 до 14,19 см^2), потенциальной урожайности - на 30,84% (с 2,13 т/га до 3,08 т/га)» (Колесников и др., 2015а).

«По сравнению с группой образцов, характеризующихся высоким содержанием в зернах азота, фосфора и калия (N=22,9±0,1 мг/г, P=2,47 мг/г, K=25,95±0,14 мг/г) и минимальными значениями стресс-индекса: F = 0,10-0,15, у остальных сортов (с более низким содержанием макроэлементов в зернах) выявлены большие значения стресс-индекса F. Изменение содержания в зернах азота (N), фосфора (P) и калия (K) в зависимости от значений стресс-индекса F может быть описано регрессионными уравнениями экспоненциального роста: N= -17,37 + EXP (3,73 - 0,24F), r^2=0,72; P=2,16+EXP(-0,45-6,30F), r^2=0,67; K= 11,21+EXP(2,74 - 0,36F), r^2=0,65. Многофакторную регрессионную модель изменения стресс- индекса F в зависимости от содержания в зернах азота, фосфора и калия можно представить в виде уравнения множественной регрессии: $F=0,30-0,0004N^2-0,04P^2+0,0005K^2$ (r^2=0,38). Из выражения следует, что основным лимитирующим

агрохимическим параметром в условиях проведения эксперимента является фосфор» (Колесников и др., 2015а).

«Выявлена тенденция возрастания стресс-индекса с усилением степени поражения сортов яровой мягкой пшеницы возбудителем мучнистой росы. Экспериментально определено, что при отсутствии симптомов развития болезни ($R_м$= 0%) стресс-индекс составил: F = 0,13± 0,02. При развитии болезни на образцах пшеницы от 1% до 25% выявлена тенденция роста значений стресс-индекса $R_м$= 1±0% - F = 0,21±0,02; $R_м$= 3,8±1,0% - F = 0,22 ±0,04; $R_м$= 12,4±1,7% - F = 0,22±0,02; $R_м$= 24,6±1,7% - F = 0,26 ±0,03. При развитии болезни $R_м$= 45,6±7,3% стресс-индекс снижался и составлял F = 0,15±0,01, что может быть связано с искажениями оптического сигнала из-за влияния «мучнистого налета», заполняющего около половины площади листа. Возможно, при этом имеют место и нарушения метаболизма, связанные с разрушением клеточных структур растений и потерей клетками воды» (Колесников и др., 2015а).

«Выявлены положительные корреляционные связи (при P<0,05) между содержанием в зернах яровой мягкой пшеницы азота (N), фосфора (P), калия (K) и интенсивностью поражения сортов возбудителем мучнистой росы (развитием болезни, %: r_N=0,45, r_P=0,48, $r_к$=0,42; числом пятен с налетом: %: r_N=0,49, r_P=0,53, $r_к$=0,48; площадью пятен с налетом: r_N=0,57, r_P=0,61, $r_к$=0,38). На показатель «тип реакции» содержание указанных макроэлементов в зерне существенного влияния не оказывало» (Колесников и др., 2015а).

«По результатам работы построена фотометрическая шкала для оценки биометрических и биохимических показателей посевов сортов пшеницы по стресс-индексу (таблица 18). При построении шкалы градаций были учтены результаты анализа регрессионных зависимостей между комплексом показателей урожайности пшеницы, качества зерна и степени поражения возбудителем мучнистой росы, а также использованы имеющиеся в литературе общепринятые приемы для оценки состояния посевов зерновых культур» (Колесников и др., 2015а).

«Выявлена тенденция ухудшения состояния посевов пшеницы по основным показателям структуры урожайности, качества зерна (по содержанию азота, фосфора и калия), фитосанитарного состояния (по степени поражения пшеницы возбудителем мучнистой росы) с ростом значений F. В частности, по сравнению с посевами образцов, отнесенных к 1-му баллу, посевы пшеницы, оцененные на пять баллов, отличались большими значениями: массы 1000 зерен (M_{1000}) на 57,68%, площади флагового листа ($S_л$) – на 35, 19%, потенциальной урожайности – на 40,91%, содержанием в зерне азота, фосфора и калия (N – на 18,88%, P – на 13,63% , K – на 8,30%, соответственно), отсутствием симптомов поражения возбудителем мучнистой росы» (Колесников и др., 2015а).

Таблица 18 – Состояние посевов пшеницы по биометрическим и биохимическим показателям при разных значениях стресс индекса F. 2012 г. (Колесников и др., 2015а)

Стресс-индекс (F)	M_{1000}, г	$S_л$, $см^2$	$Y_з$, т/га	N, мг/г	P, мг/г	K, мг/г	$R_м$, %	$N_{п.м}$.	Состояние посевов	
									Балл	Градация состояния
0,1	37,1	14,6	3,1	23,3	2,5	26,1	1,0	1,0	5	Хорошее
0,2	35,4	13,5	2,3	22,4	2,3	25,6	4,2	4,7	4	
0,3	33,8	12,5	2,2	21,4	2,3	25,1	19,1	14,4	3	Удовлетворительное
0,4	32,2	11,6	2,2	20,5	2,2	24,6	37,4	26,3	2	
0,5	30,5	10,8	2,2	19,6	2,2	24,1	59,7	40,7	1	Плохое

Заключение. «Необходимо отметить, что применение спектрометрических методов в целях решения задач АПК в настоящее время достаточно востребованно. Так, спектрометрическая аппаратура широко используется в спутниковых системах Terra, Spot и Landsat для дистанционного зондирования Земли и применяется, кроме прочего, для оценки урожайности сельскохозяйственных культур, при этом реализация измерительных процедур предполагает использование адекватных измерительных моделей. Таким образом, методы, использованные в настоящей работе, применительно к

конкретным условиям определенной климатической зоны, позволяют получить более точные сведения, отражающие состояние сельскохозяйственных посевов, а полученные данные подтверждают и дополняют имеющиеся в литературе сведения об отражательной способности посевов зерновых культур с учетом влияния комплекса факторов. В то же время, в отличие от ряда работ, посвященных спектрометрическим исследованиям с.-х. культур, нами сделан акцент на создание «оптических портретов» сортов яровой пшеницы, где, помимо прочих общепринятых ботанических и анатомических характеристик, учитывается целый комплекс показателей состояния растений: их происхождение, урожайность, качество зерна, степень поражения возбудителем мучнистой росы и определяются взаимосвязи указанных показателей с обратным вегетационным индексом» (Колесников и др., 2015а).

«Представленные в работе данные позволяют сделать вывод о достаточно высокой информативности обратного вегетационного индекса при проведении интегральных оценок состояния исследованных сортов пшеницы различного происхождения и их адаптации к агроэкологическим условиям выращивания, в том числе при поражении возбудителем мучнистой росы. Использование предложенных измерительных спектрометрических процедур в практике точного земледелия и защиты растений, как в форме построенных шкал учета, так и регрессионных моделей, позволит дистанционно в полевых условиях оценить адаптивный потенциал сортов пшеницы по стрессовым реакциям растений» (Колесников и др., 2015а).

3.8.3 Использование вегетационного индекса NDVI для оценки эффективности применения биопрепаратов при возделывании мягкой пшеницы с применением оптического прибора «Green Seeker»

Биологическая эффективность полифункциональных биопрепаратов зависит от агроэкологических условий выращивания растений пшеницы. Поэтому особое внимание заслуживает разработка интегрального показателя для оценки действия полифункциональных биопрепаратов на формирование

урожайности, элементов ее структуры и болезнеустойчивость растений. В качестве такого показателя может служить фотосинтетическая активность растений, поскольку многочисленные исследования подтверждают положительную взаимосвязь процессов фотосинтетической деятельности растений с их продуктивностью. С целью характеристики фотосинтетического потенциала растений пшеницы (эффективность фотосинтеза) актуально использовать один из самых распространенных и применяемых индексов для количественной оценки растительного покрова – вегетационный индекс NDVI (Шпанев, 2018), основанный на спектральной отражательной способности посевов.

При спектрометрической оценке посевов мягкой пшеницы, обработанных биопрепаратами совместно с хитозановыми комплексами, выявлено, что применение полифункционального комплекса «Витаплан, КЖ и Хитозан II» определяло наиболее выраженное увеличение вегетационного-индекса растений (NDVI) по сравнению с контролем – на 19,1% (рис. 58) (Novikova et al., 2020).

Отмечено, что потенциальная урожайность в варианте опыта «Витаплан, КС+Хитозан II» значительно меньше контроля, а NDVI значительно выше, чем в контроле, что может быть связано с более выраженными защитными свойствами данного комплекса, в частности, в отношении болезней листьев по сравнению с вариантом «Витаплан, КЖ и Хитозан II» на фоне меньших значений показателей продуктивности пшеницы (Novikova et al., 2020).

Рост значений вегетационного индекса приводил к увеличению площади флагового листа пшеницы (r= 0,62; P=0,0005); продуктивной кустистости (r= 0,35; P=0,04), высоты растений (r= 0,38; P=0,04). Однако число узловых корней пшеницы уменьшалось с ростом NDVI (r= - 0,55; P=0,03). Усиление степени поражения пшеницы корневой гнилью (r= - 0,43; P=0,03) и желтой ржавчиной (развитие болезни: r= - 0,49; P=0,04; число пустул на лист: r= - 0,50; P=0,03; число полос с пустулами: r= - 0,43; P=0,03) обуславливало снижение NDVI (Novikova et al., 2020).

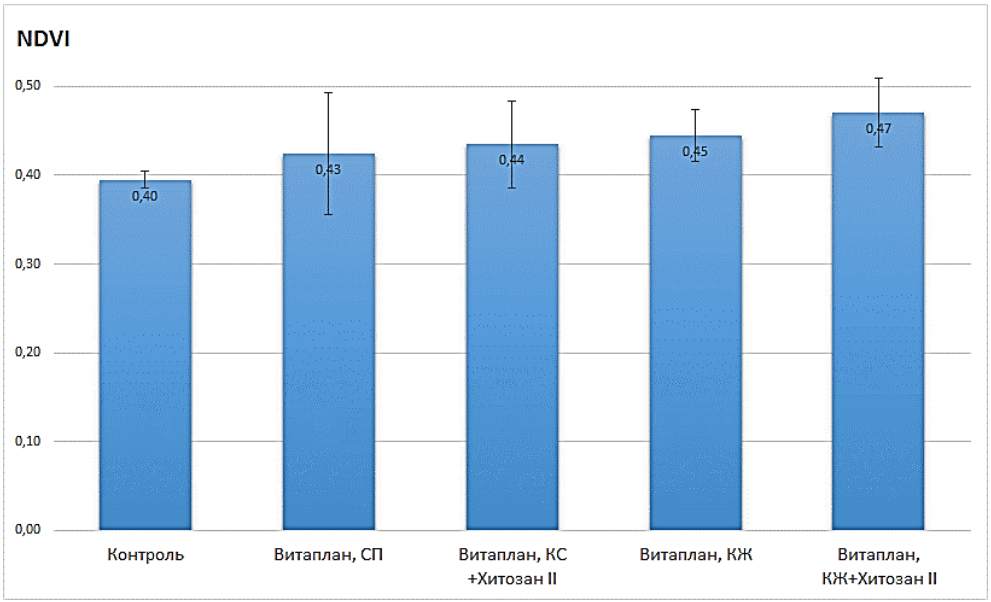


Рис. 58 – Изменения NDVI при применении биопрепаратов и полифункциональных комплексов. 2018 г. (Novikova et al., 2020)

Заключение. Применение полифункционального комплекса «Витаплан, КЖ и Хитозан II» приводило к наиболее значительному увеличению (по сравнению с контролем) вегетационного индекса растений (NDVI), являющегося относительным показателем количества фотосинтетически активной биомассы (Novikova et al., 2020).

3.9 Имитационное моделирование развития бурой ржавчины пшеницы с использованием системы нелинейных дифференциальных уравнений с запаздыванием

3.9.1 Создание имитационной модели развития бурой ржавчины пшеницы и определение возможности ее практической реализации

Цикл развития возбудителя бурой ржавчины описывали системами обыкновенных дифференцальных уравнений (Колесников, 2001b, 2008a) и нелинейных дифференцальных уравнений с запаздывающим аргументом (Колесников и др., 2022a). Разработана программа численного интегрирования системы обыкновенных дифференциальных уравнений, основанная на использовании метода Рунге-Кутта-Мерсона четвертого порядка с автоматическим выбором шага. Программа ориентирована на

проведение работ по численному моделированию развития бурой ржавчины на компьютере (Колесников, 1997).

Математическая модель динамики переменных уредостадии бурой ржавчины пшеницы, описываемая системой нелинейных дифференциальных уравнений с запаздыванием (1) - (5) имеет вид:

$$\frac{dx_{oc}}{dt} = k_{c,oc}x_c(t) - d_{oc}x_{oc}(t) - k_{oc,вс}(x_n)x_{oc}(t) + m_{n,oc}k_{n,c}(x_n)x_n(t) \quad (1)$$

$$\frac{dx_{вс}}{dt} = k_{oc,вс}x_{oc}(t) - d_{вс}x_{вс}(t) - k_{вс,n}x_{вс}(t-\tau_L) \quad (2)$$

$$\frac{dx_n}{dt} = k_{вс,n}x_{вс}(t-\tau_L) - d_n x_n(t) - k_n^d x_n(t-\tau_i) \quad (3)$$

$$\frac{dx_c}{dt} = (1-m_{n,oc})k_{n,c}(x_n)x_n(t) - d_c x_c(t) - k_{c,oc}x_c(t) \quad (4)$$

$$\frac{dx_n^d}{dt} = k_n^d x_n(t-\tau_i) + d_n x_n(t) \quad (5)$$

где x_c - число спор в воздухе над единицей площади листовой поверхности; x_{oc} - число осевших спор, $x_{вс}$ - число спор, проросших на листовой поверхности; x_n – число живых пустул, x_n^d – число отмерших пустул. Совокупность величин (x_c , $x_{oc}, x_{вс}, x_n, x_n^d$) образуют т.н. «вектор состояния» уредостадии патогена (Колесников и др., 2022а).

«Уравнение (1) описывает изменение количества спор, оседающих на единицу площади листовой поверхности. Первое слагаемое в правой части уравнения (1) характеризует процесс оседания на листовую поверхность спор из воздуха. Скорость этого процесса определяется коэффициентом оседания спор $k_{c,oc}$. Величину указанного коэффициента на практике можно определить экспериментально указанным ниже способом.

Пусть за время Δt на единицу площади листовой поверхности оседает ΔN_{oc}^{o} спор. Обозначим через N число спор в столбе воздуха над участком листовой поверхности единичной площади. Тогда коэффициент оседания спор $k_{c,oc}$ может быть найден по формуле

$$k_{c,oc} = \frac{\Delta N^0_{oc}}{\Delta t N} \qquad (6)$$

Предположим, что высотный ход концентрации n(h) уредоспор в атмосфере над рассматриваемым участком поверхности имеет экспоненциальный характер, т.е.

$$n(h) = n^0 \exp\left\{-\frac{h}{H}\right\}, \qquad (7)$$

где n^0 - концентрация уредоспор в столбе воздуха непосредственно у поверхности листа.

Используя (7) легко показать, что величины N, n^0 и H связаны соотношением:

$$N = n^0 H. \qquad (8)$$

При проведении полевого эксперимента величины n^0 и H, а также соответственно и N, могут быть найдены на основе результатов измерений чисел уредоспор, оседающих на поверхности разновысотных детекторов. При этом величина n^0 у поверхности нижнего детектора может быть найдена по формуле:

$$n^o = \frac{\Delta N^0_{oc}}{\bar{V}\Delta t}, \qquad (9)$$

где $\bar{V}$ - средняя скорость оседания уредоспор. В соответствии с данными работы П. Грегори (1964) для спор бурой ржавчины величина $\bar{V}$ равна 1,26 м/сек.

Величину H определим на основе результатов измерений чисел спор ΔN^o_{oc} и ΔN^d_{oc}, оседающих соответственно на поверхности нижнего и верхнего детекторов за время Δt.

Можно показать, что в этом случае величина H определяется выражением:

$$H = \frac{\Delta h_d}{\ln \frac{\Delta N^0_{oc}}{\Delta N^d_{oc}}}, \qquad (10)$$

где Δh_d - разность высот верхнего и нижнего детекторов. Подставляя полученное значение H в (8), а, затем, найденное значение N в (6), получим искомое значение коэффициента оседания спор $k_{c,oc}$.

Второе слагаемое в (1) описывает процесс гибели осевших спор, который характеризуется коэффициентом нежизнеспособности d_{oc} осевших спор» (Колесников и др., 2022а).

«Будем считать коэффициент d_{oc} постоянным. Тогда величина, обратная d_{oc}:

$$T_{oc}^{d} = (d_{oc})^{-1} \tag{11}$$

имеет размерность времени и определяет характерное время гибели осевших спор.

Действительно, пусть, например, в (1), $k_{oc,вс} = 0$, $d_{oc} \neq 0$. Тогда, решая уравнение (1) при начальном условии: $t = 0$, $x_{oc} = x_{oc}^{0}$, получим соответствующий закон изменения числа осевших спор:

$$x_{oc} = x_{oc}^{0} \exp\left(-\frac{t}{T_{oc}^{d}}\right) \tag{12}$$

Как видно из (12), T_{oc}^{d} равно промежутку времени, по истечении которого число осевших спор, вследствие их гибели, уменьшается в е раз.

Третьим слагаемым в правой части (1) задается скорость убыли осевших спор, обусловленной их переходом в состояние «проросшие споры». Скорость этого процесса определяется коэффициентом прорастания и проникновения ростковых трубок осевших спор в ткани растения $k_{oc,вс}$.

Коэффициент проникновения в ткани ростковых трубок осевших спор $k_{oc,вс}$ может быть представлен в виде:

$$k_{oc,вс} = k_{oc,вс}^{0} \tilde{P}(x_n) \tag{13}$$

где $k^0_{ос,вс}$ - коэффициент прорастания осевших спор на чистой листовой поверхности, а $\tilde{P}$ - вероятность попадания осевших спор на непораженный участок.

Коэффициент $k^0_{ос,вс}$ зависит от температуры $T_в$ и влажности $\theta_в$ воздуха. Согласно Bocharov, Rihan (2000), оптимальная температура для заражения 15-20°C. При этих условиях необходимо, чтобы влага сохранялась на растениях не менее 4-5 часов. С повышением температуры, равно как и с понижением, скорость инфекции замедляется. При температуре $+(5-6)^0$C для заражения необходимо, чтобы растения оставались влажными в течение 10-12 ч., а при температуре ниже +5°C инфекции не происходит.

Вероятность $\tilde{P}$ в (13) зависит от числа пустул $x_п$. Для вычисления вероятности $\tilde{P}$ введем в рассмотрение площадь пустулы $S_п$ (на чистой листовой поверхности) и площадь окружающего ее некроза $S_н$. При одном некрозе вероятность попадания осевшей споры на непораженную поверхность составляет $p_0 = 1 - S_п - S_н$ (при единичной площади рассматриваемого участка), а для $x_п$ пустул с равномерным законом распределения вероятность попадания на непораженный участок будет равна:

$$\tilde{P} = [1-(S_н + S_п)]^{x_п} \qquad (14)$$

Последним слагаемым в правой части (1) задается скорость увеличения числа спор на поверхности листа, обусловленного процессом споруляции, производимым образующимися пустулами. Скорость этого процесса определяется значением коэффициента $k_{п,с}(x_п)$, характеризующего скорость процесса производства спор пустулами (см.ниже), а также вероятностью $m_{п,ос}$ сохранения вновь образующихся спор на поверхности листа» (Колесников и др., 2022а).

«Уравнение (2) описывает следующую фазу развития патогена – прорастание осевших спор с формированием ростковой трубки, которая чаще

всего через устьица проникает в ткани растения-хозяина. В 3-х слагаемых в правой части этого уравнения учитываются 3 процесса в жизненном цикле гриба (Колесников и др., 2022а).

Первое слагаемое в правой части (2) описывает переход осевших спор в состояние – проросшие споры,

Второе слагаемое в правой части (2) описывает процесс гибели ростовых трубок уредоспор, который характеризуется коэффициентом смертности $d_{вс}$

Наконец, последнее слагаемое в правой части (2) описывает преобразование числа проросших спор и давших ростковые трубки в пустулы через промежуток времени τ_L, называемый латентным периодом. Скорость этого процесса будем характеризовать коэффициентом

$$k_{вс,п} \approx \frac{P_{вс,п}}{\tau_L} \qquad (15)$$

где $P_{вс,п}$ – вероятность превращения внедрившейся споры в пустулу.

Известно, что латентный период τ_L является функцией температуры воздуха. Согласно работе Санина (2007a, 2007b), при среднесуточной температуре +20°C новые уредопустулы проявляются через 4-5 дней. При +15°C – через 8-9 дней, а при +10°C только через 15-16 дней.

Уравнение (3) описывает процесс образования пустул на листовой поверхности. Первым слагаемым в правой части (3) задается скорость образования пустул из проросших спор, запускаемого через промежуток времени, равный латентному периоду τ_L. Вторым слагаемым задается скорость отмирания пустул в текущий момент времени, которая определяется коэффициентом отмирания пустул d_n. Наконец, третьим слагаемым определяется скорость естественного отмирания пустул по окончании инфекционного периода. Скорость этого процесса определяется коэффициентом

$$k_n^d \approx \frac{1}{\tau_i} \quad (16)$$

Уравнение (4) описывает изменение количества спор в воздухе x_c над единицей площади листовой поверхности.

Первое слагаемое в правой части (4) характеризует скорость увеличения числа спор над листовой поверхностью, обусловленного процессом споруляции, производимым образующимися пустулами. В этом слагаемом $(1-m_{n,oc})$ – вероятность ухода вновь образующихся спор с поверхности листа. Скорость процесса споруляции определяется коэффициентом

$$k_{n,c} \approx \frac{N_c}{\tau_i} \quad (17)$$

где N_c – полное число спор, производимое одной пустулой» (Колесников и др., 2022а)

«Величину N_c в (18) можно определить из следующих соображений. Введем в рассмотрение площадь непораженной листовой поверхности, приходящуюся на одну пустулу:

$$s' = \frac{(1-S_n-S_н)^{x_n}}{x_n} \quad (18)$$

При $s' > S_n$ пустулы будут достигать максимальной площади S_n, которой соответствует максимальное число производимых спор N_o. В тоже время, при $s' < S_n$, средний размер пустул будет в S_n/s' раз меньше максимального, а число производимых ими спор составит соответственно:

$$N_c = N_0 \frac{s'}{S_n} = \frac{N_0(1-S_n-S_н)^{x_n}}{S_n x_n} \quad (19)$$

С учетом вышеизложенного выражение для коэффициента $k_{n,c}$ может быть записано в виде:

$$k_{n,c}(x_n) \approx \begin{cases} \dfrac{N_0}{\tau_L}, & x_n < \dfrac{(1-S_n-S_н)^{x_n}}{S_n} \\ \dfrac{N_0}{\tau_L}\dfrac{(1-S_n-S_н)^{x_н}}{S_n x_n}, & x_n \geq \dfrac{(1-S_n-S_н)^{x_n}}{S_n} \end{cases} \quad (20)$$

Второе слагаемое, в правой части уравнения (4) описывает убыль спор над листовой поверхностью, обусловленную их гибелью. Третье слагаемое в (4) описывает убыль спор в воздухе, обусловленную их оседанием на листовую поверхность.

Уравнение (5) описывает процесс отмирания пустул. Первое слагаемое в правой части (5) описывает процесс естественного отмирания пустул по окончании инфекционного периода τ_i. Вторым слагаемым определяется скорость отмирания пустул в текущий момент времени» (Колесников и др., 2022а).

«С математической точки зрения сформулированная нами задача представляет собой задачу Коши для системы нелинейных дифференциальных уравнений первого порядка с запаздывающими аргументами (ДУЗА) вида:

$$\mathbf{y}'(t) = \mathbf{f}\left(t, \mathbf{y}(t), \mathbf{y}(t-\tau)\right), \quad t \geq t_0, \quad \mathbf{y}(t) = \boldsymbol{\psi}(t), \quad t \in [t_0 - \tau, t_0] \quad (21)$$

Для того чтобы найти решение $\mathbf{y}(t)$ при $t \geq t_0$,требуется задать начальные значения $\boldsymbol{\psi}(t)$ на интервале $t \in [t_0 - \tau, t_0]$. Наиболее естественный подход к численному решению системы (21) заключается в использовании метода шагов, т. е. ее замене на систему обыкновенных дифференциальных уравнений (ОДУ) на каждом промежутке времени $[t_0 + n\tau, t_0 + (n+1)\tau]$:

$$\mathbf{y}'(t) = \mathbf{f}\left(t, \mathbf{y}(t), \tilde{\mathbf{y}}(t-\tau)\right), \quad t \in [t_0 + n\tau, t_0 + (n+1)\tau], \quad (22)$$

где $n = 0,1,\ldots$. При этом предполагается, что $\tilde{\mathbf{y}}(t-\tau)$ известно, так как мы вычисляем значения $\tilde{\mathbf{y}}(t-\tau)$ на промежутке $[t_0 + (n-1)\tau, t_0 + n\tau]$ путем интерполяции ранее полученного на этом промежутке решения или заданных начальных значений $\boldsymbol{\psi}(t)$ на интервале $t \in [t_0 - \tau, t_0]$» (Колесников и др., 2022а).

Можно отметить, что в настоящее время дифференциальные уравнения с запаздывающими аргументами широко используются для решения биологических задач (Bocharov, Rihan, 2000).

Для решения системы уравнений (1) - (5) с запаздывающим аргументом в нашей работе был использован программный комплекс DIFSUBDEL, описанный в работе Желткова и соавтров (2020).

«С целью проверки работоспособности разработанной программы были проведены тестовые расчеты динамики переменных состояния уредостадии бурой ржавчины пшеницы для начального значения переменной $x_c^0 = 50$ см$^{-2}$, а также указанных ниже значений параметров, которыми определяются скорости изменения переменных состояния:

$$k_{c,oc} = 0.3\ сут^{-1} \qquad k^0_{oc,вс} = 0.3\ сут^{-1} \qquad P_{вс,п} = 0.4 \qquad m_{п,oc} = 0.9$$

$$d_c = 1.0\ сут^{-1} \quad d_{oc} = 1.0\ сут^{-1} \quad d_{вс} = 0.5\ сут^{-1} \quad d_п = 0.0\ сут^{-1}$$

$$N_0 = 733 \qquad S_п = 2\cdot 10^{-1}\ мм^2 \qquad S_н = 2\cdot 10^{-1}\ мм^2$$

$$\tau_L = 6.0\ сут \qquad \tau_i = 8.0\ сут$$

Заметим, что выбранные значения параметров являются характерными для средневосприимчивых сортов пшеницы» (Колесников и др., 2022а).

«На рис. 59 и 60 представлены полученные зависимости от времени (в сутках) числа спор в воздухе и числа живых пустул на поверхности листа в расчете на единицу площади листовой поверхности ($1\ см^2$).

Сравнительно небольшое начальное количество инфекции ($x_c^0 = 50$ см$^{-2}$) приводит в рассмотренном случае к развитию болезни, в результате которого по прошествии 34 суток с начала заражения число спор в воздухе достигает максимальное значения – 1700» (Колесников и др., 2022а).

«После достижения абсолютного максимума, число спор в воздухе падает практически до нуля, а затем снова начинает возрастать и спустя 56 суток достигает второго локального максимума. В то же время, как видно из рис. 60, число живых пустул на единице поверхности листа достигает максимального значения 1600 спустя 46 суток с момента заражения, после чего число живых пустул уменьшается до нуля в результате их отмирания и болезнь прекращается спустя 57 суток с момента заражения» (Колесников и др., 2022а).

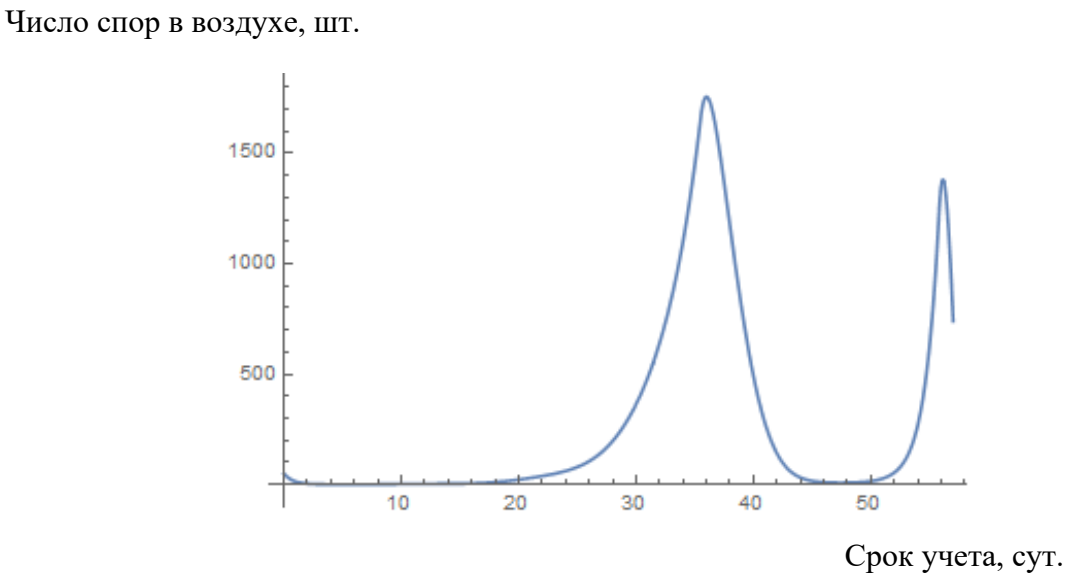


Рис. 59 – Зависимость от времени числа спор в воздухе над единицей площади листовой поверхности

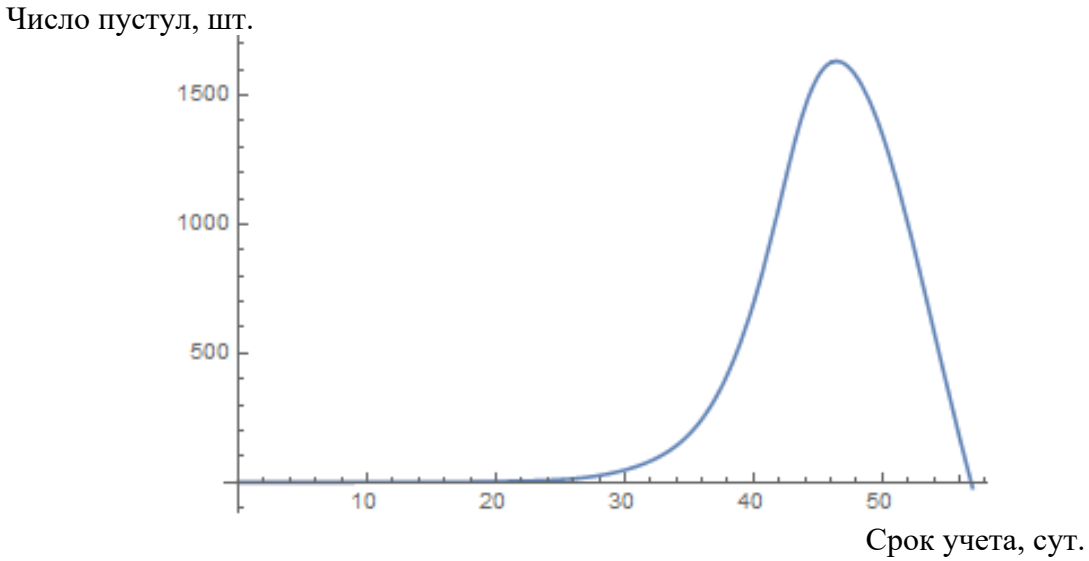


Рис. 60 – Зависимость от времени числа живых пустул на единице площади листовой поверхности

Заключение. «Приведенная в работе имитационная модель развития бурой ржавчины пшеницы может использоваться при создании современных экспертных систем прогнозирования и диагностики болезней растений. Расчетные методики могут быть использованы для определения эпифитотийной опасности фитосанитарных биообъектов, относящихся к группе аэрогенно-пылевой инфекции, а также для исследования основных агроэкологических факторов, влияющих на динамику биотического потенциала возбудителей при различном уровне устойчивости растения-хозяина» (Колесников и др., 2022а).

3.9.2 Экспериментальное определение коэффициента оседания уредоспор в имитационной модели развития бурой ржавчины пшеницы

«В настоящее время одним из перспективных направлений исследования эпифитотиологии наиболее вредоносных и опасных возбудителей болезней растений является применение в прогностической практике имитационных моделей патогенеза с использованием современной компьютерной техники и информационных технологий.

Для практической реализации разработанной имитационной модели развития бурой ржавчины пшеницы за период 1998-2000 гг. были проведены полевые опыты по определению заспоренности уредоспорами приземного слоя воздуха для расчета коэффициента оседания уредоспор (Колесников и др., 2001с; Власова и др., 2004а). Экспериментальный подсчет количества осевших уредоспор на 1 $см^2$ поверхности 20-ти спороловушек, состоявших из 2-х разновысотных детекторов, установленных на высоте 0,5 м и 1 м от поверхности почвы, осуществляли по методике Чумакова и соавторов (1972). Динамика оседания уредоспор возбудителя на детекторы спороловушек была изучена в шести повторностях» (Власова и др., 2004а).

«В качестве основных учитываемых показателей были использованы: характерный масштаб изменения количества уредоспор с высотой (H); концентрация уредоспор, шт./$м^3$ (n^0); полное число уредоспор в столбе воздуха

над участком поверхности площадью в 1 см^2 , шт. (N); коэффициент оседания уредоспор, сек$^{-1}$($К_{с,ос}$); среднее число осевших уредоспор на поверхность разновысотных детекторов, установленных на высоте 0.5 м (ΔN_{oc}^{o}) и 1 м (ΔN_{oc}^{d}) от поверхности почвы, соответственно» (Власова и др., 2004а).

«Как следует из данных таблицы 19, максимальная заспоренность приземного слоя воздуха уредоспорами возбудителя бурой ржавчины пшеницы была выявлена в 1998 г.

Таблица 19 – Исследование оседания уредоспор возбудителя бурой ржавчины пшеницы на учетные поверхности двух разновысотных детекторов СПб. – Пушкин, 1998-2001 гг. (Власова и др., 2004а).

Год	Среднее число осевших уредоспор на нижний (0,5 м) детектор (шт./см^2) (ΔN_{OC}^{o})	Среднее число осевших уредоспор на верхний (1,0 м) детектор (шт./см^2) (ΔN_{OC}^{d})	Характерный масштаб изменения кол-ва уредоспор с высотой (H)	Концентрация уредоспор (шт/см^3) (n^0)	Полное число уредоспор в столбе воздуха над участком поверхности площадью в 1 см^2 (шт.) (N)	Коэф. оседания уредоспор (сек$^{-1}$) ($К_{с,\ ос}$)
1998	118,5±13,2	41,4±4,61	47,6	0,00005	0,00259	0,02648
1999	42,8±4,70	16,9±5,32	53,9	0,00002	0,00106	0,02340
2000	28,9±7,24	19,5±1,25	126,2	0,00001	0,00168	0,00998
2001	48,2±4,30	14,4±2,71	41,5	0,00002	0,00092	0,03039

Значения коэффициента оседания уредоспор изменялось в пределах от 0,01 до 0,03 сек$^{-1}$, при этом среднее значение за период наблюдений с 1998 по 2000 гг. составило 0,02 сек$^{-1}$» (Власова и др., 2004а).

Заключение. «Разработанная методика экспериментального определения коэффициента оседания уредоспор бурой ржавчины пшеницы при анализе аэрохорно-пылевой инфекции позволяет практически реализовать имитационную модель патогенеза возбудителя при различных начальных значениях вектора состояния биообъекта» (Колесников и др., 2001с; Власова и др., 2004а).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ПО ГЛАВЕ 3

Увеличение урожайности мягкой пшеницы, составляющей основу питания человека и являющейся важным источником питательных веществ в рационах животных (Лачуга, 2017) – основной путь к увеличению производства продукции зерна. Сорт – важнейшая составляющая агробиоценоза пшеницы, характеризующийся определенным набором признаков, в том числе генетическими, морфобиологическими, биохимическими, и может рассматриваться как не только важнейший элемент управления продукционным процессом (Letunov et al., 2022), но и как средообразующий фактор, способный ограничивать развитие особо опасных инфекций (Павлюшин и др., 2016). Использование устойчивых сортов является мощным рычагом, с помощью которого возможно многолетнее регулирование численности вредителей и обеспечение защиты от них растений без применения химических средств (Афанасенко, 2020).

Иммунологическая защита от возбудителей болезней является приоритетной во всем мире. В связи с этим особое внимание было уделено выявлению образцов пшеницы, обладающих высокой устойчивостью к болезням листьев с использованием как общепринятых фитопатологических показателей, так и дополнительных. Определены взаимосвязи между происхождением мягкой пшеницы и полевой устойчивостью к болезням, что дает возможность осуществлять целенаправленный отбор устойчивых форм из выявленных по происхождению групп. Выделенные устойчивые образцы могут быть рекомендованы для использования в селекции на устойчивость к болезням в условиях Северо-Запада.

Наибольшую устойчивость к возбудителям бурой, стеблевой ржавчины проявила группа образцов мягкой пшеницы – из Латинской (Южной) Америки; желтой ржавчины – из Северной Европы; мучнистой росы – из Центральной/Западной Европы; инфекционного выпревания – из России и сопредельных стран Ближнего зарубежья. Установлена высокая эпифитотийная опасность для посевов мягкой пшеницы возбудителя стеблевой ржавчины.

При этом наибольшей толерантностью к комплексу особо опасных болезней (мучнистой росе, бурой и желтой ржавчине, септориозу) обладали сорта из Азиатской части России.

Разработаны модели, отражающие влияние интенсивности поражения растений возбудителями болезнями, в том числе при смешанных инфекциях листьев, на морфометрические показатели продуктивности мягкой пшеницы. Установлены взаимосвязи изменения урожайности и толерантности сортов к болезням в зависимости от года их создания, а также модели, отражающие влияние возбудителей болезней листьев на экономические потери урожая. Построены модели, отражающие зависимости общепринятых показателей интенсивности развития болезней от расчетных показателей, а также выявлен ряд корреляционных взаимосвязей, отражающих сопряженность различных типов патогенеза по годам исследования.

Построены модели, описывающие уровни модификационной изменчивости мягкой пшеницы при использовании семян, полученного от здоровых и больных растений. Выявлены корреляционные зависимости и построены регрессионные модели, показывающие варьирование фитометрических и фитопатологических показателей посевов пшеницы в зависимости от используемого семенного материала, полученного от здоровых и больных растений. Большинство изученных образцов пшеницы, выращенных из зерен растений с симптомами патогенеза в предшествующем году, по сравнению с контрольной группой (без выявленной инфекции на листовой поверхности) характеризовались: меньшей массой 1000 зерен, высотой растений, площадью флагового листа, общей и продуктивной кустистостью. Развитие мучнистой росы, а также желтой и стеблевой ржавчины усиливалось (на образцах мягкой пшеницы, полученных из зерен растений с выявленными в предшествующем году признаками листовых болезней, по сравнению с контрольной группой (здоровые растения)). Оценка образцов по устойчивости к бурой ржавчине выявила разносторонние тенденции».

Известно более 70 генов устойчивости пшеницы к бурой и желтой ржавчине, но лишь немногие из них эффективные (Волкова и др., 2019; McIntosh et al., 2010). Нашими исследованиями показана высокая эффективность генов устойчивости *Lr24, Lr28, Lr29, Lr47 и Yr5, Yr7, Yr10, Yr15, Yr18, Yr24, Yr26, Yr27, Yr32* в отношении местной популяции бурой и желтой ржавчины, что подтверждено отсутствием симптомов проявления бурой ржавчины на изогенных линиях Thatcher (тип реакции 0) и сортах-дифференциаторах на основе сорта Avocet и Jupateco 73R, защищенных указанными генами.

В процессе эволюции у растений выработались разнообразные адаптивные реакции, в том числе защитные в отношении возбудителей болезней: видимые физические (фенотипические) и невидимые структурные изменения в органах и тканях (Чесноков, 2007). Указанные признаки используются селекционерами для построения моделей сортов сельскохозяйственных культур, адаптированных к зональным условиям их возделывания (Новоселов, 2007).

Нами выявлены зависимости элементов продуктивности и интенсивности поражения мягкой пшеницы болезнями от ботанических особенностей растений с целью создания морфометрических моделей сортов, высоко адаптированных к агроэкологическим условиям Северо-Запада Российской Федерации. Это позволит снизить риски возникновения эпифитотий особо опасных инфекций, а также сократить затраты на мероприятия по защите растений и повысить их продуктивность. В условиях Северо-Запада Российской Федерации было установлено, что высокорослые сорта отличались наибольшей длиной колоса ($L_к$ =12,7±5,28 см) и числом колосков в колосе ($N_к$ =15,4±0,24 шт.), но меньшим числом зерен в колосе ($N_з$ =23,75±2,55 шт.), массой зерен колоса $M_з$ =0,78±0,04 г; массой 1000 зерен (M_{1000} =26,86±0,92 г.). Максимальными величинами массы колоса и интегрального показателя – продуктивности одного растения характеризовались среднерослые растения: $M_к$ =1,33±0,14 г и $Y_п$ = 1,76±0,12 г растение $^{-1}$. Зарегистрирована меньшая

пораженность флаговых листьев разных сортов пшеницы бурой и желтой ржавчиной, мучнистой росой при угле наклона к стеблю в интервале 121-180°. Плотность опушения листьев оказывала различное влияние на развитие болезней. С возрастанием плотности опушения отмечено снижение развития желтой ржавчины, но возрастание интенсивности развития мучнистой росы.

Стабильность элементного состава живых организмов является одним из главных условий их нормального функционирования. Изменения содержания ряда химических элементов в растениях, вызванные экологическими, климатогеографическими факторами, антропогенной трансформацией среды может отражаться на их урожайности и устойчивости к вредным организмам. Поэтому в последние годы значительное внимание уделяется вопросам абсорбции и аккумуляции сельскохозяйственными культурами химических элементов и соединений (Bieby et al., 2011; Ghulam et al., 2012). Хотя многие химические элементы в микродозах необходимы для организма (Zn, Cu, Mn, Mo, Co, Cr, Sn, V, Ni и др.), в больших концентрациях они становятся токсичными. Некоторые элементы (Sb, As, Cd, Pb, Hg, Ag) высокотоксичны и в малых количествах. Растения пшеницы особо чувствительны к содержанию Mg, Cu, Mn, Zn, Mo, недостаток которых приводит к нарушению углеводного и азотного обмена, а также синтеза белковых веществ (Медведев, Федотов, 2009).

В наших исследованиях определены взаимосвязи между элементным составом мягкой пшеницы, урожайностью и фитосанитарным состоянием ее посевов. Построены элементные «портреты» сортов пшеницы, высоко адаптированных к агроэкологическим условиям возделывания. Выявлено усиление поражения пшеницы болезнями и снижение повреждения листьев личинками пьявицы обыкновенной с увеличением содержания в растениях тяжелых металлов. Отмечено положительное влияние увеличения содержания K, Sc, Cu на большинство рассматриваемых показателей структуры урожая пшеницы. Выявлено снижение повреждения листьев пшеницы личинками пьявицы обыкновенной при увеличении содержания в зернах Cd, Pb, Bi, Mr,

которые относятся к тяжелым металлам и являются токсичными для различных групп живых организмов, а также при увеличении уровня Se.

Накопление в листьях сортов мягкой пшеницы тяжелых металлов (V, Fe, Co, Zn, Pb, Cr, Mn) усиливало интенсивность развития возбудителя бурой ржавчины пшеницы. В листьях у высокоустойчивых изогенных линий (*TcLr24, TcLr28, TcLr29, TcLr47*), обладающих ювенильной устойчивостью и характеризующихся отсутствием симптомов поражения возбудителем, по сравнению с линиями, проявившими сильную восприимчивость к болезни, отмечено достоверно меньшее содержание тяжелых металлов Ni, Ag, Cr, Fe, Co, Cd, а также K. Возможно, это можно объяснить тем, что тяжелые металлы вызывают изменения белкового спектра грибов, воздействуя, по-видимому, на синтез белков на уровне транскрипции и трансляции, влияют на их ферментную активность, а также влияют на прорастание спор (Горбунова, Терехова, 1995).

Протекание окислительно-восстановительных реакций в живых организмах в присутствии кислорода сопровождается появлением в клетках активных форм кислорода (АФК): O_2^- , H_2O_2, HO^- (Половникова, Воскресенская, 2008; Рогожина, Рогожин, 2010). Контроль содержания АФК осуществляют компоненты антиоксидантной системы (АОС), в состав которой входят низко- и высокомолекулярные антиоксиданты (АО). (Рогожина, Рогожин, 2013). К настоящему времени накоплены экспериментальные доказательства участия (АФК) в индукции экспрессии генов антиоксидантных энзимов в растительных клетках (Колупаев, Обозный, 2012). Более высокая интенсивность фотодыхания и активность хлоропластной супероксиддисмутазы (СОД) во флаговых листьях пшеницы способствуют поддержанию функционального состояния фотосинтетического аппарата на более высоком уровне в период налива зерна, что определяет лучшую выполненность зерен и озерненность колоса (Моргун и др., 2010; Соколовская-Сергиенко и др., 2010). При поражении пшеницы возбудителями болезней изменяются физиологические и биохимические параметры растений. Растения противостоят действию патогенов путем задействования ряда окислительно-

восстановительных процессов. В частности, устойчивые к болезням сорта, по сравнению с восприимчивыми, отличаются более интенсивным протеканием окислительно-восстановительных реакций в растительной клетке с участием таких ферментов как пероксидазы, каталаза, аскорбатоксидаза, полифенолоксидаза, дегидрогеназы (Гончар, Щербакова, 2014; Королюк и др., 1988).

Нами было установлено, что сорта пшеницы, зерна которых отличались более высокой антиоксидантной активностью АОА, характеризовались большими значениями массы 1000 зерен, потенциальной урожайности, продуктивной кустистости, площади флаг-листа и меньшими значениями числа зерен в колосе, длины колоса. Антиоксидантная активность зерна различных по устойчивости сортов яровой мягкой пшеницы связана со степенью поражения листьев растений возбудителем мучнистой росы. Зерна устойчивых сортов пшеницы, характеризующихся незначительным развитием болезни, отличались большей антиоксидантной активностью. Повышение АОА с 10 до 20% сопровождалось снижением развития болезни на 21%. Интенсивность развития бурой ржавчины на линиях пшеницы серии Thatcher – носителях Lr-генов зависела от антиоксидантной активности их листьев. Изогенные линии Thatcher, проявившие большую устойчивость к возбудителю бурой ржавчины и характеризующиеся развитием болезни $R_б$= 8,8±3,1%, отличались большей антиоксидантной активностью (на 129%), чем восприимчивые образцы, в умеренной и сильной степени пораженные болезнью: $R_б$= 85±12%.

Для оценки и прогнозирования воздействия природно-климатических факторов на патогенез растений, обусловленный развитием возбудителей болезней, применяют различные инструменты математического анализа (Вронских, 2019). Математические модели эпифитотий позволяют рассматривать взаимодействие патоген – хозяин как комплексный процесс, зависящий от большого количества факторов (Николаев и др., 2019). В ВИЗР разработку имитационных моделей осуществляли по двум направлениям: моделирование систем типа посев – вредный объект и моделирование

процессов, связанных с проведением защитных мероприятий (Левитин и др., 1999; Жаров, 1999).

В наших исследованиях для повышения точности фитосанитарного мониторинга агробиоценозов пшеницы, построения математических моделей, описывающих количественные взаимоотношения в системе патоген–хозяин–среда и прогнозирования развития особо опасных болезней усовершенствована методика многомерного параметрирования различных типов патогенеза, основанная на использовании как общепринятых (развитие болезни, тип реакции), так и расчетных фитопатологических характеристик: для бурой ржавчины *Puccinia triticina* Erikss. – числа пустул ($N_п$) и площади пустулы ($S_п$), числа спор в пустуле ($N_с$); желтой ржавчины (*Puccinia striiformis* West.) – числа и длины полос с пустулами, суммарного числа пустул, площади пустулы, числа спор в пустуле ($N_с$); стеблевой ржавчины (*Puccinia graminis* Pers. f. *sp. tritici*) – числа пустул на 1 см длины верхнего колосонесущего междоузлия, площади пустулы; мучнистой росы (*Blumeria graminis* Speer.) – числа и площади пятен с налетом, числа конидий с 1 $см^2$ листа; септориоза (*Parastagonospora nodorum* (Berk.) и *Zymoseptoria tritici* (Desm.) Quaedvlieg & Crous.) – числа и площади пятен.

С использованием общепринятых и уточняющих фитопатологических показателей были построены статистические модели развития особо опасных болезней пшеницы, основанные на выявлении множества корреляционных зависимостей между показателями интенсивности поражения пшеницы болезнью, метеорологическими факторами, солнечной активностью, и последующем определении доминирующих тенденций в их изменении; на результатах факторного анализа метеообусловленности патогенеза, а также на построении регрессионных уравнений, описывающих многолетнюю динамику развития болезней.

На основе использования методов математического моделирования для характеристики развития особо опасных возбудителей болезней выявлены метеофакторы предшествующего периода вегетации пшеницы, существенно

влияющие на сохранение инфекционного начала и определяющие, в дальнейшем, фитосанитарное состояние ее посевов: сумма осадков в январе и сентябре (желтая ржавчина, мучнистая роса), средняя температура в октябре, ноябре, сумма осадков в феврале, средняя температура в марте (бурая ржавчина, септориоз). С повышением средней температуры в сентябре и уменьшением суммы осадков в октябре и декабре предшествующего года, суммы осадков в апреле развитие бурой ржавчины и мучнистой росы усиливалось. Сильная пораженность пшеницы стеблевой ржавчиной в 2010 г., возможно, обусловлена экстремально высокими значениями суммы температур и незначительной суммой осадков в июле, а также связана с резким возрастанием активности Солнца в 2010 г. по сравнению с 2009 г. Интенсивность поражения инфекционным выпреванием большинства изученных образцов пшеницы возрастала с понижением температуры в январе и уменьшением суммы выпавших осадков, а также определялась значениями относительной влажности воздуха. Непосредственно в период проведения наблюдений (апрель) отмечена сопряженность интенсивности патогенеза инфекционного выпревания с ясной и теплой погодой, без осадков.

В наибольшей степени на продуктивность пшеницы оказывало влияние число выпавших осадков в мае, что согласуется с данными, приведенными в работе Курдюкова и соавторов (2007), и сумма температур в июне. В работе Курдюкова и соавторов (2007) подчеркнуто, что сохранение влаги в почве крайне важно для пшеницы при прохождении I и II этапов органогенеза, что обуславливает, в дальнейшем, повышение ее урожайности. Наиболее чувствительным к совокупному действию комплекса метеорологических факторов оказался показатель – высота растений, возрастание значений которого наряду с площадью флагового листа, обуславливало формирование более плотного колоса.

Прогнозирование динамики развития болезней является одним из ключевых применений методов имитационного моделирования. Нами разработана и реализована в расчетной программе имитационная модель

развития бурой ржавчины, основанная на численном решении системы нелинейных дифференциальных уравнений с запаздывающими аргументами, описывающей временную эволюцию вектора состояния патогена. Для численного интегрирования сформулированной системы уравнений был использован программный комплекс DIFSUBDEL. Экспериментально определен коэффициент оседания уредоспор для практической реализации построенной модели. Построенная имитационная модель развития бурой ржавчины пшеницы может быть использована при создании современных экспертных систем прогнозирования развития болезней растений, позволит оценивать риски развития эпифитотийного процесса и оптимизировать сроки применения средств защиты растений. Для характеристики динамики отдельных фитопатологических показателей предложены формулы расчета средневременных значений, а также определения их отклонений, основанные на использовании формулы трапеций к определению площади под кривой инфекционного процесса.

Необходимое условие получения высокого урожая пшеницы и улучшения его качества – использование при посеве полноценного зерна (Ricachenevsky et al., 2019). При этом, в настоящее время, качество посевного материала зачастую оставляет желать лучшего. Доля некондиционных семян зерновых культур может доходить до 40% (Архипов и др., 2013a, 2013b). В связи с этим существует ряд стандартных тестов, регламентированных ISTA (International Seed Testing Association), а также перспективных интроскопических методов контроля качества семенного материала (Arruda et al., 2018). Очевидно, что фитосанитарный контроль посевов с использованием передовых технологий и современных средств защиты растений является необходимым и обязательным условием получения высоких урожаев зерна. При этом самое пристальное внимание важно уделять фитосанитарному состоянию семенного материала, которое бы позволило предотвращать

возникновение и развитие инфекционных болезней и способствовало оздоровлению посевов (Firsova et al., 2019; Gagkaeva et al., 2009).

В результате проведенных нами исследований изучена возможность контроля качества семян пшеницы с помощью методов неразрушающего контроля – газоразрядной визуализации и микрофокусной ренгенографии для программирования урожайности пшеницы и прогнозирования изменений в интенсивности поражения пшеницы болезнями. Выявлены положительные корреляционные связи между длиной колоса и фрактальностью по изолинии ($r = 0,41$, $p<0,05$), длиной изолинии ($r = 0,35$ $p<0,05$) зерен, используемых в качестве посевного материала. В то же время увеличение длины изолинии зерен обусловливало снижение показателей общей и продуктивной кустистости растений ($r= - 0,41$, $p<0,05$). Отмечена достоверная положительная корреляция между значениями фрактальности по изолинии и показателями, характеризующими массу зерен пшеницы (масса зерен колоса: $r=0,39$, $p<0,05$; масса 1000 зерен: $r=0,72$, $p<0,05$; масса колоса $r=0,49$, $p<0,05$). На рост значений массы 1000 зерен мягкой пшеницы влияли параметры размеров зерен, в частности, площадь проекции зерна ($r=0,61$, $p<0,05$).

Поражение пшеницы бурой ржавчиной усиливалось, а септориозом и мучнистой росой снижалось с ростом площади и формы ГРИ, СКО фрактальности по изолинии ГРИ семян, изрезанности контура ГРИ семян и с уменьшением энтропии по изолинии ГРИ семян, фрактальности по изолинии ГРИ семян, СКО радиуса изолинии ГРИ семян. Развитие септориоза на большинстве сортов пшеницы усиливалось, а мучнистой росы и бурой ржавчины (по числу пустул) снижалось с возрастанием значений периметра, длины, ширины, средней хорды, СКО яркости, максимальной яркости, интегральной яркости проекции семян. Рост среднего размера и средней яркости проекции семян обусловливал увеличение интенсивности поражения растений бурой ржавчиной, мучнистой росой, септориозом. На большинстве сортов развитие бурой ржавчины с увеличением фактора круга проекции семян снижалось, а мучнистой росы – усиливалось. Степень поражения пшеницы

мучнистой росой снижалась с увеличением округлости проекции семян. Развитие септориоза и бурой ржавчины преимущественно усиливалось с увеличением минимальной яркости проекции семян, а мучнистой росы снижалось. Интенсивность поражения пшеницы септориозом увеличивалась с ростом интервальной яркости проекции семян, а мучнистой росы – снижалась.

Применение биопрепаратов оказывало влияние на интроскопические характеристики зерна. В варианте опыта с применением полифункционального комплекса «Витаплан, Ж + Хитозан II» и «Хитозан II» зерна пшеницы имели существенно меньшую величину суммарной интенсивности газоразрядного изображения по сравнению с контролем, что характерно для зерен, имеющих лучшие ростовые показатели при их проращивании». Обработка растений пшеницы белковым стимулятором роста привела к выраженному увеличению размера зерен, их округлости и полноценности по сравнению с контрольной группой.

Построенные зависимости между оптическими характеристиками зерна пшеницы, их структурно-функциональными характеристиками, продуктивностью и устойчивостью пшеницы к болезням, в перспективе, могут быть использованы для программирования возможной биологической урожайности культуры и оптимизации фитосанитарного состояния посевов.

Для создания новых технологий, способствующих решению задач природопользования и защиты растений с использованием оптических методов, необходимы данные по отражательной и излучательной способности агроценозов сельскохозяйственных культур (Сурин, 2013a, 2013b). Оптические спектры являются их своеобразными «оптическими портретами», которые характеризуют биологическую полноценность растений, а также их отзывчивость на изменение факторов окружающей среды, в том числе, связанное с применением средств защиты и регуляции роста растений. Специфичность кривых спектральной отражательной способности растительности позволяет с достаточно высокой точностью идентифицировать сельскохозяйственные культуры вплоть до отдельного вида. Для растительных

объектов характерна низкая отражательная способность в синей и красной областях спектра, некоторое увеличение ее в зеленой области, и резко выраженный максимум в ближнем инфракрасном диапазоне (Бекмухамедов, Карабкина, 2013).

В наших исследования представлены результаты изучения отражательной способности агроценозов пшеницы с использованием четырехканального портативного полевого фотометра ПИФ-М, двухканального оптического тестера АДТ-М, а таже «Green Seeker». Построены фотометрические шкалы посевов мягкой пшеницы с разной степенью поражения возбудителями особо опасных болезней, а также – различной отзывчивостью на стимулирующие и защитные обработки биопрепаратами. Выявлена тенденция ухудшения состояния посевов пшеницы по основным показателям структуры урожайности, качества зерна (по содержанию азота, фосфора и калия), фитосанитарного состояния (по степени поражения пшеницы возбудителем мучнистой росы) с ростом значений F. Сорта пшеницы, отличающиеся наименьшими значениями стресс-индекса F, обладали наибольшей антиоксидантной активностью, наилучшей жизнеспособностью и отсутствием симптомов развития возбудителя бурой ржавчины по сравнению с другими сортами, на которых было зарегистрировано развитие болезни. Наилучшим адаптивным потенциалом к агроэкологическим факторам обладали растения, обработанные полифункциональным комплексом «Витаплан, КЖ и Хитозан II», что подтверждал и минимальный стресс-индекс F.

ГЛАВА 4. БИОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИННОВАЦИОННЫХ БИОЛОГИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ РАСТЕНИЙ И РЕГУЛЯЦИИ РОСТА ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ

4.1 Микробиологические препараты, композиции на основе хитозана, полифункциональные комплексы, 0,1% салицилат хитозана

4.1.1 Анализ эффективности микробиологических препаратов, полифункциональных комплексов, композиций на основе хитозана и штаммов *Bacillus subtilis* ВКМ B-2604D, ВКМ B-2605D, 0,1% салицилата хитозана при возделывании пшеницы

Результаты сравнительного анализа определения эффективности микробиологических препаратов, композиций на основе хитозана в отношении продуктивности пшеницы приведены на рис. 61 и в таблице 6П.1 приложения 6. Максимальная урожайность пшеницы была выявлена в вариантах опыта «Витаплан, КЖ + 0,1% салицилат хитозана (глубинное культивирование)» и «0,1% салицилат хитозана» – $Y_п$= 4,17±0,33 г/растений и 4,11±0,37, что на 100,2% и 97,4% больше, чем в контроле ($Y_п$=2,01±0,29 г/растений), соответственно.

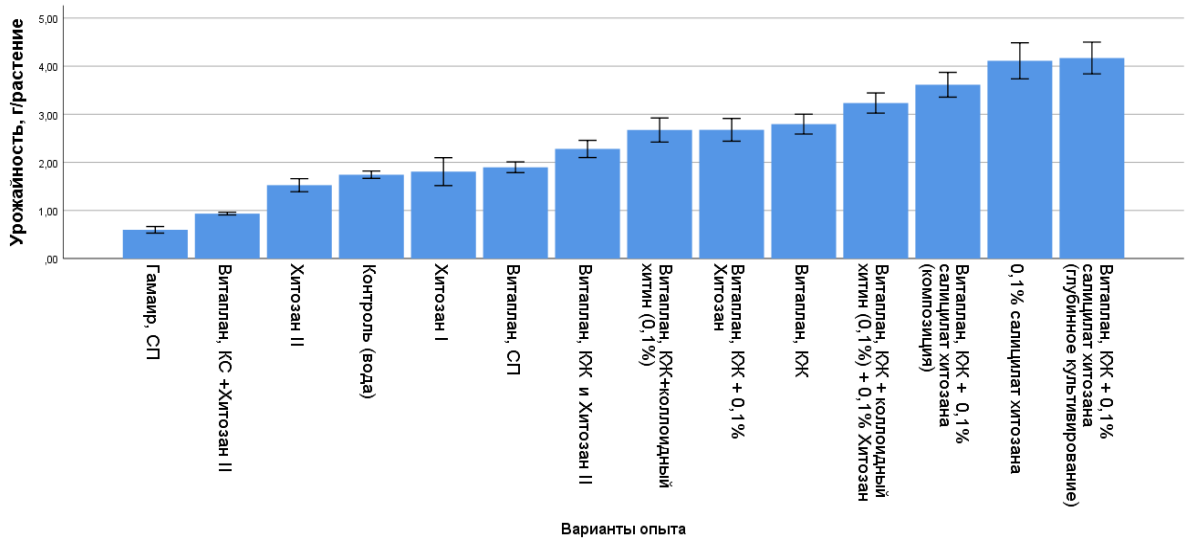


Рис. 61 – Изменение урожайности мягкой пшеницы при использовании микробиологических препаратов, хитозана и его производных. 2016-2021 гг.

Подробные данные по определению эффективности микробиологических препаратов, композиций на основе хитозана, полифункциональных комплексов, 0,1% салицилата хитозана представлены в работах (Попова и др.,

2017; Колесников и др., 2019b, 2022c, Kolesnikov et al., 2020c, 2021e, 2021h, Novikova et al., 2024).

По эффективности в отношении урожайности пшеницы (в соответствии с величиной ее относительного увеличения по сравнению с контролем) микробиологические препараты, комплексы на основе хитозана, полифункциональные комплексы и 0,1% салицилата хитозана были ранжированы следующим образом:

- комплекс на основе хитозана «Хитозан I» – 19,0% (с 0,93 до 1,10 г/растение, 2016 г.)
- полифункциональный комплекс «Витаплан, КЖ + 0,1% Хитозан» – 24,4% (с 2,15 до 2,68 г/растение, 2019 г.)
- комплекс на основе хитозана «Хитозан II» – 36,2% (с 1,19 до 1,63 г/растение, 2016 г.)
- полифункциональный комплекс «Витаплан, КЖ + коллоидный хитин (0,1%) + 0,1% Хитозан» – 50,3% (с 1,89 до 3,23 г/растение, 2019 г.);
- стимулятор роста растений, биофунгицид «Витаплан, КЖ» – 70,2% (с 1,77 до 3,01 г/растение, 2016-2021 гг.);
- полифункциональный комплекс «Витаплан, КЖ + 0,1% салицилат хитозана (композиция)» – 73,6% (с 2,01 до 3,61 г/растение, 2020-2021 гг.).
- «0,1% салицилат хитозана» – 97,4% (с 2,01 до 4,11 г/растение, 2020-2021 гг.);
- полифункциональный комплекс «Витаплан, КЖ + 0,1% салицилат хитозана (глубинное культивирование)» – 100,2% (с 2,01 до 4,17 г/растение, 2020-2021 гг.);
- полифункциональный комплекс «Витаплан, КЖ и Хитозан II» – 120,9% (с 1,17 до 2,58 г/растение, 2016-2018 гг.).

При применении биопрепарата «Гамаир, СП» урожайность пшеницы существенно, на 25%, снизилась по сравнению с контролем (с 0,93 до 0,7 г/растение, 2019 г.). Обработка растений биопрепаратом «Витаплан, СП»

обуславливала незначительный рост урожайности на 6,7% (с 1,48 до 1,90 г/растение, 2017-2021 гг.).

Влияние микробиологических препаратов, полифункциональных комплексов и 0,1% салицилата хитозана на число зерен в колоске колоса отражено на рис. 62. Статистически достоверный рост показателя при $P<0,05$ на 16,8%, 13,6% и 9,7% по сравнению с контролем выявлен в вариантах опыта с использованием «0,1% салицилата хитозана», «Витаплан, КЖ + 0,1% салицилат хитозана (композиция)» и «Витаплан, КЖ + 0,1% салицилат хитозана (глубинное культивирование)», соответственно.

Максимальное увеличение числа зерен в колоске колоса при применении «0,1% салицилата хитозана» можно связать с наибольшим по сравнению с другими вариантами опыта поражением растений мучнистой росой по комплексу показателей: развитие болезни – на 12,7% (с 14,3% до 1,7%), число пятен с налетом – на 79,0% (с 15,1% до 3,2%). В указанном варианте опыта статистически достоверно снизилось развитие корневой гнили – на 13,8% (с 27,1% до 13,3%), поражение растений бурой ржавчиной по развитию болезни – на 11,8% (с 21,4% до 9,6%) (рис. 63), числу пустул – на 59,1% (с 347,3 до 141,9 шт.), площадь пустул несущественно уменьшилась на 23,4% (с 0,11 до 0,09 мм^2).

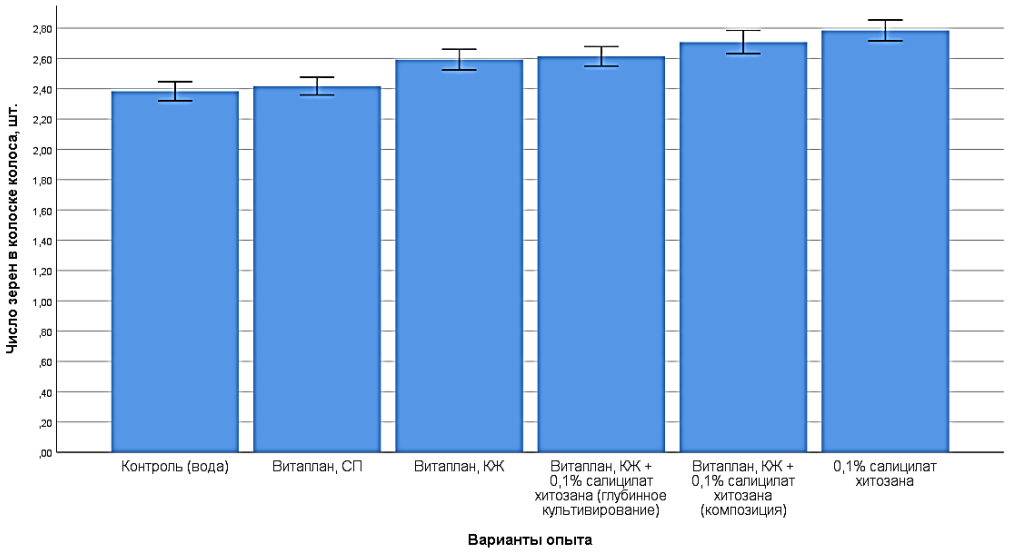


Рис. 62– Изменение числа зерен в колоске колоса при применении микробиологических препаратов, полифункциональных комплексов и 0,1% салицилата хитозана. 2021 г.

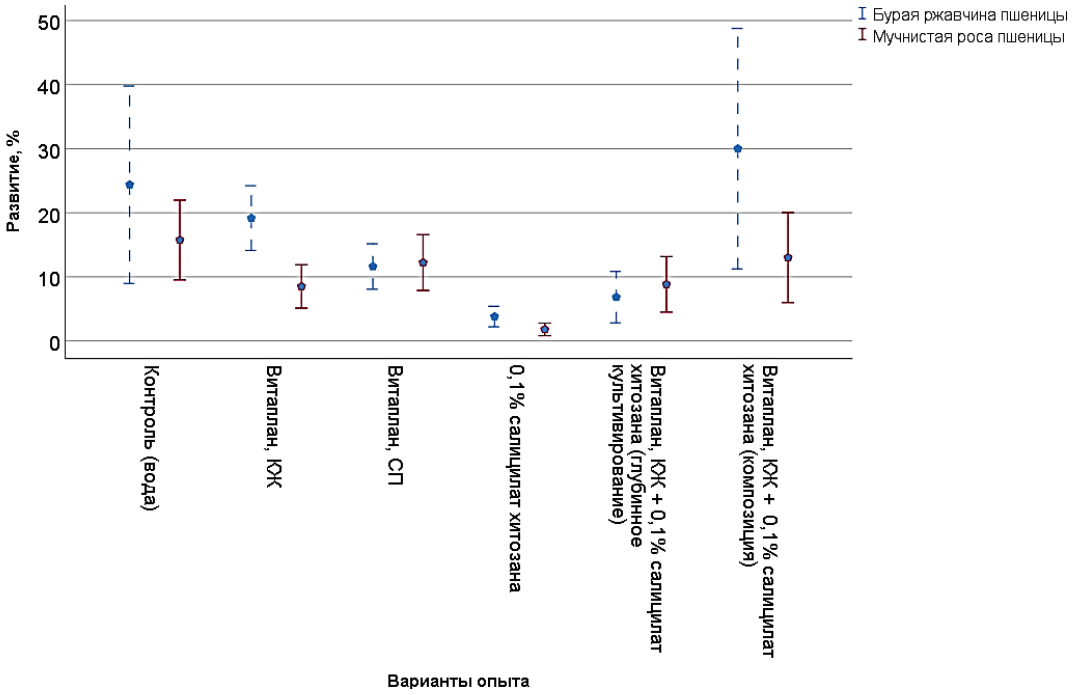


Рис. 63 – Изменение интенсивности развития бурой и желтой ржавчины при применении микробиологических препаратов, полифункциональных комплексов и 0,1% салицилата хитозана. 2021 г.

Максимальный рост массы зерен в колоске колоса на 24,4% выявлен при применении полифункционального комплекса «Витаплан, КЖ + 0,1% салицилат хитозана (композиция)» – рис. 64. Развитие мучнистой росы, бурой ржавчины и корневой гнили в данном варианте опыта снизилось незначительно – на 1,7%, 0,8% и 10,5%, соответственно.

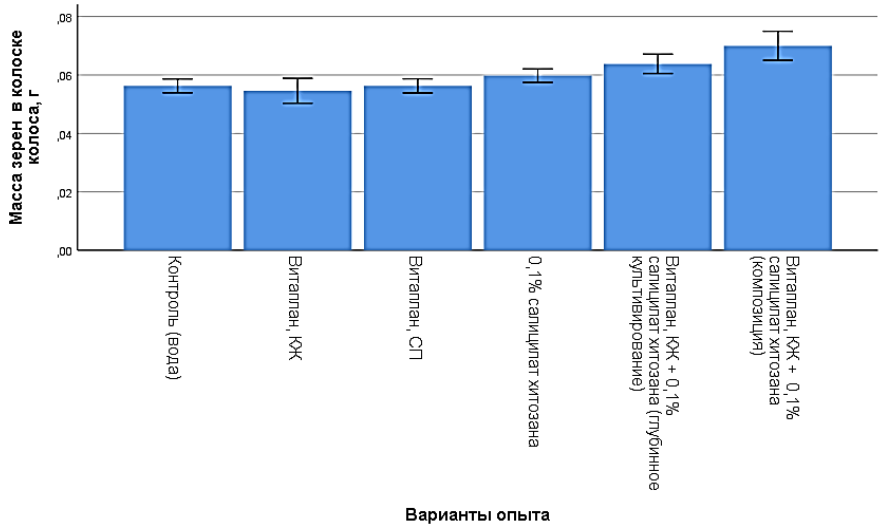


Рис. 64 – Изменение массы зерен в колоске колоса при применении микробиологических препаратов, полифункциональных комплексов и 0,1% салицилата хитозана. 2021 г.

Минимальное число пустых колосков в колосе зафиксировано в варианте «Витаплан, КЖ + 0,1% салицилат хитозана (глубинное культивирование)» – рис. 65.

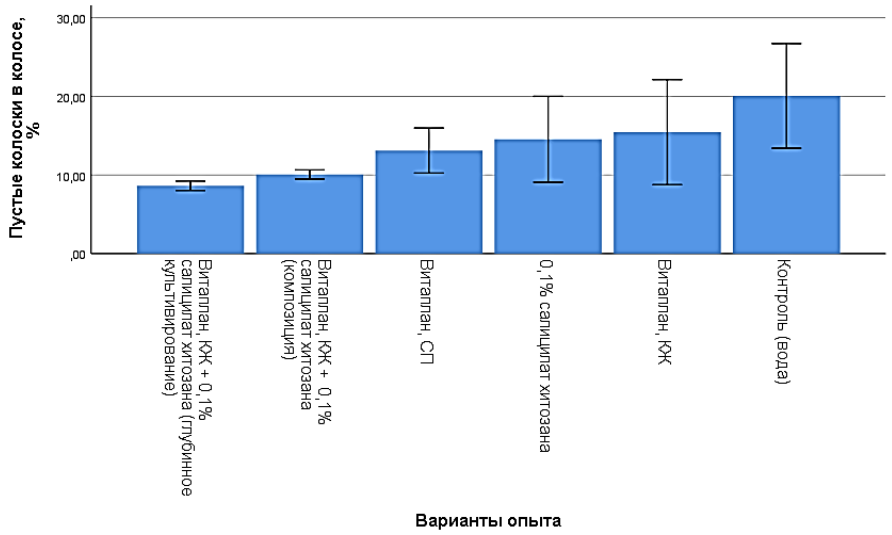


Рис. 65 – Изменение числа пустых колосков в колосе при применении микробиологических препаратов, полифункциональных комплексов и 0,1% салицилата хитозана. 2021 г.

Что, возможно, обусловлено снижением интенсивности поражения растений в 2021 г. по сравнению с контролем: корневой гнилью – на 15% (с 27,1% до 12,2%), бурой ржавчиной по развитию болезни – на 10,2% (с 21,4% до 11,2%), по числу пустул – на 44,3% (с 347,3 до 193,4 шт.), по площади пустулы – на 39,3% (с 0,11 до 0,07 мм^2) – рис. 66. Развитие мучнистой росы в данном варианте опыта снизилось на 6,1%,

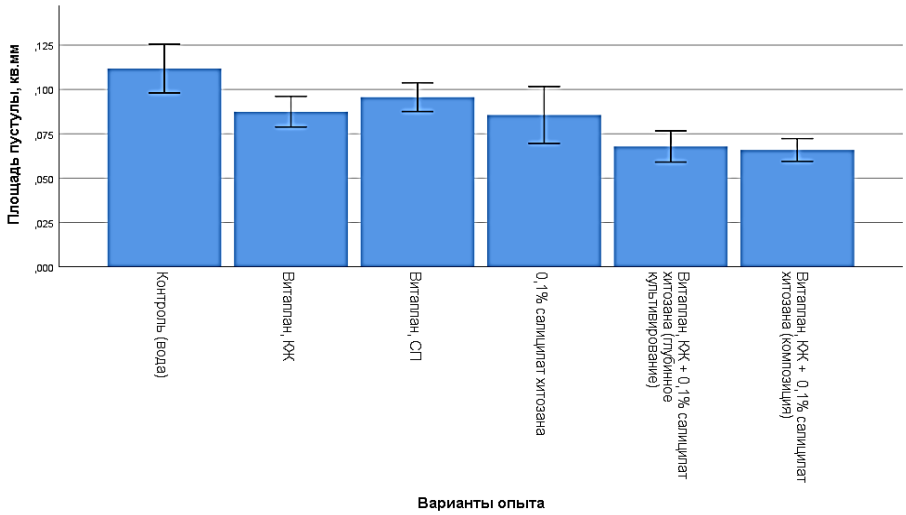


Рис. 66 – Изменение значений площади пустулы бурой ржавчины при применении микробиологических препаратов, полифункциональных комплексов и 0,1% салицилата хитозана. 2021 г.

Ранжирование полифункциональных комплексов и 0,1% салицилата хитозана в порядке снижения интенсивности поражения мучнистой росой предфлаговых листьев пшеницы (таблица 6П.2, приложение 6) было следующее:

– «0,1% салицилат хитозана» – биологическая эффективность 95,0%. Развитие болезни достоверно снизилось на 82,4 % (с 33,4% до 1,7%, 2020-2021 гг.), число пятен с налетом – на 82,5% (с 18,1 до 3,2 шт.), площадь пятен с налетом недостоверно уменьшилась на 47,3% (с 2,2 до 1,2 мм^2);
– полифункциональный комплекс «Витаплан, КЖ + 0,1% салицилат хитозана (глубинное культивирование)» – 75,2%. Развитие болезни достоверно снизилось на 25,1 % (с 33,4% до 8,3%, 2020-2021 гг.), число пятен с налетом – на 43,4% (с 18,1 до 10,2 шт.), площадь пятна с налетом недостоверно увеличилась на 14,1% (с 2,2 до 2,5 мм^2);
– полифункциональный комплекс Витаплан, КЖ + 0,1% салицилат хитозана (композиция) – 62,2%. Развитие болезни достоверно снизилось на 20,8 % (с 33,4% до 12,6%, 2020-2021 гг.). Недостоверно увеличилось число пятен с налетом – на 16,1% (с 18,1 до 21,0 шт.) и значения площади пятна с налетом – на 28,1% (с 2,2 до 2,8 мм^2).

Не выявлено существенного влияния на отдельные показатели патогенеза пшеницы, формируемые при поражении растений мучнистой росой, следующих микробиологических препаратов, комплексов на основе хитозана, полифункциональных комплексов:

– комплекс на основе хитозана «Хитозан II» – биологическая эффективность 81,8%. Развитие болезни снизилось существенно на 4,5% (с 5,5 % до 1,0 %, 2016-2017 г.), число пятен с налетом недостоверно – на 65,0% (с 7,6 до 2,7 шт.), площадь пятен с налетом на 62,1% (с 1,5 до 0,6 мм^2);
– Полифункциональный комплекс «Витаплан, КС +Хитозан II» – 50,0%. Развитие болезни недостоверно снизилось на 1% (с 2,0% до 1,0%, 2018

г.), число пятен с налетом – на 66,7% (с 13,9 до 15,5 шт.), однако площадь пятен с налетом достоверно уменьшилась на 61,1% (с 14,1 до 5,5 мм^2)

– Гамаир, СП биологический фунгицид – биологическая эффективность 46,7%. Развитие болезни снизилось несущественно на 4,7% (с 10,0% до 5,3%, 2016 г.), число пятен с налетом– на 53,7% (с 12,3 до 5,7 шт.). При этом в данном варианте опыта варианте опыта отмечено достоверное увеличение площади пятен с налетом на 189,8% (с 2,1 до 6,0 мм^2);
– «Витаплан, КЖ» стимулятор роста растений, биофунгицид – 33,1%. Развитие болезни снизилось несущественно на 6,5% (с 19,7% до 13,2%, 2016-2021 гг.), число пятен с налетом– на 1,2% (с 18,3 до 18,5 шт.). При этом в данном варианте опыта отмечено достоверное снижение площади пятен с налетом на 50,4% (с 3,8 до 1,9 мм^2);
– «Витаплан, СП» биофунгицид – 24,7%. Развитие болезни снизилось несущественно на 24,7% (с 19,5 % до 14,7 %, 2017-2021 г.), число пятен с налетом недостоверно увеличилось – на 11,5% (с 13,9 до 15,5 шт.), площадь пятен с налетом снизилась на 25,8% (с 4,9 до 3,7 мм^2);
– полифункциональный комплекс «Витаплан, КЖ + 0,1% Хитозан» – 23,6%. Развитие болезни недостоверно снизилось на 6,5 % (с 27,5% до 21,0%, 2019 г.), число пятен с налетом – на 14,0% (с 27,3 до 23,5 шт.), однако площадь пятен с налетом достоверно уменьшилась на 39,0% (с 5,5 до 3,3 мм^2);
– Полифункциональный комплекс «Витаплан, КЖ и Хитозан II» – 13,5%. Развитие болезни снизилось несущественно на 0,6% (с 4,3 % до 3,8 %, 2016-2018 гг.), число пятен с налетом – на 9,6% (с 6,1 до 5,5 шт.). При этом в данном варианте опыта отмечено достоверное снижение площади пятен с налетом на 55,7% (с 5,7 до 2,5 мм^2);
– полифункциональный комплекс «Витаплан, КЖ + коллоидный хитин (0,1%) + 0,1% Хитозан» – 12,7%. Развитие болезни недостоверно снизилось на 3,5 % (с 27,5% до 24,0%, 2019 г.), число пятен с налетом –

на 4,3% (с 27,3 до 26,2 шт.), однако площадь пятен с налетом достоверно уменьшилась на 44,9% (с 5,5 до 3,1 мм^2);

– комплекс на основе хитозана «Хитозан I» – 10,0%. Развитие болезни снизилось несущественно – на 1,0% (с 10,0 % до 9,0 %, 2016 г.), число пятен с налетом– на 37,4% (с 12,3 до 7,7 шт.), площадь пятен с налетом на 5,8% (с 2,1 до 1,9 мм^2);

Коме того, по данным 2019 г. было установлено, что при использовании полифункционального комплекса «Витаплан, КЖ + коллоидный хитин (0,1%) + 0,1% Хитозан» биологическая эффективность в отношении развития мучнистой росы была отрицательной. В варианте опыта развитие болезни незначительно увеличилось по сравнению с контролем – на 6,7% (с 27,5% до 34,2%), число пятен с налетом – на 27,9% (с 27,3 до 35,0 шт.), площадь пятен с налетом несущественно уменьшилась – на 25,3% (с 5,5 до 4,1 мм^2).

Ранжирование полифункциональных комплексов и 0,1% салицилата хитозана в порядке снижения интенсивности поражения бурой ржавчиной флаговых листьев пшеницы с использованием формулы Аббота для расчета биологической эффективности биопрепаратов, достоверности различий между показателями патогенеза по критерию Стьюдента при $P<0,05$, экономического порога вредоносности микромицета (15% - в контроле, без обработки) было следующее:

– полифункциональный комплекс «Витаплан, КЖ + 0,1% Хитозан» – 70,2%. Развитие болезни статистически достоверно снизилось на 20,6% (с 29,3 % до 8,7 %, 2019 г.), число пустул на лист – на 82,2% (с 235,2 до 42,0 шт.), несущественно снизились значения площади пустулы – на 0,2% (0,12997 до 0,12975 мм^2);

– «0,1% салицилат хитозана» – 55,1%. Развитие болезни статистически достоверно снизилось на 11,8% (с 21,4 % до 9,7 %, 2020-2021 гг.), число пустул на лист – на 59,1% (с 347,3 до 141,9 шт.), несущественно снизились значения площади пустулы – на 23,4% (0,11182 до 0,08562 мм^2);

– полифункциональный комплекс «Витаплан, КЖ+коллоидный хитин (0,1%)» – 50,9%. Развитие болезни статистически достоверно снизилось на 14,9% (с 29,3 % до 14,4 %, 2019 г.), несущественно уменьшилась величины числа пустул на лист – на 38,8% (с 235,2 до 144,0 шт.) и значения площади пустулы – на 1,6% (0,12997 до 0,127944 мм^2);
– полифункциональный комплекс «Витаплан, КЖ + 0,1% салицилат хитозана (глубинное культивирование)» – 47,7%. Развитие болезни статистически достоверно снизилось на 10,2% (с 21,4 % до 11,2 %, 2020-2021 гг.), число пустул на лист – на 44,3% (с 347,3 до 163,4 шт.), существенно уменьшились значения площади пустулы – на 39,3% (0,11182 до 0,06785 мм^2).

Развитие бурой ржавчины пшеницы недостоверно снизилось по сравнению с контролем в следующих вариантах опыта: «Хитозан I» – на 17,4 % (с 20,0 % до 2,6 %, биологическая эффективность БЭ$_б$=87,0%, 2016 г.); «Хитозан II» – на 14,0 % (с 20,2 % до 6,1 %, БЭ$_б$=69,5%, 2016-2017 гг.); «Витаплан, КЖ и Хитозан II» – на 10,7% (с 15,5 % до 4,8 %, БЭ$_б$=68,9%, 2016-2021 гг.); «Витаплан, СП» – на 6,8% (с 19,3 % до 12,4 %, БЭ$_б$=35,6%, 2017-2021 гг.); «Витаплан, КС +Хитозан II» – на 2,1% (с 6,2 % до 4,1 %, БЭ$_б$=34,1%, 2018 г.); «Витаплан, КЖ» – на 6,2% (с 21,4 % до 14,9 %, БЭ$_б$=29,3%, 2016-2021 гг.); «Витаплан, КЖ + коллоидный хитин (0,1%) + 0,1% Хитозан» – на 5,6% (с 29,3 % до 23,7%, БЭ$_б$=19,0%, 2019 г.). Несущественное усиление интенсивности развития бурой ржавчины – на 10%, было выявлено в варианте «Гамаир, СП» (с 20% до 30%, 2016 г.). При этом значения площади пустулы бурой ржавчины на флаговых листьях пшеницы были существенно меньше по сравнению с контролем в вариантах опыта: «Витаплан, КЖ» – на 19,3% (с 0,11303 до 0,091209 мм^2, 2016-2021 гг.), «Витаплан, КС +Хитозан II» – на 43,0 % (с 0,08798 до 0,05016 мм^2, 2018 г.).

Ранжирование полифункциональных комплексов и 0,1% салицилата хитозана в порядке снижения интенсивности поражения желтой ржавчиной флаговых листьев пшеницы с использованием формулы Аббота для расчета

биологической эффективности биопрепаратов, достоверности различий между показателями патогенеза по критерию Стьюдента при P<0,05, экономического порога вредоносности микромицета (15% - в контроле, без обработки) было следующее:

- полифункциональный комплекс «Витаплан, КЖ + 0,1% салицилат хитозана (композиция) – 80,7%. Развитие болезни статистически достоверно снизилось на 27,8% (с 49,3 % до 9,5 %, 2020-2022 гг.), число полос с пустулами – на 55,6 % (с 12,5 до 5,5 шт.), длина полосы с пустулами – на 56,0 % (с 74,7 до 32,9 мм), число пустул в полосе – на 73,0 % (с 179,5 до 48,4 шт.), суммарное число пустул – на 36,3 % (с 759,9 до 484,5 шт.).
- «0,1% салицилат хитозана» – 59,0%. Развитие болезни статистически достоверно снизилось на 29,1% (с 49,3 % до 20,2 %, 2020-2022 гг.), число полос с пустулами – на 40,8 % (с 12,5 до 7,4 шт.), число пустул в полосе – на 47,1 % (с 179,5 до 94,9 шт.);
- полифункциональный комплекс «Витаплан, КЖ + 0,1% салицилат хитозана (глубинное культивирование) – 56,3%. Развитие болезни статистически достоверно снизилось на 27,8% (с 49,3 % до 21,5 %, 2020-2022 гг.), число полос с пустулами – на 46,1 % (с 12,5 до 6,5 шт.), длина полосы с пустулами – на 49,1 % (с 74,7 до 38,0 мм), число пустул в полосе – на 51,3 % (с 179,5 до 87,5 шт.);
- полифункциональный комплекс «Витаплан, КЖ + коллоидный хитин (0,1%) + 0,1% Хитозан» – 55,4%. Развитие болезни статистически достоверно снизилось на 13,4% (с 24,2 % до 10,8 %, 2019 г.), число полос с пустулами – на 34,9 % (с 6,9 до 4,5 шт.), суммарное число пустул – на 55,3 % (с 1200,9 до 536,6 шт.), площадь пустулы – на 22,8% (с 0,11566 до 0,08933 мм^2);

Не выявлено симптомов развития желтой ржавчины в вариантах опыта «Гамаир, СП» и «Хитозан I», однако развитие болезни в контрольном варианте было недостаточно для оценки эффективности биопрепарата – 2% (2016 г.).

Недостоверно снизилось развитие болезни в следующих вариантах опыта: «Витаплан, КС +Хитозан II» – на 7,2% (с 9,5% до 2,3%, $БЭ_ж$=75,4%, 2018 г.); «Витаплан, КЖ + 0,1% Хитозан» – на 9,7% (с 24,2% до 14,4%, $БЭ_ж$=40,5%, 2019 г.); «Витаплан, КЖ+коллоидный хитин (0,1%)» – на 11,4% (с 24,2% до 12,8%, $БЭ_ж$=47,0%, 2019 г.); «Витаплан, СП» – на 6,4% (с 21,7% до 15,4%, $БЭ_ж$=29,2%, 2017-2021 гг.); «Витаплан, КЖ» – на 6,1% (с 22,1% до 16,1%, $БЭ_ж$=27,4%, 2016-2021 гг.). Развитие желтой ржавчины незначительно усилилось по сравнению с контролем в вариантах «Витаплан, КЖ и Хитозан II» – на 0,12% (с 5,2% до 5,3%, 2016-2018 гг.); «Хитозан II» – на 3,9% (с 3,1% до 7,0%, 2016-2017 гг.).

Ранжирование полифункциональных комплексов и 0,1% салицилата хитозана в порядке снижения интенсивности поражения пшеницы септориозом с использованием формулы Аббота для расчета биологической эффективности биопрепаратов, достоверности различий между показателями патогенеза по критерию Стьюдента (при $P<0,05$), экономического порога вредоносности микромицета (15% - в контроле, без обработки) было следующее:

- Полифункциональный комплекс «Витаплан, КЖ + коллоидный хитин (0,1%) + 0,1% Хитозан» – 100%. Не выявлено симптомом проявления болезни, в то время как в контроле развитие болезни составило 44,4% (2019 г.);
- «0,1% салицилат хитозана» – 100%. Не выявлено симптомов проявления болезни, в то время как в контроле развитие болезни составило 81,3% (2020-2021 гг.);
- комплекс на основе хитозана «Хитозан I» – 96,4%. Развитие болезни существенно снизилось – на 80,6% по сравнению с контролем (с 27,5% до 1,60%, 2016 г.);
- комплекс на основе хитозана «Хитозан II» – 86,2%. Развитие болезни существенно снизилось – на 24,9% по сравнению с контролем (с 28,9% до 4, 0%, 2016-2017 гг.);

- Полифункциональный комплекс «Витаплан, КЖ + 0,1% Хитозан» – 80,6%. Развитие болезни существенно снизилось – на 80,6% по сравнению с контролем (с 44,4% до 8,6%, 2019 г.);
- «Витаплан, КЖ» стимулятор роста растений, биофунгицид – 74,1%. Развитие болезни существенно снизилось – на 74,1% по сравнению с контролем (с 36,6% до 9,5%, 2016-2021 гг.);
- Полифункциональный комплекс «Витаплан, КЖ + 0,1% салицилат хитозана (глубинное культивирование)» – 71,3%. Развитие болезни существенно снизилось – на 71,3% по сравнению с контролем (с 81,3% до 11,7%, 2020-2021 гг.);
- Полифункциональный комплекс «Витаплан, КЖ + 0,1% салицилат хитозана (композиция)» – 56,9%. Развитие болезни существенно снизилось – на 56,9% по сравнению с контролем (с 81,3% до 17,5%, 2020-2021 гг.);
- Полифункциональный комплекс «Витаплан, КЖ+коллоидный хитин (0,1%)» – 54,9%. Развитие болезни существенно снизилось – на 54,9% по сравнению с контролем (с 44,4% до 20,0%, 2019 г.);
- «Гамаир, СП» биологический фунгицид для подавления возбудителей бактериальных и грибных заболеваний – 22,5%. Развитие болезни существенно снизилось – на 22,5% по сравнению с контролем (с 27,5% до 5,0%, 2016 г.).

Несущественно снизилось развитие септориоза по сравнению с контролем в вариантах опыта: «Витаплан, КЖ и Хитозан II» – на 29,4% (с 36,3% до 15,9%, $БЭ_ж$=93,6%, 2016-2018 гг.); «Витаплан, КС +Хитозан II» – на 56,2% (с 36,3% до 15,9%, $БЭ_ж$=56,2%, 2018 г.); «Витаплан, СП» – на 8,1% (с 38,4% до 30,3%, $БЭ_ж$=21,1%, 2017-2021 г.);

Ранжирование полифункциональных комплексов и 0,1% салицилата хитозана в порядке снижения интенсивности поражения пшеницы корневой гнилью с использованием формулы Аббота для расчета биологической эффективности биопрепаратов, достоверности различий между показателями

патогенеза по критерию Стьюдента при P<0,05, экономического порога вредоносности микромицета (15% - в контроле, без обработки) было следующее:

- «Гамаир, СП» биологический фунгицид для подавления возбудителей бактериальных и грибных заболеваний – 77,8%. Развитие корневой гнили существенно снизилось на 23,3% по сравнению с контролем (с 30,0% до 6,7%, $БЭ_г$= 77,8%, 2016 г.).
- «Витаплан, КЖ» стимулятор роста растений, биофунгицид – 42,8%. Развитие корневой гнили существенно снизилось – на 13,1% по сравнению с контролем (с 30,6% до 17,5%, $БЭ_г$= 42,8%, 2016-2021 гг.).
- полифункциональный комплекс «Витаплан, КЖ и Хитозан II» – 60,4%. Развитие корневой гнили существенно снизилось – на 22,7% по сравнению с контролем (с 37,6% до 14,9%, $БЭ_г$= 60,4%, 2016-2021 гг.).
- полифункциональный комплекс «Витаплан, КС +Хитозан II» – 33,1%. Развитие корневой гнили существенно снизилось – на 14,0% по сравнению с контролем (с 42,3% до 28,3%, $БЭ_г$= 33,1%, 2018 г.).
- полифункциональный комплекс «Витаплан, КЖ + коллоидный хитин (0,1%) + 0,1% Хитозан» – 57,1%. Развитие корневой гнили существенно снизилось – на 22,0 % по сравнению с контролем (с 38,9% до 16,7%, $БЭ_г$= 57,1%, 2019 г.).
- полифункциональный комплекс «Витаплан, КЖ + 0,1% Хитозан» – 78,6%. Развитие корневой гнили существенно снизилось – на 30,6 % по сравнению с контролем (с 38,9% до 8,3%, $БЭ_г$= 78,6%, 2019 г.).

Незначительно усилилось поражение растений возбудителем корневой гнили по сравнению с контролем в вариантах опыта: «Хитозан I» – на 6,7% (с 30,0% до 36,7%, 2016 г.); «Хитозан II» – на 0,9% (с 35,3% до 36,1%, 2016-2017 гг.). Степень поражения болезнью недостоверно уменьшилась при применении «0,1% салицилат хитозана» – на 12,9% (с 21,2 % до 8,3%, $БЭ_г$= 61,0%, 2020-2021 гг.); «Витаплан, КЖ + 0,1% салицилат хитозана (глубинное культивирование)» – на 12,9% (с 21,2 % до 8,3%, $БЭ_г$= 61,0%, 2020-2021 гг.);

«Витаплан, КЖ+коллоидный хитин (0,1%)» – на 13,9% (с 38,9 % до 25,0%, $БЭ_г$= 36,7%, 2019 г.); «Витаплан, СП» – на 10,2% (с 32,8% до 22,7%, $БЭ_г$= 30,9%, 2017-2022 гг.); «Витаплан, КЖ + 0,1% салицилат хитозана (глубинное культивирование)» – на 23,5% (с 21,2 % до 16,2%, $БЭ_г$= 23,5%, 2020-2021 гг.); «Витаплан, КЖ + 0,1% салицилат хитозана (композиция)» – на 0,4% (с 21,2 % до 20,8%, $БЭ_г$= 1,8%, 2020-2021 гг.).

Ниже представлены данные о сравнительной оценке эффективности микробиологических препаратов, композиций на основе хитозана как в отношении структуры продуктивности, урожайности пшеницы, так и снижения интенсивности поражения растений возбудителями болезней.

«Гамаир, СП» – биологический фунгицид для подавления возбудителей бактериальных и грибных заболеваний. Обработка пшеницы биопрепаратом «Гамаир, СП» в 2016 г. приводила к достоверному увеличению при $P<0,05$ числа корней (на 31,9%), длины корней (на 44,2%), массы вегетативной части (на 52,0%), числа колосков в колосе (на 24,9%) по сравнению с контролем. Выявлено существенное снижение длины узловых корней (на 32,3%), массы зерен одного колоса (на 25,0%), потенциальной урожайности одного растения (на 25,0%).

Расчетная урожайность в варианте «Гамаир, СП» незначительно снизилась – с 1,86 т/га до 1,39 т/га (на 25,0%), что, возможно, было связано со статистически достоверно большей площадью пятен мучнистой росы в указанном варианте опыта по сравнению с контролем (увеличилась на 189,8%, с 2,06 до 6,0 $мм^2$). Кроме того, выявлено большее число пустул бурой ржавчины на флаговых листьях пшеницы при применении «Гамаир, СП» – на 176,0% (с 156,8 до 432,9 шт.), однако по интенсивности развития и значениям площади пустулы бурой ржавчины существенных изменений выявлено не было. Обработка растений биопрепаратом «Гамаир, СП» определяла снижение корневой гнили на 23,3% (с 30 до 6,7%) и септориоза на 71,4% (с 17,5% до 5%). Развитие желтой ржавчины в варианте опыта «Гамаир, СП» выявлено не было, а в контроле оно было незначительно (развитие $R_ж$=2,0±1,0%; число полос с

пустулами $N_{п.п.ж}$=2,0±1,0 шт.; длина полосы желтой ржавчины $L_{п.ж}$=27,0±2,8 мм; число пустул в полосе $N_{п.ж}$=17,8±4,7 шт.).

«Витаплан, СП» – биофунгицид. В среднем, за период 2017-2021 биопрепарат не оказал существенного влияния при P<0,05 на продуктивность и интенсивность развития болезней пшеницы по сравнению с контролем. Однако по годам исследования выявлены достоверные различия в эффективности биопрепарата при возделывании пшеницы. Обработка растений биопрепаратом способствовала увеличению по сравнению с контролем:

- в 2017 г. продуктивной кустистости на 36,2%, длины колоса на 13,7%, площади флагового листа на 121,6% и предфлагового листа на 53,9%, массы вегетативной части растений на 77,4%, числа колосков в колосе, числа зерен в колосе на 10,1%, массы зерен одного колоса на 16,3%, урожайности одного растения на 34,8%, расчетной урожайности на 34,8%;
- в 2018 г. длины корней на 21,6% и числа узловых корней на 30,0 %;
- в 2019 г. массы корней на 61,6%;
- в 2021 г. урожайности одного растения и расчетной урожайности на 58,0%;

В 2017 г. зарегистрирована наибольшая эффективность биопрепарата в отношении элементов продуктивности пшеницы и снижения развития корневой гнили (на 19,5%, с 40,5% в контроле до 21,0%). В 2019 г. интенсивность развития бурой ржавчин существенно снизилась – на 17,2%, развитие желтой ржавчины – на 21,9%, число полос с пустулами – на 58,2%, длина полос с пустулами – на 29,3% (2018 г. – на 55,5%), число пустул в полосе – на 52,2 % (2018 г. – на 59,2%), число пустул на лист – на 85,1%, развитие корневой гнили – на 23,1%. В 2020 г. применение «Витаплана, СП» определяло существенное снижение интенсивности поражения растений септориозомна 69,3%, мучнистой росой по комплексу показателей: развитие болезни – на 52,5%, числа пятен с налетом – на 90,3%, площади пятен с налетом – на 83,4%, а в 2018 г. – по площади пятен с налетом на 43,3%.

«Витаплан, КЖ» – стимулятор роста растений, биофунгицид. Обработка растений биопрепаратом, в среднем, за период 2016-2021 гг. обуславливала достоверное увеличение урожайности одного растения на 70,2% (с 1,77 до 3,0 г/растение). Возможно, данная тенденция была обусловлена ростом по сравнению с контролем числа корней на 11,1%, длины корней на 15,2%, продуктивной кустистости на 41,6%, общей кустистости на 23,5%, площади предфлагового листа на 12,05%, массы колоса на 13,01%, массы вегетативной части на 12,5%, числа зерен в колосе на 8,74%. В варианте «Витаплан, КЖ» выявлено снижение развития корневой гнили на 13,1%, значений площади пятна с налетом мучнистой росы – на 50,4% (с 3,82 мм^2 до 1,9 мм^2) и площади пустулы бурой ржавчины – на 19,3% (с 0,11 мм^2 до 0,09 мм^2), развития септориоза – на 80,5% (с 48,6% до 9,5%). Степень поражения растений желтой ржавчиной в указанном варианте опыта снизилась незначительно на 6,1% (с 22,1% до 16,1%).

Комплекс на основе хитозана «Хитозан I». В 2016 г. в данном варианте опыта выявлен рост урожайности пшеницы одного растения на 19,0% (с 0,93 до 1,10 г/ растение). Отмечено сокращение периода созревания пшеницы по фазе онтогенеза на 14,02%, увеличение числа колосков в колосе на 24,8%, массы колоса на 62,6% по сравнению с контролем. Обработка растений хитозановым комплексом «Хитозан I» приводила к существенному снижению при $P<0,05$ септориоза на флаговых листьях на 94,3% (с 17,5% до 1,0%) и на предфлаговых листьях на 89,1% (с 27,5% до 3,0%). В варианте «Хитозан I» определено незначительное увеличение развития корневой гнили на 6,7% по сравнению с контролем.

Комплекс на основе хитозана «Хитозан II». За период 2016-2017 гг., в среднем, урожайность в данном варианте опыта по сравнению с контролем выросла на 36,2% (с 1,19 до 1,63 г/растение), кроме того, зарегистрировано существенное сокращение периода созревания пшеницы по фазе онтогенеза на 18,6%, увеличение массы вегетативной части растений на 60,9%, числа зерен в колосе на 16,3%, массы зерен одного колоса на 24,9%, массы 1000 зерен на 15,9%. Обработка растений хитозановым комплексом обуславливала снижение развития септориоза: достоверно на флаговых листьях на 69,2% (с 17,5% до

4,0%) и несущественно – на предфлаговых листьях на 68,0% (с 28,9% до 9,25%). Степень поражения растений бурой и желтой ржавчиной, корневой гнилью в указанном варианте опыта изменилась незначительно.

«0,1% салицилат хитозана». За период 2020-2021 гг. в данном варианте опыта по сравнению с контролем урожайность пшеницы выросла на 97,4% (с 2,08 до 4,11 г/растение). У растений отмечено существенное увеличение длины колоса на 7,4%, числа колосков в колосе на 7,9%, числа зерен в колосе на 15,7%, массы зерен одного колоса на 22,8%. Число зерен в колоске колоса выросло на 16,8% (с 2,4 до 2,8 шт.). Вес зерен в колоске колоса увеличился незначительно (на 6,2%), пустых колосков в колосе стало меньше на 27,5%. В данном варианте опыта определено снижение степени поражения растений мучнистой росой на 31,8%, число пятен с налетом снизилось на 82,5% (с 18,1 до 3,2 шт.). Установлено снижение поражения растений бурой ржавчиной по развитию болезни на 11,8% (с 21,4% до 9,6%) и по числу пустул на 59,1% (с 347,3 до 141,9 шт.). В данном варианте опыта не выявлено симптомов септориозно-септориоза, тогда как в контроле было 81,3%. Существенное влияние 0,1% салицилат хитозана оказал на снижение развития желтой ржавчины по сравнению с контролем: развития болезни – на 29,1% (с 49,3% до 20,2%), числа полос с пустулами – на 40,8% (с 12,5 до 7,4 шт.), числа пустул в полосе – на 47,1% (с 179,5 до 94,9 шт.). Развитие корневой гнили в данном варианте снизилось незначительно – на 12,9%.

Полифункциональный комплекс «Витаплан, КЖ и Хитозан II». За период 2016-2018 гг. было установлено, что урожайность пшеницы в данном варианте опыта выросла на 120,9% (с 1,17 до 2,58 г/растение). Возможно, данная тенденция была обусловлена статистически достоверным увеличением значений полевой всхожести семян на 31,0%, продуктивной кустистости на 81,6% (с 1,23 до 2,10 шт.), общей кустистости на 29,8% (с 2,86 до 3,53 шт.). В данном варианте зафиксирована меньшая пораженность растений корневой гнилью на 22,7% и септориоза на 88,6% (с 17,5% до 2,0%).

Полифункциональный комплекс «Витаплан, КС +Хитозан II». За период 2018 г. было установлено, что урожайность пшеницы в данном варианте опыта снизилась по сравнению с контролем на 16,4% (с 1,12 до 0,93 г/растение).

Отмечено снижение у растений длины корней на 13,6%, числа колосков в колосе на 6,7%, площади предфлагового листа на 20,7%, массы корней на 29,1%, числа колосков в колосе на 6,2%. При этом полевая всхожесть в варианте «Витаплан, КС +Хитозан II» увеличилась на 18,2%. Растения отличались меньшей степенью поражения корневой гнилью – на 14,0%, меньшими значениями площади пятна с налетом мучнистой росы – на 61,1% (с 14,13 мм^2 до 5,5 мм^2) и площади пустулы бурой ржавчины – на 43,0% (с 0,09 мм^2 до 0,05 мм^2). Развитие септориоза и желтой ржавчины на предфлаговых листьях недостоверно снизилось на 56,1% и 7,2%, соответственно.

Полифункциональный комплекс «Витаплан, КЖ + коллоидный хитин (0,1%) + 0,1% Хитозан». За период 2019 г. в данном варианте опыта урожайность пшеницы выросла на 50,26% по сравнению с контролем (с 2,15 до 3,23 г/растение), что могло быть обусловлено увеличением длины корней на 30,9%, числа узловых корней на 25%, длины узловых корней на 18,6%, продуктивной кустистости на 32,3%, общей кустистости на 74,4%, площади предфлагового листа на 19,4%, массы колоса на 51,9%, массы вегетативной части на 30,4%. В варианте опыта не было отмечено симптомов септориоза, тогда как в контроле развитие болезни составило 44,4%. Кроме того, выявлено снижение развития корневой гнили – на 22,2%, степени поражения растений желтой ржавчиной по комплексу показателей: развитие болезни – на 13,4% (с 24,2% до 10,8%), число полос с пустулами – на 34,9% (с 6,9 до 4,5 шт.), суммарное число пустул на лист– на 55,3% (с 1200,9 до 536,6 шт.), площадь пустулы – на 22,8% (с 0,12 до 0,09 мм^2). Существенного влияния полифункционального комплекса на развитие мучнистой росы и бурой ржавчины выявлено не было.

Полифункциональный комплекс «Витаплан, КЖ+коллоидный хитин (0,1%)». В 2019 г. в указанном варианте опыта урожайность пшеницы была больше на 24,2% (с 2,2 до 2,7 г/растение) по сравнению с контролем. Растения отличались большей длиной корней на 21,8%, числом узловых корней на 28,2%, площадью предфлагового листа на 41,7%, массой корней на 55,1%, массой колоса на 51,9%, массой вегетативной части на 30,4%. Существенно снизилась площадь пятен с налетом мучнистой росы – на 44,9% (с 5,5 до 3,0 мм^2), а степень

поражения растений и число пятен с налетом снизилась незначительно – на 3,5% и на 4,3%, соответственно. Отмечено статистически достоверное снижение развития бурой ржавчины на 14,9% (с 29,3% до 14,4%), септориоза на 54,9% (с 44,4% до 20%), снижение поражения растений жёлтой ржавчиной по числу полос на 44,7% (с 6,9 до 3,8 шт.). Развития корневой гнили снизилось незначительно на 13,9%.

Полифункциональный комплекс «Витаплан, КЖ + 0,1% Хитозан». В 2019 г. в указанном варианте опыта урожайность пшеницы была больше на 24,4% (с 2,2 до 2,7 г/растение) по сравнению с контролем. Растения пшеницы отличались большей длиной узловых корней на 49,2%, общей кустистостью на 56,4%, но меньшим числом колосков в колосе на 7,7%. На интенсивность развития мучнистой росы и число пятен с налетом полифункциональный комплекс влияние не оказывал, однако отмечено существенное снижение значения площади пятна с налетом – на 39,0%. Поражение растений бурой ржавчиной в указанном варианте опыта было значительно меньше по показателям: развитие болезни – на 20,6% (с 29,3% до 8,7%), число пустул - на 82,2% (с 235,2 до 42,0 шт.). Значения площади пустулы бурой ржавчины изменились по отношению к контролю незначительно (на 0,2%). Выявлено статистически достоверное снижение корневой гнили на 30,6%, септориоза на 80,6% (с 44,4% до 8,6%), желтой ржавчины по числу полос с пустулами на 37,8% (с 6,9 до 4,3 шт.).

Полифункциональный комплекс «Витаплан, КЖ + 0,1% салицилат хитозана (глубинное культивирование)». За период 2020-2021 гг. было установлено, что урожайность пшеницы в варианте опыта по сравнению с контролем выросла на 100,2% (с 2,2 до 4,2 г/растение). Возможно, указанная тенденция была обусловлена увеличением массы зерен одного колоса на 19,7%, числа зерен в колоске колоса на 9,7%. Выявлено снижение интенсивности развития мучнистой росы на 25,1% (с 33,4% до 8,3%), а также числа пятен с налетом на 43,4% (с 18,1% до 10,2%). Отмечено снижение поражения растений бурой ржавчиной: по развитию болезни – на 10,2% (с 21,4% до 11,2%), числу пустул на 44,3% (с 347,3 до 193,4 шт.) и площади пустулы на 39,3% (с 0,11 до 0,07 мм^2). В варианте опыта снизилось развитие септориоза на 85,6% (с 81,3%

до 11,7%), а также – поражение растений желтой ржавчиной по комплексу показателей: развитие болезни на 27,8% (с 49,3% до 21,5%), число полос с пустулами на 48,1% (с 12,5 до 6,5 шт.), длина полосы с пустулами на 49,1% (с 74,7 до 38,0 мм), число пустул в полосе на 51,3% (с 179,5 до 87,5 шт.). Развитие корневой гнили изменилось незначительно – на 5,0%.

Полифункциональный комплекс «Витаплан, КЖ + 0,1% салицилат хитозана (композиция)». За период 2020-2021 г. в этом варианте опыта урожайность пшеницы выросла по сравнению с контролем на 73,6% (с 2,2 до 3,6 г/растение). Растения отличались большей длиной колоса на 6,4%, числом зерен в колосе на 17,4%, массой зерен одного колоса на 21,8%, числом зерен в колоске колоса на 13,6% (с 2,4 до 2,7 шт.), массой зерен в колоске колоса на 24,4% (с 0,06 до 0,07 г.). Обработка растений полифункциональным комплексом приводила к снижению интенсивности развития мучнистой росы на 20,8% (с 33,42% до 12,6%). Развитие бурой ржавчины и число пустул на лист изменилось незначительно, однако выявлено существенное снижение площади пустулы микромицета на 41,1% (с 0,11 до 0,07 мм^2). В варианте опыта снизилось развитие септориоза на 78,5% (с 81,3% до 17,5%), а также поражение растений желтой ржавчиной по комплексу показателей: развитие болезни на 39,8% (с 49,3% до 9,5%), число полос с пустулами на 55,6% (с 12,5 до 5,5 шт.), длина полосы с пустулами на 56,0% (с 74,7 до 32,9 мм), число пустул в полосе на 73,0% (с 179,5 до 48,4 шт.), суммарное число пустул на лист на 36,3% (с 759,9 до 484,5 шт.). Развитие корневой гнили изменилось незначительно – на 0,4%.

Заключение. Наибольшая урожайность пшеницы была выявлена за период 2016-2021 гг. в вариантах опыта «Витаплан, КЖ + 0,1% салицилат хитозана (глубинное культивирование)» и «0,1% салицилат хитозана» – $Y_п$= 4,17±0,33 г/растений и 4,11±0,37 г/растений, что на 100,2% и 97,4% больше, чем средняя величина в контроле ($Y_п$=2,01±0,29 г/растений), соответственно. Максимальный рост урожайности пшеницы на 120,9% по сравнению с контролем выявлен при обработке растений полифункциональным комплексом «Витаплан, КЖ и Хитозан II» за период 2016-2018 гг. В отношении снижения поражения растений болезнями наибольшая биологическая эффективность выявлена при использовании «0,1% салицилата хитозана» (мучнистая роса

пшеницы, $БЭ_м$=95,0%), полифункциональных комплексов «Витаплан, КЖ + 0,1% Хитозан» (бурая ржавчина пшеницы, $БЭ_б$=70,2%**),** «Витаплан, КЖ + 0,1% салицилат хитозана (композиция)» (желтая ржавчина пшеницы, $БЭ_ж$=80,7%), «Витаплан, КЖ + коллоидный хитин (0,1%) + 0,1% Хитозан» и «0,1% салицилат хитозана» (септориоз, $БЭ_{сп}$=100%), биопрепарата «Гамаир, СП» (корневая гниль пшеницы, $БЭ_г$=77,8%). Наилучшими ростостимулирующими и защитными свойствами обладал полифункциональный комплекс «Витаплан, КЖ + 0,1% салицилат хитозана (глубинное культивирование)»**.** При его применении зарегистрировано существенное снижение интенсивности поражения растений возбудителями мучнистой росой, бурой и желтой ржавчиной.

4.1.2 Биологическая эффективность полифункциональных комплексов на основе штамма *Bacillus subtilis* И-5 и салицилата хитозана при возделывании пшеницы

В 2022 г. осуществлен сравнительный анализ эффективности: полифункционального комплекса «*B. subtilis* ВКМ B-2604D + ВКМ B-2605D + 0.1 % СХ», биопрепарата «Витаплан, СП», бактериальных штаммов *B. subtilis* ВКМ; *B. subtilis* B-2604D, *B. subtilis* ВКМ B-2605D, *B. subtilis* И-5, полифункционального комплекса «*B. subtilis* И-5 + 0.1 % СХ» (Novikova et al., 2024). В 2022 гг. во всех вариантах опыта с использованием микробиологических препаратов и полифункциональных комплексов отмечено существенное снижение интенсивности развития желтой ржавчины на посевах пшеницы (рис. 67).

В среднем по трем повторностям было установлено, что наибольшей биологической эффективностью в отношении болезни отличались полифункциональный комплекс «*B. subtilis* ВКМ B-2604D + ВКМ B-2605D + 0.1 % СХ», а также бактериальные штаммы *B. subtilis* ВКМ B-2604D, *B. subtilis* ВКМ B-2605D и биопрепарат «Витаплан, СП». В указанных вариантах опыта по сравнению с контролем развитие желтой ржавчины снизилось на 21-22% (БЭ=72-73%). При использовании полифункционального комплекса «*B. subtilis*

И-5 + 0.1 % СХ» развитие болезни снизилось на 18,5% относительно контроля (БЭ=62,7%), а в варианте опыта с *B. subtilis* И-5 – на 18,8% (БЭ=63,7%).

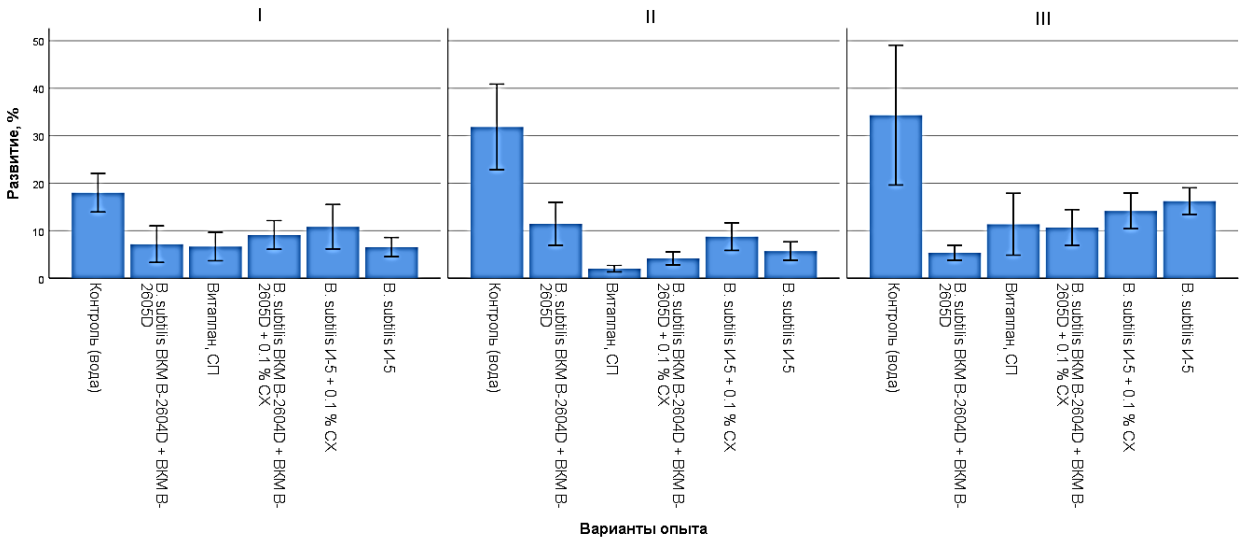


Рис. 67 – Интенсивность развития желтой ржавчины пшеницы при использовании бактериальных штаммов *B. subtilis* и полифункциональных комплексов с 0,1% салицилатом хитозана. 2022 г.

Минимальное значение числа полос желтой ржавчины на флаговом листе, $N_{пж}$= 3,31±0,41 шт. было выявлено в варианте опыта: «*B. subtilis* ВКМ B-2604D + ВКМ B-2605D», что на 76,2% меньше, чем в контроле ($N_{пж}$= 13,9±2,53 шт.). При использовании полифункционального комплекса «*B. subtilis* И-5 + 0.1 % СХ» число полос с пустулами желтой ржавчины снизилось на 66,6% относительно контроля. Наибольшее снижение длины полосы с пустулами желтой ржавчины было отмечено в варианте опыта «Витаплан, СП» (на 45,2%) и «*B. subtilis* ВКМ B-2604D + ВКМ B-2605D + 0.1 % СХ» (на 43,5%). При применении комплекса «*B. subtilis* И-5 + 0.1 % СХ», величина показателя снизилась по сравнению с контролем на 26,5%.

После применения биопрепарата «Витаплан, СП» и бактериальных штаммов *B. subtilis* ВКМ B-2604D + ВКМ B-2605D отмечено наибольшее снижение значений площади пустулы желтой ржавчины (рис. 68).

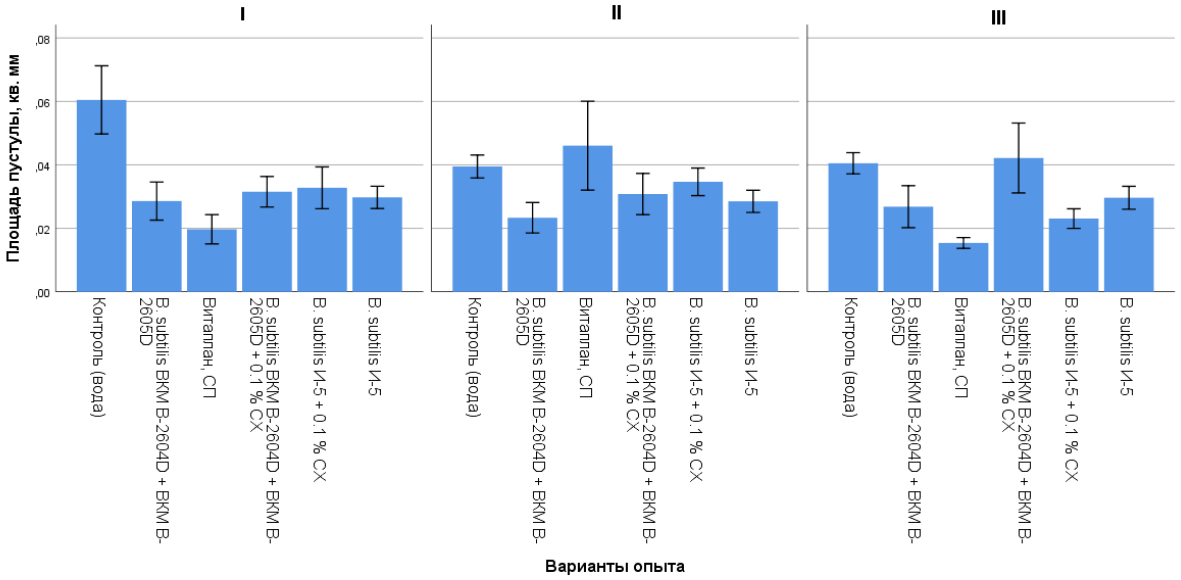


Рис. 68 – Площадь пустулы желтой ржавчины пшеницы при использовании бактериальных штаммов *B. subtilis* и полифункциональных комплексов с 0,1% салицилатом хитозана. 2022 г.

В данном варианте опыта изменение фитопатологического показателя составило 32-38%. В вариантах «*B. subtilis* ВКМ B-2604D + ВКМ B-2605D + 0.1 % СХ» – 12,8%, «*B. subtilis* И-5 + 0.1 % СХ» – 21,0%.

Определено существенно снижение развитие мучнистой росы во всех вариантах опыта при применении бактериальных штаммов и полифункциональных комплексов. Биологическая эффективность полифункциональных комплексов «*B. subtilis* ВКМ B-2604D + ВКМ B-2605D + 0.1 % СХ» и «*B. subtilis* И-5 + 0.1 % СХ» в отношении болезни составила 92,8%, а развитие болезни снизилось на 12,8%.

В наибольшей степени снизилось число пятен с налетом мучнистой росы – на 87-88%, а также их площадь – на 75-86,9% в вариантах опыта «*B. subtilis* ВКМ B-2604D + ВКМ B-2605D», «*B. subtilis* ВКМ B-2604D + ВКМ B-2605D + 0.1 % СХ», «*B. subtilis* И-5 + 0.1 % СХ».

Выявлена тенденция снижения интенсивности развития корневой гнили пшеницы в вариантах опыта: «Витаплан, КЖ» – на 5,9%; «*B. subtilis* И-5 + 0.1 % СХ» – на 7,7%; «B. *subtilis* ВКМ B-2604D + ВКМ B-2605D + 0.1 % СХ» – на 10,8%; *B. subtilis* И-5– на 11,3% (рис. 69).

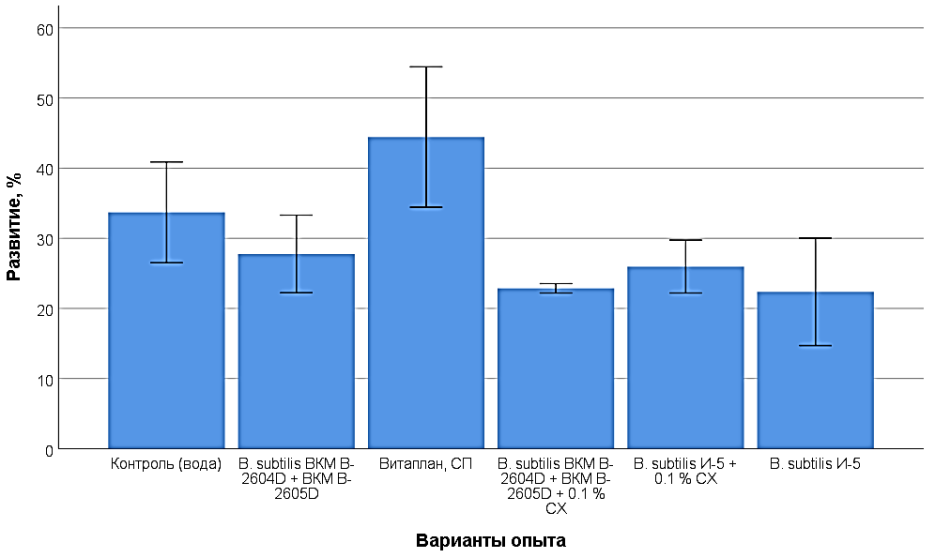


Рис. 69 – Развитие корневой гнили пшеницы при использовании бактериальных штаммов *B. subtilis* и полифункциональных комплексов с 0,1% салицилатом хитозана. 2022 г.

Снижение пораженности пшеницы болезнями при применении бактериальных штаммов *B. subtilis* и полифункциональных комплексов с 0,1% салицилатом хитозана оказало существенное влияние на рост биологической Y_b (рис. 70) и потенциальной урожайности Y_w (рис. 71), выраженных в граммах с растения и с единицы площади – в тоннах с гектара. В среднем по трем повторностям наибольший рост урожайности Y_b = 69-93% и Y_w = 86-92% по сравнению с контролем зарегистрирован в вариантах опыта с использованием полифункциональных комплексов: *B. subtilis* ВКМ B-2604D + ВКМ B-2605D + 0.1 % СХ», «*B. subtilis* И-5 + 0.1 % СХ», а также в варианте «B. *subtilis* И-5». При использовании биопрепарата «Витаплан, СП» увеличение урожайности составило: Y_b =42,7% и Y_w = 44,1%.

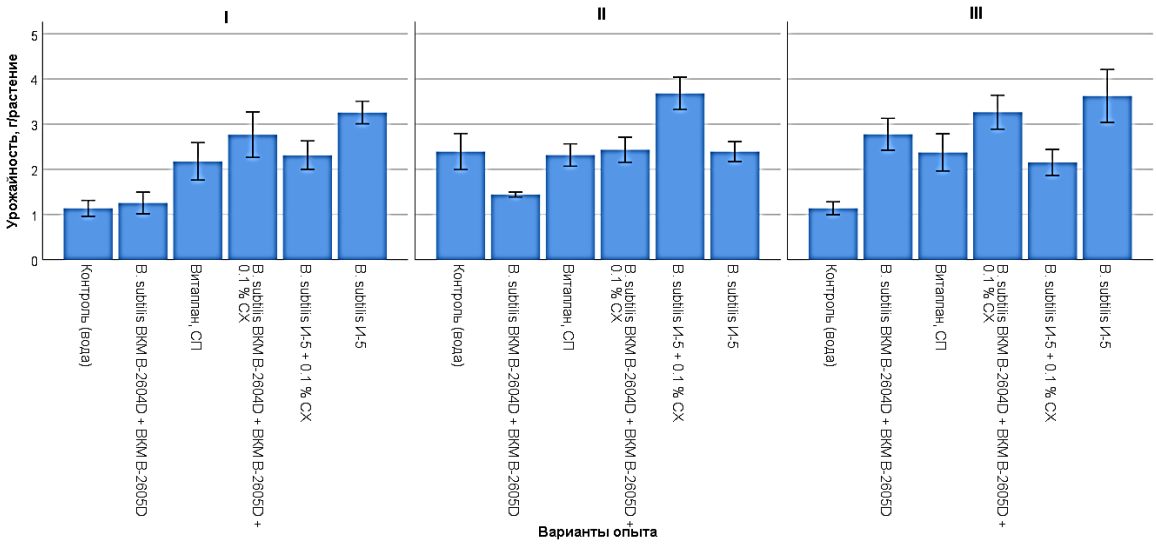


Рис. 70 – Биологическая урожайность пшеницы при использовании бактериальных штаммов *B. subtilis* и полифункциональных комплексов с 0,1% салицилатом хитозана. 2022 г.

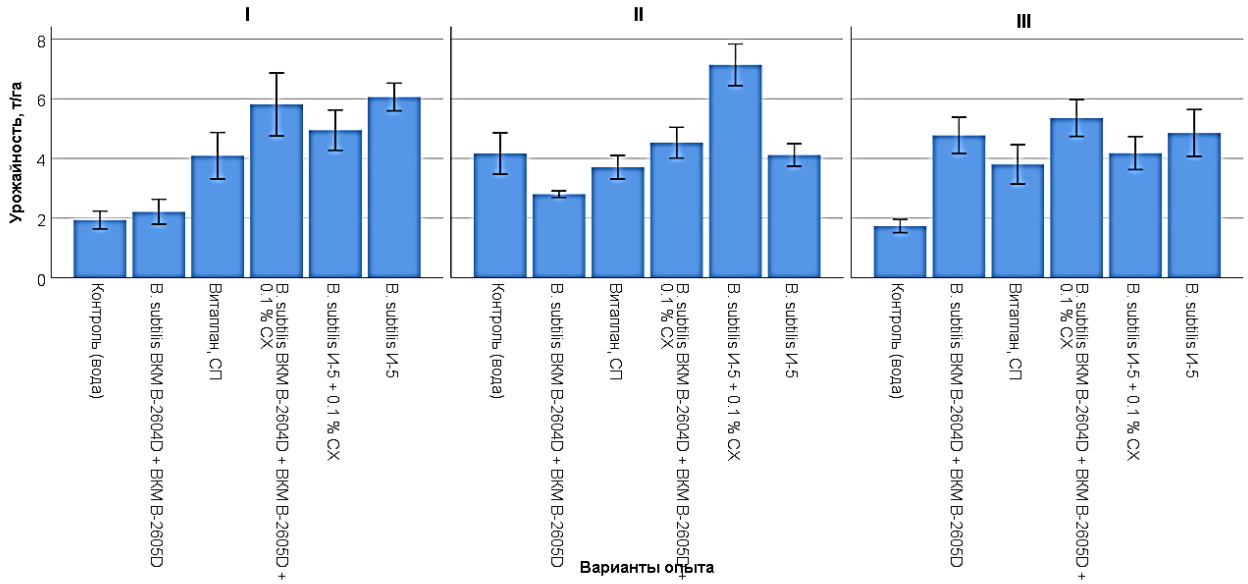


Рис. 71 – Потенциальная урожайность пшеницы при использовании бактериальных штаммов *B. subtilis* и полифункциональных комплексов с 0,1% салицилатом хитозана. 2022 г.

В вариантах опыта с применением полифункциональных комплексов: «*B. subtilis* ВКМ B-2604D + ВКМ B-2605D + 0.1 % СХ» и «*B. subtilis* И-5 + 0.1 % СХ» отмечен рост 33,3% и 38,1% общего количества показателей к контролю, соответственно. Однако максимальное увеличение морфометрических показателей продуктивности – 57,1% отмечено в варианте опыта с *B. subtilis* И-

5 («Витаплан, СП» – 28,6%; «*B. subtilis* ВКМ B-2604D + ВКМ B-2605D» – 42,9%)». При этом ранжирование вариантов опыта по убыванию величины относительного роста показателей, характеризующих только структуру колоса было следующее: «*B. subtilis* И-5» – 55,6%; «*B. subtilis* ВКМ B-2604D + ВКМ B-2605D + 0.1 % СХ» и «*B. subtilis* ВКМ B-2604D + ВКМ B-2605D» – 44,4%; «Витаплан, СП» – 11,1%.

При применении полифункциональных комплексов выявлен максимальный рост в значениях следующих морфометрических показателей по сравнению с другими вариантами опыта: «*B. subtilis* И-5 + 0.1 % СХ» – число первичных корней (на 39,6%); число узловых корней (на 54,7%); длина узловых корней (на 21,8%); продуктивная кустистость (на 57,3%); число колосков в колосе (на 6,6%); «*B. subtilis* ВКМ B-2604D + ВКМ B-2605D + 0.1 % СХ» – масса зерен одного колоса (на 18,8%) с меньшим на 0,9% числом пустых колосков в колосе.

Определено существенное увеличение массы зерен в колоске колоса на 15,1% при применении полифункционального комплекса «*B. subtilis* ВКМ B-2604D + ВКМ B-2605D + 0.1 % СХ», а также в варианте опыта со штаммом B. subtilis И-5 – на 15,5%. Снижение показателя на 14,2% выявлено при применении полифункционального комплекса «*B. subtilis* И-5 + 0.1 % СХ». Существенный рост числа зерен в колоске колоса на 10,8% отмечен в варианте «*B. subtilis* И-5», тенденция роста на 3,8% – в варианте «(*B. subtilis* ВКМ B-2604D + ВКМ B-2605D + 0.1 % СХ» (Novikova et al., 2024).

Заключение. Бактериальные штаммы и полифункциональные комплексы: *B. subtilis* И-5; *B. subtilis* ВКМ B-2604D + ВКМ B-2605; Витаплан, СП; *B. subtilis* ВКМ B-2604D + ВКМ B-2605D + 0.1 % СХ; *B. subtilis* И-5 + 0.1 % СХ существенно снизили интенсивность развития болезней, увеличили урожайность и морфометрические показатели пшеницы. Однако на примере полифункционального комплекса «*B. subtilis* ВКМ B-2604D + ВКМ B-2605D + 0.1 % СХ» показано, что на эффективность защитных и стимулирующих обработок пшеницы оказывают влияние природно-климатические факторы

вегетационных периодов, а также фитосанитарное состояние посевов. Добавление 0,1% салицилата хитозана к бактериальным штаммам *B. subtilis* ВКМ B-2604D + ВКМ B-2605D и *B. subtilis* И-5 повышало биологическую эффективность полифункциональных комплексов в отношении желтой ржавчины пшеницы и мучнистой росы. Снижение пораженности растений возбудителями болезней при применении бактериальных штаммов и полифункциональных комплексов повлияло на урожайность пшеницы и ее морфометрические показатели. Наибольший рост урожайности пшеницы зарегистрирован в вариантах опыта «*B. subtilis* ВКМ B-2604D + ВКМ B-2605D + 0.1 % СХ», «*B. subtilis* И-5 + 0.1 % СХ», а также в варианте «B. *subtilis* И-5» (Novikova et al., 2024).

4.1.3 Влияние микробиологических препаратов и полифункциональных комплексов на основе хитозана и штаммов *Bacillus subtilis* ВКМ B-2604D, ВКМ B-2605D на фотосинтетические пигменты в листьях пшеницы

«В 2018 г. в варианте опыта «Витаплан, КЖ + Хитозан II» отмечали максимальное содержание хлорофилла *a* во флаговых листьях в фазу цветения пшеницы – 1,32±0,02 мг/г, на 16,7% больше, чем в контроле, что статистически достоверно, а содержание хлорофилла *b* в листьях пшеницы изменилось незначительно, но было больше на 4,3% по сравнению с контролем» (Новикова и др., 2023).

«Наибольшее изменение соотношения содержания хлорофиллов *a* и *b* (на 55,2%) по отношению к контролю было зарегистрировано в варианте опыта «Витаплан, КЖ и Хитозан II». Некоторые авторы полагают, что отношение содержания хлорофиллов к каротиноидам может быть одним из показателей устойчивости к внешним неблагоприятным факторам и экологической пластичности растений» (Новикова и др., 2023).

«Методом непараметрического корреляционного анализа установлено, что с увеличением содержания хлорофилла b во флаговых листьях пшеницы отмечалось увеличение числа зерен в колосе (коэффициент корреляции Спирмена: r_{chb}= 0,79; P=0,006), массы зерен одного колоса (r_{chb}= 0,69; P=0,03);

массы колоса с зернами (r_{chb}= 0,72; P=0,02), и в целом потенциальной урожайности (r_{chb}= 0,69; P=0,03). Зависимость изменения массы колоса с зернами от содержания во флаговых листьях пшеницы хлорофилла *b* может быть описана уравнением регрессии: $M_к$ = 0,26Chb + 0,81; R^2=0,45» (Новикова и др., 2023).

«При снижении степени развития желтой ржавчины в процентах по шкале Маннерса (r_{cha}= - 0,66; P=0,04; r_{chb}= - 0,87; P=0,005), числа полос (r_{cha}= - 0,79; P=0,02; r_{chb}= - 0,63; P=0,04) и числа пустул желтой ржавчины (r_{cha}= - 0,73; P=0,04; r_{chb}= - 0,97; P=0,00007), содержание в листьях пшеницы хлорофилла *a* и *b* увеличивалось. Зависимость содержания во флаговых листьях пшеницы хлорофилла *a* и *b* от интенсивности развития желтой ржавчины может быть описана следующими выражениями: $R_ж$ = -37,03 + 52,72 Cla (R^2=0,60) и $R_ж$ = 144,52 – 108,23Clb + 20,53 Clb^2 (R^2=0,81), соответственно» (Новикова и др., 2023).

Заключение. «В результате проведенных исследований выявлено статистически достоверное повышение содержания фотосинтетических пигментов: хлорофилла *a* во флаговых листьях пшеницы и незначительное увеличение хлорофилла *b* при применении биопрепаратов. В варианте опыта, где был использован полифункциональный комплекс «Витаплан, КЖ + Хитозан II» отмечены наибольшие значения потенциальной урожайности и содержания в листьях хлорофилла *a* и *b*. Соотношение содержания хлорофиллов *a* и *b* и пигментов группы каротиноидов, служащее одним из показателей стрессоустойчивости растений, также было максимальным в варианте опыта «Витаплан, КЖ + Хитозан II». Выявлены корреляционные связи, отражающие увеличение содержания в листьях хлорофилла a и b при снижении интенсивности развития желтой ржавчины. На основании критерия Спирмена показана наиболее сильная корреляция содержания хлорофилла b с массой колоса, массой зерен одного колоса, числом зерен в колосе. Проведенные исследования свидетельствуют, что применение полифункциональных композиций на основе отселектированных штаммов микробов-антагонистов

возбудителей болезней и индукторов болезнеустойчивости существенно снижает пораженность растений пшеницы комплексом болезней, положительно влияет на показатели продуктивности и содержание фотосинтетических пигментов (хлорофиллы a и b, а также каротиноиды)» (Новикова и др., 2023).

4.1.4 Влияние природно-климатических факторов на эффективность штаммов *Bacillus subtilis* ВКМ B-2604D, ВКМ B-2605D при возделывании мягкой пшеницы

«Проанализировано влияние природно-климатических факторов на эффективность применения микробиологического препарата Витаплан, СП и культуральной жидкости (КЖ) штаммов бактерий *B. subtilis* ВКМ B-2604D и *B. subtilis* ВКМ B-2605D при возделывании мягкой пшеницы. Культуральная жидкость оказала большее влияние на биологическую $Y_б$ (г/растение) и потенциальную урожайность пшеницы $Y_п$ (т/га), чем Витаплан, СП (рис. 72). В среднем за 2017–2022 гг. увеличение, по сравнению с контролем, биологической и потенциальной урожайности в варианте опыта с КЖ бактерий составило 38,5±10,8 % и 26,5±10,9 %, в варианте Витаплан, СП – 26,5±9,4 % и 22,1±10,3 %, снижение развития комплекса болезней составило 10,2±2,1 % и 7,1±2,1 % соответственно» (Колесников и др., 2023b).

«Согласно данным рис. 72 и 73 в 2017 г., в варианте опыта с применением КЖ бактериальных штаммов, по сравнению с контролем, зарегистрировано максимальное увеличение урожайности пшеницы (на 3,4 г, или 234,5 %) при максимальном снижении поражения растений корневой гнилью на 34,3% (БЭ = 94,4%), бурой ржавчиной на 18,9 % (БЭ=93,4%). В 2020 г. существенный рост урожайности пшеницы в указанном варианте опыта (на 1,5 г, или 53,7 %) был обусловлен максимальным снижением поражения растений мучнистой росой на 23,9 % (БЭ=44,4%), корневой гнилью на 10,1 %, (БЭ=55,2%), желтой ржавчиной на 17,8 % (БЭ=38,4%)» (Колесников и др., 2023b).

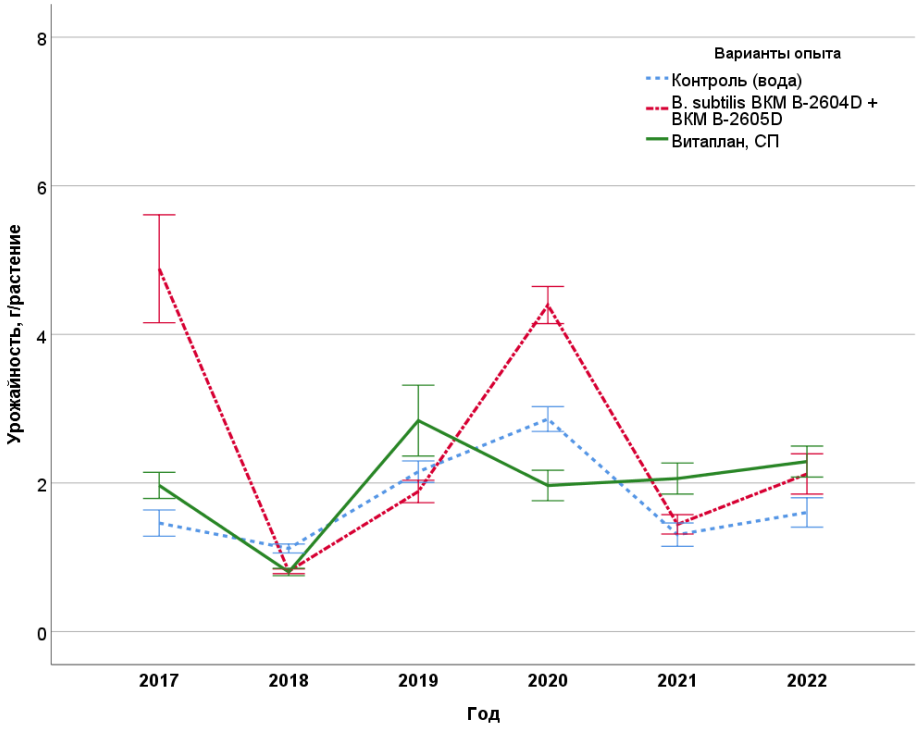


Рис. 72 – Динамика биологической урожайности мягкой пшеницы при применении микробиологического препарата Витаплан, СП и культуральной жидкости штаммов *B. subtilis* ВКМ B-2604D и *B. subtilis* ВКМ B-2605D. 2017-2022 гг. (Колесников и др., 2023b).

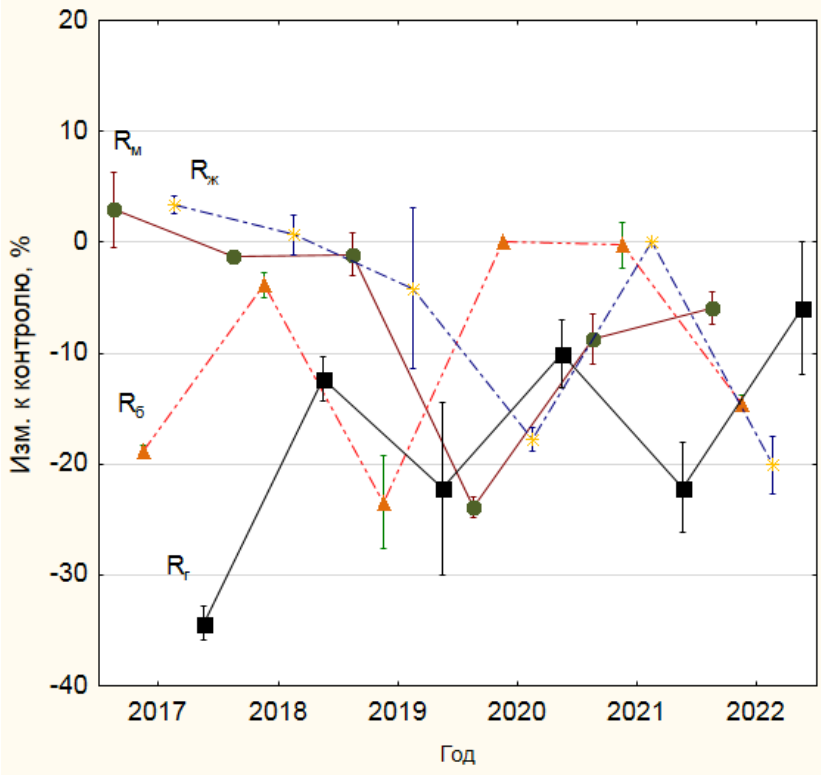


Рис. 73 – Динамика относительного изменения развития особо опасных возбудителей болезней пшеницы при применении культуральной жидкости (КЖ) штаммов *B. subtilis* ВКМ B-2604D и *B. subtilis* ВКМ B-2605D, к контролю, 2017–2022 гг. На графике: $R_Г$ – развитие корневой гнили, $R_м$ – мучнистой росы, $R_б$ – бурой ржавчины, $R_ж$ – желтой ржавчины (Колесников и др., 2023b).

«Согласно данным рис. 72 и 74, в варианте опыта с применением микробиологического препарата «Витаплан, СП» наибольший рост урожайности пшеницы на 81,2% относительно контроля был выявлен в 2019 г. и сопровождался максимальным снижением развития корневой гнили на 22,2% (БЭ=38,9%), бурой ржавчины на 21,6% (БЭ=62,8%) и желтой ржавчины на 22,1 (БЭ=88,1%)» (Колесников и др., 2023b).

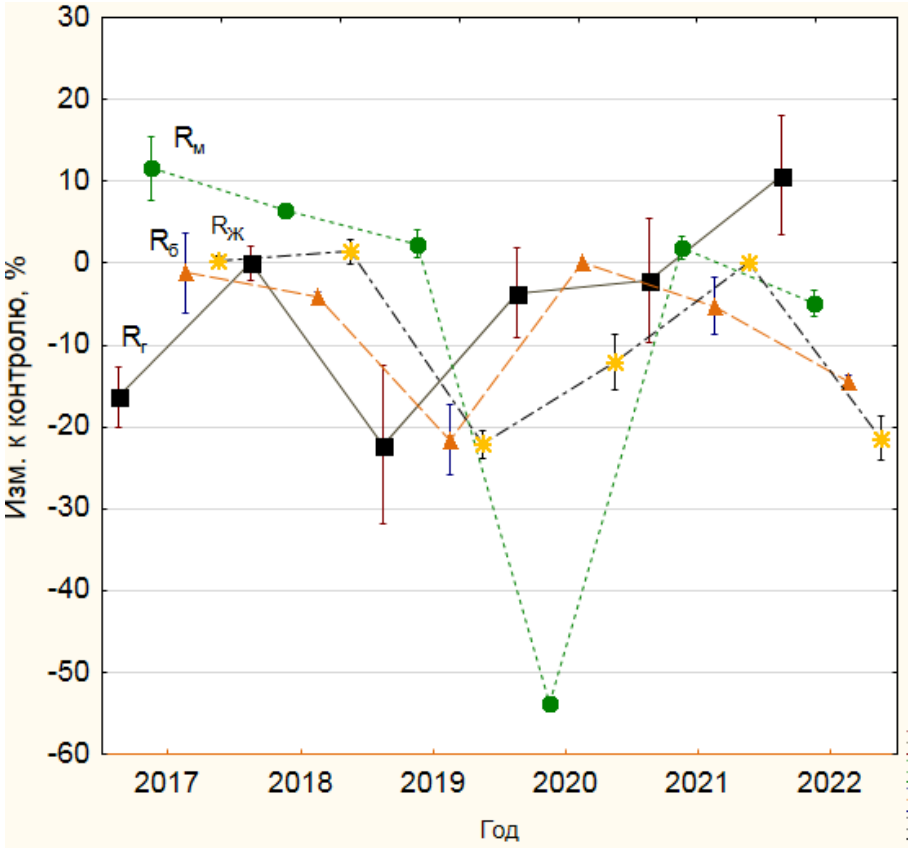


Рис. 74 – Динамика относительного изменения развития особо опасных возбудителей болезней пшеницы при применении микробиологического препарата Витаплан, СП к контролю. 2017–2022 гг.
На графике: $R_Г$ – развитие корневой гнили, $R_м$ – мучнистой росы, $R_б$ – бурой ржавчины, $R_ж$ – желтой ржавчины
(Колесников и др., 2023b).

«В среднем, за 2017–2022 гг. в вариантах опыта с применением препарата Витаплан, СП и КЖ бактериальных штаммов, по сравнению с контролем, при $p<0,05$ выявлено достоверное снижение развития корневой гнили на 5,6±2,6% и на 17,8±2,0% (в 38,9 % и 61,1 % случаев), мучнистой росы – на 6,1±2,9% и 6,3±1,3% (в 22,2 % и 50,0 % случаев), бурой ржавчины – на 7,8±2,4% и 10,2±1,4% (в 27,8 % и 44,4 % случаев), желтой ржавчины – на 9,0±1,5% и

6,3±1,7% (в 27,8 % и 22,2 % случаев), соответственно» (Колесников и др., 2023b).

«Возможно, одним из факторов, влияющих на урожайность пшеницы и фитосанитарное состояние посевов, было использование различных препаративных форм бактериальных штаммов. Высокая биологическая активность культуральной жидкости бактериальных штаммов обусловлена наличием комплекса биологически активных веществ (БАВ), включающего соединения с разной химической структурой и механизмом действия. В сухой препаративной форме (СП) споры штаммов-продуцентов при наличии влаги прорастают и образуют вегетативные метаболизирующие клетки, что требует некоторого времени» (Колесников и др., 2023b).

«Во всех вариантах опыта рост полевой всхожести семян пшеницы $П_в$ при применении биопрепарата Витаплан, СП и культуральной жидкости бактерий, по сравнению с контролем, приводил к усилению поражения пшеницы мучнистой росой $R_м$ и желтой ржавчиной $R_ж$. Указанная зависимость имеет вид (R^2=0,44; F=14,3; P=0,00007): $П_в = 1,231±0,41 + 0,497±0,168R_м+0,786±0,237R_ж$. Коэффициенты регрессионной модели статистически значимы при p<0,01. Одним из решающих условий роста продуктивности пшеницы считают формирование оптимального количества растений на единице площади, что в значительной степени зависит от полевой всхожести семян» (Колесников и др., 2023b). Возможно, выявленная нами тенденция связана с изменением густоты стеблестоя, влияющей на микроклимат в посеве, который зависит от равномерности освещения, проветриваемости, температуры, влажности и др., и может определять интенсивность поражения растений болезнями (Баташева и др., 2020).

«Увеличение продуктивной кустистости растений сопровождалось ростом площади пятна мучнистой росы, площади пустулы бурой ржавчины ($\theta_{к+}$=83 %) и желтой ржавчины ($\theta_{к+}$=67 %). При этом повышение общей кустистости растений приводило к снижению пораженности растений бурой

ржавчиной, корневой гнилью ($\theta_{к-}$=83 %) и желтой ржавчиной ($\theta_{к-}$=100 %). В большинстве вариантов опыта значения высоты растений, площади флагового листа положительно коррелировали со степенью поражения растений мучнистой росой ($\theta_{к+}$=67 %, $\theta_{к+}$=100 %), бурой ($\theta_{к+}$=67 %, $\theta_{к+}$=67 %) и желтой ржавчиной ($\theta_{к+}$=83 %, $\theta_{к+}$=67 %) и отрицательно – с развитием корневой гнили ($\theta_{к+}$=67 %, $\theta_{к+}$=83 %). Выявленные зависимости можно объяснить различиями в морфологических и физиолого-биохимических особенностях растений. Флаговые листья продуктивных стеблей с колосьями, в отличие от непродуктивных, имели больший размер и содержали больший запас питательных веществ, необходимый для развития видов ржавчины и мучнистой росы, являющихся облигатными паразитами и живущих исключительно за счет живого растения-хозяина» (Колесников и др., 2023b). Возбудители корневой гнили относятся к группе факультативных паразитов и поражают преимущественно ослабленные растения, в том числе – неспособные формировать колосья (Койшыбаев, Куланбай, 2010).

«Методом корреляционного анализа изучены взаимосвязи между изменениями в фитопатологических характеристиках пшеницы при применении биопрепарата Витаплан, СП и культуральной жидкости штаммов *B. subtilis* ВКМ B-2604D и *B. subtilis* ВКМ B-2605D. Снижение поражения пшеницы корневой гнилью в варианте опыта КЖ *B. subtilis* ВКМ B-2604D + *B. subtilis* ВКМ B-2605D сопровождалось усилением развития мучнистой росы пшеницы (r= -0,63, p=0,03), что способствовало снижению поражения растений бурой ржавчиной (r= - 0,56, p=0,02)» (Колесников и др., 2023b).

«Сопряженность фитопатологических показателей развития болезней подробно описана в работах (Колесников и др., 2008b, 2022b), где были отражены обратные корреляционные связи между различными типами патогенеза, в том числе – интенсивностью поражения растений корневой

гнилью и развитием мучнистой росы, бурой ржавчины» (Колесников и др., 2023b).

«В варианте опыта Витаплан, СП отмечено, что с ростом биологической эффективности в отношении корневой гнили наблюдали большие значения площади пустулы бурой ржавчины (r=0,45, p=0,04), а с ростом биологической эффективности в отношении мучнистой росы было выявлено снижение пораженности растений желтой ржавчиной (развитие болезни – r=-0,49, p=0,04; число полос с пустулами – r=-0,67, p=0,002). Рост биологической эффективности в отношении бурой ржавчины способствовал снижению числа пустул желтой ржавчины в полосе (r= -0,49, p=0,04), а увеличение биологической эффективности в отношении желтой ржавчины приводило к уменьшению площади пустулы бурой ржавчины (r=-0,59, p=0,01)» (Колесников и др., 2023b).

«Методом факторного анализа изучены взаимосвязи между метеорологическими условиями, активностью Солнца и изменениями в фитометрических и фитопатологических характеристиках посевов пшеницы при применении биопрепарата Витаплан, СП и КЖ штаммов *B. subtilis* ВКМ B-2604D и *B. subtilis* ВКМ B-2605D. Извлеченные факторы (F_1- F_5), объясняли общую дисперсию переменных в указанных вариантах опыта на 73…74 %» (Колесников и др., 2023b).

«В варианте опыта Витаплан, СП в F_1 отмечены высокие положительные факторные нагрузки (0,71…0,93) для комплекса фитометрических показателей: фазы растения, высоты растений, площади флагового листа, площади предфлагового листа, массы вегетативной части, фитопатологического показателя – числа пустул в полосе желтой ржавчины, метеорологических показателей – суммы осадков в июне, суммы осадков в июле, суммы осадков в августе, гидротермического коэффициента ГТК в июле, относительной влажности воздуха в июне» (Колесников и др., 2023b).

«В F_1 показано, что рост значений вышеперечисленных метеорологических показателей оказывал наибольшее влияние на увеличение

указанных выше морфометрических характеристик пшеницы, а также способствовал усилению развития желтой ржавчины, характеризуемого числом пустул в полосе. Перечисленные метеорологические факторы повышали эффективность микробиологического препарата в отношении элементов продуктивности пшеницы, но снижали его эффективность в отношении желтой ржавчины. В F_2 выявлены положительные зависимости между показателями активности Солнца (0,86…0,95): числом пятен за год, числом пятен в августе и УФ-индексом в августе. В F_3 отмечено, что увеличение площади пятна мучнистой росы было связано с ростом суммы температур (P=0,92), УФ-индекса (P=0,92) и снижением относительной влажности воздуха в июле (P=-0,87). В F_4 выявлена зависимость биологической (P=0,79) и потенциальной урожайности (P=0,83) пшеницы от числа узловых корней пшеницы. В F_5 выявлена сопряженность интенсивности развития (P= -0,79), числа пятен с налетом (P=-0,80) мучнистой росы с числом полос с пустулами желтой ржавчины (P=-0,70), т.е. биологическая эффективность препарата Витаплан, СП (P=0,79) снижалась с ростом значений указанных фитопатологических показателей» (Колесников и др., 2023b).

«В варианте опыта, где была использована КЖ бактерий в F_1 показано, что с ростом суммы осадков в июне (P=0,71), суммы осадков в августе (P=0,85), ГТК в июле (P=0,88), ГТК в августе (P=0,76), наблюдали увеличение продуктивной кустистости пшеницы (P=0,71), массы корней (P=0,74), длины колоса (P=0,85), числа колосков в колосе (P=0,75), числа зерен в колосе (P=0,72), массы зерен одного колоса (P=0,80), биологической урожайности (P=0,76), потенциальной урожайности (P=0,71). В F_2 показано снижение площади пустулы бурой ржавчины (P=- 0,88) с ростом активности Солнца, в частности, характеризуемой среднегодовым числом пятен (P=0,93) и УФ-индексом в августе (P=0,87). В F_4 показано, что со снижением УФ-индекса в мае (P=-0,70) и уменьшением пораженности пшеницы желтой ржавчиной (P= -0,72), увеличивалась масса колоса (P= 0,71). В F_5 показано, что наличие более длинных корней у пшеницы (P= 0,82) способствовало усилению пораженности

растений мучнистой росой (Р= 0,80) и снижению площади пустулы желтой ржавчины (Р= - 0,72)» (Колесников и др., 2023b).

«Активность микробиологических препаратов в значительной степени зависит от погодных условий. Некоторые бактериальные препараты теряют активность при повышенных температурах (Левитин, 2016). Полученные нами данные свидетельствуют о большей зависимости эффективности влияния КЖ бактерий на морфобиологические показатели продуктивности и интенсивность развития болезней от метеорологических условий периодов вегетации по сравнению с действием препарата Витаплан, СП, что связано с возможностью снижения биологической активности БАВ при неблагоприятных климатических условиях. При этом значительное влияние на их эффективность оказали показатели влагообеспеченности вегетационного периода: сумма осадков в июне, сумма осадков в июле-августе, относительная влажность воздуха в июне, ГТК в июле и августе» (Колесников и др., 2023b).

«Многомерная модель, отражающая взаимосвязи между БЭ препарата Витаплан, СП и КЖ бактерий в отношении болезней пшеницы и метеофакторами периода вегетации пшеницы приведена на рис. 75. В результате выполненного алгоритма многомерного шкалирования осуществлено геометрическое представление вышеперечисленных показателей (стимулов) в виде точек координатного пространства двумерной размерности. Если расстояние Евклида между показателями небольшое, то показатели на карте располагаются близко друг к другу. Но если различия существенны, то показатели располагаются по разные стороны карты. Выявлены сильные взаимосвязи между изменениями в БЭ бактериальных штаммов в отношении мучнистой росы [-0,453; 0,051] и суммой осадков в июле [-0,343;0,057]; БЭ в отношении желтой ржавчины [-0,600;-0,086], БЭ в отношении корневой гнили [-0,395; -0,062] и суммой температур в мае [-0,148; -0,042]; БЭ в отношении бурой ржавчины [-0,413; 0,026] и суммой осадков в мае [-0,4; -0,012], июне [-0,373; 0,033], августе [-0,275; 0,017], относительной влажностью воздуха в мае [-0,38; 0,004], июне [-0,378; 0,008], июле [-0,369; 0,006], августе [-0,358;-0,004];

ГТК июля [-0,440; 0,00005], ГТК августа [-0,440; 0,0001], УФ-индекса в мае [-0,439; 0,00006], июне [-0,438; 0,0001], июле [-0,369; 0,006], августе [-0,439;0,00006]. Отмечены взаимосвязи между БЭ в отношении корневой гнили [-0,395;-0,062] и желтой ржавчины [0,600;-0,086]» (Колесников и др., 2023b).

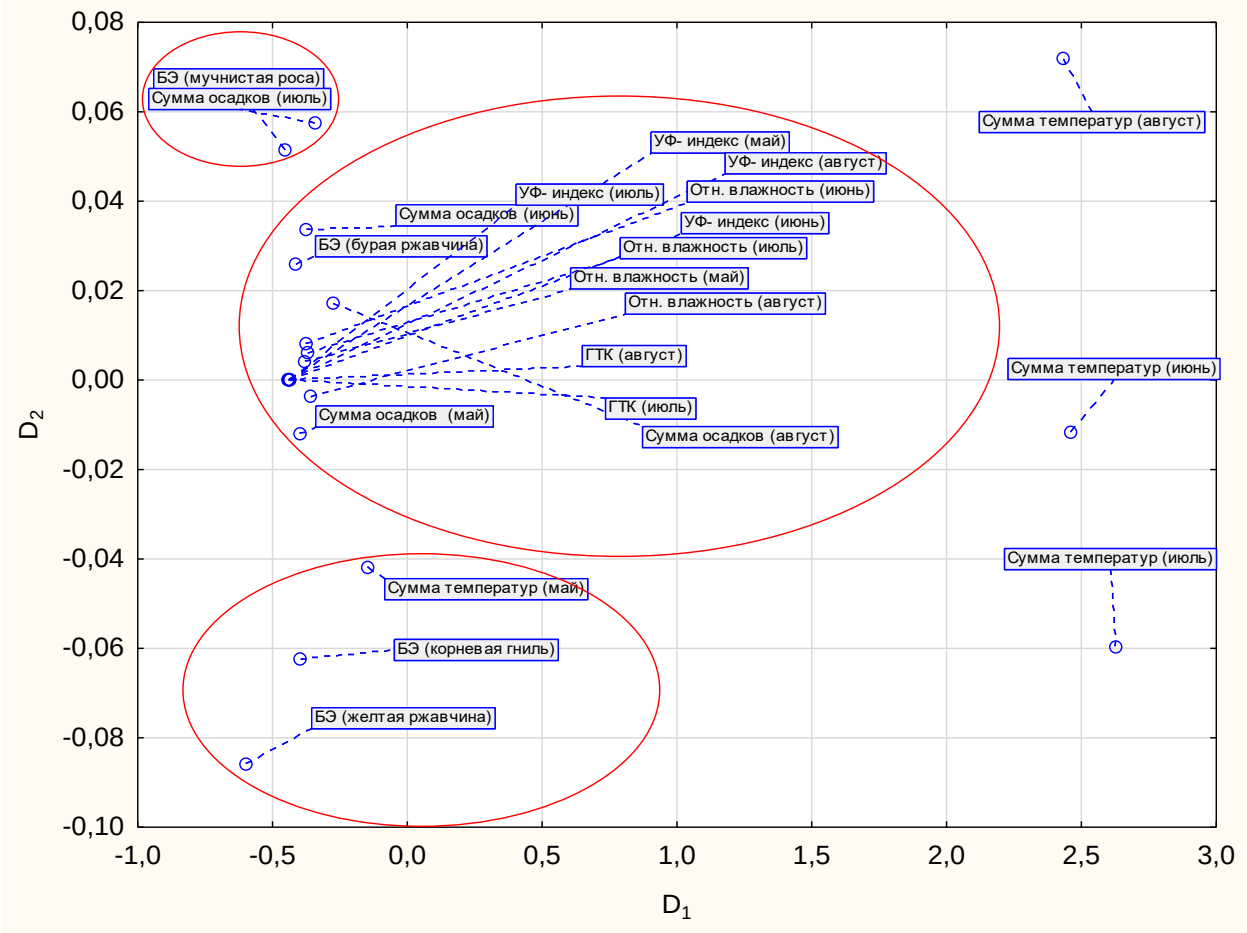


Рис. 75 – Многомерное шкалирование данных о биологической эффективности препарата Витаплан, СП и культуральной жидкости штаммов *B. subtilis* ВКМ B-2604D и *B. subtilis* ВКМ B-2605D в отношении болезней пшеницы и метеопоказателей периодов фитосанитарного мониторинга (2017–2022 гг.) (Колесников и др., 2023b)

«Методом анализа корреляционных зависимостей между фитометрическими, фитопатологическими показателями посевов пшеницы и метеоусловиями проведения полевого опыта проанализированы преобладающие тенденции в их изменении, а также выявлены природно-климатические факторы, влияющие на их варьирование. Установлено, что наибольшее влияние на биологическую и потенциальную урожайность пшеницы оказала сумма осадков в июне ($\theta_{к+}$=83 %), сумма осадков в июле

($\theta_{к+}$=83 % и $\theta_{к+}$=67 %), сумма температур в августе ($\theta_{к+}$=67 % и $\theta_{к+}$=100 %), сумма осадков в августе, ГТК в августе ($\theta_{к+}$=83 %), число пятен на Солнце в августе ($\theta_{к+}$=83 %), относительная влажность воздуха в мае ($\theta_{к+}$=83 % и $\theta_{к+}$=100 %) и августе ($\theta_{к+}$=83 %). С ростом значений вышеперечисленных метеопоказателей эффективность обработки растений микробиологическим препаратом Витаплан, СП и КЖ *B. subtilis* ВКМ B-2604D и *B. subtilis* ВКМ B-2605D в отношении урожайности пшеницы повышалась» (Колесников и др., 2023b).

«Величина биологической эффективности микробиологического препарата Витаплан, СП и КЖ штаммов *B. subtilis* ВКМ B-2604D и *B. subtilis* ВКМ B-2605D в отношении корневой гнили пшеницы снижалась с ростом суммы выпавших осадков в мае ($\theta_{к-}$=83 %) и повышалась с ростом суммы осадков в июне и июле ($\theta_{к+}$=83 %). Выявлена тенденция преобладания прямых (обратных) корреляционных связей ($\theta_{к+}$=$\theta_{к-}$=63 %) между биологической эффективностью КЖ бактерий в отношении корневой гнили и суммой температуры выше 10°C в мае (суммой температур в июне)» (Колесников и др., 2023b).

По литературным данным известно, что существенное влияние на проявление антагонистических свойств бактерий оказывает температура. Однако данные о влиянии температуры на интенсивность продуцирования антагонистами соединений, обусловливающих целевую активность штаммов, неоднозначны. У некоторых представителей рода *Bacillus* нижний порог образования антибиотических веществ на глюкозо-дрожжевом экстракте составляет 12 °С, а при росте на почвенном экстракте – 14…16 °С. Для некоторых бацилл характерен незначительный интервал оптимальных температур (4…14 °С), в котором отмечена пролонгированная и максимальная эффективность антифунгальной активности (Кипрушкина, 2007).

«Биологическая эффективность изученных бактериальных штаммов в отношении мучнистой росы снижалась с понижением суммы температур в июне ($\theta_{к+}$=67 %), повышением суммы осадков в июле ($\theta_{к-}$=67 %), суммы температур ($\theta_{к-}$=83 %) и суммы осадков в августе ($\theta_{к-}$=67 %). Выявлена тенденция увеличения биологической эффективности бактериальных штаммов к бурой ржавчине с ростом суммы температур в мае ($\theta_{к+}$=67 %). Биологическая эффективность микробиологического препарата Витаплан, СП и КЖ штаммов *B. subtilis* ВКМ B-2604D и *B. subtilis* ВКМ B-2605D в отношении бурой ржавчины пшеницы снижалась с ростом суммы температур в июне и в июле ($\theta_{к-}$=83 %) и уменьшением суммы выпавших осадков в июне и июле ($\theta_{к+}$=67 %). По данным Чекмарева (2016) известно, что факторы погоды оказывают существенное влияние на уровень поражения пшеницы бурой ржавчиной, особенно в мае и июне» (Колесников и др., 2023b).

«Биологическая эффективность микробиологического препарата Витаплан, СП и КЖ штаммов *B. subtilis* ВКМ B-2604D и *B. subtilis* ВКМ B-2605D в отношении желтой ржавчины пшеницы снижалась с понижением суммы температур в июне ($\theta_{к+}$=83 %), повышением суммы температуры в июле, суммы осадков в июне, июле ($\theta_{к-}$=67 %), ГТК в июле и августе ($\theta_{к-}$=83 %). Развитию желтой ржавчины способствовал рост суммы температур ($\theta_{к+}$=100 %) и снижение суммы осадков в мае ($\theta_{к-}$=83 %), повышение средней температуры в марте ($\theta_{к+}$=83 %), снижение средней температуры ($\theta_{к-}$=83 %) и суммы осадков в апреле ($\theta_{к-}$=67 %), средней температуры ($\theta_{к-}$=100 %) и суммы осадков в феврале ($\theta_{к-}$=83 %)» (Колесников и др., 2023b).

«Вероятность поражения пшеницы возбудителями болезней определяется, в первую очередь, наличием определенного запаса инфекционного начала на зараженных растениях или растительных остатках, в том числе перезимовавших, под действием различных природно-климатических факторов (Кекало и др., 2017). Нашими исследованиями показано, что метеоусловия многолетних периодов, предшествующих сроку проведения фитосанитарного мониторинга пшеницы, действительно оказывали существенное влияние на эффективность бактериальных штаммов в вариантах опыта Витаплан, СП и КЖ штаммов *B. subtilis* ВКМ B-2604D и *B. subtilis* ВКМ B-2605D в отношении болезней пшеницы. По максимальному числу выявленных коэффициентов корреляции ($\theta_{к+}=\theta_{к-}=100$ %) отмечено преобладание тенденции усиления пораженности растений корневой гнилью с ростом суммы осадков в марте» (Колесников и др., 2023b).

«Определено увеличение пораженности растений мучнистой росой в вариантах опыта с ростом средней температуры сентября, относительной влажности воздуха: январь-апрель ($\theta_{к+}=100$ %) и снижение – с увеличением суммы осадков в октябре, средней температуры и суммы осадков в декабре, средней температуры в январе, суммы осадков в марте и апреле, УФ-индекса в феврале, апреле, сентябре, октябре, ноябре ($\theta_{к-}=100$ %). Развитие бурой ржавчины усиливалось с ростом суммы осадков в октябре, средней температуры и суммы осадков в декабре, средней температуры в январе, суммы осадков в марте, апреле, УФ-индекса в феврале, сентябре и октябре ($\theta_{к+}=100$ %) и снижалось с повышением средней температуры в сентябре ($\theta_{к-}=100$ %). Усилению развития желтой ржавчины способствовало повышение относительной влажности воздуха в ноябре, январе-апреле ($\theta_{к+}=100$ %), а

снижение – с ростом суммы средней температуры в феврале, УФ-индекса в апреле ($\theta_{к-}$=100 %)» (Колесников и др., 2023b).

Заключение. «Показано, что биологическая и потенциальная урожайность пшеницы существенно увеличивалась при повышении биологической эффективности микробиологических препаратов на основе штаммов *B. subtilis* в отношении мучнистой росы, бурой и желтой ржавчины – в 67 % вариантов опыта, а корневой гнили – в 83 % и 100 % вариантов опыта. Увеличение общей кустистости растений снижало их пораженность бурой и желтой ржавчиной, и корневой гнилью, но сопровождалось усилением пораженности растений мучнистой росой. При снижении поражения пшеницы корневой гнилью наблюдалось усиление развития мучнистой росы пшеницы (r= -0,63, P=0,03) и снижение развития бурой ржавчины (r= 0,64, P=0,03)» (Колесников и др., 2023b).

«Во всех вариантах опыта ($\theta_{к+}$=$\theta_{к-}$=100 %) был выявлен ряд корреляционных зависимостей между изменениями фитометрических, фитопатологических показателей, метеоусловиями и активностью Солнца. Эффективность бактериальных штаммов в отношении показателей продуктивности в большей степени зависела от показателей влагообеспеченности вегетационного периода: суммы осадков в июне-августе, относительной влажности воздуха в июне, ГТК в июле и августе» (Колесников и др., 2023b).

«Пораженность корневой гнилью усиливалась с ростом суммы осадков в июне и июле, мучнистой росы – с ростом суммы осадков в мае, желтой ржавчиной – с ростом суммы температур в июне. Эффективность бактериальных штаммов в отношении комплекса возбудителей болезней пшеницы возрастала с ростом суммы осадков в мае (корневая гниль), суммы осадков в августе (мучнистая роса), суммы температур в мае, суммы осадков в августе, ГТК в июле и августе (желтая ржавчина)» (Колесников и др., 2023b).

«Обратные корреляционные связи выявлены между биологической эффективностью исследованных биопрепаратов в отношении развития бурой ржавчины и суммой температур в июне. Выявлены сильные взаимосвязи между биологической эффективностью образцов биопрепаратов в отношении мучнистой росы и суммой осадков в июне; корневой гнили, желтой ржавчины и суммой температуры в мае, бурой ржавчины и суммой осадков (май, июнь, август), относительной влажностью воздуха (май-август), ГТК июля, августа, УФ-индекса (май-август). Выявлена доминирующая тенденция между изменением биологической эффективности бактериальных штаммов по отношению к мучнистой росе (корневой гнили, желтой ржавчине) в зависимости от суммы осадков в июле (суммы температур в мае)» (Колесников и др., 2023b).

«Таким образом, применение штаммов *B. subtilis* при возделывании мягкой пшеницы позволяет повысить урожайность и оптимизировать фитосанитарное состояние посевов, снизить химическую нагрузку на экосистемы. Однако эффективность бактериальных штаммов существенно зависит от природно-климатических факторов периода вегетации пшеницы» (Колесников и др., 2023b).

4.2 Ассоциативные ризобактерии: *Bacillus subtilis* 124-11, *Sphingomonas* sp. K1B, *Pseudomonas fluorescens* SPB2137

4.2.1 Эффективность ассоциативных ризобактерий в отношении продуктивности и снижения развития болезней мягкой пшеницы

Данные по влиянию ассоциативных ризобактерий (*Bacillus subtilis* 124-11, *Sphingomonas* sp. K1B и *Pseudomonas fluorescens* SPB2137) на элементы продуктивности и интенсивность развития особо опасных болезней мягкой пшеницы приведены в работах: Белимова и др., 2018; Колесникова и др., 2019d; Kolesnikov et al., 2021b, 2024 (сорта Тризо, к-64981 и Сударыня, к-66407, 2017-2021 гг.); Колесникова и др., 2023a (сорта Ленинградская 6, к-64900, Сударыня, к-66407, Тризо, к-64981, Ajeeba, к-55721, 2021-2022 гг.).

В 2019 г. наибольшее влияние на биологическую урожайность пшеницы оказал штамм *B. subtilis* 124-11 и *Ps. fluorescens* SPB2137 (рис. 76). При применении штамма *B. subtilis* 124-11 урожайность пшеницы сортов Сударыня и Тризо в 2019 г. достоверно увеличилась (P<0,05) по сравнению с контролем на 50% - t=3,8 (в среднем за период 2017-2019 гг. – на 88%, t=4,7) и на 52% - t=3,4 (2017-2019 гг. – на 46%, t=2,7), соответственно. При применении штамма *Ps. fluorescens* SPB2137 в 2019 г. достоверно увеличилась (P<0,05) урожайность сорта Сударыня на 95% - t=5,7 (в среднем за период 2017-2019 гг. – на 122%, t=5,3). На урожайность сорта Тризо в 2019 г. указанный штамм не оказывал существенного влияния (в 2019 г. урожайность увеличилась на 5%, за период 2017-2019 гг. – на 9%).

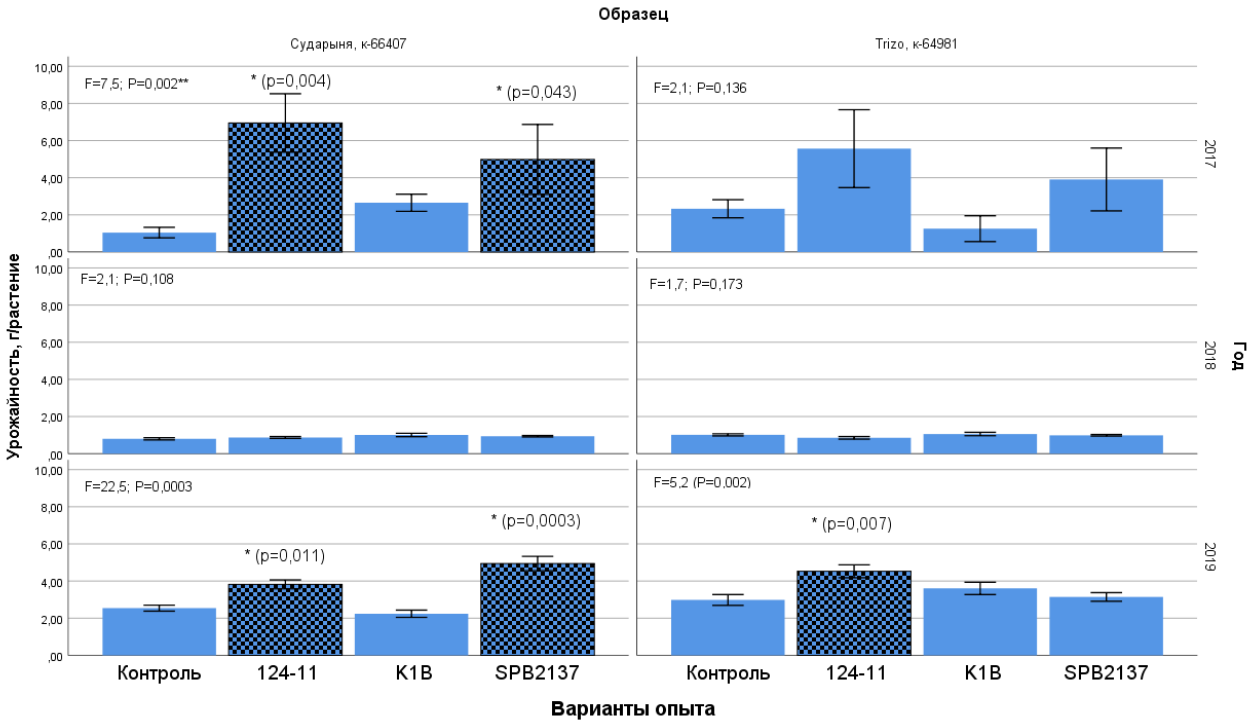


Рис. 76 – Изменение биологической (потенциальной) урожайности сортов Сударыня, к-66407 и Trizo, к-64981 при применении ассоциативных ризобактерий. 2017-2019 гг

Варианты инокуляции: Контроль – вода, 124-11 - *B. subtilis* 124-11, K1B - *Sphingomonas* sp. K1B, SPB2137 - *Ps. fluorescens* SPB2137. Вертикальный отрезок – стандартная ошибка среднего; * - достоверное различающиеся значения показателя с контролем по критерию Шеффе при определенном уровне значимости; F- критерий Фишера по данным однофакторного дисперсионного анализа (Kolesnikov et al., 2021b)

На рис. 77 обобщены данные по биологической урожайности мягкой пшеницы, усредненные по двум вышеуказанным сортам пшеницы и рассчитанные по результатам полевого опыта 2019 г., а также за период 2017-2019 гг. При применении штаммов *B. subtilis* 124-11 и *Ps. fluorescens* SPB2137 отмечен статистически достоверный рост урожайности пшеницы в 2019 г. при P<0,05 на 51% (t=5, 1) и 45% (t=4,2), а за период 2017-2019 гг. – на 67% (t=5,2) и 58% (t=4,6), соответственно.

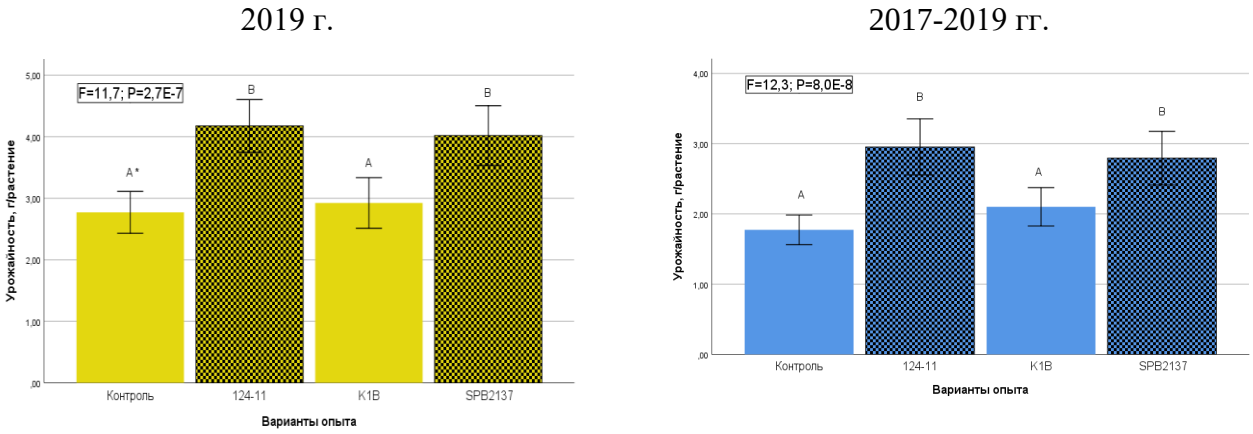


Рис. 77 – Средняя биологическая (потенциальная) урожайность мягкой пшеницы при применении ассоциативных ризобактерий. 2017-2019 гг.

Варианты инокуляции: Контроль – вода, 124-11 - *B. subtilis* 124-11, K1B - *Sphingomonas* sp. K1B, SPB2137 - *Ps. fluorescens* SPB2137. На графиках представлены средние значения показателей и 95 % доверительные интервалы, * - одинаковыми буквами обозначены достоверно не различающиеся значения показателя (Kolesnikov et al., 2021b)

В 2019 г. применение штамма *B. subtilis* 124-11 определяло рост значений по сравнению с контролем (P<0,05): скорости развития растений по фазам онтогенеза (на 11%; t=2,2), высоты растений (на 22%; t=2,8), числа корней (на 25%; t=2,7), площади предфлагового листа (на 31%; t=3,3). В варианте опыта, где был использован штамм *Sphingomonas* sp. K1B отмечено увеличение значений следующих показателей (P<0,05): скорости развития растений по фазам онтогенеза (на 11%; t=2,6), высоты растений (на 16%; t=2,2), числа корней (на 23%; t=2,9), длины корней (на 35%; t=3,7), длины узловых корней (на 21%; t=2,8). Применение штамма *Ps. fluorescens* SPB2137 оказывало влияние на рост скорости развития растений по фазам онтогенеза (на 12%;

t=3,0), высоту растений (на 24%; t=3,8), число корней (на 20%; t=2,8), площадь предфлагового листа (на 29%; t=3,3).

Штаммы ассоциативных бактерий в наибольшей степени оказали влияние на общую и продуктивную кустистость пшеницы (рис. 78). В частности, за период 2017-2019 гг. отмечено, что в варианте опытов с применением штаммов *B. subtilis* 124-11 и *Sphingomonas* sp. K1B выявлен при P < 0,05 существенный рост общей кустистости растений на 59% (t=5,2) и 35% (t=4,1). Использование штамма *Ps. fluorescens* SPB2137 приводило к росту продуктивной кустистости пшеницы на 25% (t=2,6). Применение штаммов *B. subtilis* 124-11 и *Sphingomonas* sp. K1B не оказывало существенного влияния на продуктивную кустистость (изменение к контролю составило – 18% и 10%, соответственно, P > 0,05).

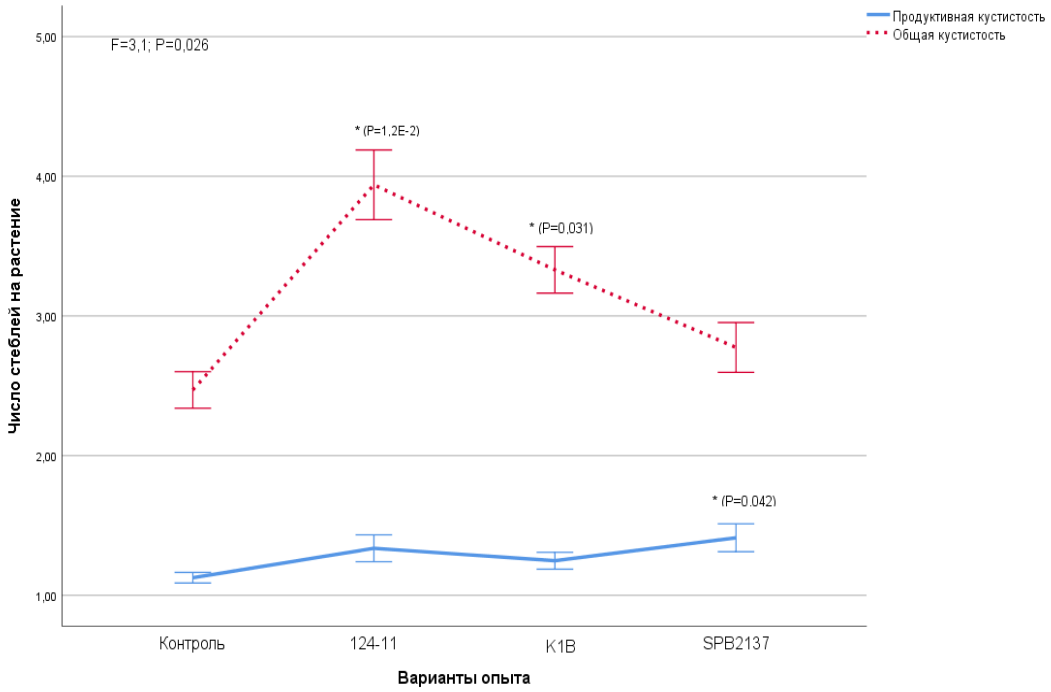


Рис. 78 – Общая и продуктивная кустистость мягкой пшеницы при использовании ассоциативных ризобактерий. 2017-2019 гг.

Варианты инокуляции: Контроль – вода, 124-11 - *B. subtilis* 124-11, K1B - *Sphingomonas* sp. K1B, SPB2137 - *Ps. fluorescens* SPB2137. Вертикальный отрезок – стандартная ошибка среднего; * - достоверное различающиеся значения показателя с контролем по критерию Шеффе при определенном уровне значимости; F- критерий Фишера по данным однофакторного дисперсионного анализа (Kolesnikov et al., 2021b)

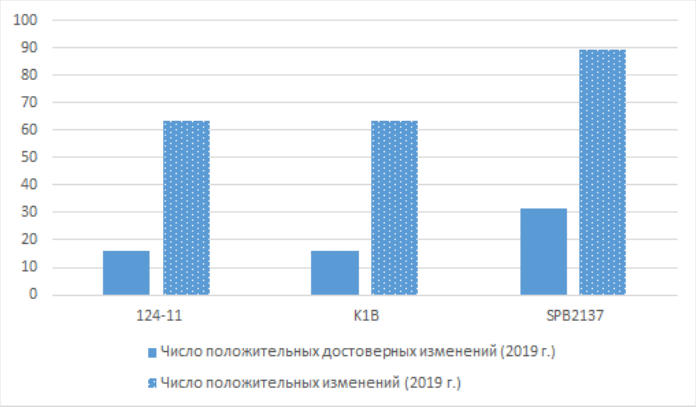
Кроме того, за период 2017-2019 гг. отмечено существенное влияние изученных штаммов (P<0,05) на увеличение вегетативной массы растений (*B. subtilis* 124-11 – на 27%; t=2,6, *Sphingomonas* sp. K1B – на 37%%; t=3,1, *Ps. fluorescens* SPB2137 – на 21%; t=2,3). Наибольшее влияние на увеличение числа зерен в колосе на 8% (t=2,5) по сравнению с контролем за период 2017-2019 гг. оказывал штамм *B. subtilis* 124-1. В варианте опыта, где был испытан штамм *Sphingomonas* sp. K1B, отмечено снижение числа зерен в колосе на 12% (t=3,9).

На рис. 79 представлено число положительных (P>0,05) и достоверно положительных изменений (P<0,05) в значениях показателей продуктивности двух сортов пшеницы (Сударыня и Тризо) при использовании штаммов ассоциативных ризобактерий по сравнению с контролем. В 2019 г. наибольшее число достоверных положительных изменений показателей продуктивности (32%) было зарегистрировано в варианте опыта со штаммом *Ps. fluorescens* SPB2137 на сорте Сударыня. Наибольшей эффективностью в отношении продуктивности пшеницы сорта Тризо обладал штамм *B. subtilis* 124-11 (22% достоверных положительных изменений показателей продуктивности).

За период 2017-2019 гг. (рис. 80) наибольшее число достоверных положительных изменений показателей продуктивности (47% от общего числа показателей) было зарегистрировано при применении штаммов *Sphingomonas* sp. K1B и *Ps. fluorescens* SPB2137 (Kolesnikov et al., 2021b).

«В среднем, по двум сортам (Сударыня и Тризо), наибольшее увеличение хлорофилла *a* на 49 % (t=2,5) зарегистрировано при применении штамма *Ps. fluorescens* SPB2137 (t=2,6), что обусловливало существенный рост при p<0,05 числа (на 21 %) и длины узловых корней (на 14 %), длины колоса (на 10 %), числа колосков в колосе (на 8 %) и массы 1000 зерен (на 7 %). На сорте Тризо зарегистрирован существенный рост (при P<0,05 на 61 %) содержания хлорофилла *b* во флаговых листьях при применении штамма *Ps. fluorescens* SPB2137, тенденция роста (P>0,05) – с *B. subtilis* 124-11 (на 37 %) и *Sphingomonas* sp. K1B (на 35 %)» (Колесников и др., 2023а).

Сударыня, к-66407



Trizo, к-64981

Рис. 79 – Количество изменений (%) в значениях показателей продуктивности пшеницы при применении штаммов ассоциативных ризобактерий по сравнению с контролем. 2019 г. Варианты инокуляции: 124-11 - *B. subtilis* 124-11, K1B - *Sphingomonas* sp. K1B, SPB2137 - *Ps. fluorescens* SPB2137 (Kolesnikov et al., 2021b)

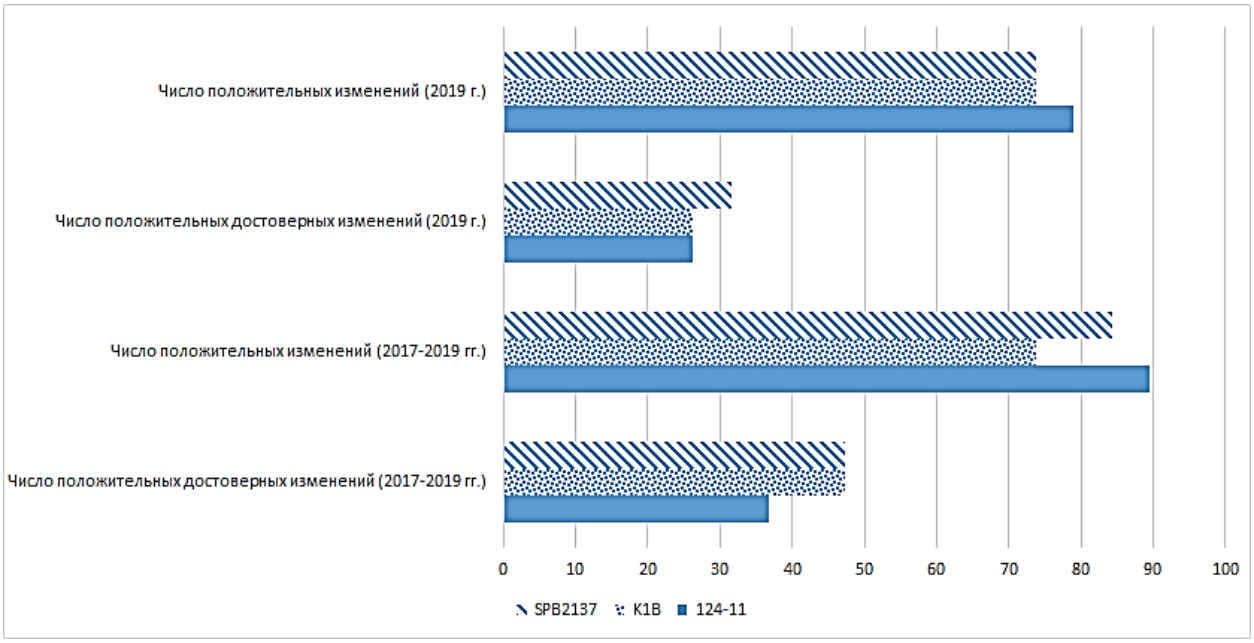


Рис. 80 – Количество изменений (%) в значениях показателей продуктивности двух сортов пшеницы (Сударыня, к-66407 и Trizo, к-64981) при применении штаммов ассоциативных ризобактерий по сравнению с контролем. 2017-2019 гг. Варианты инокуляции: 124-11 - *B. subtilis* 124-11, K1B - *Sphingomonas* sp. K1B, SPB2137 - *Ps. fluorescens* SPB2137 (Kolesnikov et al., 2021b)

Наибольшей эффективностью в экстремальных метеоусловиях 2021 г. обладали штаммы *Bacillus subtilis* 124-11 *и Sphingomonas* sp. K1B, применение которых на сорте Trizo, к-64981 обусловливало существенный рост урожайности пшеницы с 0,40 до 1,86 г/растение (с 0,8 т/га до 3,7 т/га) и с 0,40 до 1,08 г/растение (с 0,8 т/га до 2,15 т/га). Метеоусловия вегетационного

периода 2021 г. по сравнению с 2017 – 2019 гг. характеризовались высокими значениями температуры (сумма температур в мае выше 10°С была больше – на 22,3%, сумма температур в июне – на 28,4% и в июле – на 54,7%) и более низкими значениями суммы выпавших осадков в июне – на 81,1% и июле – на 94,3%. При этом сумма выпавших осадков в мае 2021 г. была больше на 150,7% в сравнении со средней величиной показателя 2017-2019 гг. Кроме того, в 2021 г. были отмечены большие значения среднего за год и за июль месяц числа пятен на Солнце – на 174,6% и 406,9% по сравнению с 2017-2019 гг., соответственно (Колесников и др., 2023а).

В 2019 г. сорта Тризо и Сударыня практически в равной степени были поражены корневой гнилью ($R_г$=40%). Методом микроскопического анализа был идентифицирован гриб *Bipolaris sorokiniana* (Sacc.) Shoem. – возбудитель гельминтоспориозной корневой гнили пшеницы. В 2019 г. наиболее выраженное статистически достоверное снижение развития болезни P<0,05 было отмечено на сорте Сударыня, к-66407 в вариантах с применением штаммов *B. subtilis* 124-11: на 21%, t= 6,6 и *Ps. fluorescens* SPB2137: на 27%, t= 2,5.

Результаты сравнительного анализа развития корневой гнили пшеницы за период 2017-2019 гг. в вариантах опыта с применением штаммов ассоциативных ризобактерий и без применения (контроль) на двух сортах пшеницы (Тризо и Сударыня) отражены на рис. 81. Максимальное снижение интенсивности развития болезни (на 26%) было зарегистрировано на сорте Тризо после применения штамма *Sphingomonas* sp. K1B. (Kolesnikov et al., 2021b).

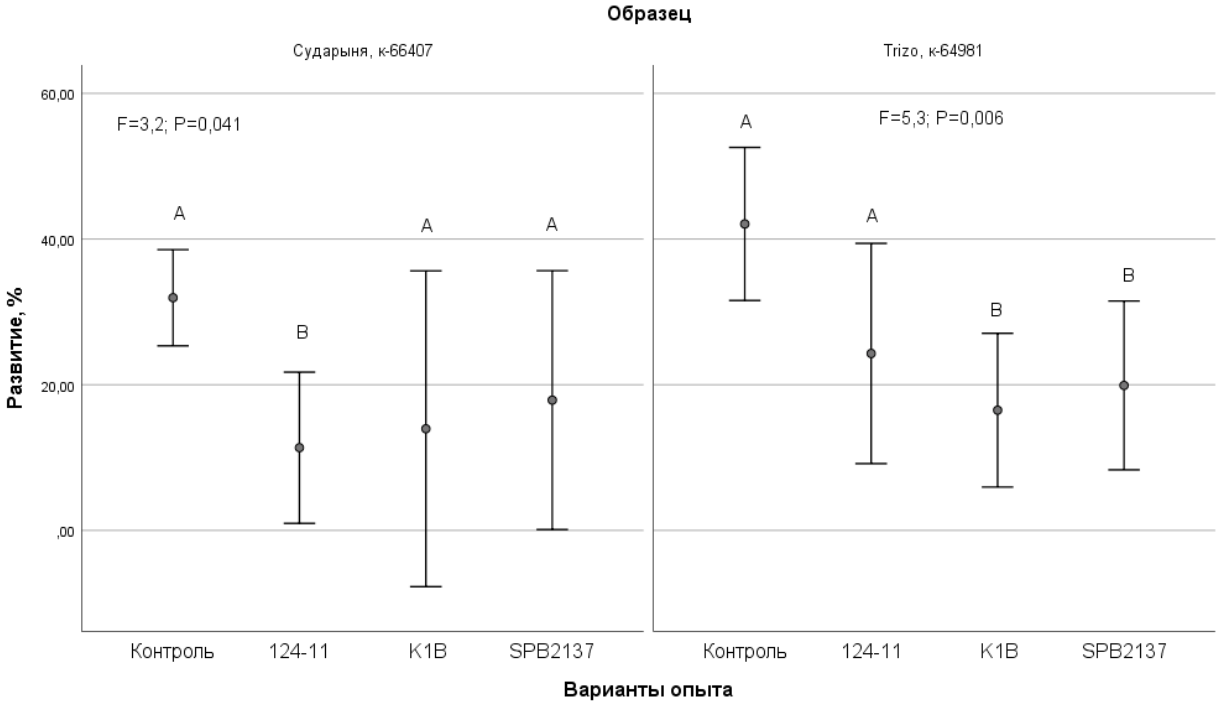


Рис. 81 – Развитие корневой гнили пшеницы в вариантах опыта с применением штаммов ассоциативных ризобактерий и без применения (контроль) на двух сортах пшеницы (Trizo, к-64981 и Сударыня, к-66407). 2017-2019 гг.

Варианты инокуляции: Контроль – вода, 124-11 - *B. subtilis* 124-11, K1B - *Sphingomonas* sp. K1B, SPB2137 - *Ps. fluorescens* SPB2137. На графиках представлены средние значения показателя и 95 % доверительные интервалы, * - одинаковыми буквами обозначены достоверно не различающиеся значения показателя (Kolesnikov et al., 2021b)

«В 2021 г. статистически достоверное снижение развития корневой гнили было выявлено на сорте мягкой пшеницы Сударыня при применении всех штаммов ассоциативных ризобактерий, а также на сорте Ленинградская 6 в вариантах опыта, где были применены – *Bacillus subtilis* 124-11 и *Pseudomonas fluorescens* SPB2137» (Колесников и др., 2023а).

В 2019 г. незначительной эффективностью в отношении снижения интенсивности развития мучнистой росы обладал только штамм *Sphingomonas* sp. K1B. В данном варианте опыта снижение развития болезни составило 6%, число пятен с налетом уменьшилось на 27%. Однако за период 2017-2019 гг. на сорте Сударыня, к-66407 выявлено достоверное снижение площади пятен с налетом мучнистой росы (*Sphingomonas* sp. K1B. – на 58%, t = 2,3; *Ps. fluorescens*

SPB2137 – на 60%, t = 2,3; *B. subtilis* 124-11 – на 64%; t = 2,5) (Kolesnikov et al., 2021b).

«В 2022 г. статистически достоверное снижение развития болезни было зарегистрировано при использовании всех штаммов ассоциативных ризобактерий на сортах Ленинградская 6 и Ajeeba: *B. subtilis* 124-11 – на 12,8 % и 18 %; *Sphingomonas* sp. K1B – на 12 % и 19 %; *Ps. fluorescens* SPB2137 − на 12 % и 18 %. На сорте Тризо развитие мучнистой росы было существенно меньше, чем в контроле, в вариантах с обработкой штаммами *B. subtilis* 124-11 и *Sphingomonas* sp. K1B – на 14 % и 13 %, соответственно» (Колесников и др., 2023а).

В 2019 г. наиболее сильное поражение растений бурой ржавчиной было зарегистрировано на сорте Тризо ($R_б$=28,8±6,9%, число пустул $N_п$=295,8±126,3). Интенсивность поражения болезнью сорта Сударыня, к-66407 составила: $R_б$=6,9±1,8%, число пустул $N_п$=48,0±20,0. Незначительное снижение развития болезни, от 7% до 8% по сравнению с контролем, было зафиксировано в вариантах опыта, где были использованы штаммы *B. subtilis* 124-11, *Sphingomonas* sp. K1B. и *Ps. fluorescens* SPB2137. Однако за период 2017-2019 гг. выявлено достоверное снижение развития бурой ржавчины по сравнению с контролем, в среднем по двум сортам пшеницы, при применении штамма *Sphingomonas* sp. K1B. (на 10%, t=2,6) (Kolesnikov et al., 2021b).

«В 2021 г. статистически достоверное снижение развития бурой ржавчины на 9% было отмечено на только на сорте мягкой пшеницы Ленинградская 6 при использовании штамма *B. subtilis* 124-11» (Колесников и др., 2023а).

В 2019 г. наиболее сильное поражение растений желтой ржавчиной было зарегистрировано на сорте Сударыня ($R_б$=21,7±6,6%, число пустул $N_п$=857,2±242,5). Интенсивность поражения болезнью сорта Тризо составила: $R_б$=8,0±4,0%, число пустул $N_п$=242,0±122,4. Наибольшее снижение поражения пшеницы желтой ржавчиной по сравнению с контролем было зарегистрировано на сорте Сударыня при применении штамма *Sphingomonas* sp. K1B

(недостоверно по развитию болезни при P>0,05 – на 12%; число полос – на 13% и достоверно при P<0,05 по число пустул в полосе – на 34%, t=2,7; число пустул на лист – на 35%, t=3,0). Не выявлено в 2019 г. симптомов желтой ржавчины пшеницы в варианте опыта с применением на сорте Тризо штамма *B. subtilis* 124-11. Использование штамма *Ps. fluorescens* SPB2137 на сорте Тризо определяло незначительное (P>0,05) снижение интенсивности развития болезни (на 7%), числа полос (на 13%) и существенное снижение (P<0,05) длины полосы на 50% (t=2,2), числа пустул в полосе на 75%, (t=2,5) числа пустул на лист – на 80% (t=2,7). В среднем по вышеуказанным сортам за период 2017-2019 гг. наибольшей эффективностью в отношении желтой ржавчины обладал штамм *Sphingomonas* sp. K1B, применение которого определяло снижение длины полосы при P<0,05 на 22% (t=2,6), числа пустул в полосе на 29% (t=2,5). Существенное снижение площади пустулы возбудителя на 44% (t=4,7) определено в варианте опыта с применением *Ps. fluorescens* SPB2137 (Kolesnikov et al., 2021b).

«В 2022 г. обработка сорта Ленинградская 6 штаммом *B. subtilis* 124-11 обуславливала снижение интенсивности развития болезни на 12 %. При этом число пустул возбудителя существенно уменьшилось на 47 % (с 844 шт./лист до 444 шт./лист)» (Колесников и др., 2023a).

За период 2017-2018 гг. между морфологическими признаками растений сортов Сударыня и Тризо, структурой урожайности и фитопатологическими характеристиками выявлены определенные взаимосвязи (Колесников и др., 2019d). С использованием коэффициента ранговой корреляции Спирмена отмечено, что с развитием корневой гнили на сорте Trizo наблюдалось усиление степени поражения растений септориозом (r=0,9, P=0,05). Число полос, формируемых возбудителем желтой ржавчины на флаговых листьях положительно коррелировало со значениями площади пятен с налетом мучнистой росы на флаговых (r=0,9, P=0,03); и предфлаговых листьях (r=0,5, P=0,04). Была отмечена положительная корреляция между значениями длины

полос желтой ржавчины и числом (r=0,9, P=0,04), площадью (r=0,5, P=0,04) пятен с налетом мучнистой росы на предфлаговых листьях.

Число полос желтой ржавчины на флаговом листе положительно коррелировало с высотой растений (r= 0,8, P=0,01), обратно коррелировало с числом (r= - 0,7, P=0,01) и массой корней растения (r= - 0,8, P=0,03), общей кустистостью (r= - 0,9, P=0,02). Усиление степени поражения предфлаговых листьев септориозом способствовало уменьшению длины колоса пшеницы (r= - 0,4, P=0,02). Значения площади пустул жёлтой ржавчины обратно коррелировали с потенциальной урожайностью пшеницы (r= - 0,5, P=0,04).

Усиление развития корневой гнили сорта Сударыня определяло снижение длины узловых корней (r= -0,7, P=0,01), продуктивной кустистости (r= -0,7, P=0,03), общей кустистости (r= -0,6, P=0,03), длины колоса (r= -0,6, P=0,04), площади флагового листа (r= -0,5, P=0,04), массы вегетативной части растения (r= -0,5, P=0,04), потенциальной урожайности (r= -0,6, P=0,04).

Развитие желтой ржавчины на флаговых листьях сорта Сударыня усиливалось с развитием септориоза (r= 0,6, P=0,02) и мучнистой росы на предфлаговых листьях (r= 0,8, P=0,02).

Число корней растений сорта Сударыня росло с увеличением числа пятен с налетом мучнистой росы на флаговых листьях (r= 0,8, P=0,03), а длина корней уменьшалась с увеличением интенсивности развития болезни (r= - 0,6, P=0,04) и площади пятен с налетом (r= - 0,5, P=0,03). Снижение продуктивной кустистости определялось ростом интенсивности площади пятен с налетом возбудителя (r= - 0,4, P=0,03). При этом общая кустистость возрастала с увеличением интенсивности развития болезни (r= 0,5, P=0,008) и числа пятен на предфлаговых листьях (r= - 0,5, P=0,01). Усиление развития мучнистой росы на флаговых листьях приводило к снижению площади флагового листа (r= - 0,5, P=0,04); площади предфлагового листа (r= - 0,7, P=0,006), числа колосков в колосе (r= - 0,8, P=0,007; r= - 0,6, P=0,0003); массы колоса (r= - 0,6, P=0,04; r= - 0,4, P=0,01). Развитие мучнистой росы на предфлаговых листьях способствовало снижению числа зерен в колосе (r= - 0,4, P=0,0002), массы 1000

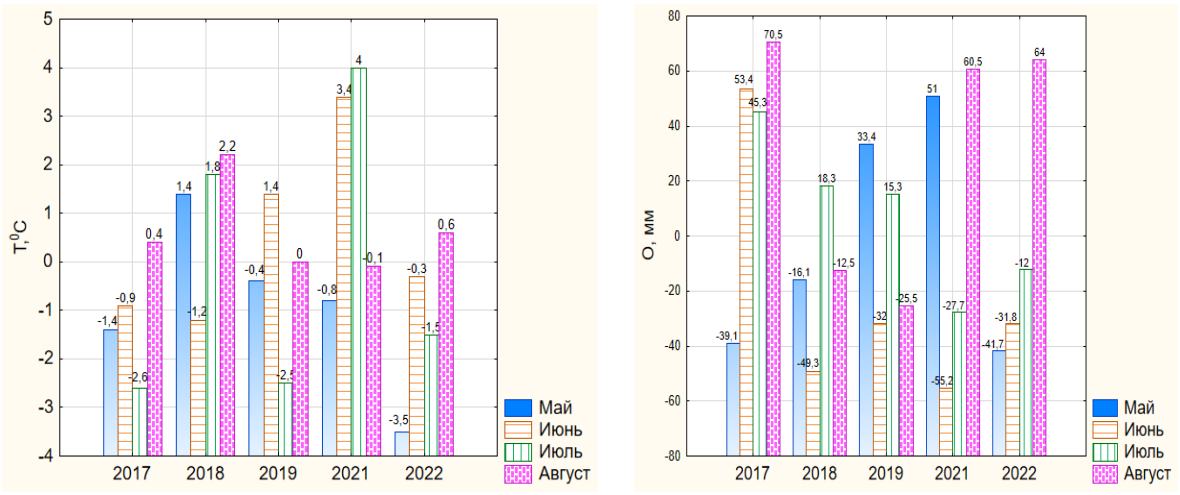
зерен (r= - 0,5, P=0,00003). Развитие септориоза определяло снижение длины колоса (r= - 0,4, P=0,001), массы колоса с зернами (r= - 0,4, P=0,001), числа колосков в колосе (r= - 0,3, P=0,04).

Обобщая вышеизложенное, можно отметить, что возбудители особо опасных болезней в наибольшей степени оказывали влияние на элементы продуктивности сорта Сударыня, несмотря на то, что сорт Тризо был к ним более восприимчив. Поэтому на сорте Сударыня ростостимулирующий эффект от применения штаммов ассоциативных бактерий, снижающих интенсивность поражения растений болезнями, был более выражен (Колесников и др., 2019d).

Заключение. Наиболее выраженным защитным действием против развития корневой гнили и комплекса особо опасных болезней листьев отличался штамм *Sphingomonas* sp. K1B. Полученные данные свидетельствуют о возможности более эффективного возделывания и защиты мягкой пшеницы от болезней при применении бактериальных штаммов, что позволит повысить урожайность пшеницы и ее устойчивость к основным возбудителям болезней. Однако эффективность штаммов ассоциативных бактерий в отношении снижения вредоносности болезней зависела от вида и сорта зерновой культуры, типа патогенеза, формируемого развитием возбудителей болезней. Результаты работы подтверждают имеющиеся в литературе сведения, о том, что максимальный эффект от применения бактериальных препаратов можно получить на основе тщательного отбора тех штаммов, которые в большей степени соответствуют биологическим свойствам исследуемых видов и сортов растений. При этом адаптивный потенциал растений к факторам внешней среды во многом может определяться характером взаимодействия корневой системы растений с комплексом микроорганизмов, видовой состав которых зависит от возделываемой культуры.

4.2.4 Анализ варьирования эффективности применения ассоциативных ризобактерий при возделывании мягкой пшеницы в зависимости от метеорологических факторов

Вегетационный период – май-июль 2017-2022 гг. отличался умеренными колебаниями среднемесячной температуры воздуха согласно расчетным величинам коэффициентов вариации V: $V_{май}$ = 16%; $V_{июнь}$ =11%; $V_{июль}$= 15%, а также ее незначительным варьированием в августе ($V_{август}$ =5%). Минимальные величины среднемесячной температура воздуха и суммы осадков ($T_{май}$=8,5±0,5^{0}C и $O_{май}$=4,3±0,1 мм) выявлены в мае 2022 г. – в межфазный период пшеницы: всходы–колошение, а отклонение их значений от многолетних составило 3,5˚C и 41,7 мм, соответственно (рис. 82). Кроме того, многолетние периоды вегетации пшеницы характеризовались значительными колебаниями суммы осадков: $V_{май}$ = 98%; $V_{июнь}$ =102%; $V_{июль}$=33%; $V_{август}$ = 44%.

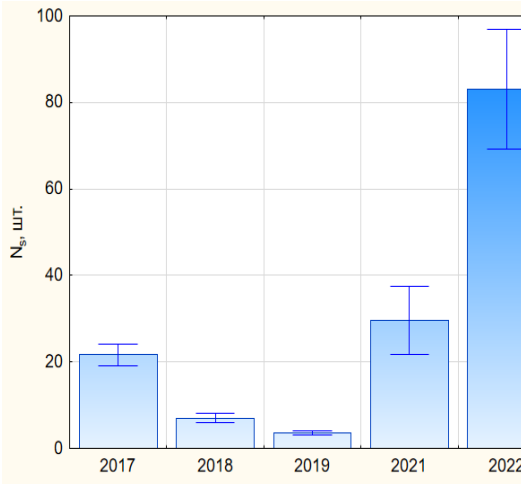


а) б)

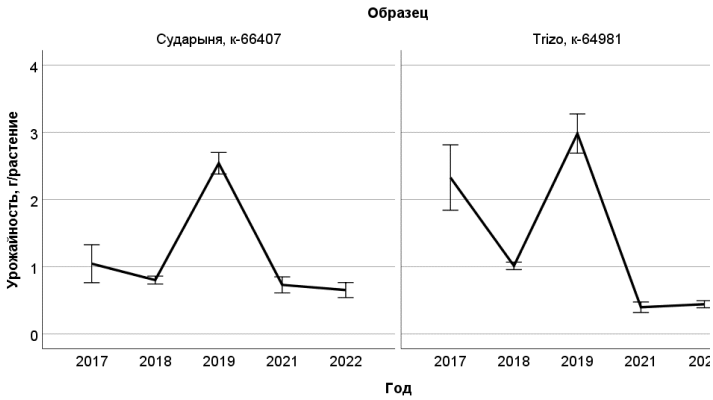
Рис. 82 – Отклонения среднемесячной температуры воздуха (а) и суммы осадков (б) в зависимости от многолетних значений в период вегетации пшеницы. 2017-2022 г.

Максимальные значения тепловлагообеспеченности в июле и августе были выявлены в 2017 г. (переувлажнение: $ГТК_{июль}$ = 2,9 и $ГТК_{август}$=2,7), минимальные в 2019 г. ($ГТК_{июль}$ = 1,0 и $ГТК_{август}$=0,9). Кроме того, зафиксировано сильное колебание числа пятен на Солнце за период 2017-2022 гг. В 2022 г. отмечено максимальное годовое число пятен на Солнце: N_s=83,1±13,9, а в 2019 – минимальное (N_s=3,6±0,5) – рис. 83.

Динамика урожайности сортов пшеницы сильно варьировала по годам исследования: Сударыня – V_y=63,4%, Trizo – V_y=81,1%. Наибольшая урожайность пшеницы Y_w была отмечена в 2019 г.: Сударыня – Y_w=2,5 г/растение; Trizo– Y_w=3,0 г/растение. В 2019 г. среднемесячная температура в мае практически не отличалась от среднемноголетнего значения (изменение показателя составило – 0,4˚С), а сумма выпавших осадков в мае была существенно больше (на 33,4 мм) по сравнению с многолетней величиной. При этом сумма осадков в мае 2019 г. в пересчете с момента посева пшеницы (10 мая) была максимальной ($О_{май}$=72,0±3,5 мм) по сравнению с другими годами. Число пятен на Солнце в данном месяце было минимальным. Однако ГТК, рассчитанный для июля и августа 2019 г., свидетельствовал об умеренном увлажнении пшеницы в указанные месяцы.



а)



б)

Рис. 83 –Динамика годового количество пятен на Солнце (WDC-SILSO, Royal Observatory of Belgium, Brussels) и урожайности пшеницы. 2017-2022 гг.

Применение штаммов ассоциативных ризобактерий существенно увеличивало урожайность пшеницы, однако их эффективность варьировала по годам исследования (рис. 84). В 2017 г. во всех вариантах опыта на сорте пшеницы Сударыня зафиксирована статистически достоверная прибавка урожая по сравнению с контролем при применении бактериальных штаммов: *Bacillus subtilis* 124-11 – на 5,9 г/растение (на 564,8%), *Sphingomonas* sp. K1B – на 1,6 г/растение (на 153,8%), *Pseudomonas fluorescens* SPB2137 – на 3,9 г/растение (на 377,0%). Как было указано выше, в июне-августе 2017 г. выпало

максимальное число осадков по сравнению с другими вегетационными периодами, а среднемесячная температура в августе превышала среднемноголетнее значение на 0,4°С. Однако урожайность пшеницы сорта Trizo существенно не изменилась по сравнению с контролем в 2017 г. при обработке растений указанными штаммами, а значительная прибавка урожая пшеницы в большинстве вариантов опыта была выявлена в 2021 г.: *Bacillus subtilis* 124-11 – на 1,5 г/растение (на 368,6%), *Sphingomonas* sp. K1B – на 0,7 г/растение (на 270,6%). Вегетационный период 2021 г. отличался максимально высокой температурой воздуха в июне и июле – больше на 3,4°С и 4,0°С по сравнению со среднемноголетними значениями, соответственно. В указанном году в мае и августе по сравнению с многолетними значениями зафиксированы максимально большие значения суммы осадков: на 51 мм и на 60,5 мм. При этом июнь и июль были засушливыми – сумма осадков была меньше на 55,2 мм и 27,7 мм по сравнению с многолетними значениями**.** Кроме того, в 2019 г. выявлено существенное влияние штамма *Bacillus subtilis* 124-11 на прибавку урожая у обоих сортов пшеницы: Сударыня – на 1,3 г/растение (на 50,3%) и Trizo – на 1,5 г/растение (на 51,7 %).

На основании расчета площади под кривой, описывающей многолетнее изменение урожайности пшеницы S_{curve} относительно контроля и определения ее средневременных значений Y_t при применении бактериальных штаммов было установлено, что наибольшими величинами S_{curve} и Y_t отличались варианты опыта, где был использован штамм *Bacillus subtilis* 124-11 на сортах Сударыня: S_{curve}= 4,9 г, Y_t= 1,0 г/год и Trizo: S_{curve}= 5,2 г, Y_t= 1,0 г/год.

При использовании штаммов *Sphingomonas* sp. K1B и *Pseudomonas fluorescens* SPB2137, динамика изменения урожайности на сортах пшеницы характеризовалась следующими показателями: сорт Сударыня: S_{curve}= 1,0 г, Y_t= 0,2 г/год и S_{curve}= 5,2 г, Y_t= 1,0 г/год; сорт Trizo: S_{curve}= 3,0 г, Y_t= 0,6 г/год и S_{curve}= 2,2 г, Y_t= 0,4 г/год, соответственно.

Полученные данные свидетельствуют о большей отзывчивости двух вышеперечисленных сортов пшеницы, возделываемых в годы с разными

метеорологическими условиями на применение штамма *Bacillus subtilis* 124-11, что сопровождалось ростом урожайности пшеницы на 1,0 г по сравнению с контролем в год посева. Также следует отметить, что аналогичная тенденция выявлена при использовании штамма *Pseudomonas fluorescens* SPB2137 на сорте Сударыня, к-66407. Наименьшее влияние метеорологических условий многолетних периодов возделывания пшеницы на изменение ее урожайности относительно контроля выявлено при использовании штамма *Sphingomonas* sp. K1B. При этом средневременное изменение урожайности пшеницы по сравнению с контролем на сорте Сударыня, к-66407 составило 0,2 г в год, а на сорте Trizo, к-64981 – 0,6 г в год.

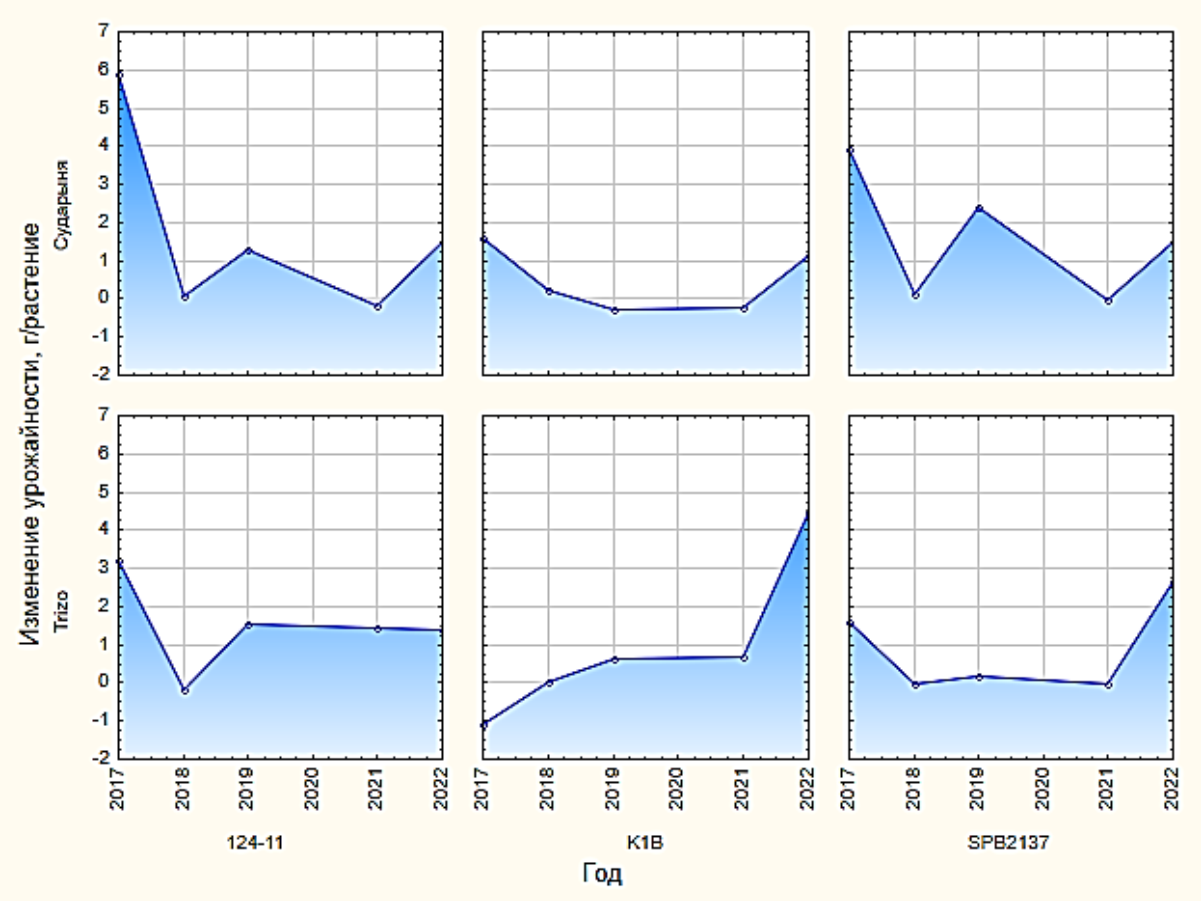


Рис. 84 – Динамика изменения урожайности пшеницы при применении штаммов ассоциативных ризобактерий по сравнению с контролем. 2017-2022 гг.

Данные об изменении потенциальной урожайности пшеницы при применении штаммов ассоциативных ризобактерий приведены на рис. 85. Согласно расчету средневременных значений показателя было установлено, что наибольшими величинами S_{curve} и Y_t отличались варианты опыта, где был

использован штамм *Bacillus subtilis* 124-11 на сортах Сударыня: S_{curve}= 8,8 т, Y_t= 1,8 т/год и Trizo: S_{curve}= 9,8 т, Y_t= 2,0 т/год.

Как следует из данных таблицы 7П.1 приложения 7, на увеличение биологической урожайности $\triangle Y_b$ (г/растение) и потенциальной урожайности пшеницы $\triangle Y_p$ (т/га) при применении ассоциативных ризобактерий по сравнению с контролем, оказывало влияние снижение суммы температур в мае, июне и июле, а также повышение величины метеопоказателя в августе. Кроме того, в большинстве вариантов опыта с применением бактериальных штаммов отмечена тенденция снижения $\triangle Y_b$ и $\triangle Y_p$ с увеличением суммы осадков и относительной влажности воздуха в мае, относительной влажности воздуха в июне, а также со снижением суммы осадков и относительной влажности воздуха в июле и августе. Положительное влияние на рост урожайности пшеницы оказывало увеличение ГТК в августе, а также показатели активности Солнца в июле-августе (число пятен на Солнце, число Вольфа).

В частности, при детальном анализе корреляционных связей между потенциальной урожайностью пшеницы и метеорологическими условиями периодов вегетации при $P<0,05$ было установлено, что возрастание суммы осадков в мае (с 11 числа), обуславливало существенное снижение величины относительного изменения потенциальной урожайности пшеницы с единицы площади (т/га) к контролю $\triangle Y_p$ при применении на сорте Сударыня штаммов *Bacillus subtilis* 124-11 (r=-0,98) и *Pseudomonas fluorescens* SPB2137 (r=-0,97). В основном данная тенденция была вызвана снижением массы 1000 зерен с возрастанием данного метеопоказателя в указанных вариантах опыта (r=-0,97 и r=-0,95, соответственно). Существенное влияние на изменение потенциальной урожайности пшеницы при применении бактериальных штаммов к контролю оказало число пятен, формируемых на Солнце в год наблюдения. В частности, прибавка урожая при применении штамма *Bacillus subtilis* 124-11 на сорте Trizo определялась ростом числа пятен на Солнце – r=0,98 и 0,97. Аналогичная

взаимосвязь между указанными показателями выявлена при применении штамма *Sphingomonas* sp. K1B на сорте Сударыня (r=0,97) и Trizo (r=0,96).

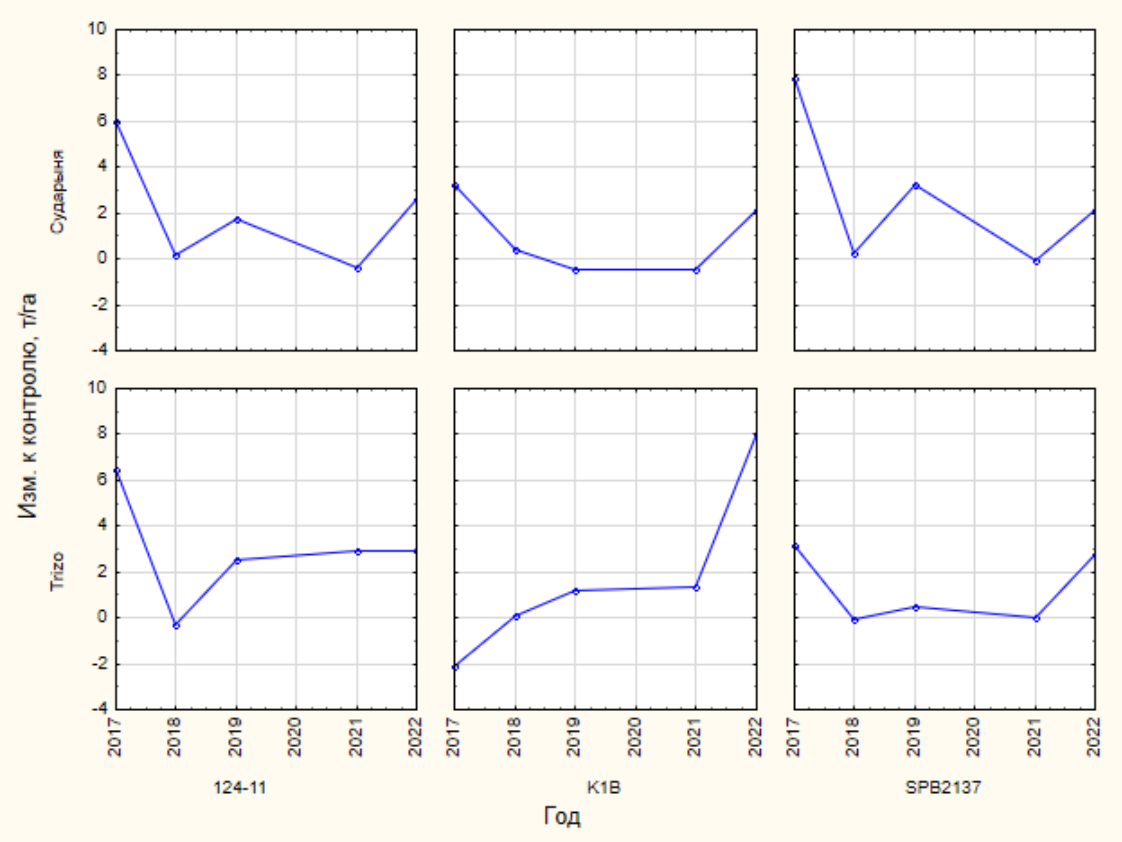


Рис. 85 – Динамика изменения потенциальной урожайности пшеницы при применении штаммов ассоциативных ризобактерий по сравнению с контролем. 2017-2022 гг.

Изменение высоты растений $\triangle H_w$ по сравнению с контролем положительно коррелировало с суммой температур, суммой осадков, относительной влажностью воздуха в мае, суммой температур в июне и отрицательно коррелировало с суммой температур, суммой осадков, числом пятен на Солнце, числом Вольфа в июле, с годовым числом пятен на Солнце. Выявлены достоверные прямые связи между $\triangle H_w$ при применении штамма *Bacillus subtilis* 124-11 на сорте Сударыня, суммой температур (r=0,96), суммой осадков (r=0,96), относительной влажностью воздуха (r=0,99) в июне.

На рост числа колосков в колосе при применении ассоциативных ризобактерий по сравнению с контролем $\triangle N_s$ положительное влияние оказывало увеличение суммы температур в мае, июне, июле, ГТК в июле, число пятен на Солнце и индекс Вольфа в июле, отрицательное – сумма осадков и относительная влажность в июне, июле. Выявлены прямые корреляционные

связи между температурой июля и $\triangle N_s$ при применении штамма *Sphingomona*s sp. K1B на сортах Сударыня (r=0,99) и Trizo (r=0,98), обратная связь – между $\triangle N_s$ при применении штамма *Bacillus subtilis* 124-11 на сорте Сударыня и суммой осадков в мае (r=-0,96).

В отношении величины изменения массы 1000 зерен пшеницы $\triangle M_{1000}$ в большинстве вариантов опыта с применением ассоциативных ризобактерий доминировала положительная корреляционная связь со следующими метеопоказателями: число пятен на Солнце и индекс Вольфа в июле и августе, годовое число пятен на Солнце, сумма температур в августе и относительная влажность воздуха в августе, ГТК (август). Величина изменения $\triangle M_{1000}$ обратно коррелировала с суммой температур, суммой осадков, относительной влажностью воздуха в мае, с суммой осадков в июне, суммой температур и суммой осадков в июле. В частности, зависимости между $\triangle M_{1000}$ на сорте Сударыня при применении *Bacillus subtilis* 124-11, *Pseudomonas fluorescens* SPB2137 и суммой осадков в мае описываются коэффициентами корреляции: r= -0,97; r= -0,95.

В ходе расчета доли статистически достоверных ($P<0,05$) коэффициентов корреляции в матрице коэффициентов, характеризующих взаимосвязи между комплексом метеофакторов вегетационных периодов и относительными величинами изменения элементов продуктивности пшеницы при применении бактериальных штаммов в сравнении с контролем было установлено, что наибольшим экологическим варьированием отличались варианты опыта, где был использован штамм *Bacillus subtilis* 124-11 (таблица 5П.1, приложение 5). Относительная величина статистически достоверных коэффициентов корреляции при его применении на сорте Сударыня составила 10,6%, на сорте Trizo – 5,1%. В тоже время, при применении штамма *Sphingomona*s sp. K1B (*Pseudomonas fluorescens* SPB2137) на сортах Сударыня и Trizo она составила 5,3% (7,3%) и 4,3% (4,3%).

Данные о снижении пораженности пшеницы возбудителем корневой гнили при применении ассоциативных ризобактерий по годам исследования отражены на рис. 86. Наибольшие средневременные величины относительного

снижения развития болезни к контролю $R_{t(rot)}$ были отмечены после использования штамма *Sphingomonas* sp. K1B: сорт Сударыня – $R_{t(rot)}$= - 17,6 %; Trizo – $R_{t(rot)}$= - 13,0 %. В вариантах опыта с применением штаммов *Bacillus subtilis* 124-11 (*Pseudomonas fluorescens* SPB2137) снижение развития болезни в среднем, за год, составило: сорт Сударыня – $R_{t(rot)}$= - 14,8 % ($R_{t(rot)}$= - 11,7 %); Trizo – $R_{t(rot)}$= - 8,5 % ($R_{t(rot)}$= - 11,6 %). Максимальное снижение развития болезни при применении штамма *Sphingomonas* sp. K1B было выявлено на сортах Сударыня и Trizo в 2021 г. – на 32,5% (БЭ=72,2%) и 2018 г. – на 36,0% (БЭ=85,6%).

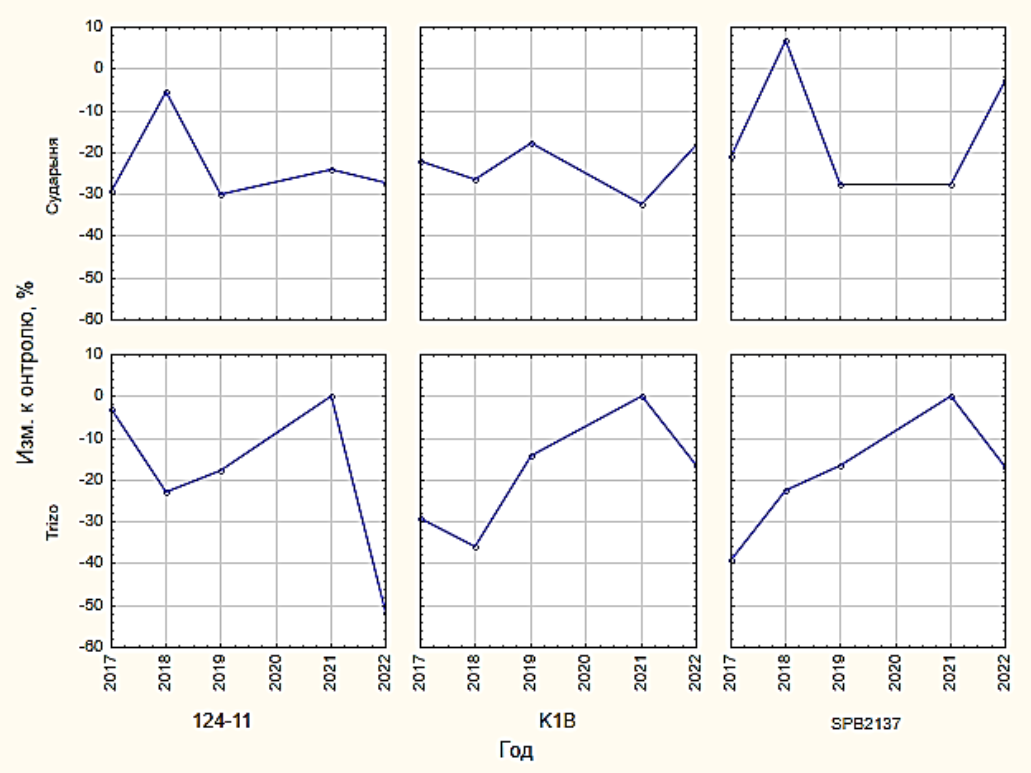


Рис. 86 – Динамика снижения развития корневой гнили пшеницы при применении штаммов ассоциативных ризобактерий по сравнению с контролем. 2017-2022 гг.

Наибольшие средневременные значения относительного снижения интенсивности поражения пшеницы возбудителем бурой ржавчины выявлены при использовании штамма *Sphingomonas* sp. K1B: сорт Сударыня – $R_{t(lr)}$= - 3,3 %; Trizo – $R_{t(lr)}$= - 9,5 %. Максимальная величина снижения развития болезни зарегистрирована в 2018 г. на сорте Trizo $R_{(lr)}$ = -25,5% (БЭ=85,5%) – рис. 87. При этом число пустул на флаговом листе пшеницы снизилось на 90,3%, площадь пустулы –на 39,4%. Существенного влияния штаммов *Bacillus subtilis* 124-11 и *Pseudomonas fluorescens* SPB2137 на пораженность растений болезнью

в остальных вариантах опыта не выявлено. Однако при использовании расчетного показателя – числа пустул на лист отмечено его снижение на 79% в варианте опыта, где на сорте Сударыня был использован штамм *Bacillus subtilis* 124-11 в 2021 г.

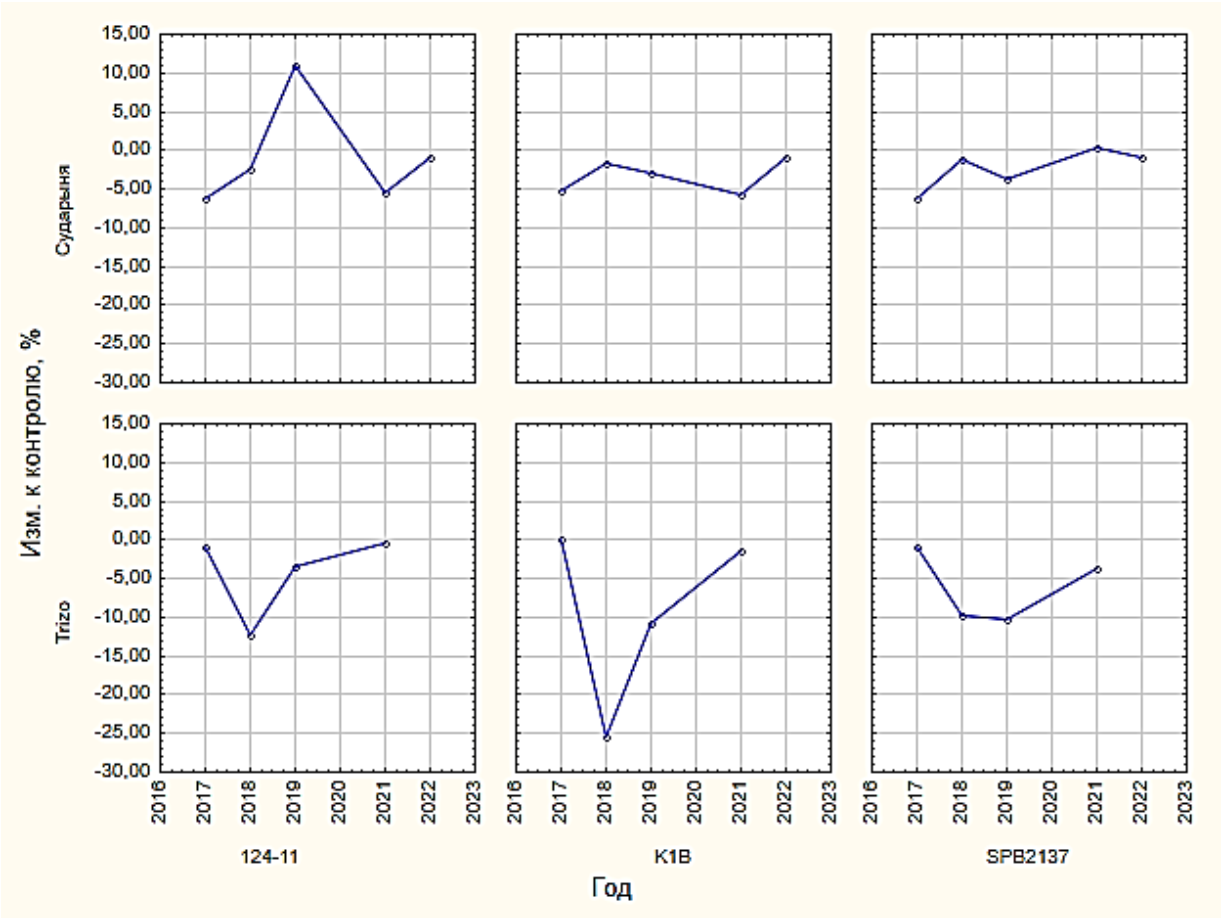


Рис. 87 – Динамика снижения развития бурой ржавчины пшеницы при применении штаммов ассоциативных ризобактерий по сравнению с контролем. 2017-2022 гг.

Наибольшая величина средневременного снижения развития желтой ржавчины была отмечена при применении *Sphingomonas* sp. K1B $R_{t(yr)}$ на сорте Сударыня – 4,3 % (рис. 88).

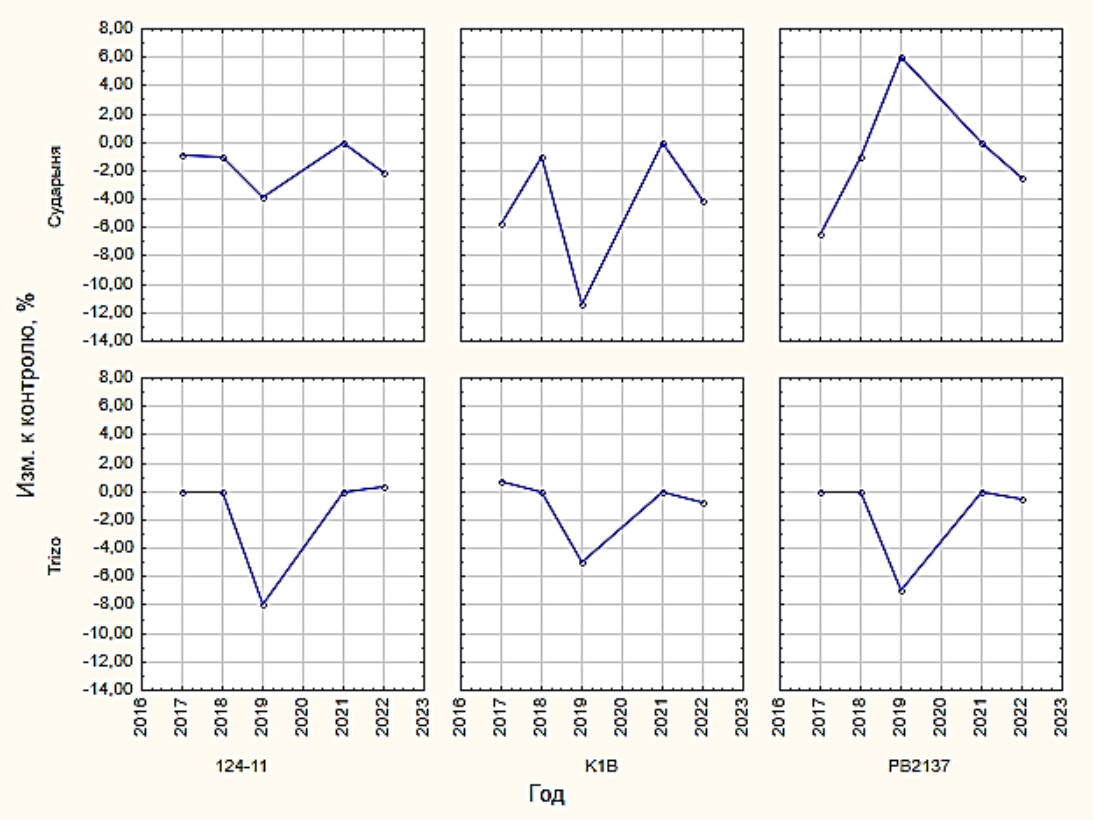


Рис. 88 – Динамика снижения развития желтой ржавчины пшеницы при применении штаммов ассоциативных ризобактерий по сравнению с контролем. 2017-2022 гг.

В частности, в 2019 г. развитие болезни при использовании указанного штамма снизилось на 11,4%, а число полос и пустул в полосе – на 12,5% и 33,8%. В остальных вариантах опыта не выявлено существенного влияния бактериальных штаммов на развитие болезни.

В отношении септориоза наибольшей эффективностью обладал штамм *Pseudomonas fluorescens* SPB2137: сорт Сударыня – $R_{t(s)}$= - 5,0 %; Trizo – $R_{t(s)}$= - 4,9%. Наибольшее снижение развития болезни выявлено на сорте Сударыня в 2018 г. – на 19,4% (БЭ=80,0%), а на сорте Trizo – в 2017 г. (на 12,6%, БЭ=70,1%) – рис. 89. При использовании штамма *Sphingomonas* sp. K1B на сорте Сударыня существенное снижение развития болезни было выявлено в 2017 и 2022 г. – на 19,5% (БЭ=87,6%) и 7,0% (БЭ=71,4%), соответственно. На сорте Trizo, к-64981 применение указанного штамма обуславливало снижение развития болезни в 2017 г. – на 14,0%, БЭ=77,8%, в 2018 г. – на 11,2%, БЭ=75,3%, в 2022 г. – на 4,0%, БЭ=100%). Не выявлено существенного влияния штамма *Bacillus subtilis* 124-11 на развитие септориоза на сорте Сударыня, однако на сорте Trizo

зарегистрировано снижение пораженности болезнью растений в 2017 г. – на 13,6%, БЭ=75,4% и в 2019 г. – на 4,0%, БЭ=100%.

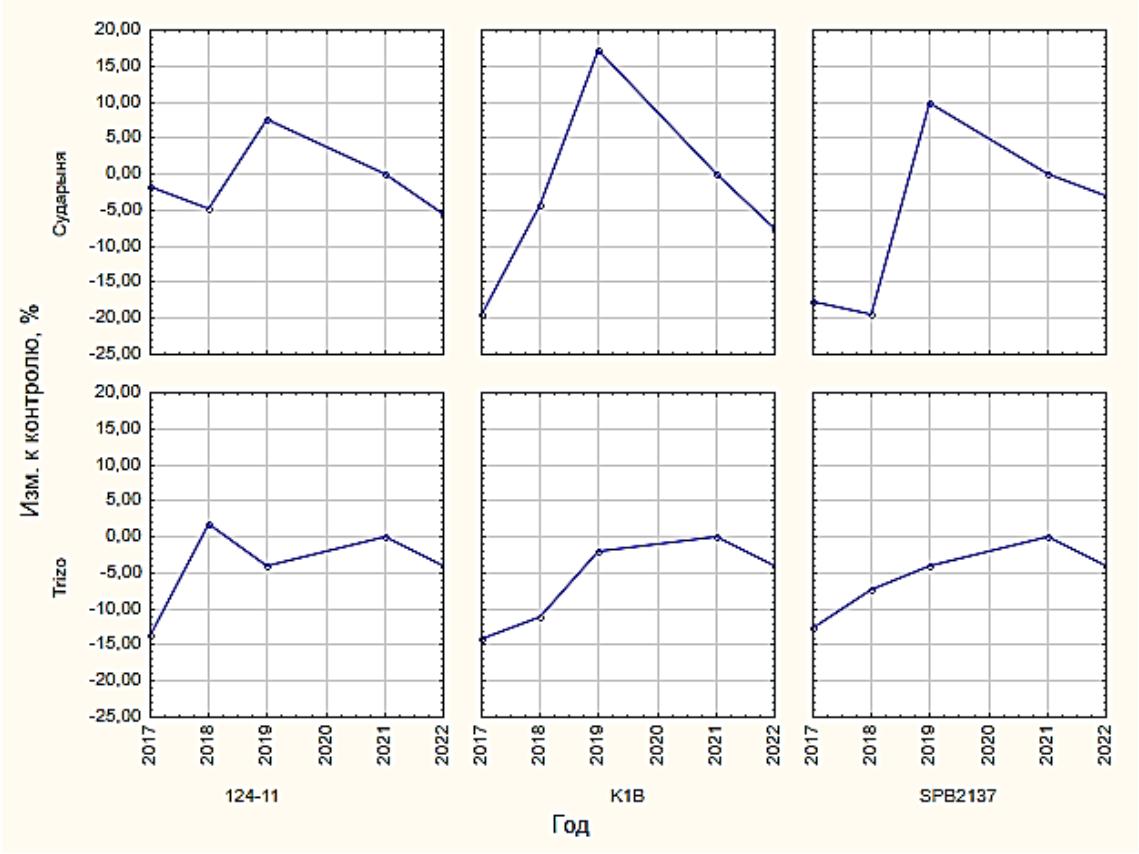


Рис. 89 – Динамика снижения развития септориоза пшеницы при применении штаммов ассоциативных ризобактерий по сравнению с контролем. 2017-2022 гг.

Наибольшее снижение интенсивности развития мучнистой росы выявлено в варианте опыта, где на сорте Trizo использовали штамм *Sphingomonas* sp. K1B: $R_{t(pm)}$= - 3,2% (рис. 90).

Как следует из данных таблицы 7П.2 приложения 7, выявлены прямые корреляционные связи между относительным изменением развития бурой ржавчины к контролю при применении бактериальных штаммов $\triangle R_{lr}$ и суммой температур в мае, июле; числом пятен на Солнце и числом Вольфа в июле; ГТК, числом Вольфа в августе, годовым числом пятен на Солнце.

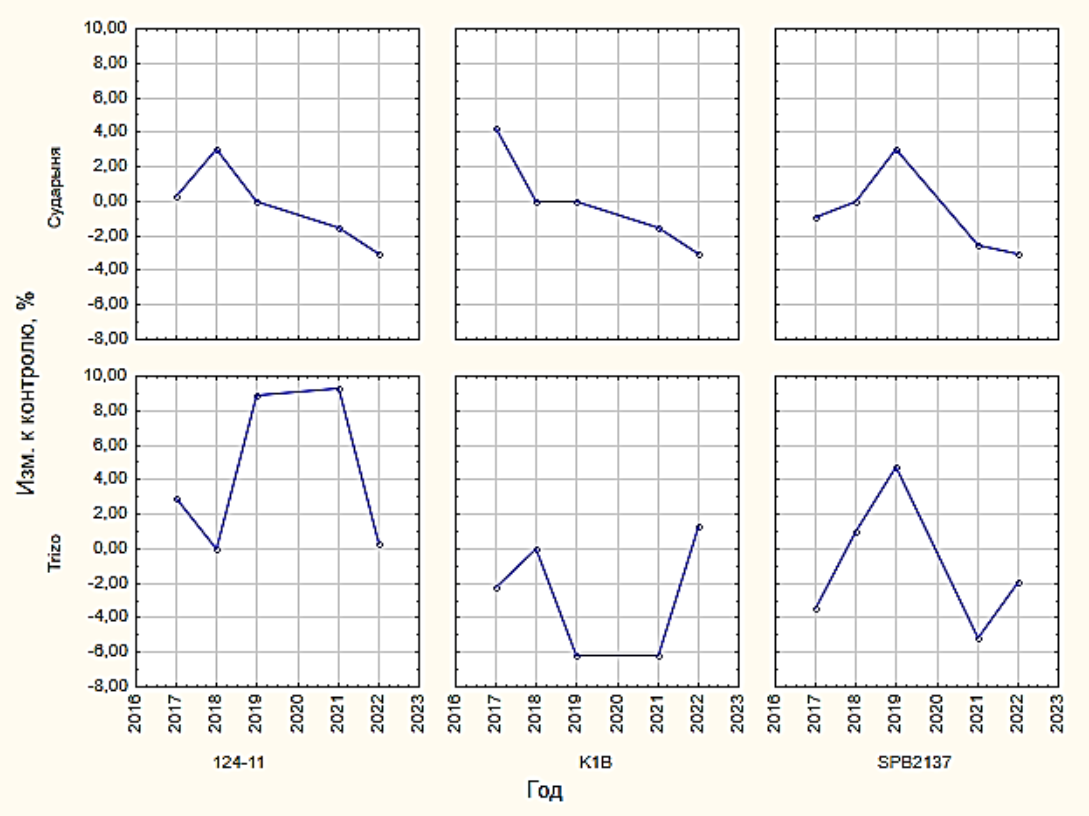


Рис. 90 – Динамика снижения развития мучнистой росы пшеницы при применении штаммов ассоциативных ризобактерий по сравнению с контролем. 2017-2022 гг.

Величина относительного изменения развития желтой ржавчины $\triangle R_{yr}$ при применении бактериальных штаммов по сравнению с контролем увеличивалась с ростом суммы температур и относительной влажности воздуха в мае; суммы осадков и относительной влажности воздуха в июне; суммы температур и суммы осадков, ГТК, числа Вольфа в июле; суммы температур и суммы осадков, ГТК, относительной влажности воздуха, числа пятен на Солнце и числа Вольфа в августе. В частности, при применении бактериальных штаммов на сорте Trizo выявлены сильные прямые корреляционные связи между пораженностью растений болезнью и ГТК августа: *Bacillus subtilis* 124-11 – r=0,99; *Sphingomonas* sp. K1B – r=0,98; *Pseudomonas fluorescens* SPB2137– r=0,97.

Пораженность мучнистой росой $\triangle R_{pm}$ сортов пшеницы усиливалась по сравнению с контролем при применении бактериальных штаммов с уменьшением суммы температур и суммы осадков в мае; суммы температуры в июне и июле, числа пятен на Солнце и числа Вольфа в июле, годового числа

пятен на Солнце. В большинстве вариантов опыта с бактериальными штаммами доминировала тенденция увеличения развития болезни с увеличением суммы осадков и относительной влажности воздуха в июле.

Усилению развития корневой гнили $\triangle R_{rr}$ в вариантах опыта с применением бактериальных штаммов способствовало возрастание суммы температур в мае, июне и июле, а также рост числа пятен на Солнце и индекса Вольфа в июле. В частности, сильными положительными корреляционными связями описывается взаимосвязь между суммой температур в июне и изменением развития корневой гнили при применении штаммов *Sphingomonas* sp. K1B (r=0,97) и *Pseudomonas fluorescens* SPB2137 (r=0,94).

Пораженность сортов пшеницы септориозом снижалась при применении бактериальных штаммов с увеличением относительной влажности воздуха в мае; суммы осадков и относительной влажности воздуха в июне и июле; ГТК июля и августа; суммы температур, суммы осадков и относительной влажности воздуха, числа пятен на Солнце, числа Вольфа в августе; годового числа пятен на Солнце. В частности, при применении бактериальных штаммов на сорте Trizo выявлены сильные прямые корреляционные связи между пораженностью растений септориозом и суммой осадков в июле: *Bacillus subtilis* 124-11 – r= -0,97; *Pseudomonas fluorescens* SPB2137– r=- 0,95.

Количество микроорганизмов в единице объема почвы МО (в грамме) при применении ассоциативных ризобактерий в 2022 г. сильно различалось (рис. 91).

При использовании штамма *Bacillus subtilis* 124-11 на сорте Сударыня величина МО недостоверно увеличилась на 17,6%, а на сорте Trizo – существенно снизилась на 44,1%. Применение указанного штамма на сорте Trizo в 2022 г. сопровождалось максимальным снижением интенсивности поражения растений корневой гнилью (на 51,7%) и максимальным уменьшением величины интенсивности развития мучнистой росы (на 91,5%).

Обработки штаммом *Sphingomonas* sp. K1B определяли статистически достоверное снижение МО на сорте Сударыня на 26,2%, а на сорте Trizo был

выявлен максимальный рост показателя на 202,5%, что сопровождалось максимальным увеличением урожайности пшеницы на 4,5 г с растения (4,5 т/га). Обработка растений сорта Сударыня штаммом *Sphingomonas* sp. K1B обуславливала снижение развития корневой гнили на 7,5%, числа полос и площади пустулы желтой ржавчины на 69,5% и 49,2%, развития мучнистой росы и числа пятен с налетом на 3% и 60%, а сорта Trizo – снижение развития корневой гнили на 4,0%, развития и числа пятен мучнистой росы на 13,4% и 66,7%, соответственно.

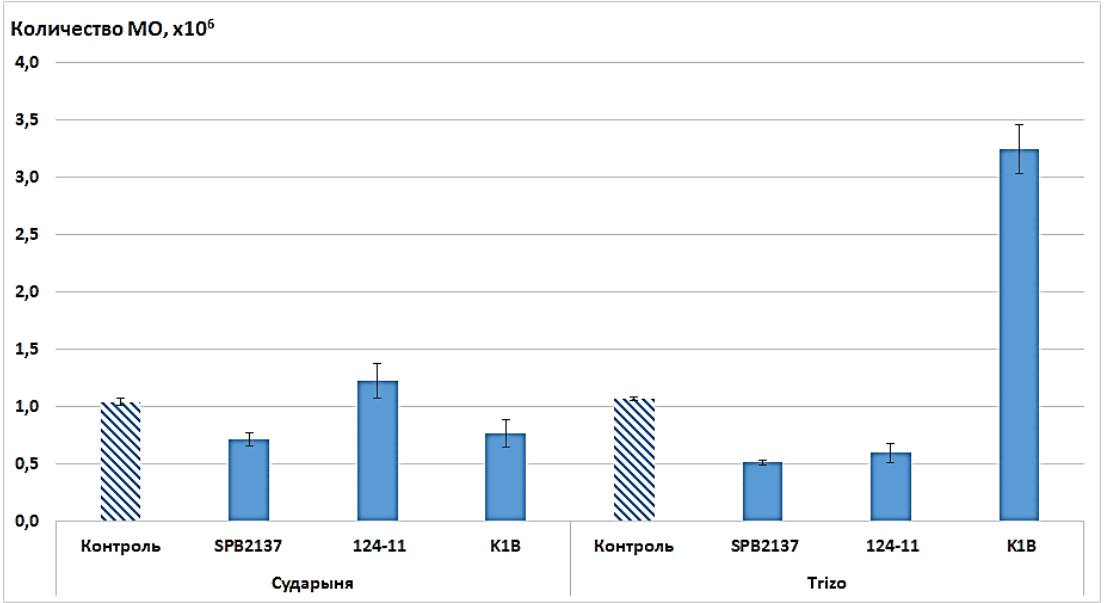


Рис. 91 – Изменение количества микроорганизмов в почве при применении штаммов ассоциативных ризобактерий. 2022 г.

При использовании штамма *Pseudomonas fluorescens* SPB2137 на сортах Сударыня и Trizo выявлена тенденция снижения МО – на 26,2% и 51,9%, соответственно. В вариантах опыта, где на сорте Сударыня был применен штамм *Pseudomonas fluorescens* SPB2137, зарегистрировано снижение развития корневой гнили на 3,0%, развития и числа пятен с налетом мучнистой росы на 3% и 66,7%, а на сорте Trizo – снижение развития корневой гнили на 4,0% при отсутствии достоверных различий с контролем пораженности растений жёлтой ржавчиной и мучнистой росой.

Заключение. Эффективность применения штаммов ассоциативных бактерий на мягкой пшенице в отношении элементов ее продуктивности и пораженности болезнями зависела от возделываемого сорта,

метеорологических условий периодов вегетации и солнечной активности. Наибольший рост урожайности пшеницы сорта Сударыня при применении бактериальных штаммов *Bacillus subtilis* 124-11 – на 5,9 г/растение (на 564,8%), *Sphingomonas* sp. K1B – на 1,6 г/растение (на 153,8%), *Pseudomonas fluorescens* SPB2137 – на 3,9 г/растение (на 377,0%) был выявлен в вегетационный период 2017 г., который отличался максимальным числом выпавших осадков в июне-августе, а среднемесячная температура в указанные месяцы несущественно отличалась от среднемноголетних значений. При этом на сорте пшеницы Trizo значительное увеличение урожайности было зарегистрировано в 2021 г., когда условия вегетационного периода сильно варьировали по сумме выпавших осадков и температуре. В указанном году в мае и августе, по сравнению с многолетними данными, зафиксированы максимальные значения суммы осадков, а июнь и июль были засушливыми с максимально высокой температурой.

В 2019 г. в вариантах опыта с использованием штамма *Bacillus subtilis* 124-11 отмечена существенная прибавка урожая у обоих сортов: у Сударыни – на 1,3 г/растение (на 50,3%), Trizo – на 1,5 г/растение (на 51,7 %). Вегетационный период 2019 г. характеризовался более низкими значениями температуры в мае-июле, но большими значениями суммы осадков и относительной влажности воздуха. Число пятен на Солнце в данном месяце было минимальным, а значения гидротермического коэффициента, рассчитанные для июля и августа, свидетельствовали об умеренном увлажнении в указанные месяцы.

При анализе изменения урожайности пшеницы при применении штаммов ассоциативных ризобактерий по годам исследования путем нахождения площади под кривой, описывающей динамику показателя, и расчета его средневременных значений, была выявлена наибольшая отзывчивость сортов пшеницы на использование штамма *Bacillus subtilis* 124-11. В варианте опыта с обработками данным штаммом сорта Сударыня выявлена обратная корреляционная связь между прибавкой урожая и суммой осадков в мае. При

этом на сорте Trizo прибавка урожая при применении штамма *Bacillus subtilis* 124-11 существенно увеличивалась с ростом числа пятен на Солнце.

Но при анализе корреляционных взаимосвязей отмечено наибольшее варьирование элементов продуктивности пшеницы в зависимости от метеофакторов именно при применении *Bacillus subtilis* 124-11.

В отношении снижения комплекса болезней пшеницы за период 2017-2022 гг. наибольшей эффективностью обладал штамм *Sphingomonas* sp. K1B. Средневременное снижение развития корневой гнили, бурой ржавчины на сорте Сударыня составило 17,6%; 3,3%; Trizo – 13,0 %; 9,5%, соответственно. При применении указанного штамма на сорте Сударыня зарегистрировано существенное снижение развития желтой ржавчины на 4,3%, а на сорте Trizo – мучнистой росы на 3,2%. В 2022 г. применение штамма *Sphingomonas* sp. K1B определяло статистически достоверное снижение количества микроорганизмов в почве на 26,2% в варианте опыта с сортом Сударыня, а на сорте Trizo был выявлен максимальный рост показателя, что сопровождалось максимальным увеличением урожайности пшеницы на 4,5 г с растения (на 4,5 т/га).

Для упрощения интерпретации причинно-следственных связей между изменениями показателей продуктивности и пораженностью пшеницы болезнями при применении бактериальных штаммов в различных метеорологических условиях периодов вегетации были построены числовые матрицы, характеризующие долевое распределении коэффициентов корреляции по их направлению, силе и значимости. В большинстве вариантов с ассоциативными бактериями преобладала тенденция роста урожайности пшеницы со снижением суммы температур в мае, июне и июле, а также с ее повышением в августе. Выявлено преобладание обратных корреляционных связей между урожайностью пшеницы, суммой осадков и относительной влажностью воздуха в мае, относительной влажностью воздуха в июне. Положительное влияние на рост урожайности пшеницы оказывало увеличение ГТК в августе, а также показатели активности Солнца в июле-августе (число пятен на Солнце, число Вольфа). Метеорологические условия периодов

вегетации оказывали влияние и на изменение интенсивности развития болезней при применении бактериальных штаммов. В частности, интенсивность поражения пшеницы корневой гнилью, бурой и желтой ржавчиной, септориозом увеличивалась, а эффективность бактериальных штаммов в отношении возбудителей болезней снижалась с увеличением значений суммы температур в мае. Обратная тенденция выявлена в отношении мучнистой росы – со снижением температуры в мае относительное изменение развития болезни в разных вариантах опыта увеличивалось, а их эффективность снижалась. С ростом суммы выпавших осадков в мае отмечено более интенсивное развитие желтой ржавчины.

4.3 Белковый стимулятор роста (белковый гидролизат)

4.3.1 Влияние белкового стимулятора роста при внекорневом внесении на продуктивность и устойчивость пшеницы к болезням

«В 2017-2019 гг. обработка растений белковым стимулятором роста R обуславливала увеличение урожайности пшеницы у 72% сортов пшеницы, при этом существенный рост показателя по сравнению с контролем выявлен у 16% образцов: Сибирская 21, к-66269 – на 143,1% (с 1,53 до 3,71 г/растение, 2017 г.); Тулайковская 108, к-65452 – на 103,0% (с 1,0 до 2,0 г/растение, 2017 г.); Уральская кукушка, к-66267 – на 87,9% (с 1,91 до 2,32 г/растение, 2017 г.); Амурская красноколоска, к-32095 – на 69,9% (с 0,73 до 2,24 г/растение, 2018-2019 гг.); Красноуфимская 110, к-65478 – на 59,2% (с 2,45 до 3,90 г/растение, 2018-2019 гг.)» (Кременевская и др., 2022) (рис. 92).

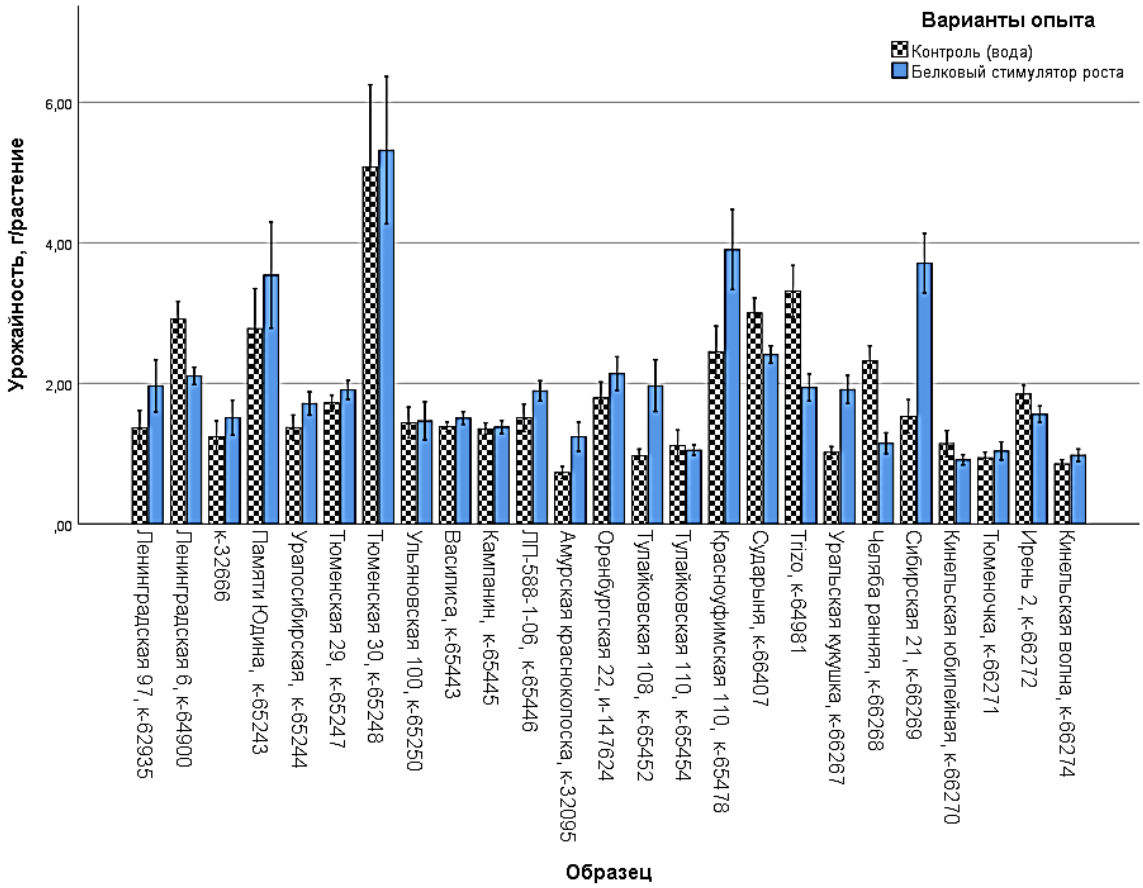


Рис. 92 – Изменение урожайности мягкой пшеницы при применении белкового стимулятора роста по сравнению с контролем. 2017-2019 гг.

В отношении интенсивности поражения возбудителями болезней 25-ти сортов мягкой пшеницы белковый стимулятор роста R действовал следующим образом.

Корневая гниль пшеницы. «Выявлена тенденция статистически достоверного снижения интенсивности развития корневой гнили при $P<0,05$ у 44% сортов пшеницы в вариантах опыта с БСР по сравнению с контролем. Несущественное снижение развития корневой гнили ($P>0,05$) по сравнению с контролем установлено у 64% сортов. Статистически достоверное снижение корневой гнили зафиксировано на следующих сортах Тюменская 29, к-65247 (на 16,83%, $БЭ_г$=33,7%, 2018-2019 гг.), Тюменская 30, к-65248 (на 11,33%, $БЭ_г$=25,5%, 2018-2019 гг.), Кампанин, к-65445 (на 11,00%, $БЭ_г$=25,0%, 2018-2019 гг.), Оренбургская 22, и-147624 (на 9,7%, $БЭ_г$=24,0%, 2018-2019 гг.), Сударыня, к-66407 (на 25,0%, $БЭ_г$=75,0%, 2017 г), Trizo, к-64981 (на 26,7%, $БЭ_г$=80,0%, 2017 г), (на 50,0%, $БЭ_г$=80,0%, 2017 г), Челяба ранняя, к-66268 (на

22,2%, $БЭ_г$=66,7%, 2017 г), Кинельская юбилейная, к-66270 (на 32,9%, $БЭ_г$=57,6%, 2017 г), Тюменочка, к-66271 (на 16,7%, $БЭ_г$=66,7%, 2017 г) (рис. 93).

Не выявлено симптомов развития корневой гнили в варианте с БСР по сравнению с контролем на сортах: Ленинградская 6, к-64900 (в контроле – 33,3%, 2017-2019 гг.), Уральская кукушка, к-66267 (в контроле – 50,0%, 2017 г)» (Кременевская и др., 2022).

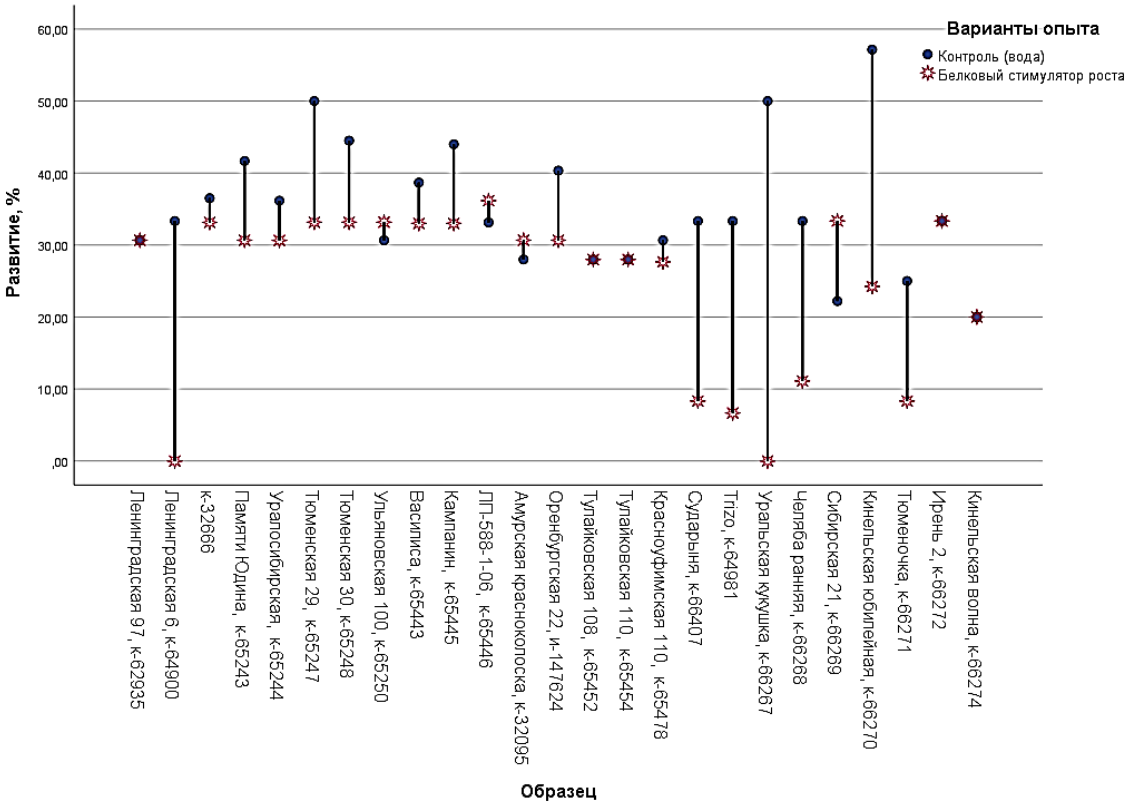


Рис. 93 – Изменение интенсивности поражения мягкой пшеницы корневой гнилью при применении белкового стимулятора роста по сравнению с контролем. 2017-2019 гг.

Мучнистая роса пшеницы. «Влияние БСР на развитие болезни было неоднозначным. Выявлена тенденция одновременного статистически достоверного снижения и усиления интенсивности развития мучнистой росы у 12% сортов (при P<0,05). Несущественное снижение развития болезни выявлено у 56% сортов при использовании БСР. Значительное снижение развития болезни при применении БСР было зарегистрировано на следующих сортах: к-32666 (на 7,6%, $БЭ_м$=77,6%, 2018-2019 гг.), Уральская кукушка, к-66267 (на 4,0%, $БЭ_м$=80,0%, 2017 г.). Не было выявлено симптомов патогенеза

на сорте Тюменочка, к-66271, в то время как в контроле развитие болезни составило 11,0%. С использованием дополнительных фитопатологических показателей на большинстве сортов (20%) было установлено, что в варианте с БСР при P<0,05 доминировала тенденция увеличения числа пятен с налетом микромицета, при этом площадь пятен с налетом снижалась. При P>0,05 определено снижение значений числа пятен и площади пятна с налетом у 64% и 73% сортов, соответственно. Статистически достоверное снижение площади пятен с налетом мучнистой росы зарегистрировано на сортах: Ульяновская 100, к-65250 (на 71,0%, с 4,03 до 1,2 мм^2, 2018-2019 гг.); Тулайковская 110, к-65454 (на 45,0%, с 6,28 до 3,45 мм^2, 2018 г), Сударыня, к-66407 (на 84,8%, с 4,57 до 0,69 мм^2, 2017 г), Кинельская волна, к-66274 (на 85,7%, с 4,80 до 0,69 мм^2, 2017 г)» (Кременевская и др., 2022).

Бурая ржавчина пшеницы. Эффективность БСР в отношении бурой ржавчины пшеницы была низкой. Снижение развития бурой ржавчины при применении БСР по сравнению с контролем было выявлено у 40% сортов, числа пустул – у 44% сортов (достоверно P<0,05 – 12%), площади пустулы – у 48% сортов (достоверно P<0,05 – 4%). По числу статистически достоверных положительных изменений числа пустул на флаговом листе с контролем (P<0,05) в варианте с БСР превалировала тенденция снижения развития болезни. Однако при P>0,05 выявлены большие значения показателя при использовании БСР на большинстве сортов (56%). Обработка растений БСР приводила к статистически достоверному увеличению значений площади пустулы бурой ржавчины по сравнению с контролем на большинстве сортов пшеницы. Однако по числу отрицательных изменений с контролем при P>0,05 преобладает тенденция снижения значений площади пустулы на большинстве сортов (Кременевская и др., 2022).

Желтая ржавчина пшеницы. «Интенсивность развития болезни в период проведения исследований (2017-2019 гг.) была незначительна. Однако выявлена тенденция снижения поражения растений по комплексу показателей патогенеза в варианте с БСР по сравнению с контролем. Снижение развития

бурой ржавчины пшеницы при применении БСР было выявлено на 38% сортов, числа полос с пустулами – на 50% сортов, длины полосы с пустулами – на 80% сортов, числа пустул в полосе – на 70% сортов (достоверно $P<0,05$ – 12%), числа пустул на лист – на 60% сортов и площади пустулы – на 63 % сортов (достоверно $P<0,05$ – 8%)» (Кременевская и др., 2022).

Септориоз. «Эффективность БСР в отношении септориоза была высокой. На большинстве сортов пшеницы обработка БСР приводила к снижению развития болезни. Число отрицательных изменений интенсивности развития болезни по сравнению с контролем составило 68% (число существенных отрицательных изменений показателя при $P<0,05$ – 28%). Существенное снижение развития болезни отмечено на сортах: Ленинградская 97, к-62935 (на 6,5%, $БЭ_с$ = 86,7%, 2018-2019 гг.), Ульяновская 100, к-65250 (на 3,5%, $БЭ_с$ = 87,5%, 2018-2019 гг.), Амурская красноколоска, к-32095 (на 20,5%, $БЭ_с$ = 82,0%, 2018-2019 гг.), Тулайковская 108, к-65452 (на 36,0%, $БЭ_с$ = 72,0%, 2018 г). Не выявлено симптомов развития септориоза в вариантах с БСР на сортах Тюменская 30, к-65248 (контроль – 5,8%, 2018-2019 гг.), Красноуфимская 110, к-65478 (контроль – 37,5%, 2018-2019 гг.), Тюменочка, к-66271 (контроль – 30,0%, 2017 г)» (Кременевская и др., 2022).

«На рис. 94 приведены данные по изменению содержания общего азота во флаговых листьях пшеницы в фазу начала цветения при применении белкового стимулятора роста по сравнению с контролем (без обработки). Внекорневое опрыскивание растений белковым стимулятором роста обуславливало увеличение общего азота в листьях пшеницы у 92% образцов в среднем на 84,6%. Следует отметить, что содержание общего азота во флаговых листьях пшеницы в период цветения оказывает существенное влияние на урожай. В ряде опытов прослеживается тесная положительная связь между белковистостью зерна и содержанием азота во флаговых листьях, особенно при определении азота в фазы «цветение – начало формирования зерна». Выявлена тесная отрицательная корреляция между концентрацией аминокислот в соке листьев пшеницы и концентрацией глиадинов и глютенинов и тесная

положительная корреляция между концентрацией аминокислот в соке листьев и содержанием в зерне водорастворимых белков, глобулинов, неэкстрагируемых белков, а также активностью кислых и щелочных протеаз» (Кременевская и др., 2022).

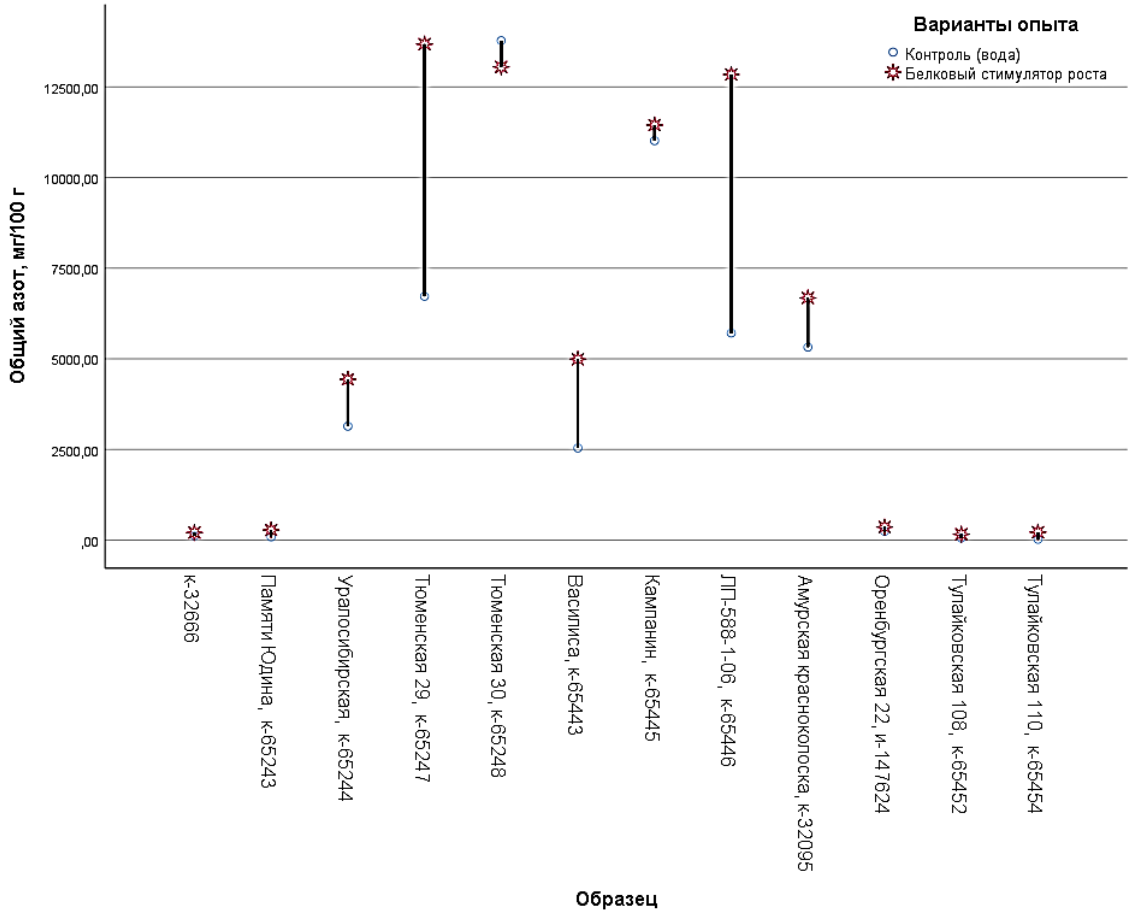


Рис. 94 – Изменение содержания общего азота во флаговых листьях в фазе начала цветения пшеницы при применении белкового стимулятора роста. 2018 г.

«С использованием метода главных компонент факторного анализа и критерия вращения – варимакс были получены нормированные факторные нагрузки, характеризующие изменения фитопатологических и фитометрических показателей посевов пшеницы по сравнению с контролем при применении белкового стимулятора роста. Было выделено три фактора (F_1-F_3), объясняющие 72,7% общей дисперсии переменных показателей. В F_1 в вариантах опыта с использованием БСР было отмечено, что усиление интенсивности поражения растений бурой ржавчиной (по развитию болезни и числу пустул) снижало эффективность белкового стимулятора роста в

отношении массы 1000 зерен, числа колосков в колосе, длины колоса, сокращения периода созревания пшеницы (по фазе онтогенеза). Рост общей и продуктивной кустистости растений, массы вегетативной части способствовал усилению поражения пшеницы болезнью» (Кременевская и др., 2022).

«Фактором F_2 описывается зависимость продуктивности пшеницы и интенсивности развития болезней от содержания общего азота в листьях. Увеличение содержания общего азота при применении БСР приводило к росту числа и длины корней, числа зерен в колосе, массы зерен одного колоса, длины колоса, урожайности растения, но при этом к снижению продуктивной кустистости. Между содержанием общего азота в листьях и развитием септориоза выявлена положительная корреляционная связь. Растения, листья которых отличались большим содержанием общего азота, характеризовались меньшей интенсивностью развития корневой гнили и площадью пятен с налетом мучнистой росы. В F_3 увеличение длины узловых корней, массы корней в варианте с БСР по сравнению с контролем обуславливало уменьшение значений площади пустулы бурой ржавчины, т.е. способствовало повышению устойчивости растений к болезни» (Кременевская и др., 2022).

Заключение. «Возделывание мягкой пшеницы с использованием белкового стимулятора роста R при внекорневом внесении определяло увеличение урожайности пшеницы у 72% сортов пшеницы, при этом существенное увеличение показателя по сравнению с контролем выявлено у 16% образцов. Наибольшее число статистически достоверных положительных различий в вариантах с БСР по сравнению с контролем при $P<0,05$ выявлено по показателям: общая кустистость, число зерен в колосе, число колосков в колосе. Наибольшую эффективность БСР проявил в отношении снижения развития корневой гнили и септориоза. Развитие мучнистой росы, бурой и желтой ржавчины существенно не изменилось. Внекорневое опрыскивание растений белковым стимулятором роста обуславливало увеличение общего азота в листьях пшеницы у 92% образцов в среднем на 84,6%. Увеличение содержания общего азота при применении БСР приводило к росту числа и

длины корней, числа зерен в колосе, массы зерен одного колоса, длины колоса, урожайности растения, но к снижению продуктивной кустистости. Растения, листья которых отличались большим содержанием общего азота характеризовались меньшей интенсивностью развития корневой гнили и площадью пятен с налетом мучнистой росы» (Кременевская и др., 2022).

4.3.2 Влияние полимерного гидрогеля и белкового стимулятора роста на продуктивность и устойчивость пшеницы к болезням при предпосевном внесении в почву

Изменение урожайности мягкой пшеницы при использовании полимерного гидрогеля и белкового стимулятора роста R по сравнению с контролем по данным 2020 г. продемонстрировано на рис. 95. Наибольшая эффективность экспериментальных образцов в отношении урожайности пшеницы выявлена при совместном применении полимерного гидрогеля и белкового стимулятора на сорте Ленинградская 97, к-62935. В варианте опыта 1G:2S урожайность пшеницы по сравнению с контролем выросла на 142,4% (с 3,37 до 8,17 г/растение) (Kolesnikov et al., 2021f).

Максимальная прибавка урожая сорта Ленинградская 97, к-62935 в варианте 1G:2S была обусловлена существенным ростом продуктивной кустистости растений на 55,3% (с 2,8 до 4,4 шт.) по сравнению с другими вариантами опыта. Однако в данном экспериментальном варианте зафиксировано усиление интенсивности развития корневой гнили на 31,1% (рис. 96) и несущественное снижение поражения растений возбудителями болезней листьев (желтой ржавчиной, бурой ржавчиной, мучнистой росой) (Kolesnikov et al., 2021f).

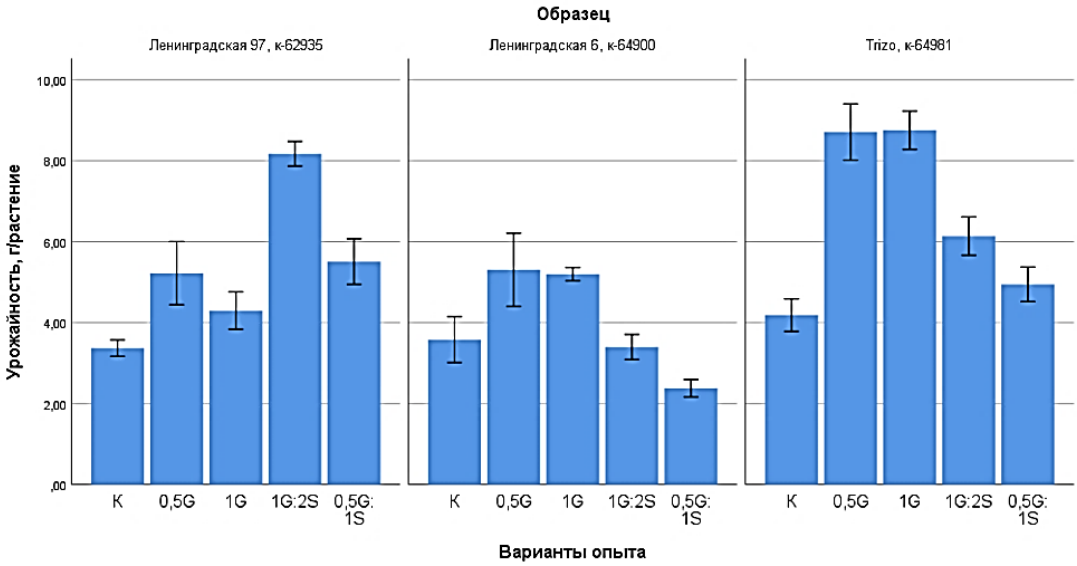


Рис. 95 – Изменение урожайности мягкой пшеницы при применении белкового стимулятора роста и полимерного гидрогеля по сравнению с контролем. 2020 г.

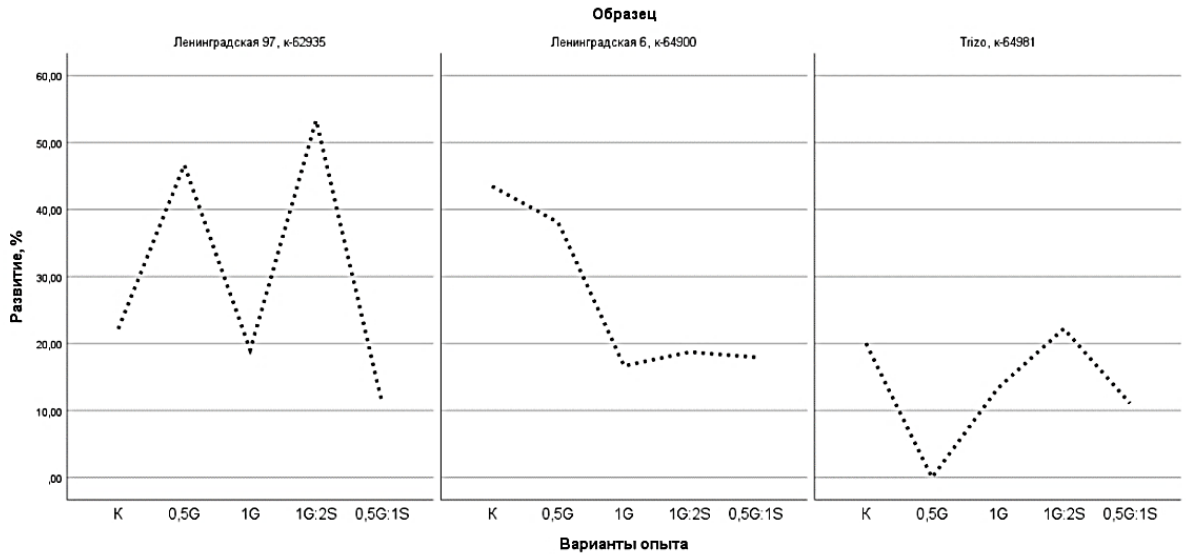


Рис. 96 – Изменение интенсивности развития корневой гнили при применении белкового стимулятора роста и полимерного гидрогеля по сравнению с контролем. 2020 г.

В варианте опыта 0,5G:1S урожайность пшеницы была выше на 63,4% по сравнению с контролем (с 3,4 до 5,5 г/растение), но меньше чем в 1G:2S. В указанном варианте опыта отмечено усиление поражения растений возбудителем мучнистой росы на 15% (с 0% до 15%). В 1G:2S степень поражения растений мучнистой росой увеличилась незначительно (на 4%) по сравнению с контролем (Kolesnikov et al., 2021f).

На сорте Ленинградская 6, к-64900 и Trizo, к-64981 наибольшее статистически достоверное увеличение урожайности пшеницы по сравнению с контролем на 45,2% (с 3,6 до 5,2 г/растение) и на 109,0% (с 4,2 до 8,8 г/растение), соответственно, зафиксировано в варианте опыта с использованием только полимерного гидрогеля (1G) (Kolesnikov et al., 2021f). Более низкую урожайность сорта Ленинградская 6, к-64900 при совместном использовании белкового стимулятора роста и полимерного гидрогеля можно объяснить незначительным изменением интенсивности поражения растений желтой ржавчиной по сравнению с контролем: 1G:2S – снизилась на 10,3% (с 33,4% до 23,1%) и 0,5G:1S – увеличилась на 9,9% (с 33,4% до 43,3%) – рис. 97 (Kolesnikov et al., 2021f).

В то время, как в варианте опыта 1G развитие желтой ржавчины по сравнению с контролем снизилось существенно, на 28,8% (с 33,4% до 4,7%, $БЭ_{ж}$= 86,0%), число полос с пустулами – на 52,3% (с 6,0 до 3,0 шт.), число пустул в полосе – на 68,4% (с 153,0 до 63,7 шт.), суммарное число пустул на лист – на 64,2% (с 1021,1 до 366,8 шт.). Кроме того, на сорте Ленинградская 6, к-64900 при применении полимерного гидрогеля в варианте 1G зафиксировано максимальное снижение развития корневой гнили – на 26,8% (Kolesnikov et al., 2021f).

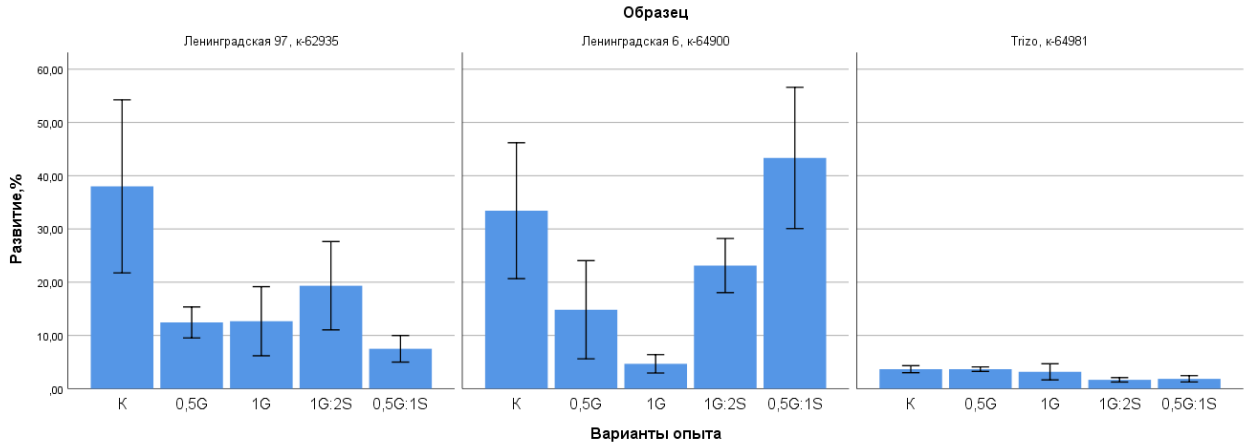


Рис. 97 – Изменение интенсивности развития желтой ржавчины при применении белкового стимулятора роста и полимерного гидрогеля по сравнению с контролем. 2020 г.

Более высокая урожайность сорта Trizo, к-64981 в вариантах опыта с использованием только полимерного гидрогеля, возможно, обусловлена существенно более низкими значениями интенсивности поражения растений корневой гнилью по сравнению с контролем: 0,5G – не выявлено симптомов болезни (в контроле – 20%) и 1G – развитие болезни снизилось на 6,7% (с 20,0% до 13,3%). В то время как, в частности, в варианте опыта 1G:2S зафиксировано незначительное увеличение интенсивности поражения растений корневой гнилью на 2,2% (с 20,0 % до 22,2%) (Kolesnikov et al., 2021f).

В среднем по трем сортам наибольшее влияние на элементы продуктивности пшеницы оказало совместное применение белкового стимулятора роста и полимерного гидрогеля в варианте 1G:2S: сократился период созревания пшеницы по фазе онтогенеза – на 8,3%, отмечены большие значения продуктивной (рис. 98) и общей кустистости на 30,9% и 37,5%, массы колоса на 13,2%, массы зерен одного колоса на 17,0%, массы 1000 зерен на 10,9% (Kolesnikov et al., 2021f).

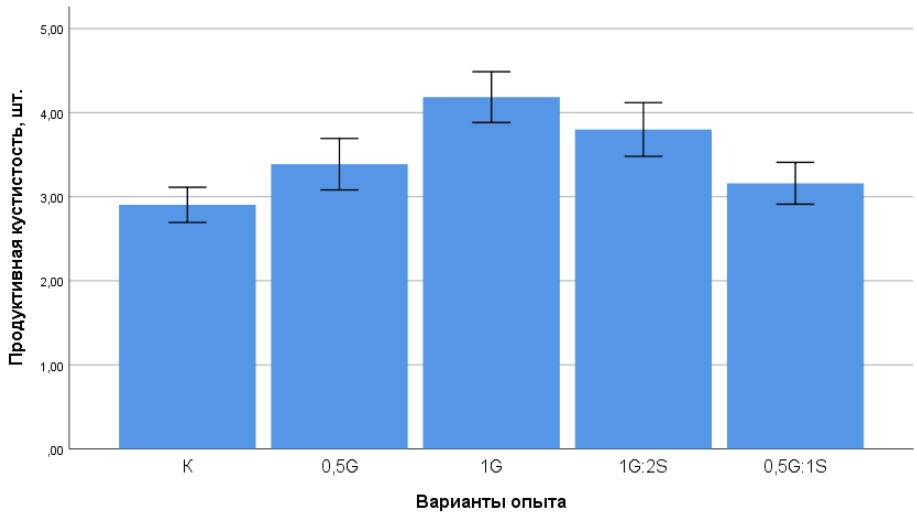


Рис. 98 – Изменение продуктивной кустистости мягкой пшеницы при применении белкового стимулятора роста и полимерного гидрогеля по сравнению с контролем. 2020 г.

Однако существенного снижения интенсивности развития болезней в 1G:2S выявлено не было, и даже отмечено незначительное усиление интенсивности поражения растений возбудителями корневой гнили – с 28,6% в контроле до 31,4%, мучнистой росой – с 1,0% до 4,0% (число пятен с налетом увеличилось с 1,0 до 9,0 шт.), желтой ржавчиной – с 14,8% до 14,9%

Наименьшая интенсивность поражения растений корневой гнилью по сравнению с контролем – на 15,2%, была выявлена в варианте 0,5G:1S ($БЭ_г$=53,1%). В варианте 1G зафиксировано максимальное снижение развития желтой ржавчины –на 9,2% (с 14,9% до 5,7%, $БЭ_ж$=619%) и значений площади пустулы – на 39,0% (с 0,03699 до 0,02345 мм^2) – рис. 99, не выявлено симптомов развития мучнистой росы и отмечено несущественное снижение развития корневой гнили на 12,2% ($БЭ_г$=42,8%) (Kolesnikov et al., 2021f).

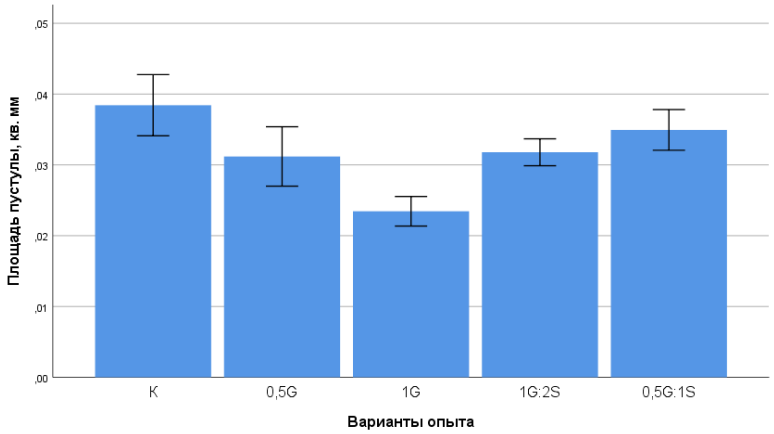


Рис. 99 – Изменение площади пустулы желтой ржавчины при применении белкового стимулятора роста и полимерного гидрогеля по сравнению с контролем. 2020 г.

Значительно большие значения интенсивности поражения растений мучнистой росой по сравнению с контролем были выявлены в следующих вариантах опыта: 0,5G:1S – на 14,5% (с 1,0 до 15,0%) и 0,5G – на 11,5% (с 1,0 до 12,5%). При этом развитие болезни в варианте 1G:2S увеличилось незначительно с 1,0% – в контроле до 4,0% (Kolesnikov et al., 2021f).

«По данным 2019-2020 гг. максимальная в опыте и статистически достоверная прибавка урожая была отмечена при использовании полифункционального комплекса из полимерного гидрогеля и белкового стимулятора роста в варианте 1G:2S: Ленинградская 97, к-62935 – 3,5 т/га, Trizo, к-64981 – 2,8 т/га, Dua, к-828 – 2,3 т/га. Исключение составил сорт Ленинградская 6, к-64900 на котором выявлена наибольшая прибавка урожая в варианте опыта 1 G – 3,6 т/га (рис. 100)» (Колесников и др., 2021).

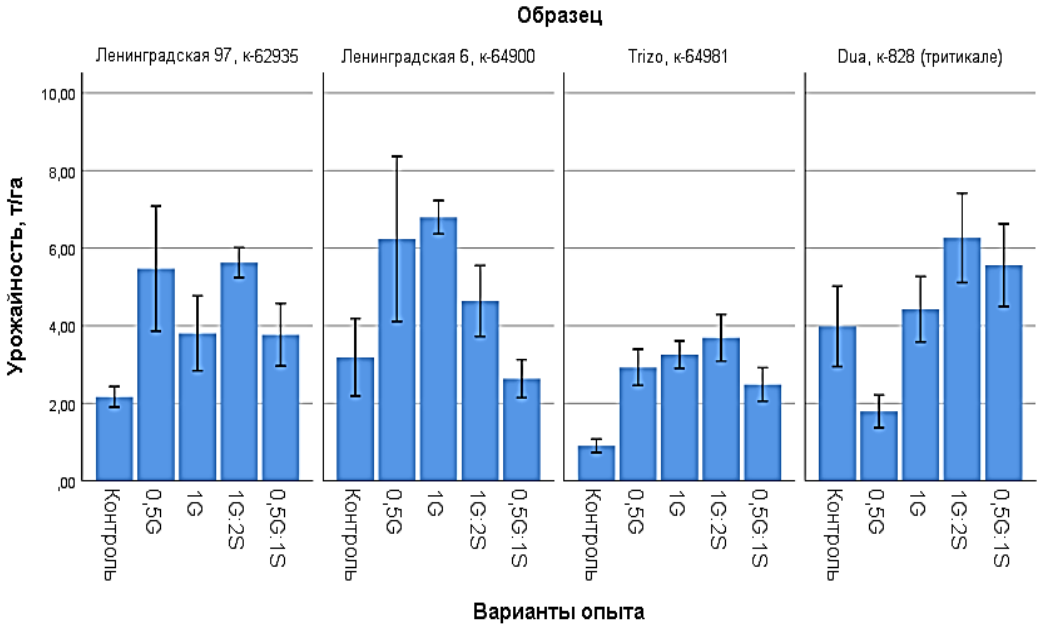


Рис. 100 – Урожайность мягкой пшеницы и тритикале при использовании полимерного гидрогеля и белкового стимулятора роста. 2019-2020 гг.

«В среднем за период 2019-2020 гг. развитие корневой гнили пшеницы и тритикале при использовании полимерного гидрогеля и белкового стимулятора роста (0,5G:1S) существенно снижалось, по сравнению с контролем (на 11,0 %, t=2,4) и другими вариантами опыта (рис. 101)» (Колесников и др., 2021).

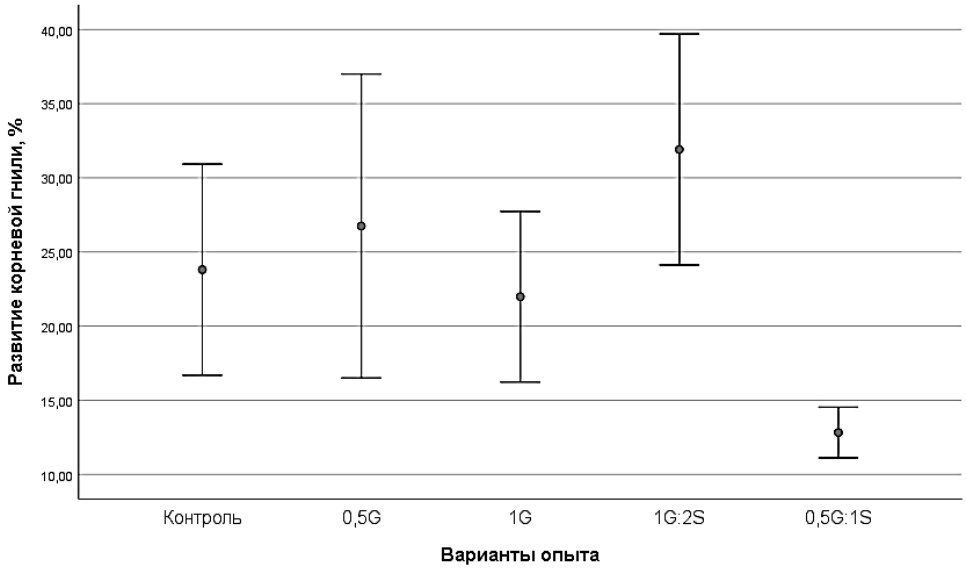


Рис. 101– Развитие корневой гнили мягкой пшеницы и тритикале при использовании полимерного гидрогеля и белкового стимулятора роста. 2019-2020 гг.

«Наибольшее снижение развития желтой ржавчины на мягкой пшенице отмечено в вариантах 0,5G:1S (сорт Ленинградская 97, к-62935 – на 30,5 %, t= 2,4) и 1G (сорт Ленинградская 6, к-64900 – на 28,8 %, t= 2,5) (рис. 102). При совместном использовании двух препаратов (0,5G:1S) на флаговых листьях сорта Ленинградская 97, к-62935 происходило достоверное, по сравнению с контролем, снижение числа полос желтой ржавчины – на 71,2 % (t=2,3). В варианте 1G на флаговых листьях сорта Ленинградская 6, к-64900 выявлено существенное уменьшение числа полос желтой ржавчины, по сравнению с контролем, – на 52,3 % (t=3,0), длины полосы – на 40,9 % (t=3,0), числа пустул в полосе – на 68,4 % (t=2,8), суммарного числа пустул на лист – на 64,2 % (t=2,3)» (Колесников и др., 2021).

«Максимальное в опыте уменьшение площади пустулы желтой ржавчины (рис. 103) зарегистрировано на сорте Ленинградская 97, к-62935 в вариантах 1G (на 30,3 %, t= 2,6) и 0,5G:1S (на 41,9 %, t= 2,3), а также на сорте Ленинградская 97, к-62935 – в варианте 1G (на 52,4 %, t= 2,2)» (Колесников и др., 2021).

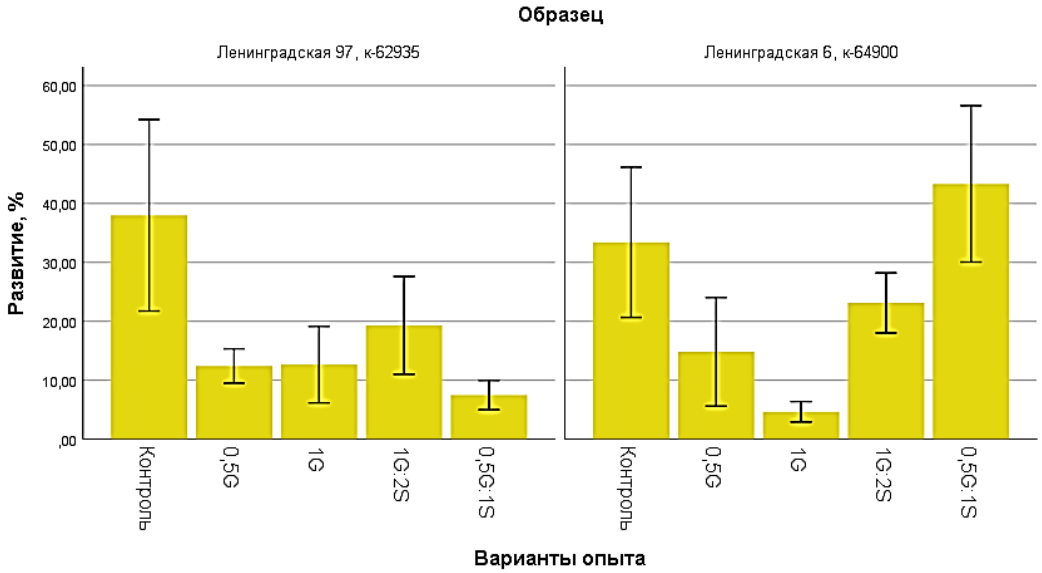


Рис. 102 – Развитие желтой ржавчины на мягкой пшенице при использовании полимерного гидрогеля и белкового стимулятора роста. 2019-2020 гг.

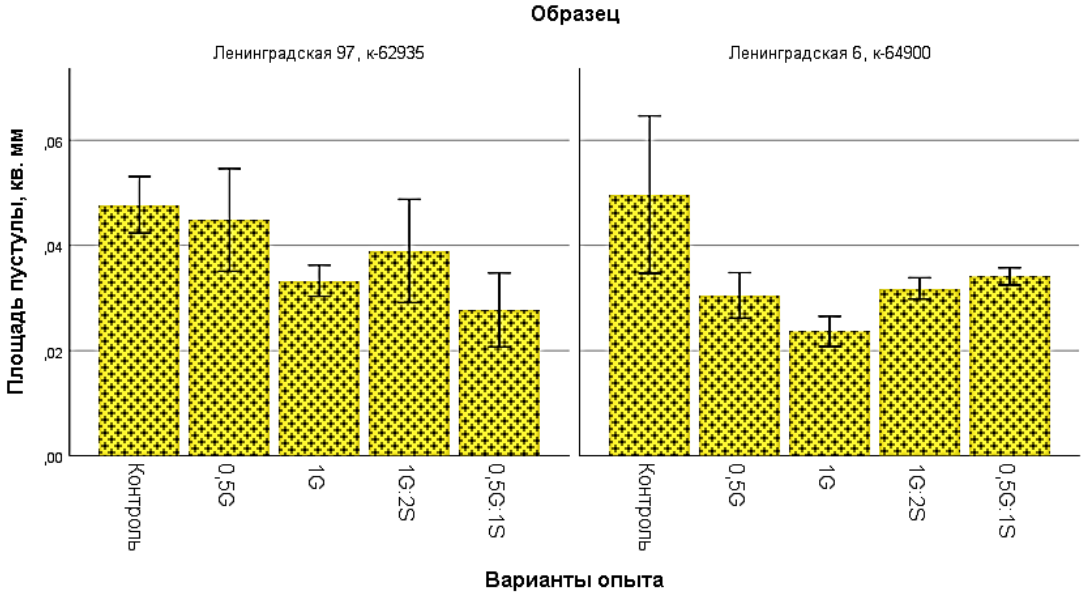


Рис. 103 – Изменения значений площади пустулы желтой ржавчины на мягкой пшенице при использовании полимерного гидрогеля и белкового стимулятора роста. 2019-2020 гг.

Заключение. Наибольшее влияние на большинство показателей продуктивности пшеницы оказало совместное применение белкового стимулятора роста R и полимерного гидрогеля в варианте 1G:2S: в 2020 г. – сократился период созревания пшеницы по фазе онтогенеза, отмечены большие значения продуктивной и общей кустистости, массы колоса, массы зерен одного колоса, массы 1000 зерен, в 2019-2020 гг. – увеличилась полевая всхожесть семян, ускоренилось созревания пшеницы, снизилоась поражение растений корневой гнилью. Однако существенного снижения интенсивности развития болезней выявлено не было, и даже отмечено незначительное усиление интенсивности поражения растений болезнями. В частности, по данным 2020 г., наилучшие результаты в отношении болезней пшеницы показал вариант с использованием полимерного гидрогеля 1G. В варианте опыта 1G не выявлено симптомов развития мучнистой росы (1G:2S – 4% и 0,5G:1S– 15 %), развитие корневой гнили снизилось на 12,2% ($БЭ_г$=42,8%), желтой ржавчины по развитию болезни – на 9,2% ($БЭ_ж$=61,9%) и по площади пустулы – на 39,0%. (Kolesnikov et al., 2021f).

4.3.3 Сравнительный анализ эффективности применения белкового стимулятора роста, органо-минеральных удобрений, микроудобрений

Осуществлен сравнительный анализ эффективности белкового стимулятора роста R и органо-минеральных удобрений в отношении продуктивности и устойчивости пшеницы сорта Ленинградская 6, к-64900 к болезням (рис. 104). Внекорневое опрыскивание растений белковым стимулятором роста приводило к увеличению урожайности пшеницы на 31,5% по сравнению с контролем. Белковый стимулятор роста был более эффективен в отношении повышения урожайности пшеницы, чем препараты «Фитоп-Флора-С» – на 32,2% и «ФлорГумат» – на 63,3%. Однако препараты «ЗеребраАгро» и «Эдагум» были более эффективны, чем белковый стимулятор роста на 50,7% и 53,2%, соответственно (Kolesnikov et al., 2021c).

В варианте опыта, где пшеница была обработана белковым стимулятором роста, по сравнению с контролем отмечено увеличение площади флагового и предфлагового листа на 35,8% и 126,3%, соответственно (рис. 105).

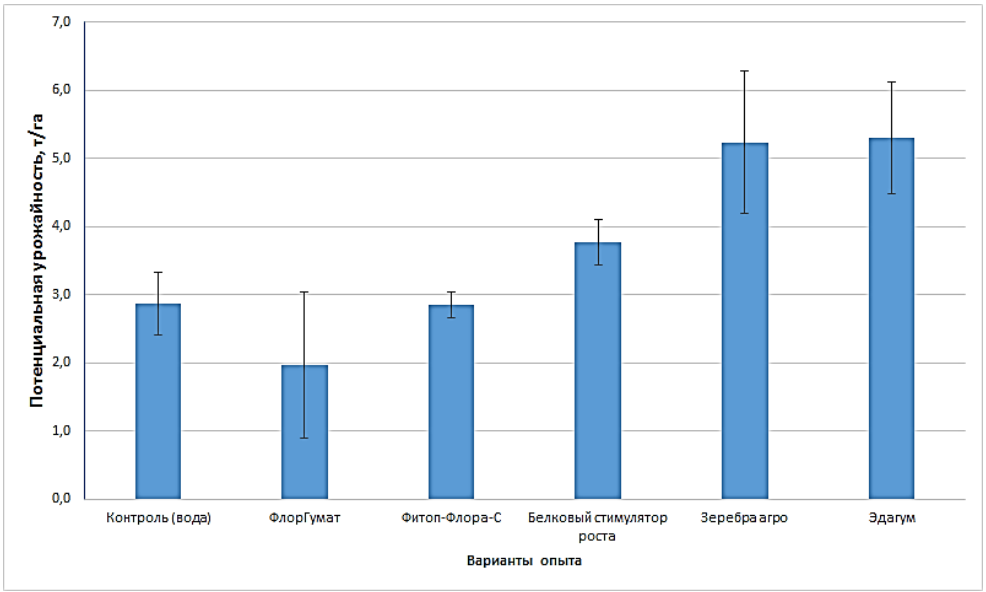


Рис. 104 – Потенциальная урожайность пшеницы сорта Ленинградская 6, к-64900 при использовании белкового стимулятора роста и органо-минеральных удобрений. СПб.-Пушкин, 2019 г.

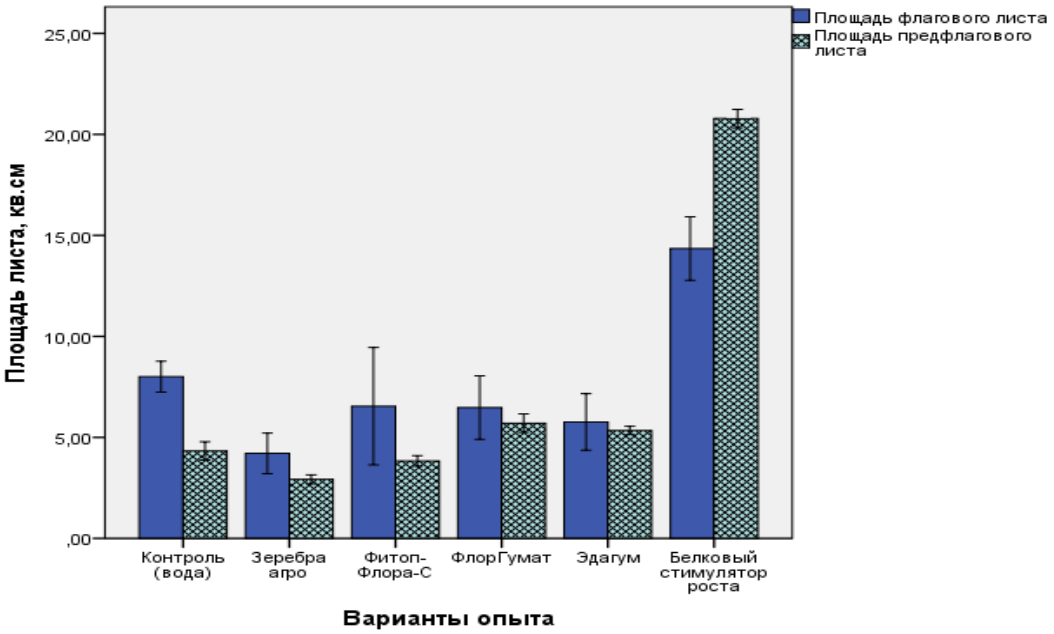


Рис. 105 – Влияние белкового стимулятора роста и органо-минеральных удобрений на площадь флаговых и предфлаговых листьев пшеницы сорта Ленинградская 6, к-64900. СПб.-Пушкин, 2019 г.

Применение белкового стимулятора роста приводило к увеличению, по сравнению с контролем, числа колосков в колосе на 13,8% и длины колоса (на 12,0%). Значения числа колосков в колосе и длины колоса у пшеницы в данном варианте опыта были больше по сравнению с вариантами опыта, где применялись органо-минеральные удобрения. Кроме того, после обработки белковым стимулятором роста, выявлено увеличение высоты растений - на 12,1%, длины узловых корней - на 29%, массы вегетативной части растений - на 17,8% (Kolesnikov et al., 2021c).

Отмечено, что при обработке пшеницы белковым стимулятором роста число зерен в колосе и масса 1000 зерен увеличилась незначительно – на 4,8% и 4,2%, соответственно. Существенное влияние на рост числа зерен в колосе – на 31,9% по сравнению с контролем оказал препарат «Эдагум», а применение препаратов «ФлорГумат» и «Фитоп-Флора-С» приводило к снижению массы 1000 зерен на 34,3% и 7,7%, соответственно.

Обработка пшеницы белковым стимулятором роста не приводила к существенному изменению степени развития бурой ржавчины пшеницы (рис.

106) по сравнению с контролем, кроме того, в данном варианте опыта выявлено увеличение числа пустул на поверхности флагового листа на 54,4%. Наибольшая эффективность в отношении снижения интенсивности развития болезни (на 23,4%) и числа пустул микромицета (на 87,8%) выявлена при применении препарата «Зеребра агро» (Kolesnikov et al., 2021c).

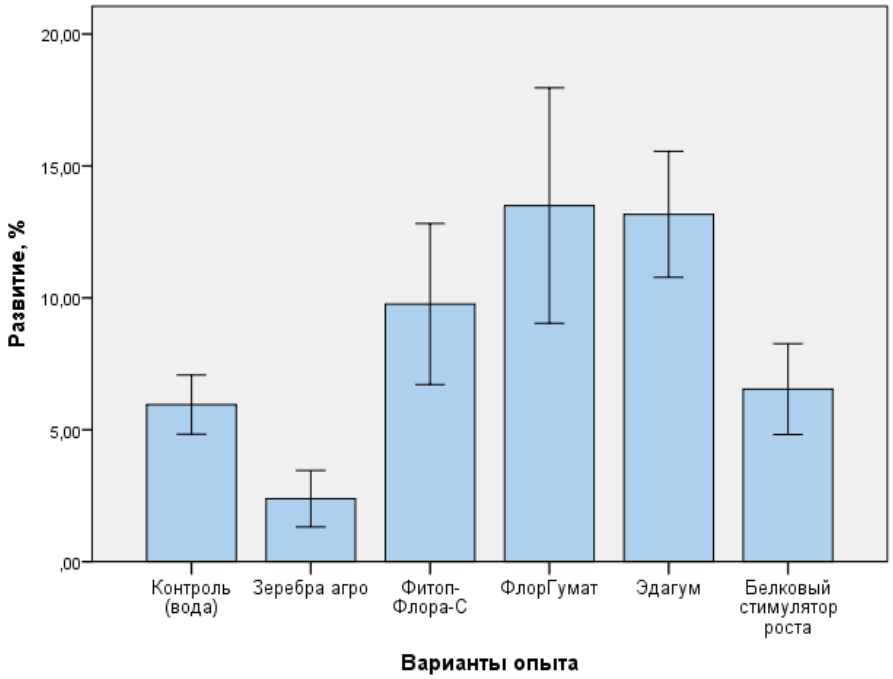


Рис. 106 – Влияние белкового стимулятора роста и органо-минеральных удобрений на развитие бурой ржавчины на пшенице сорта Ленинградская 6, к-64900. СПб.-Пушкин, 2019 г.

После применения белкового стимулятора выявлено снижение степени развития мучнистой росы пшеницы на 15,7% ($R_м$=15±1,3%) по сравнению с контролем ($R_м$=30,7±5,8%), а по числу пятен с налетом на лист – на 52,5% ($R_{п.м}$=13,7±0,9 шт., в контроле - $R_{п.м}$=28,6±4,8 шт.). Органо-минеральные удобрения не оказывали достоверного влияние на степень развития болезни, однако определено достоверное влияние препарата «Зеребра агро» на снижение числа пятен с налетом мучнистой росы - на 51,2% ($R_{п.м}$=14,0±3,4 шт., в контроле - $R_{п.м}$=28,6±4,8 шт.) (Kolesnikov et al., 2021c).

Заключение. Внекорневое опрыскивание растений белковым стимулятором роста R приводило к увеличению урожайности пшеницы в 2019 г. на 31,5% и снижению поражения пшеницы возбудителем мучнистой росы. При этом на степень поражения бурой ржавчиной белковый стимулятор роста

влияния не оказал. Следует отметить, что по данным наших опытов, проведенных ранее, урожайность пшеницы в 2017-2018 гг. выросла у 64% образцов пшеницы на 46,3% по сравнению с контролем, а содержание общего азота в листьях у 92% образцов пшеницы возросло на 84,6%. В 2017-2018 гг. после обработки растений пшеницы белковым стимулятором роста отмечено увеличение размера зерен, их полноценность и округлость по сравнению с контролем (без обработки), что было определено методами микрофокусной рентгенографии и оптического анализа (Колесников и др., 2020d).

4.3.4 Влияние полимерного гидрогеля и белкового стимулятора роста разной молекулярной массы на продуктивность и устойчивость пшеницы к болезням при предпосевном внесении в почву и замачивании семян

Ранее в наших исследованиях применялся белковый гидролизат из ретикулярного слоя дермы крупного рогатого скота R. В данном исследовании использовали гидролизат, полученный из обрези шкур свиней RM. Белковый гидролизат RM, которым обрабатывали растения пшеницы в 2021 – 2022 годах имел молекулярную массу 700000 Да, с содержанием глицина на 17 % больше по отношению к R (Kolesnikov et al., 2023).

Ранее методика предусматривала предпосевное внесение гидрогеля и белкового гидролизата в почву как по отдельности, так и в различных сочетаниях (Kolesnikov et al., 2021c, 2021f). В представляемых результатах за 2021-2022 гг. методика опыта была изменена. Полимерный гидрогель вносили в почву в сухом виде перед посевом пшеницы, а семена пшеницы предварительно замачивали в растворах белковых гидролизатов концентрацией 0,195 г/л.

Наибольшая потенциальная урожайность пшеницы за период 2021-2022 гг. ($Y_п$=4,41±0,47 т/га) была выявлена в варианте опыта 1G:2RM при совместном использовании полимерного гидрогеля и нового белкового гидролизата роста RM (рис. 107). В указанном варианте опыта урожайность пшеницы достоверно выросла на 73,3% по сравнению с контролем ($Y_п$=2,54±0,29 т/га). Существенный рост потенциальной урожайности пшеницы (на 60,9%) зарегистрирован также в варианте опыта 0,5G:1R ($Y_п$=4,09±0,52 т/га)

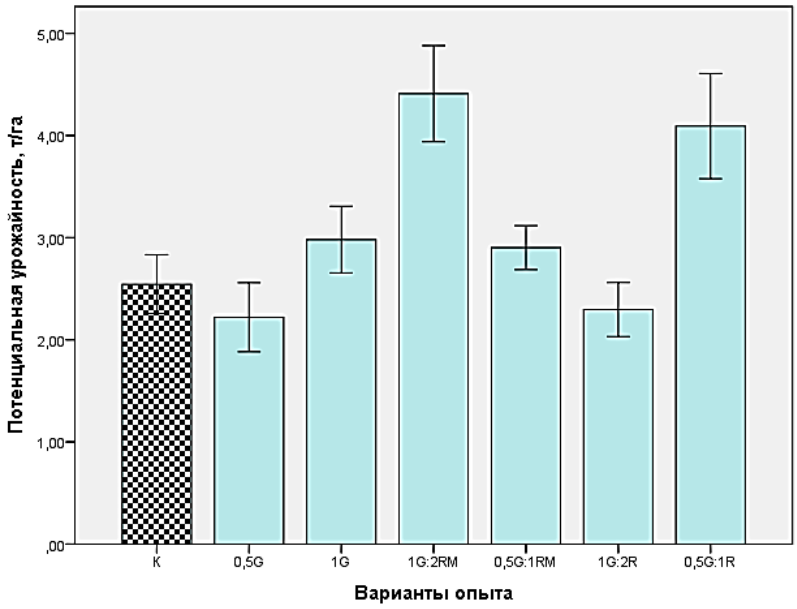


Рис. 107 – Потенциальная урожайность мягкой пшеницы при использовании полимерного гидрогеля и белковых гидролизатов роста различной молекулярной массы. 2021-2022 г.

При исследовании динамики потенциальной урожайности пшеницы (рис. 108) было установлено, что в 2021 г. в варианте опыта 1G:2RM урожайность пшеницы по сравнению с контролем ($Y_п$=3,24±0,36 т/га) выросла на 43,6% и составила $Y_п$=4,65±0,43 т/га, а в 2022 – на 119,9% ($Y_п$=4,65±0,43 т/га) по сравнению с контролем ($Y_п$=2,54±0,29 т/га).

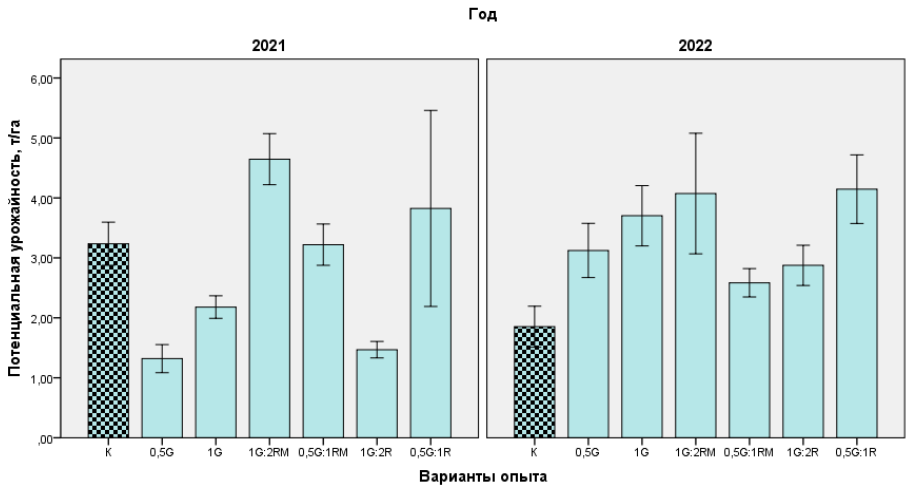


Рис. 108 – Динамика потенциальной урожайности мягкой пшеницы при использовании полимерного гидрогеля и белковых гидролизатов роста различной молекулярной массы. 2021-2022 г.

Значительный рост урожайности пшеницы в 1G:2RM по сравнению с контролем можно объяснить статистически достоверно большими значениями следующих показателей: полевой всхожести пшеницы – на 21,9%, высоты растений – на 17,0%, числа колосков в колосе – на 7,8%, площади предфлагового листа – на 36,0%. При этом показатель «масса 1000 зерен пшеницы» в варианте опыта 1G:2R сильно варьировал по годам исследования: в 2021 г. – увеличился на 13,7%, а в 2022 г. – снизился на 11,4%. Значительное влияние на урожайность пшеницы в указанном варианте опыта оказало существенное снижение поражения растений бурой ржавчиной – на 21,7% и желтой ржавчиной – на 28,3%, а также корневой гнилью – на 5,6%. Отмечено существенное снижение площади пятен мучнистой росы на флаговых и предфлаговых листьях пшеницы – на 77,8% по сравнению с контролем.

При использовании показателя «биологическая урожайность одного растения», рассчитанного без учета данных по плотности посева за период 2021-2022 гг., ее максимальное увеличение на 80,8% ($Y_{р.п}$ = 3,77±0,54 г/растение) по сравнению с контролем ($Y_{р.п}$ = 2,09±0,27 г/растение) зарегистрировано в варианте опыта 0,5G:1R (рис. 109).

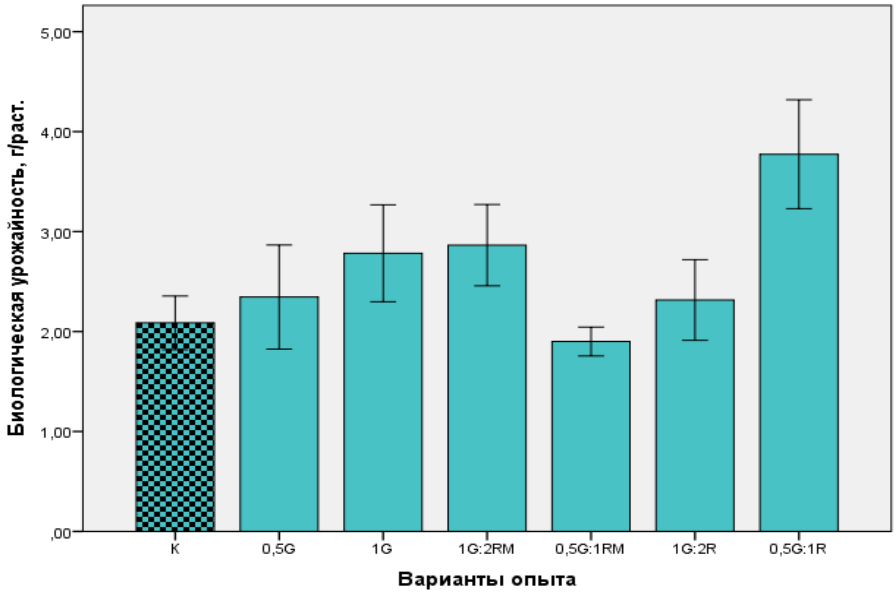


Рис. 109 – Биологическая урожайность мягкой пшеницы при использовании полимерного гидрогеля и белковых гидролизатов роста различной молекулярной массы. 2021-2022 г.

Динамика биологической урожайности пшеницы приведена на рис. 110.

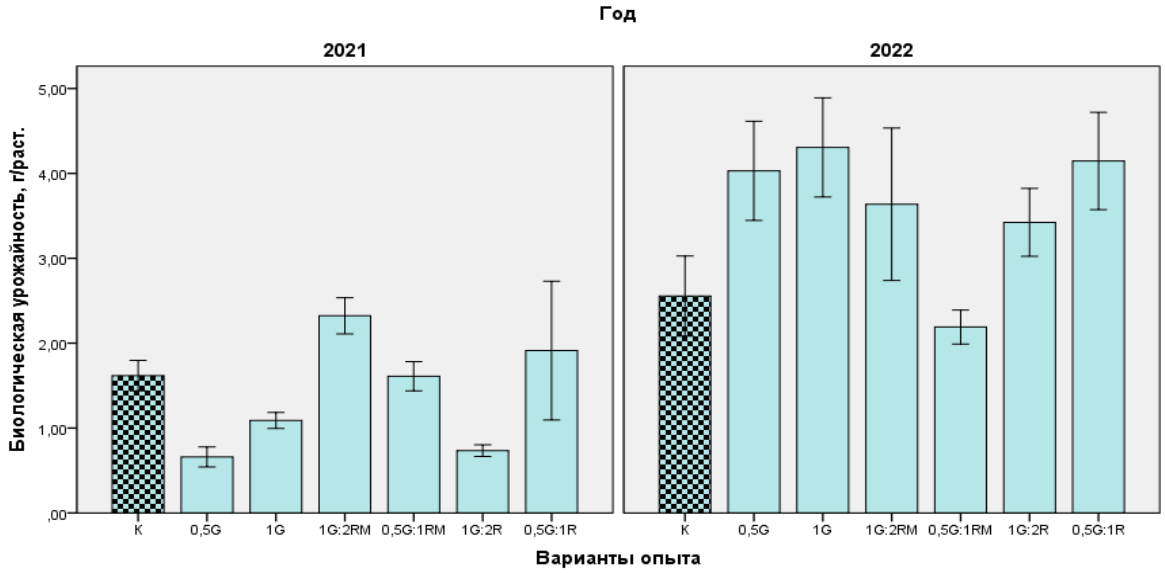


Рис. 110 – Динамика биологической урожайности мягкой пшеницы при использовании полимерного гидрогеля и белковых гидролизатов роста различной молекулярной массы. 2021-2022 г.

Максимальный рост показателя (на 43,6%) выявлен в 2021 г. в варианте опыта 1G:2RM, а в 2022 г. – 1G (на 68,5%). В варианте опыта 0,5G:1R рост урожайности пшеницы составил – 18,2% (2021 г.) и 62,2% (2022 г.).

Следует отметить, что в среднем за период 2021-2022 гг. в варианте опыта 0,5G:1R отмечен статистически достоверный рост максимального числа фитометрических характеристик посевов по сравнению с другими вариантами опыта: фаза растения – на 2,3%, длина первичных корней – на 22,9%, длина колоса – на 60,6%, масса колоса – на 46,9%, число колосков в колосе – на 16,4%, число зерен в колосе – на 28,6%, масса зерен одного колоса – на 54,0%, масса 1000 зерен – на 23,5%. При этом отмечено усиление пораженности растений бурой ржавчиной – на 13,0% и одинаковое с контролем поражение растений корневой гнилью ($R_г$=22%).

Максимальное увеличение числа зерен в колоске колоса по сравнению с контролем было отмечено в варианте опыта при совместном использовании белкового гидролизата роста и гидрогеля: 0,5G:1R – на 9,5% (рис. 111). В вариантах опыта с использованием только гидрогеля: 0,5G и 1G значения показателя снизилось на 8,9% и 19,6%, соответственно.

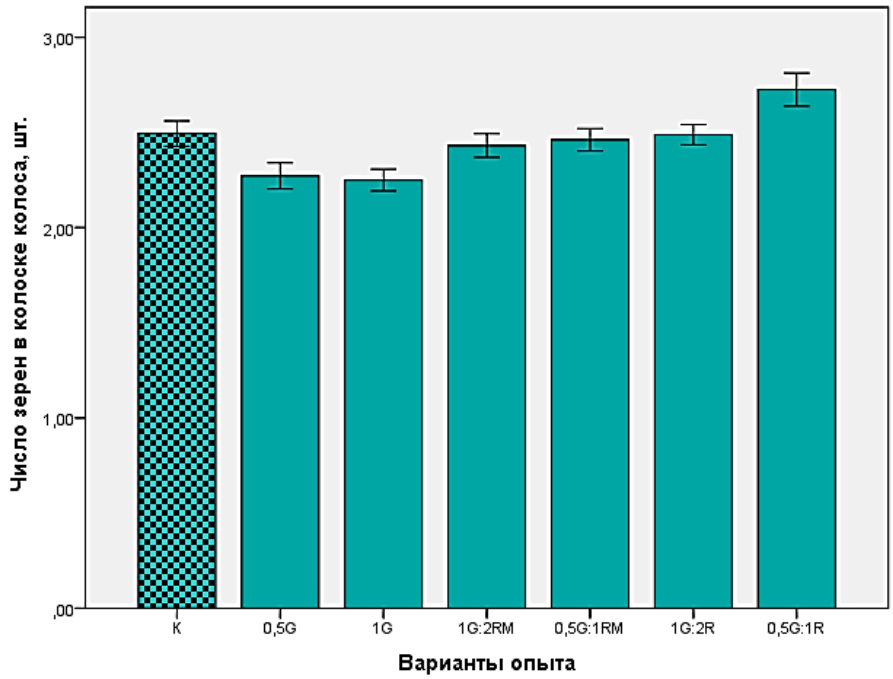


Рис. 111 – Число зерен в колоске колоса мягкой пшеницы при использовании полимерного гидрогеля и белковых гидролизатов роста различной молекулярной массы. 2021-2022 г.

Во большинстве вариантов опыта отмечено отсутствие или статистически достоверное снижение продуктивной кустистости растений по сравнению с контролем: 0,5G – на 32,4%, 0,5G:1RM – на 34,5%, 1G:2R – на 35,4% (рис. 112). Аналогичная тенденция прослеживается и в отношении общей кустистости пшеницы. Только в варианте опыта 1G:2RM в 2021 г. выявлен существенный рост общей кустистости на 77,6%.

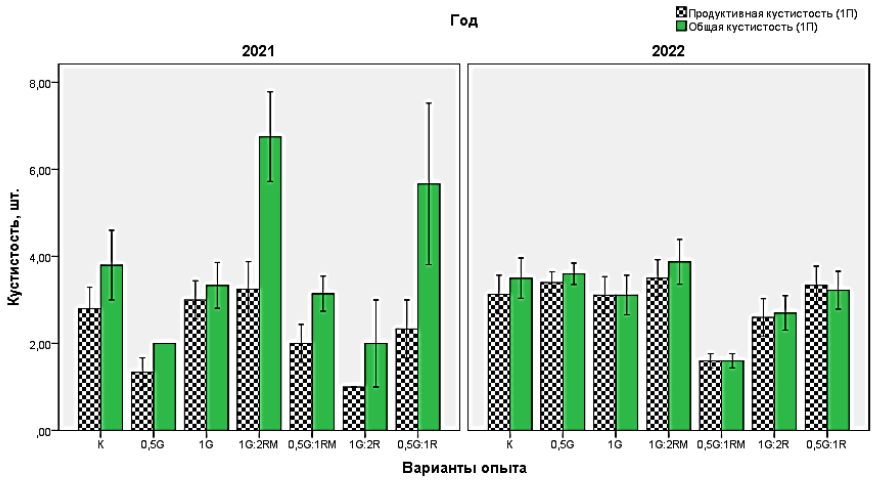


Рис. 112 – Продуктивная и общая кустистость мягкой пшеницы при использовании полимерного гидрогеля и белковых гидролизатов роста различной молекулярной массы. 2021-2022 г.

Значения числа пустых колосков в колосе в вариантах опыта либо статистически достоверно не отличались от контроля, либо существенно его превышали (рис. 113). В вариантах опыта с применением полимерного гидрогеля 0,5G и 1G, значения показателя превышали контроль на 98,3% и на 161,6%, соответственно. Однако, при совместном использовании гидрогеля с белковым гидролизатом роста в варианте 0,5G:1R отмечено существенное снижение числа пустых колосков в колосе на 69,6%.

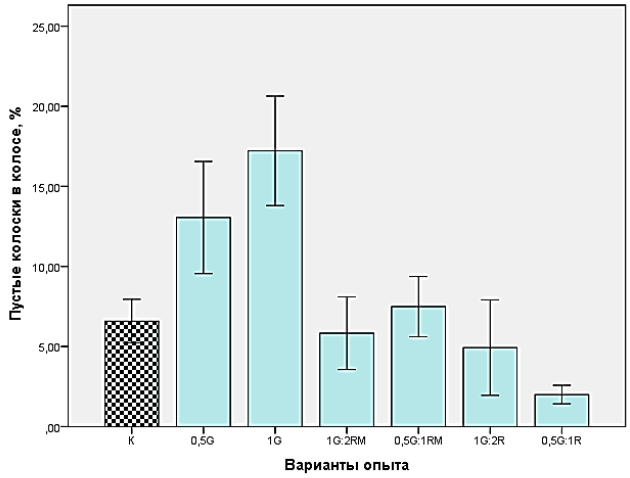


Рис. 113 – Пустые колоски в колосе мягкой пшеницы при использовании полимерного гидрогеля и белковых гидролизатов роста различной молекулярной массы. 2021-2022 г.

Результаты ранжирования фитометрических характеристик посевов мягкой пшеницы сорта Ленинградская 6 по величинам относительного изменения 24 показателей к контролю при применении полимерного гидрогеля и белковых гидролизатов роста отражены на рис. 114. Показано, что вариант опыта 0,5G:1R характеризовался наибольшим числом показателей (50%), отличавшихся статистически достоверно большими значениями величины относительного изменения к контролю. Остальные варианты опыта могут быть ранжированы в порядке убывания указанного критерия следующим образом: 1G:2RM (16,7%) – 1G:2R (12,5%) – 1G и 0,5G (8,3%) – 0,5G:1RM (0%).

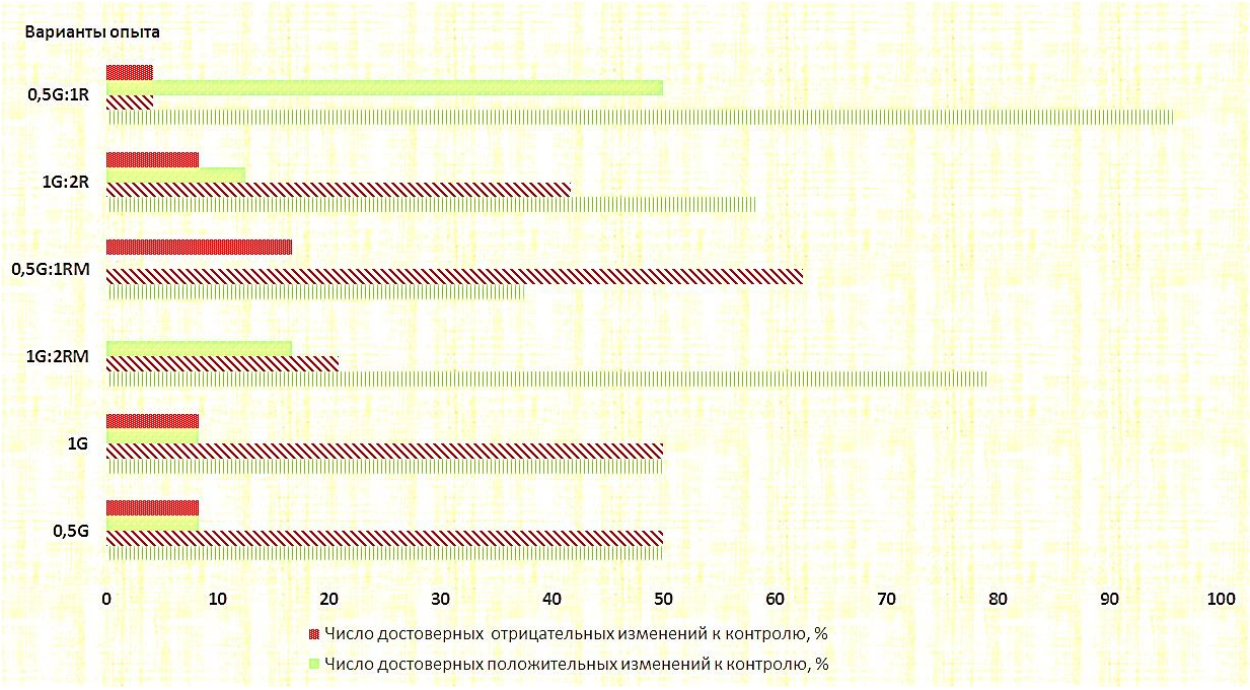


Рис. 114 – Ранжирование фитометрических характеристик посевов мягкой пшеницы по величинам их относительного изменения по сравнению с контролем при использовании полимерного гидрогеля и белковых гидролизатов роста различной молекулярной массы. 2021-2022 г.

Совместное использование гидрогеля и белкового гидролизата роста RM в вариантах опыта 1G:2RM и 0,5G:1RM по сравнению с контролем обуславливало существенное снижение развития бурой ржавчины $R_б$ на 15,4%, числа пустул $N_{п.б}$ на 59,9% и 59,4%, соответственно (рис. 115 а, б). Кроме того, отмечено значительное снижение пораженности растений бурой ржавчиной в варианте опыта с использованием только гидрогеля 1G: $R_б$ – на 17,0%, $N_{п.б}$ – на 83,6%. Среднее значение площади пустулы бурой ржавчины $S_{п.б}$ значительно снизилось на 66,9% в варианте опыта 1G:2RM (рис.115 в).

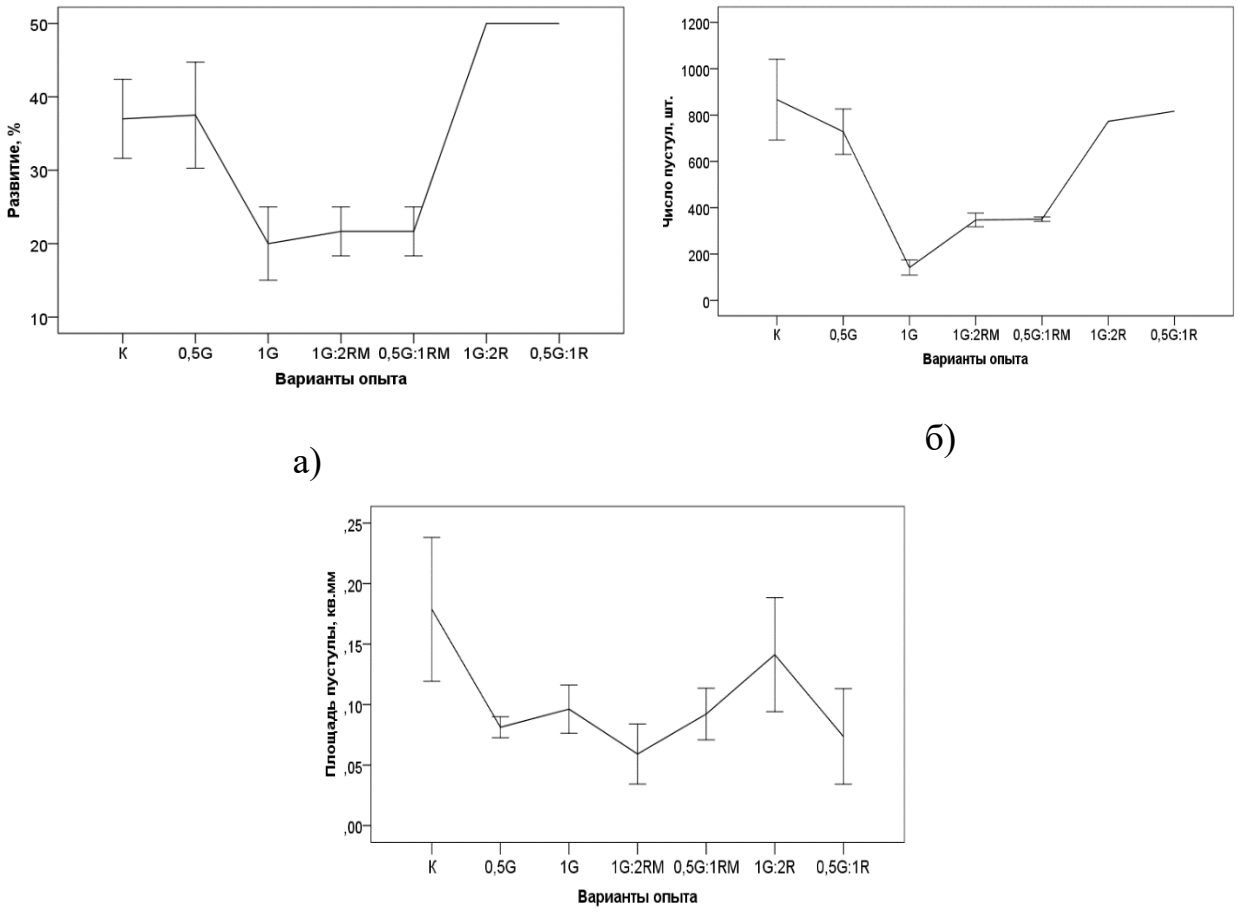
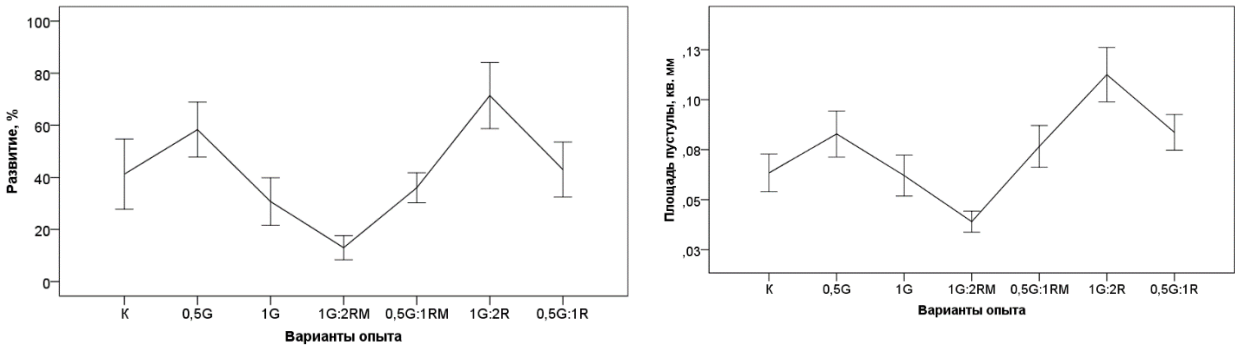


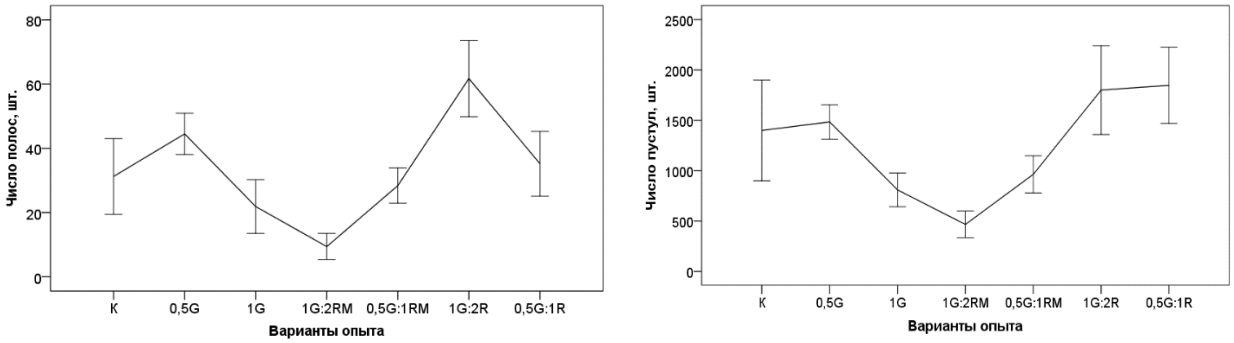
Рис. 115 – Интенсивность развития (а), число пустул (б) и площадь пустулы (в) бурой ржавчины (б) на флаговом листе при использовании полимерного гидрогеля и белковых гидролизатов роста различной молекулярной массы. 2021-2022 г.

В варианте опыта 1G:2RM выявлено статистически достоверное снижение развития и площади пустулы желтой ржавчины на 28,3% и 38,5%, соответственно (рис. 116). В указанном варианте опыта зафиксировано снижение числа полос с пустулами на 69,9% и суммарного числа пустул на 66,8% (рис.117).



а) б)

Рис. 116 – Интенсивность развития (а) и площадь пустулы желтой ржавчины (б) желтой ржавчины на флаговом листе при использовании полимерного гидрогеля и белковых гидролизатов роста различной молекулярной массы. 2021-2022 г.



а) б)

Рис. 117 – Число полос (а) и число пустул желтой ржавчины (б) на флаговом листе при использовании полимерного гидрогеля и белковых гидролизатов роста различной молекулярной массы. 2021-2022 г.

Согласно данным рис. 118 определено существенное снижение интенсивности развития (на 13,3%) и числа пятен с налетом (на 34,8%) в варианте опыта 0,5G:1RM. В варианте опыта 1G:2RM не выявлено достоверного изменения развития болезни и числа пятен с налетом по сравнению с контролем, однако зафиксировано существенное снижение площади пятен с налетом (на 77,9%). Отмечена тенденция усиления развития болезни на 71,3% и 10,4%, числа пятен с налетом на 332,2% и 126,1% в вариантах опыта 1G и 0,5G:1R, соответственно. Кроме того, в варианте опыта 1G зафиксировано сильное повреждение флаговых листьев личинками пьявицы

($R_{лп}$=50%, число повреждений $N_{лп}$=33, длина повреждений $L_{лп}$=27,0±9,1 мм) в отличии от контроля ($R_{лп}$=0%).

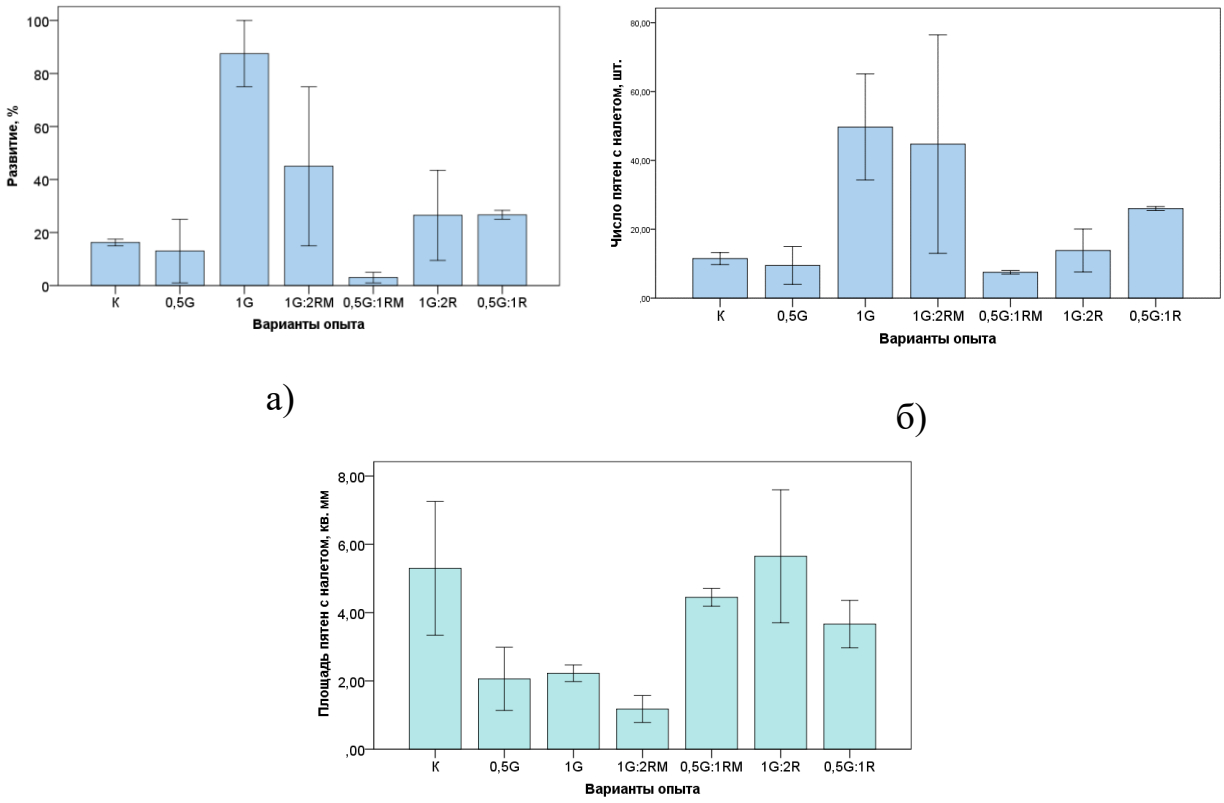


Рис. 118 – Развитие (а), число (б) и площадь пятен с налетом (в) мучнистой росы на флаговых и предфлаговых листьях при использовании полимерного гидрогеля и белковых гидролизатов роста различной молекулярной массы. 2021-2022 г.

Сильное поражение пшеницы корневой гнилью определено в вариантах опыта 1G и 0,5G:1R: $R_г$=23,3% и $R_г$=22,2%, соответственно (рис. 119). Существенно меньшее развитие болезни Rг=3,7% зафиксировано в варианте опыта 0,5G:1RM (БЭ=83,3%).

Установлено, что с ростом площади пятен с налетом мучнистой росы на флаговых и предфлаговых листьях увеличивалась длина колоса (r=0,75; P=0,03). Число зерен в колоске колоса и число колосков в колосе снижалось с усилением поражения пшеницы бурой ржавчиной (r= - 0,52; P=0,04), с возрастанием числа пустул (r= - 0,9; P=0,04) и площади пустулы (r= - 0,8; P=0,04) микромицета на флаговом листе.

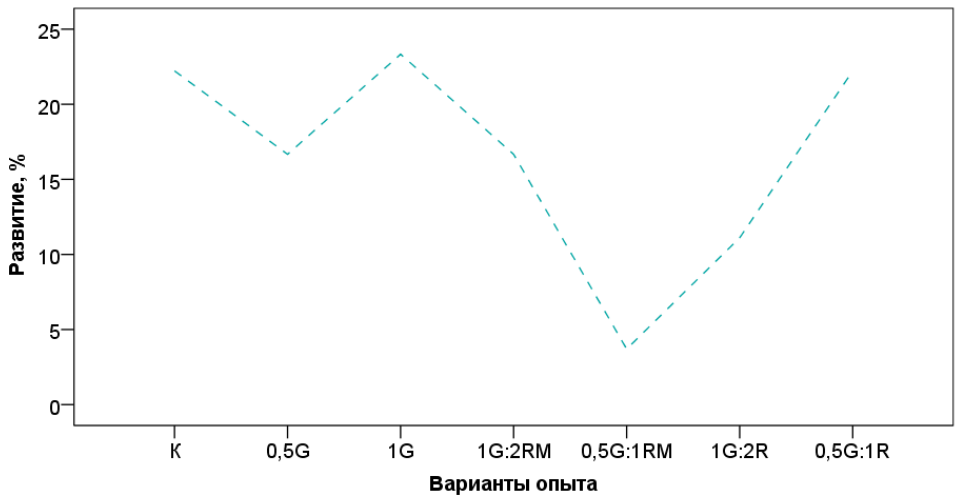


Рис. 119 – Пораженность пшеницы корневой гнилью при использовании полимерного гидрогеля и белковых гидролизатов роста различной молекулярной массы. 2021-2022 г.

Заключение. Наибольший рост урожайности пшеницы по сравнению с контролем зарегистрирован в вариантах опыта при совместном применении полимерного гидрогеля с белковым гидролизатом роста (1G:2RM) и с белковым гидролизатом роста (0,5G:1R), соответственно. Прибавка урожая в варианте опыта 1G:2RM по сравнению с 1G составила 1,4 т/га (0,1 г/растение), а в варианте опыта 0,5G:1R по сравнению с 0,5G – 1,9 т/га (1,4 г/растение). Увеличение урожайности пшеницы в варианте опыта 1G:2RM в основном было обусловлено снижением интенсивности поражения пшеницы болезнями: бурой ржавчиной – на 21,7%, желтой ржавчиной – на 28,3%, корневой гнилью – на 5,6%. Отмечено существенное снижение площади пятен мучнистой росы на флаговых и предфлаговых листьях пшеницы – на 77,8% по сравнению с контролем. Кроме того, на увеличение урожайности пшеницы в указанном варианте опыта оказал рост следующих показателей: полевой всхожести – на 21,9%, высоты растений – на 17,0%, числа колосков в колосе – на 7,8%, площади предфлагового листа – на 36,0%. Установлено, что гидролизат из обрези свиной шкуры с молекулярной массой 700000 Да, способствует значительному снижению болезней растений (Kolesnikov et al., 2023).

Значительное увеличение урожайности пшеницы по сравнению с контролем в варианте опыта 0,5G:1R в основном было обусловлено ростом

наибольшего числа показателей продуктивности пшеницы по сравнению с контролем: фазы растения – на 2,3%, длина первичных корней – на 22,9%, длины колоса – на 60,6%, массы колоса – на 46,9%, числа колосков в колосе – на 16,4%, числа зерен в колосе – на 28,6%, массы зерен одного колоса – на 54,0%, массы 1000 зерен – на 23,5%. При этом развитие корневой гнили и желтой ржавчины на пшенице не отличалось от контроля, интенсивность поражения растений бурой ржавчиной и мучнистой росой усилилась на 13,0% и 10,4%, соответственно.

Наибольшая биологическая эффективность ($БЭ_г$=83,3% и $БЭ_м$=81,5%) выявлена в отношении снижения развития корневой гнили и мучнистой росы пшеницы при совместном использовании белкового гидролизата роста и гидрогеля в варианте опыта 0,5G:1RM. Урожайность пшеницы в указанном варианте опыта существенно не увеличилась по сравнению с контролем – изменение составило 14,1%. Максимальное снижение числа пустул бурой ржавчины пшеницы было зафиксировано при использовании гидрогеля в варианте опыта 1G ($БЭ_г$=83,6%), что обуславливало незначительный рост урожайности на 17,2%. Существенное снижение пораженности растений желтой ржавчиной (развитие болезни – $БЭ_ж$=68,5%; число полос – $БЭ_{пл.ж}$=69,9%; число пустул $БЭ_{п.ж}$=69,9%) и мучнистой росой (уменьшение площади пятен с налетом $БЭ_{пл.м}$=77,8%) зафиксировано в варианте опыта 1G:2RM. Продемонстрировано, что необходимо дальнейшее изучение влияния доли и состава внесенного акрилового гидрогеля на разработку эффективных технологий возделывания зерновых культур.

Таким образом, молекулярная масса гидролизатов, а также доля и состав акрилового гидрогеля, определяют не только их свойства, но и влияют на показатели качества обработанной ими растительной продукции. Это позволяет регулировать и воздействовать на агробиологические процессы производства пшеницы (Kolesnikov et al., 2023).

4.4 Органо-минеральные удобрения и микроудобрения

4.4.1 Эффективность органо-минеральных удобрений и микроудобрений в отношении структуры урожайности пшеницы и интенсивности развития болезней

Данные по эффективности органо-минеральных удобрений и микроудобрений приведены в следующих работах: Мельников и др., 2016; Колесников и др., 2018c, 2019a, 2020b; Kolesnikov et al., 2021c, 2021d. Результаты сравнительной эффективности органо-минеральных удобрений и микроудобрений в отношении урожайности пшеницы по сравнению с контролем представлены на рис. 120. Приведены усредненные данные показателя по 7-ми сортам пшеницы за период 2017-2021 гг.: Ленинградка, к-47883; Саратовская 29, к-40603; Ленинградская 97, к-62935; Ленинградская 6, к-64900; Тулайковская 108, к-65452; Сударыня, к-66407; Trizo, к-64981. Наибольшая урожайность пшеницы $Y_п$ была выявлена в вариантах опыта с применением органо-минеральных удобрений: «Зеребра агро» ($Y_п$= 2,70±0,20 г/растение) и «Фитоп-Флора-С» ($Y_п$= 2,74±0,22 г/растение). При использовании «Зеребра агро» и «Фитоп-Флора-С» урожайность пшеницы выросла на 109,0% и 112,0% относительно контроля ($Y_п$= 1,29±0,11 г/растение), соответственно.

Существенный рост урожайности пшеницы при $P<0,05$ отмечен при применении препарата «ФлорГумат» – на 58,8% ($Y_п$= 2,06±0,17 г/растение), «Trace Mix» – на 44,9% ($Y_п$= 1,88±0,20 г/растение), «Эдагум» – на 28,3% ($Y_п$= 1,66±0,11 г/растение).

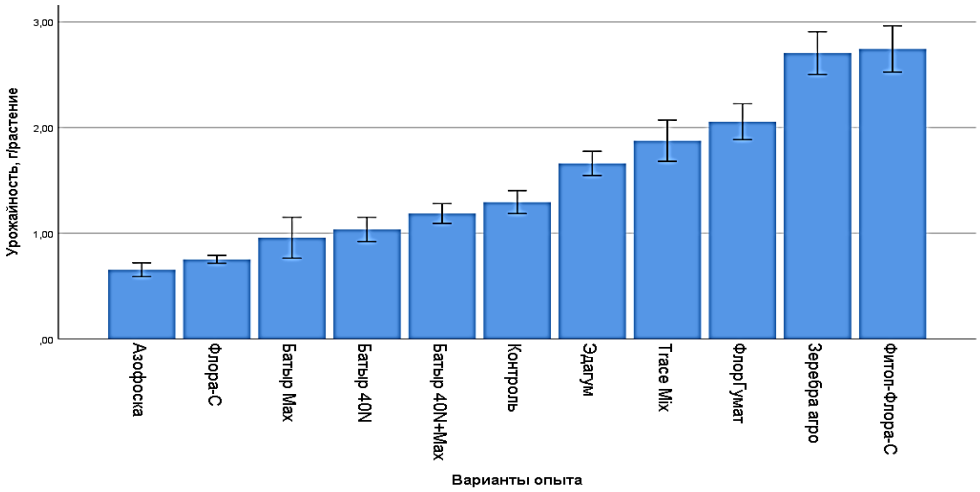


Рис. 120 – Изменение урожайности мягкой пшеницы при использовании органо-минеральных препаратов и микроудобрений. 2017-2021 гг.

Максимальная урожайность мягкой пшеницы в вариантах опыта «Зеребра агро» и ««Фитоп-Флора-С» может быть обусловлена существенным снижением интенсивности поражения растений возбудителем мучнистой росы по сравнению с контролем - на 22,7% ($БЭ_м$=62,4%) и 23,3% ($БЭ_м$=64,0%).

Значительное уменьшение степени поражения пшеницы возбудителем мучнистой росы на 28,8% по сравнению с контролем выявлено в варианте опыта, где был использован «ФлорГумат» ($БЭ_м$=79,2%) и незначительное – «Эдагум» (на 14,7%) – рис. 121. При применении препарата «Trace Mix» отмечено небольшое увеличение интенсивности поражения растений болезнью – на 10,0%.

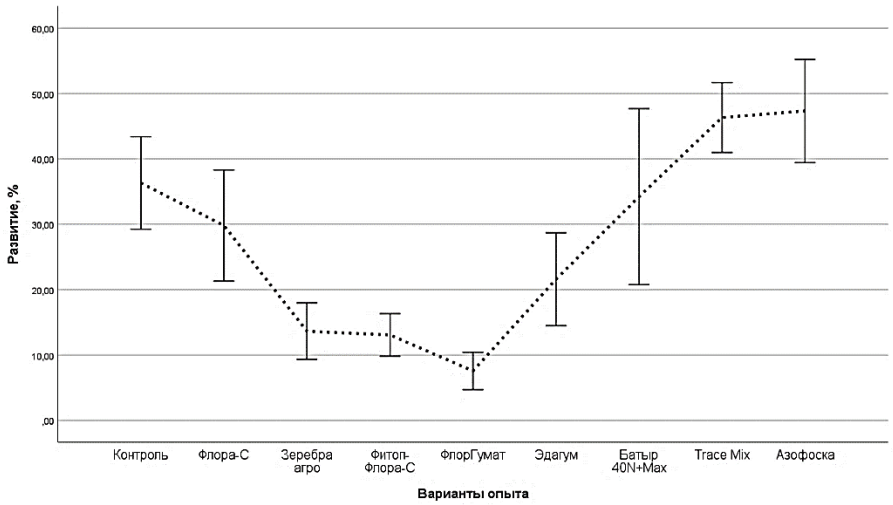


Рис. 121 – Интенсивность поражения мягкой пшеницы возбудителем мучнистой росы на предфлаговых листьях при использовании органо-минеральных препаратов и микроудобрений. 2017-2021 гг.

При применении «Зеребра агро» и «Фитоп-Флора-С» число пятен с налетом возбудителя мучнистой росы на предфлаговых листьях снизилось на 79,5% и 80,9% (рис. 122).

Поражение флаговых листьев пшеницы вариантах опыта «Зеребра агро» и «Фитоп-Флора-С» изменилось по сравнению с контролем незначительно – снизилось на 1,4% и 0,4%, а число пятен с налетом – на 0,9% и 0,6%, соответственно.

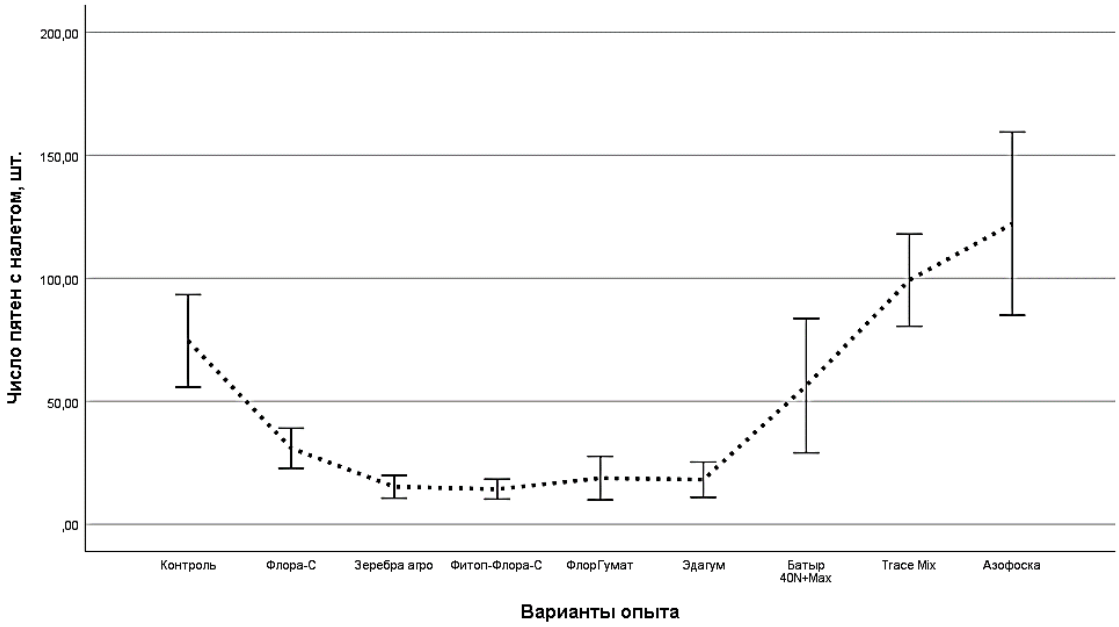


Рис. 122 – Число пятен с налетом мучнистой росы на предфлаговых листьях при использовании органо-минеральных препаратов и микроудобрений. 2017-2021 гг.

Развитие бурой ржавчины относительно контроля при применении «Зеребра агро» и «Фитоп-Флора-С» изменилось незначительно – снизилось на 2,9% и увеличилось на 4,6%, соответственно. Число пустул бурой ржавчины на флаговом листе в варианте «Зеребра агро» снизилось на 26,7%, в варианте «Фитоп-Флора-С» - увеличилось на 11,0%. При этом значения площади пустулы при использовании «Зеребра агро» и «Фитоп-Флора-С» несущественно выросли – на 4,3% и 30,0%, соответственно (рис. 123).

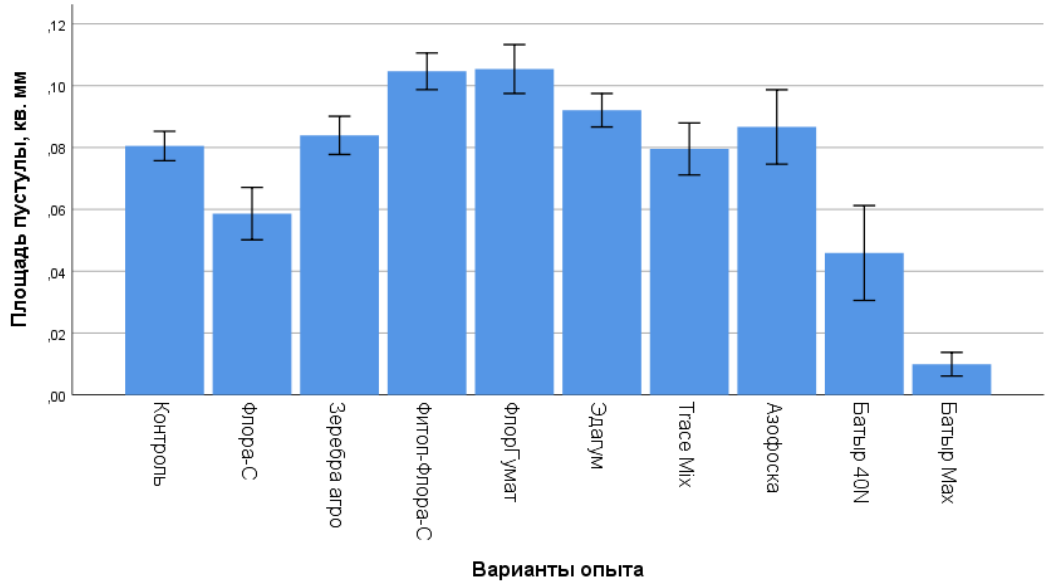


Рис. 123 – Площадь пустулы бурой ржавчины на флаговых листьях пшеницы при использовании органо-минеральных препаратов и микроудобрений. 2017-2021 гг.

Статистически достоверное снижение интенсивности поражения предфлаговых листьев пшеницы септориозом зарегистрировано в варианте «Фитоп-Флора-С» - на 7,6% по сравнению с контролем («Зеребра агро» - снизилось незначительно на 2,7%). Развитие желтой ржавчины в варианте Зеребра агро снизилось на 3,6%, а при применении «Фитоп-Флора-С» – повысилось на 11,3%. Выявлено несущественное снижение развития корневой гнили пшеницы по сравнению с контролем как при применении «Зеребра агро» - на 3,9%, так и «Фитоп-Флора-С» - на 3,5% (рис. 124).

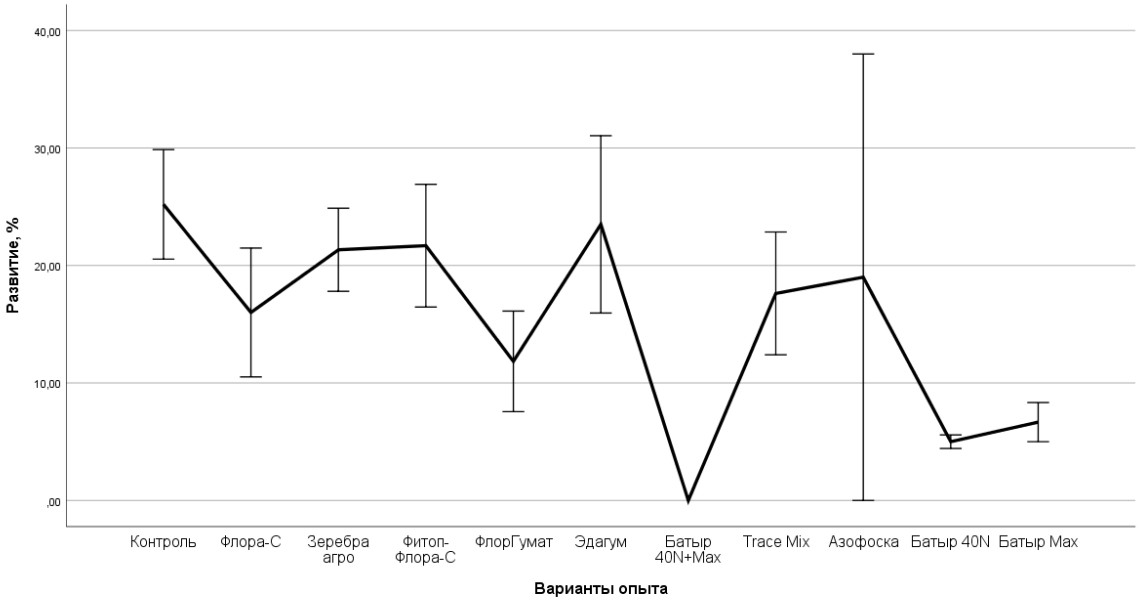


Рис. 124 – Развитие корневой гнили пшеницы при использовании органо-минеральных препаратов и микроудобрений. 2017-2021 гг.

По данным 2021 г., максимальное число зерен в колоске колоса выявлено при внекорневой обработке растений препаратом «Trace Mix» на сортах Саратовская 29, к-40603 – статистически достоверно увеличилось на 15,0%, и Сударыня, к-66407 – увеличилось незначительно, на 3,0% (рис. 125). Что, возможно, существенно повлияло на рост урожайности пшеницы: у сорта Саратовская 29 – на 15,02 %, Сударыня – на 16,0% (рис. 126). Масса 1000 зерен у сорта Саратовская 29 существенно выросла – на 31,4% (рис. 127).

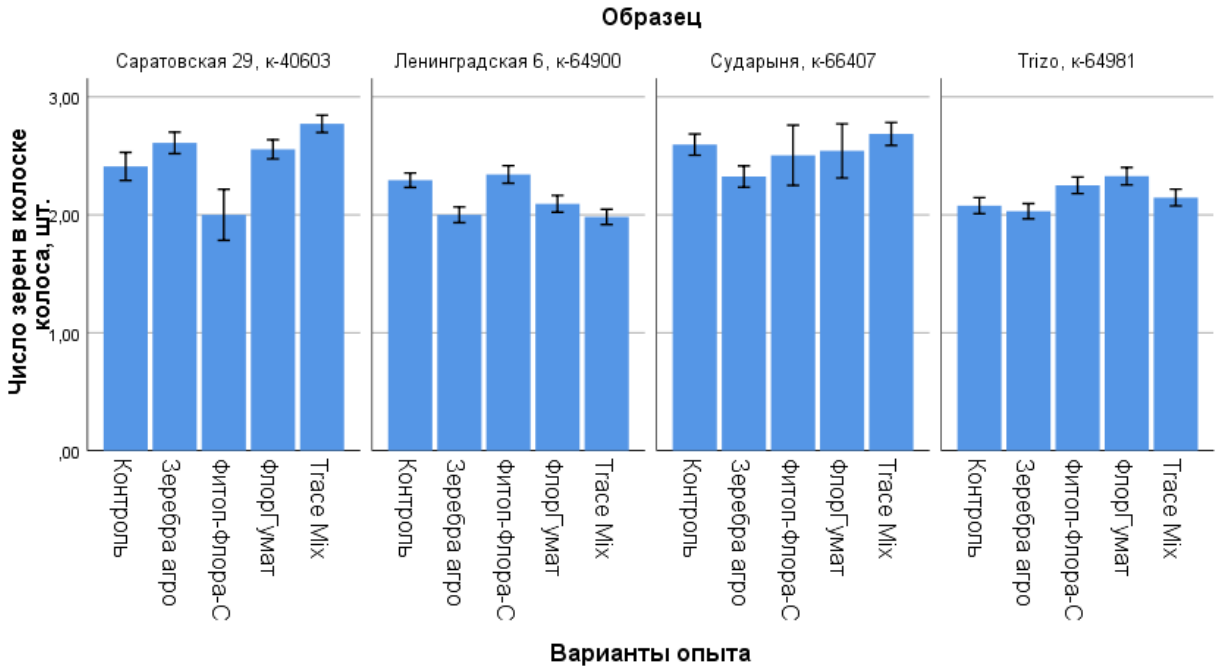


Рис. 125 – Изменение числа зерен в колоске колоса мягкой пшеницы при использовании органо-минеральных препаратов и микроудобрений. 2021 г.

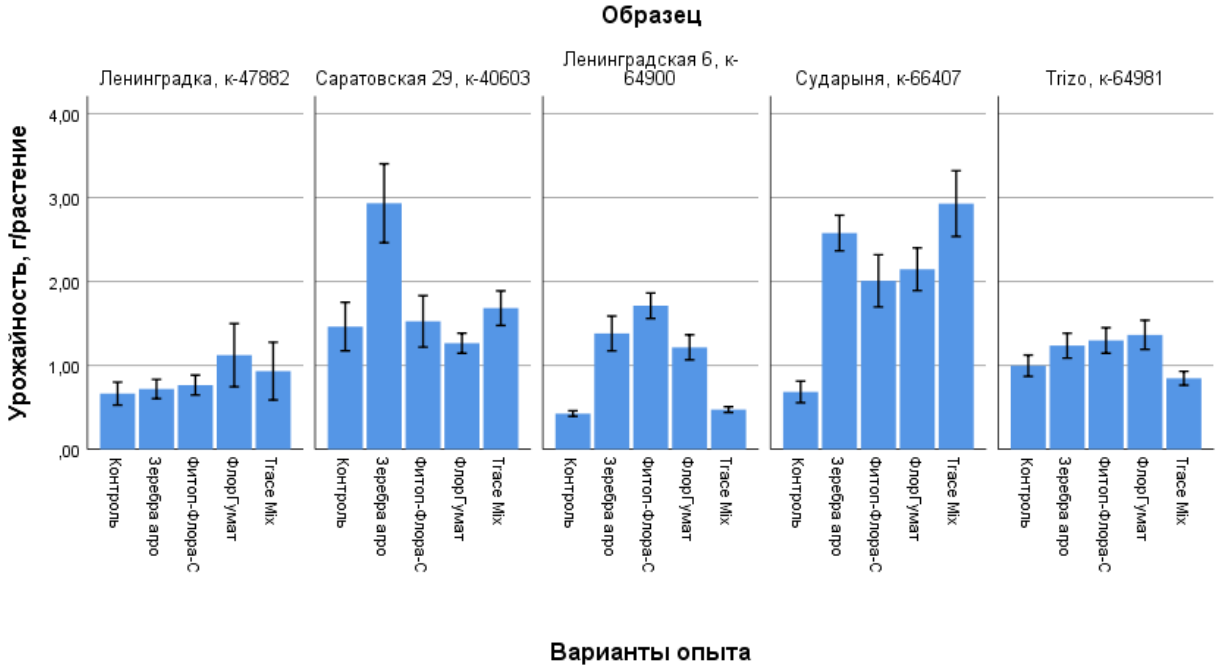


Рис. 126 – Урожайность мягкой пшеницы при использовании органо-минеральных препаратов и микроудобрений. 2021 г.

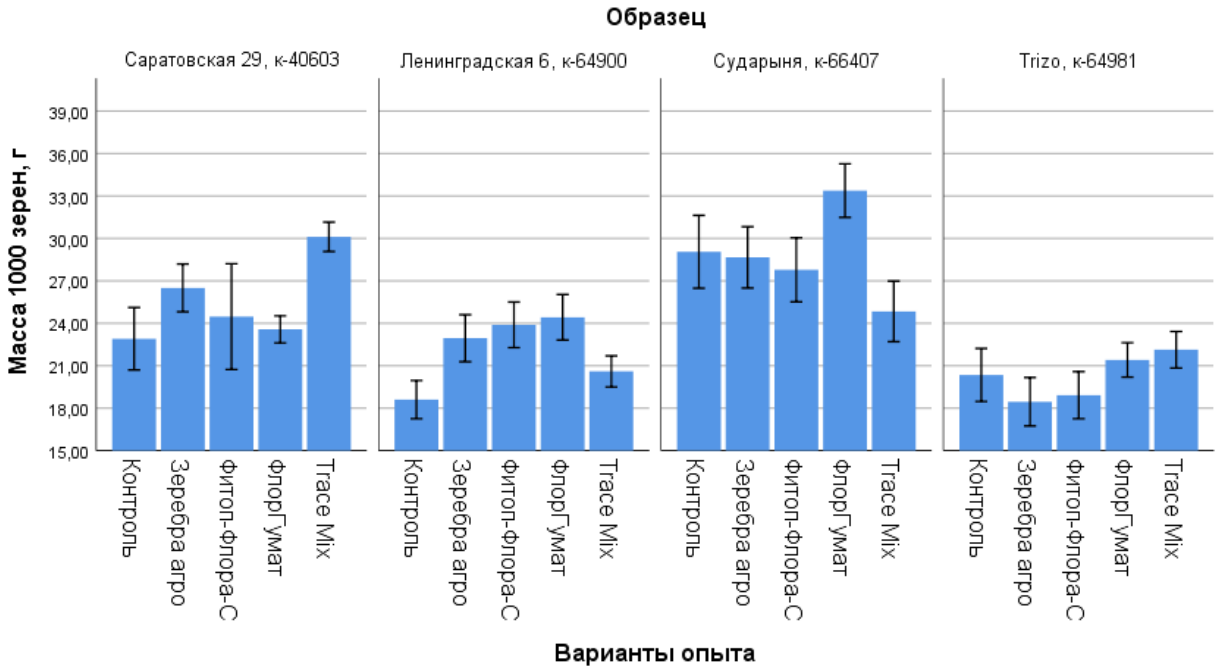


Рис. 127 – Изменение массы 1000 зерен мягкой пшеницы при использовании органо-минеральных препаратов и микроудобрений. 2021 г.

В то же время, при использовании «Trace Mix» на сорте Саратовская 29, к-40603 незначительно, на 10,3% (с 14,3% до 4,0%, $БЭ_м$=72,0%) снизилось поражение растений мучнистой росой рис. 128, бурой ржавчиной (с 29,2% до 24,0%, $БЭ_м$=17,7%) – рис. 129.

На сорте Сударыня, к-66407 в варианте «Trace Mix» выявлен незначительный рост интенсивности поражения растений возбудителем мучнистой росы: развитие болезни – на 12,5% (с 17,5% до 30,0%), число пятен с налетом – на 25,0% (с 24,0 до 30,0 шт.). При этом площадь пятен с налетом снизилась на 14,2% (с 1,23 до 1,06 мм^2). Однако степень поражения растений бурой ржавчиной в указанном варианте опыта существенно уменьшилась: развитие болезни – на 36,2% (с 26,1% до 16,7%), число пустул – на 39,4% (с 756,7 до 458,9 шт.). Значения площади пустулы изменились незначительно, на 16,7% по сравнению с контролем: с 0,10592 до 0,08823 мм^2.

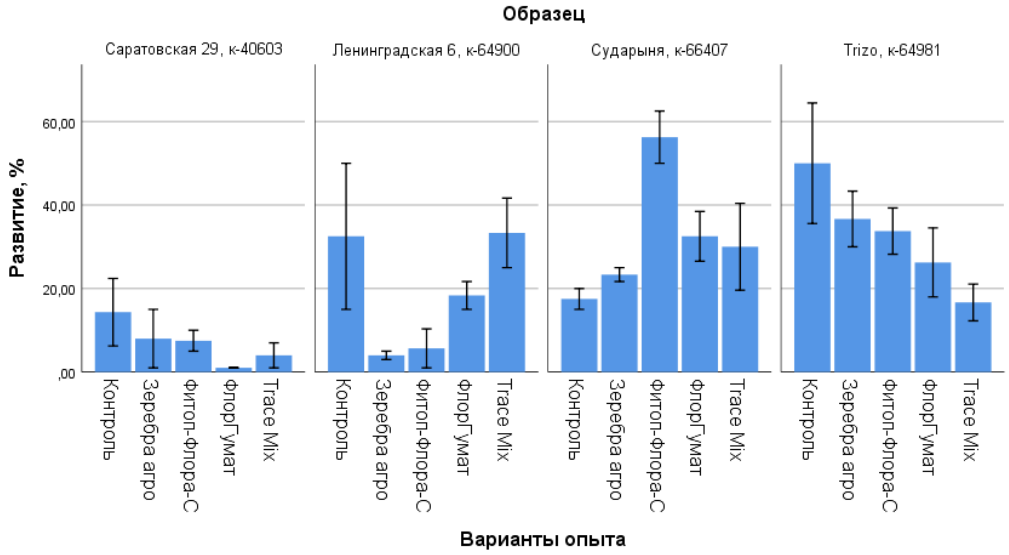


Рис. 128 – Изменение интенсивности развития возбудителя мучнистой росы при использовании органо-минеральных препаратов и микроудобрений. 2021 г.

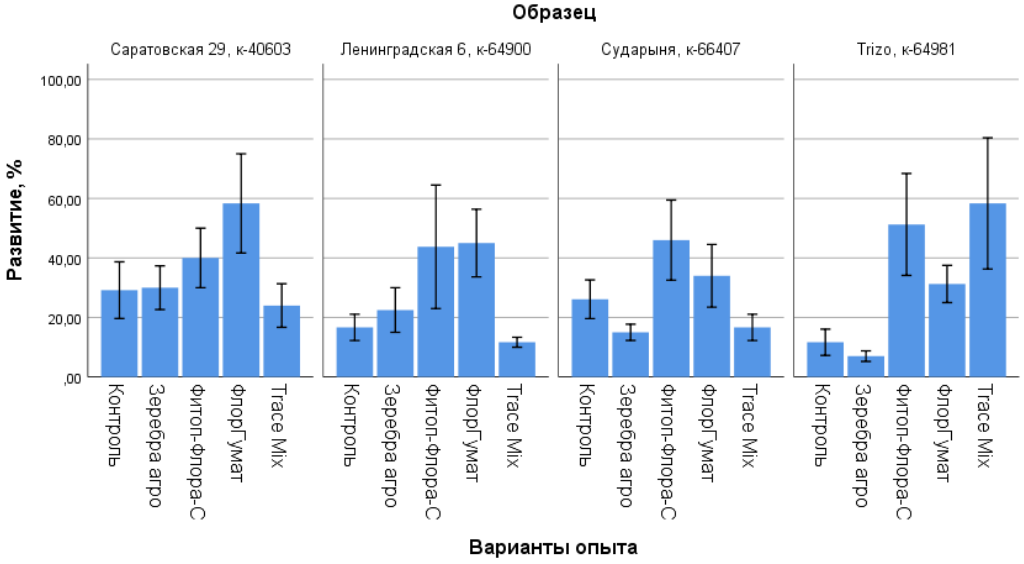


Рис. 129 – Изменение интенсивности развития возбудителя бурой ржавчины при использовании органо-минеральных препаратов и микроудобрений. 2021 г.

Несущественно, на 2,1% выросли значения числа зерен в колоске колоса при применении препарата «ФлорГумат» на сорте Ленинградская 6, к-64900 и существенно, на 12,0% – на сорте Trizo, к-64981.

Внекорневая обработка пшеницы сорта Trizo, к-64981 препаратом «ФлорГумат» приводила к снижению поражения растений мучнистой росой: развития болезни – на 23,8%, числа пятен с налетом – на 67,2% (рис. 130).

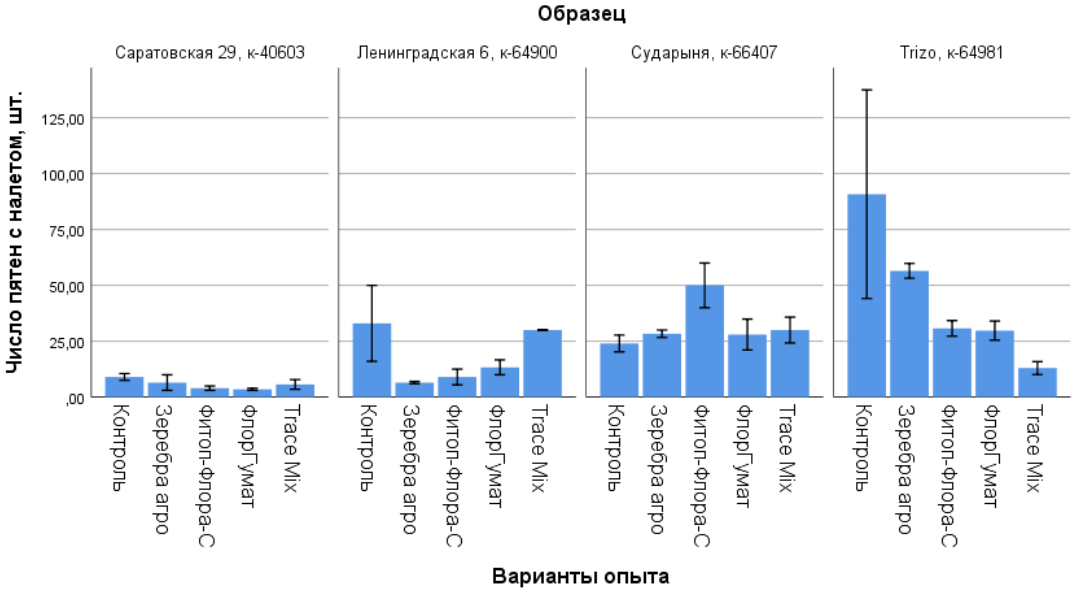


Рис. 130 – Изменение числа пятен с налетом возбудителя мучнистой росы при использовании органо-минеральных препаратов и микроудобрений. 2021 г.

При этом в данном варианте опыта выявлено достоверное усиление интенсивности развития бурой ржавчины относительно контроля – на 19,6%, а число пустул увеличилось на 117,6% (рис. 131).

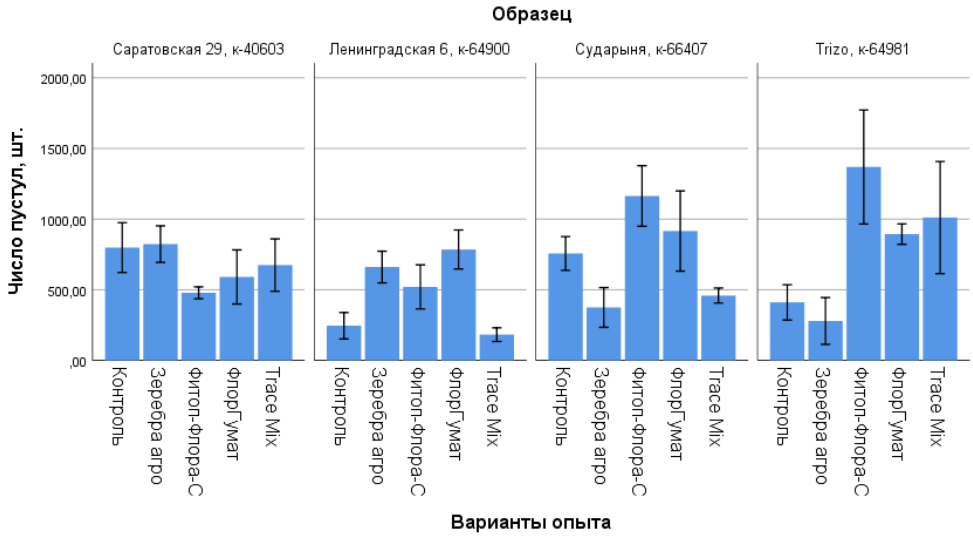


Рис. 131 – Изменение числа пустул возбудителя бурой ржавчины при использовании органо-минеральных препаратов и микроудобрений. 2021 г.

Не выявлено пустых колосков в колосе при обработке растений сорта Саратовская 29, к-40603 препаратом «Trace Mix». Кроме того, в варианте опыта, где был использован препарат «Trace Mix» на сорте Trizo, к-64981 определено существенное снижение показателя на 9,3%.

Заключение. Урожайность мягкой пшеницы существенно выросла по сравнению с контролем при применении препаратов: «Зеребра агро» (на 109,05), «Фитоп-Флора-С» (на 112,0%), «ФлорГумат» (на 58,8%), «Trace Mix» (на 44,9%). При этом максимальное число зерен в колоске колоса на сортах Саратовская 29, к-40603 и Сударыня, к-66407 выявлено при внекорневой обработке растений препаратом «Trace Mix». Не было пустых колосков в колосе после обработки растений сорта Саратовская 29, к-40603 препаратом «Trace Mix», а на сорте Trizo, к-64981 после использования данного препарата определено существенное снижение показателя – на 9,3%. Значительно, на 2,1% увеличилось число зерен в колоске колоса при применении препарата «ФлорГумат» на сорте Ленинградская 6, к-64900 и существенно, на 12,0% – на сорте Trizo, к-64981. На развитие бурой ржавчины пшеницы препараты не оказывали значительного влияния, но зарегистрировано статистически достоверное снижение интенсивности поражения растений возбудителем мучнистой росы в вариантах «Зеребра агро» (на 22,7%), «Фитоп-Флора-С» (на 23,3%), «ФлорГумат» (на 28,8%). При использовании «Trace Mix» отмечено незначительное усиление поражения пшеницы болезнью (на 10,0%). Достоверное снижение интенсивности поражения предфлаговых листьев пшеницы септориозом зарегистрировано в варианте «Фитоп-Флора-С» – на 7,6% по сравнению с контролем (в «Зеребра агро» снизилось незначительно, на 2,7%). Развитие желтой ржавчины в варианте «Зеребра агро» снизилось на 3,6%, а при применении «Фитоп-Флора-С» – усилилось на 11,3%. Выявлено несущественное снижение развития корневой гнили пшеницы по сравнению с контролем как при применении «Зеребра агро» – на 3,9%, так и «Фитоп-Флора-С» – на 3,5%.

4.4.2 Влияние метеорологических факторов на эффективность органо-минеральных удобрений и микроудобрений

Регулятор роста растений «Зеребра агро». Изменение урожайности мягкой пшеницы в вариантах опыта с «Зеребра агро» относительно контроля варьировала по сортам и годам исследования, а также определялась фитосанитарным состоянием посевов (2017-2021 гг.). На сортах Сударыня, к-66407 и Ленинградская 6, к-64900 максимальный прирост урожайности (на 276,5% и 224,1%) зафиксирован в 2021 г. (с 0,68 г/растение – в контроле до

2,58 г/растение в варианте опыта и с 0,43 г/растение - в контроле до 1,38 г/растение, соответственно).

В остальные годы урожайность пшеницы сорта Сударыня, к-66407 в варианте с «Зеребра агро» выросла в 2017 г. – на 27,9% и 2020 г. – на 93,7%. В 2018 г. и 2019 г. изменения урожайности по сравнению с контролем были недостоверны: 2018 г. – она выросла на 54,5%, а 2019 г. – снизилась на 5,9%. Урожайность пшеницы сорта Ленинградская 6, к-64900 статистически достоверно выросла в 2017 г. на 87,4%, а за период 2018-2019 гг. изменилась несущественно (2018 г. – на 36,4%, 2019 г . – на 24,0%, 2020 г. – на 2,1%).

Метеоусловия 2021 г. были экстремальными для роста пшеницы, отличались, в частности, максимальной суммой температуры в июне (590,4^{0}C) и июле (837,7°C). При этом сумма осадков в июне и июле была минимальна – 10,7 мм и 5,7 мм, как и относительная влажность (62,0%). При этом число пятен на Солнце в июле 2021 г. было максимальным (34,3 шт.) за период 2017-2021 гг., также как и значения УФ-индекса в июле (6,0).

С использованием параметрического корреляционного анализа и нелинейного регрессионного анализа было установлено, что эффективность регулятора роста растений «Зеребра агро» на сортах Сударыня, к-66407 и Ленинградская 6, к-64900 в отношении урожайности пшеницы в наибольшей степени определялась ростом суммы температур в июле (коэффициенты корреляции Пирсона: r=0,92 и r=0,94) – рис. 132 и 133. Кроме того, отмечен рост урожайности пшеницы при применении «Зеребра агро» относительно контроля на указанных с сортах с усилением солнечной активности в июле (по числу пятен на Солнце: r =0,83 и r = 0,98; по числу Вольфа: r =0,88 и r = 0,99; по УФ-индексу: r =0,97 и r = 0,88, соответственно).

Тенденция увеличения числа колосков в колосе, продуктивной кустистости, площади флагового листа в варианте опыта с «Зеребра агро» относительно контроля на сортах Сударыня, к-66407 и Ленинградская 6, к-64900 была обусловлена ростом значений числа Вольфа и значениями УФ-

индекса в июле (r =0,91 и r = 0,96; r =0,90 и r = 0,82; r =0,88 и r = 0,97, соответственно).

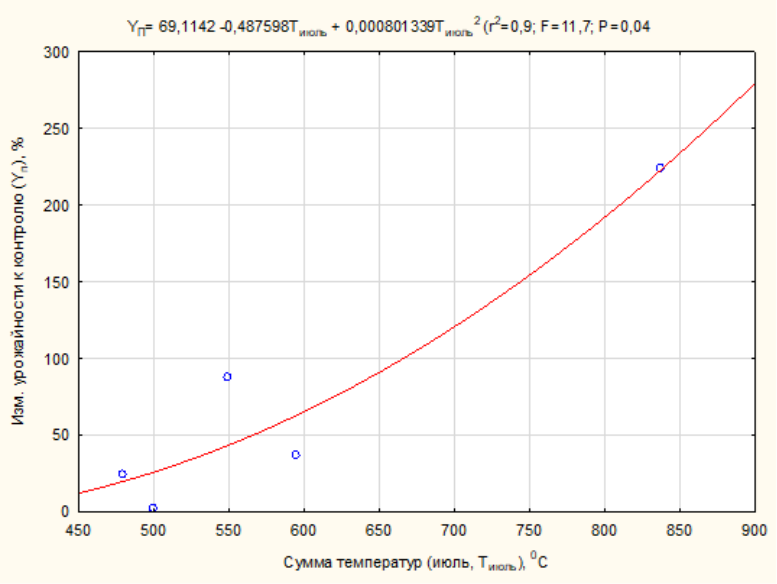


Рис. 132 – Изменение урожайности мягкой пшеницы при использовании «Зеребра агро» на сорте Сударыня, к-66407 в зависимости от суммы температур в июле. 2017-2021 гг.

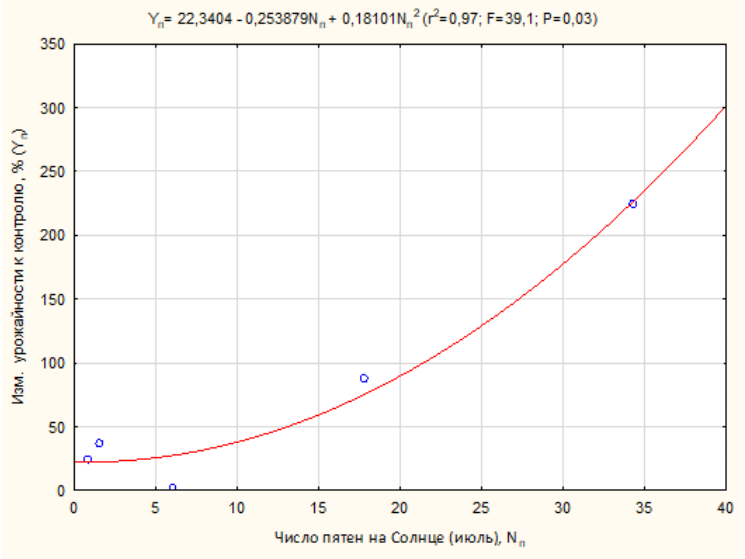


Рис. 133 – Изменение урожайности мягкой пшеницы при использовании «Зеребра агро» на сорте Ленинградская 6, к-64900 в зависимости от суммы температур в июле. 2017-2021 гг.

В 2021 г. на пшенице сорта Сударыня, к-66407 при обработке растений «Зеребра агро» зафиксировано максимальное снижение поражения пшеницы бурой ржавчиной: по развитию болезни – на 11,1% (с 26,1% по 15,0%, $БЭ_б$=42,6%), по числу пустул – на 50,5% (с 756,7 до 374,5 шт.), площадь пустулы недостоверно снизилось на 19,2% (с 0,10592 до 0,00748 мм^2). За период 2017-2020 г. изменение интенсивности развития болезни в данном варианте опыта

было незначительно относительно контроля. Развитие мучнистой росы при применении «Зеребра агро» в 2021 г. усилилось на 5,8%.

На сорте Ленинградская 6, к-64900 в 2021 г., напротив, развитие бурой ржавчины изменилось по сравнению с контролем незначительно – выросло на 5,8% (с 16,7% до 22,5%), развитие мучнистой росы существенно, на 28,5% (с 32,5% до 4,0%, $БЭ_м$=87,7%) снизилось, число пятен с налетом – на 80,3% (с 33,0 до 6,5 шт.), площадь пятен с налетом – на 92,5% (с 6,28 до 0,47 $мм^2$). Развития септориоза и желтой ржавчины на указанных сортах в 2021 г. выявлено не было.

В целом эффективность препарата «Зеребра агро» в отношении 21 показателя продуктивности пшеницы на сорте Сударыня, к-66407 в наибольшей степени определялась значениями УФ-индекса в июле, вызывавшего повышение 33,3% показателей: фазы растений (r=0,92), продуктивной кустистости (r=0,93); общей кустистости (r=0,92); площади флагового листа (r=0,89); площади предфлагового листа (r=0,95); массы вегетативной части (r=0,90); потенциальной урожайности (r=0,97).

Значения числа Вольфа в июле определяло рост значений у 19,0% показателей продуктивности пшеницы сорта Сударыня, к-66407 в варианте «Зеребра агро» относительно контроля: продуктивной кустистости (r=0,90); общая кустистости (r=0,91); числа колосков в колосе (r=0,90); потенциальной урожайности (r=0,88). Сумма температур в июле оказывала существенное влияние на рост 14,3% показателей продуктивности: фазы растений (r=0,99); продуктивной кустистости (r=0,88); потенциальной урожайности (r=0,92).

В наибольшей степени рост изменений 23,8% показателей продуктивности пшеницы сорта Ленинградская 6, к-64900 относительно контроля при внекорневом опрыскивании растений «Зеребра агро»: высоты растений (r=0,97); длины колоса (r=0,96); массы колоса (r=0,99); массы вегетативной части (r=0,99); потенциальной урожайности (r=0,98) определялся числом пятен на Солнце в июле. На эффективность препарата «Зеребра агро» при возделывании пшеницы оказывали влияние значения числа Вольфа в июле и относительная влажность воздуха, определявшие изменение 19,0% показателей продуктивности: числа колосков в колосе (r=0,96), массы колоса (r=0,97), массы вегетативной части (r=0,99), потенциальной урожайности

(r=0,99) и числа корней (r= - 0,99), длины корней (r= - 0,99), числа узловых корней, продуктивной (r= =- 0,96), общей кустистости (r= -0,95).

В среднем, на сортах Сударыня, к-66407 и Ленинградская 6, к-64900 с повышением суммы температур в июле эффективность препарата «Зеребра агро» в отношении бурой ржавчины пшеницы снижалась (по числу пустул – r=0,88 и площади пустулы – r=0,94), а желтой ржавчины по развитию болезни возрастала (r=-0,95). Кроме того, снижение относительной влажности в июне обуславливало рост степени поражения растений септориозом в варианте «Зеребра агро» (r= =- 0,96).

Изменение урожайности мягкой пшеницы и интенсивности поражения растений бурой ржавчиной при обработке растений препаратом «Зеребра агро» можно описать уравнением вида: $Y_п$ = 54,3915 -26,6531$R_б$ -2,97686 $R_б^2$ (r^2=0,61). Усиление интенсивности поражения пшеницы бурой ржавчиной в варианте с «Зеребра агро» сопровождалось снижением урожайности пшеницы относительно к контролю (рис. 134).

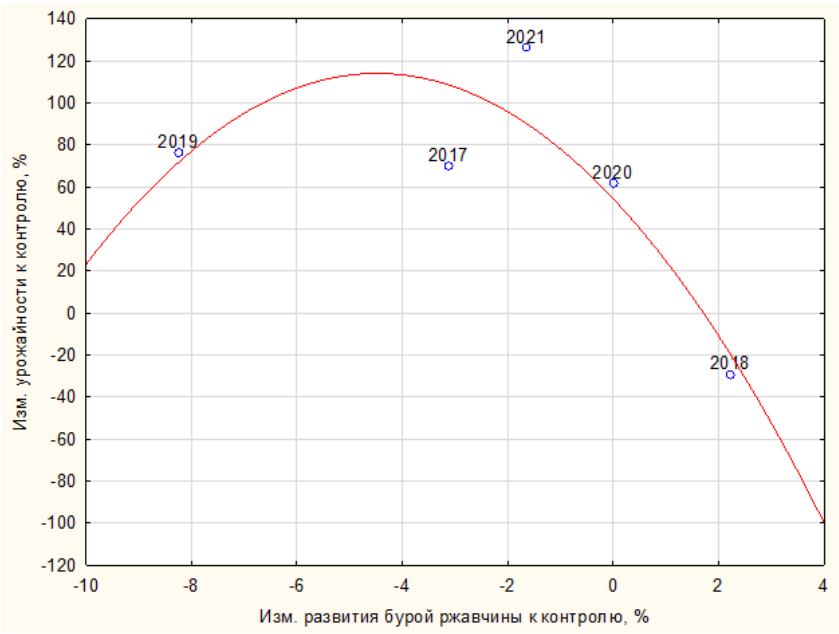


Рис. 134 – Изменение урожайности мягкой пшеницы и интенсивности поражения растений бурой ржавчиной при обработке растений препаратом «Зеребра агро». 2017-2021 гг.

Снижение массы колоса пшеницы в варианте с «Зеребра агро» в зависимости от изменения интенсивности поражения растений бурой ржавчиной по сравнению с контролем можно описать выражением вида: $M_{км}$=15,0491 -11,7107$R_б$ -0,718028 $R_б^2$ (r^2=0,54) – рис. 135.

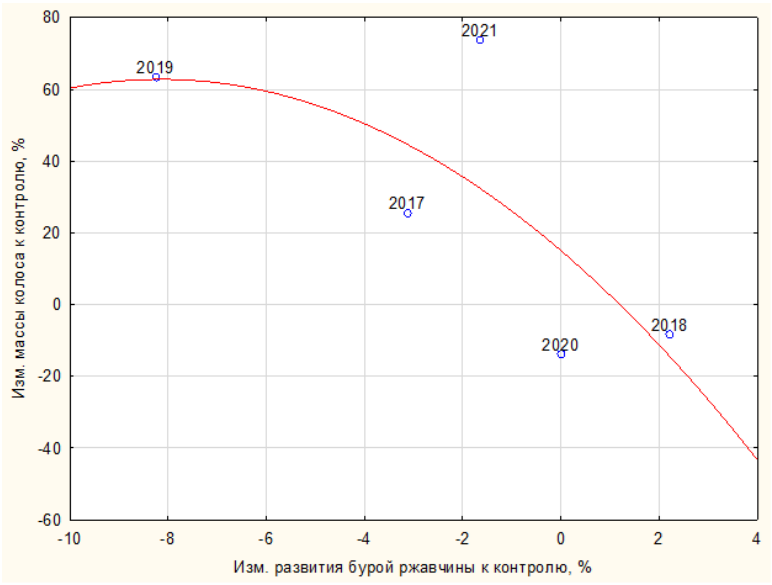


Рис. 135 – Изменение массы колоса мягкой пшеницы и интенсивности поражения растений бурой ржавчиной при обработке растений препаратом «Зеребра агро». 2017-2021 гг.

Снижение эффективности препарата «Зеребра агро» в отношении роста урожайности пшеницы по сравнению с контролем при развитии бурой ржавчины ($R_б$), желтой ржавчины ($R_ж$), мучнистой росы ($R_м$) можно определить по многофакторному регрессионному уравнению вида (r=0,9): $Y_п$=29,2135-16,4736 $R_б$ -10,9791 $R_ж$ -10,3822 $R_м$. Согласно уравнению следует, что при отсутствии влияния препарата на симптомы развития болезней рост урожайности пшеницы при применении «Зеребра агро» составит 29,2%, а при снижении развития каждой из болезней на 5% относительно контроля, урожайность пшеницы может вырасти более, чем в два раза (на 218,4%).

Заключение. Эффективность регулятора роста растений в отношении продуктивности пшеницы зависела от сорта, метеофакторов, солнечной активности и фитосанитарного состояния посевов. Максимальный прирост урожайности пшеницы относительно контроля был выявлен при внекорневой обработке растений препаратом «Зеребра агро» в 2021 г. Метеоусловия 2021 г. были экстремальными для роста пшеницы, отличались, в частности, максимальной суммой температуры в июне (590,4^{0}С) и июле (837,7^{0}С). При этом сумма осадков в июне и июле была минимальна – 10,7 мм и 5,7 мм, как и относительная влажность (62,0%). Эффективность «Зеребра агро» в отношении

урожайности пшеницы в наибольшей степени коррелировала с суммой температур в июле, а также зависела от солнечной активности в июле (от числа пятен на Солнце; числа Вольфа, УФ-индекса). Развитие болезней пшеницы существенно снижало эффективность препарата «Зеребра агро» в отношении урожайности пшеницы. Согласно многофакторному регрессионному уравнению, основанному на данных эксперимента, можно прогнозировать, что при отсутствии влияния «Зеребра агро» на симптомы развития болезней, прирост урожайности пшеницы составит 29,2%, а при снижении развития бурой, желтой ржавчины и мучнистой росы на 5% относительно контроля урожайность может существенно увеличиться.

Комплексный гуминовый концентрированный препарат «ФлорГумат». Наибольшее увеличение урожайности мягкой пшеницы сорта Сударыня, к-66407 и Ленинградская 6, к-64900 было зарегистрировано в 2021 г. при использовании препарата «ФлорГумат» – на 213,5% и 185,3% по сравнению с контролем (с 0,68 г/растение – в контроле до 2,15 г/растение и с 0,43 г/растение – в контроле до 1,22 г/растение).

Как отмечалось выше, метеоусловия 2021 г. были экстремальными для роста пшеницы, отличались, в частности, максимальной суммой температуры в июне (590,4^{0}С) и июле (837,7^{0}С). При этом сумма осадков в июне и июле была минимальна – 10,7 мм и 5,7 мм, как и относительная влажность (62,0%). При этом число пятен на Солнце в июле 2021 г. было максимальным (34,3 шт.) за период 2017-2021 гг., также как и значения УФ-индекса в июле (6,0).

В 2021 г. варианте опыта «ФлорГумат» на сорте Сударыня, к-66407 выявлено незначительное увеличение поражения пшеницы мучнистой росой на 15,0% (с 17,5% - в контроле до 32,5%) и бурой ржавчиной на 7,9% (с 26,1% до 34,0%). На растениях сорта Ленинградская 6, к-64900, обработанных препаратом «ФлорГумат», была отмечена незначительно меньшая, на 14,7% (с 32,5% до 18,3%, $БЭ_м$ =43,6%) пораженность мучнистой росой, число пятен с налетом снизилось на 59,6% (с 33,0 до 13,3 шт.), площадь пятен – на 68,8% (с

6,3 до 2,0 мм^2). Интенсивность развития бурой ржавчины в варианте опыта с использованием препарата «ФлорГумат» существенно выросла на 28,3% (с 16,7% до 45,0%), число пустул – на 219,7% (с 245,6 до 785,1 шт.)

В 2017 г. урожайность пшеницы сорта Сударыня, к-66407 в варианте опыта «ФлорГумат» существенно снизилась на 47,7%. В остальные годы урожайность пшеницы превышала контроль, но статистически достоверных различий выявлено не было (2018 г. – на 6,9%, 2018 г. – на 66,2%, 2020 г. – на 26,3%). В 2017 г. сумма выпавших осадков в мае (с 11.05) с момента посева пшеницы было крайне низка – 6,6 мм (для сравнения, в 2021 г. – 67,7 мм). При этом сумма осадков в июне (119,3 мм), июле (177,9 мм) и августе (237,4 мм) была максимальна (в 2021 г., июнь – 10,7 мм, июль – 5,7 мм, август –122,5 мм). Развитие мучнистой росы было незначительно – 1-2% (в контроле – 3%). Данный год отличался максимальным поражением растений сорта Сударыня, к-66407 септориозом (в контроле – 51,7%, в варианте опыта «ФлорГумат» – 30,0%, БЭ$_с$=41,9%).

Существенное снижение урожайности пшеницы сорта Ленинградская 6, к-64900 в варианте «ФлорГумат» по сравнению с контролем выявлено в 2019 г. – на 41,2%. Данный год отличался максимальным числом выпавших осадков в мае (с 11.05 выпало 72 мм осадков), низкой суммой температур в мае – 228,1^{0}С (как и 2017 г. - 226,6^{0}С, 2021 г. – 289,1 ^{0}С), минимальной суммой температур в августе – 478,0 ^{0}С (2021 г. – 506,5 ^{0}С), а также минимальной суммой осадков в августе 24,9 мм (2021 г. – 122,5 мм) и ГТК = 0,93 (в 2021 г. ГТК = 2,58).

Рост урожайности сорта Сударыня, к-66407 при применении препарата «ФлорГумат» в наибольшей степени определялся суммой температур в июне (рис. 136) и средней температурой в июне (r=0,96), а также значениями УФ-индекса в июне (r=0,93) - рис. 137.

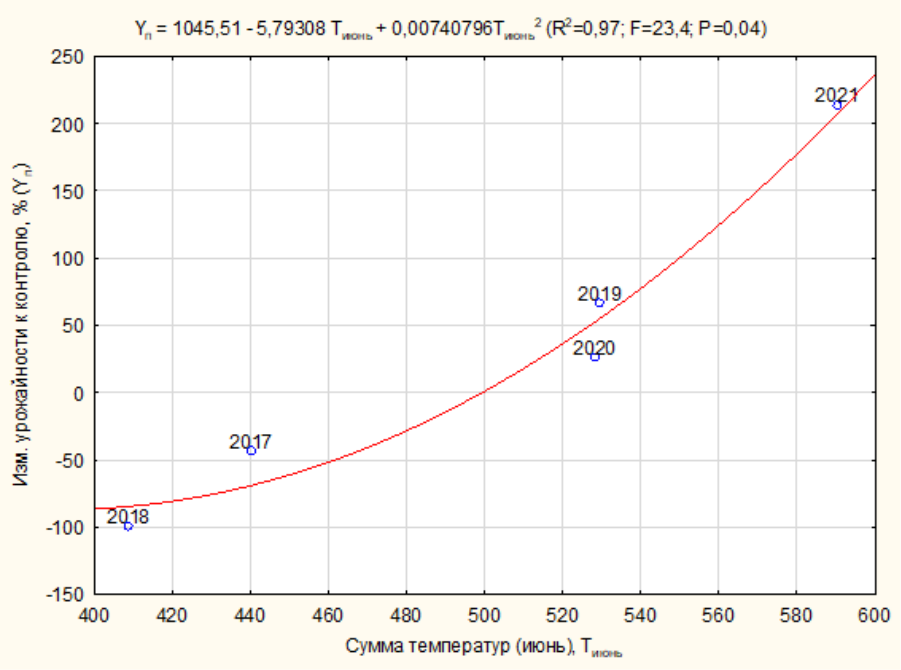


Рис. 136 – Изменение урожайности мягкой пшеницы при использовании «ФлорГумат» на сорте Сударыня, к-66407 в зависимости от суммы температур в июне. 2017-2021 гг.

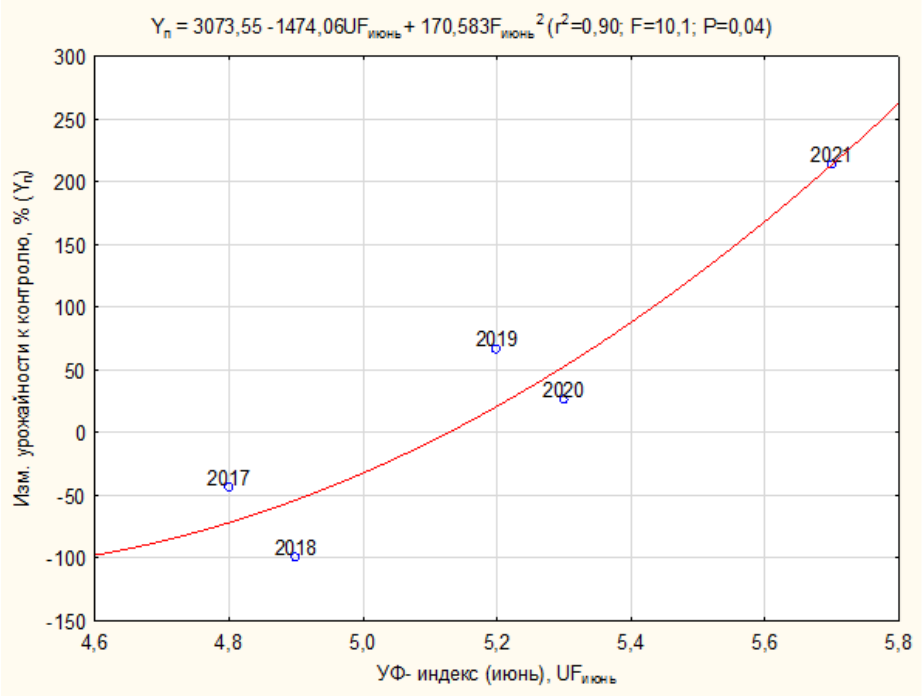


Рис. 137 – Изменение урожайности мягкой пшеницы при использовании «ФлорГумат» на сорте Сударыня, к-66407 в зависимости от УФ-индекса в июне. 2017-2021 гг.

Эффективность препарата «ФлорГумат» в отношении 19% показателей продуктивности пшеницы сорта Сударыня, к-66407 в наибольшей степени зависела от суммы температур в июне, суммы температур в июле, числа пятен на Солнце в июле, значений числа Вольфа и УФ-индекса в июле. В частности, с повышением суммы температур в июле выявлена тенденция увеличения

значений следующих показателей продуктивности в варианте «ФлорГумат» относительно контроля: фаза растения (r=0,97), продуктивная кустистость (r=0,96), общая кустистость (r=0,93), площадь флагового листа (r=0,96), площадь предфлагового листа (r=0,91).

Увеличение урожайности сорта Ленинградская 6, к-64900 в варианте опыта «ФлорГумат», по сравнению с контролем, зависело от суммы температур в июле (r=0,97) и УФ-индекса в июле (r=0,95). Наибольшее влияние на рост 23,8% показателей продуктивности пшеницы при применении «ФлорГумата» оказала сумма температур в июле: фаза растения (r=0,97), площадь флагового листа (r=0,98), площадь предфлагового листа (r=0,96), масса 1000 зерен (r=0,96), урожайность (r=0,97).

В среднем, по сортам Сударыня, к-66407 и Ленинградская 6, к-64900, в соответствии со значениями достоверных коэффициентов корреляции Пирсона при P<0,05, установлено, что интенсивность поражения растений мучнистой росой в варианте опыта «ФлорГумат» снижалась с увеличением числа пятен на Солнце (r= -0,99) – рис. 138. Увеличение суммы температур в июне оказывало влияние на рост площади пятен с налетом мучнистой росы.

Интенсивность поражения пшеницы бурой ржавчиной усиливалась по сравнению с контролем при обработке растений препаратом «ФлорГумат» с уменьшением суммы осадков (r= -0,93) – рис. 139 и относительной влажности в июле (r= -0,99). Развитие болезни в варианте «ФлорГумат» положительно коррелировало с УФ-индексом в июле, а значения площади пустулы обратно коррелировали с относительной влажностью в июне (r= -0,99).

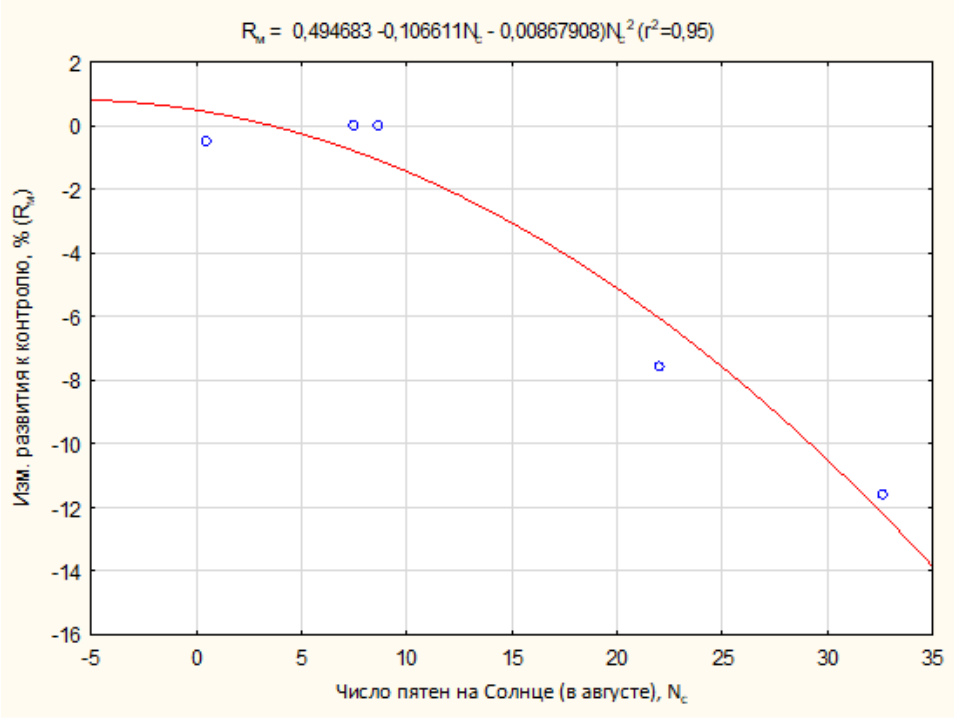


Рис. 138 – Изменение интенсивности поражения растений мучнистой росой при обработке растений препаратом «ФлорГумат» по сравнению с контролем в зависимости от числа пятен на Солнце в августе. 2017-2021 гг.

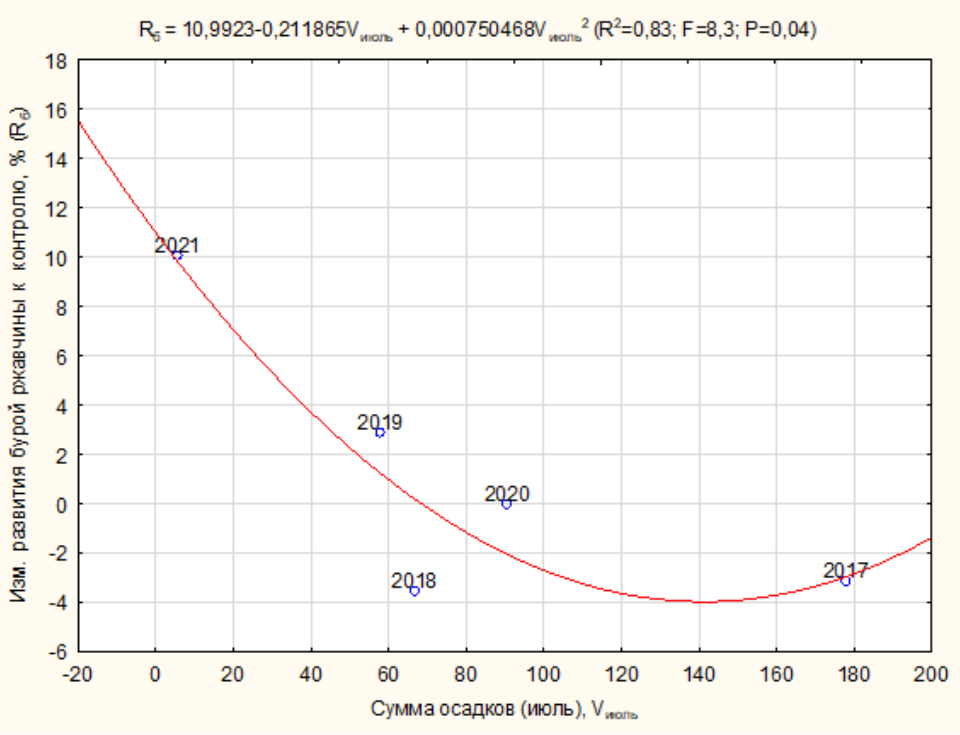


Рис. 139 – Изменение интенсивности поражения растений бурой ржавчиной при обработке растений препаратом «ФлорГумат» по сравнению с контролем в зависимости от суммы осадков в июле. 2017-2021 гг.

Интенсивность развития желтой ржавчины при обработке растений «ФлорГумат» усиливалась по сравнению с контролем с уменьшением суммы

температур в июне (r= - 0,99) и увеличением суммы осадков в июле (r=0,99) - рис. 140.

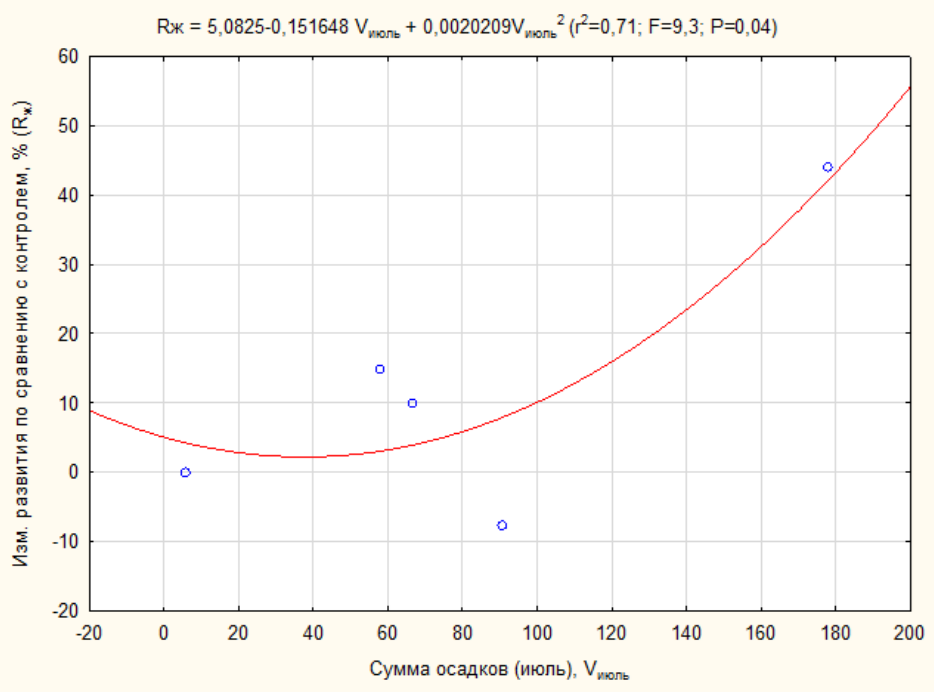


Рис. 140 – Изменение интенсивности поражения растений желтой ржавчиной при обработке растений препаратом «ФлорГумат» по сравнению с контролем в зависимости от суммы осадков в июле. 2017-2021 гг.

Заключение. Максимальный прирост урожайности пшеницы относительно контроля был выявлен при внекорневой обработке растений препаратом «ФлорГумат» в вегетационный период 2021 г., отличавшийся повышенными среднесуточными температурами и минимальным числом выпавших осадков. Кроме того, установлено, что в 2021 г. растения сорта Сударыня, к-66407 в варианте «ФлорГумат» по поражению мучнистой росой и бурой ржавчиной существенно не отличались от контроля. Однако сорт Ленинградская 6, к-64900 после применении препарата намного сильнее был поражен бурой ржавчиной. Статистически достоверное снижение урожайности пшеницы сорта Сударыня, к-66407 при внекорневой подкормке «ФлорГуматом» наблюдалось в 2017 г. Метеорологические условия вегетационного периода 2017 г. отличались минимальной величиной суммы выпавших осадков мая и максимальными значениями метеофактора в июне-августе, а также в этот период было отмечено максимальное поражение

растений септориозом. Существенное снижение урожайности пшеницы сорта Ленинградская 6, к-64900 в варианте «ФлорГумат» по сравнению с контролем выявлено в 2019 г. Данный год отличался максимальным числом выпавших осадков в мае, низкой суммой температур в мае, минимальной суммой температур в августе, а также минимальной суммой осадков в августе – 24,9 мм и ГТК. Эффективность препарата «ФлорГумат» в отношении большинства показателей продуктивности пшеницы сорта Сударыня, к-66407 в наибольшей степени зависела от суммы температур в июне, суммы температур в июле, числа пятен на Солнце в июле, значений числа Вольфа и УФ-индекса в июле, а сорта Ленинградская 6, к-64900 - от суммы температур в июле и УФ-индекса в июле. Интенсивность поражения растений мучнистой росой в варианте опыта «ФлорГумат» снижалась с увеличением числа пятен на Солнце, а увеличение суммы температур в июне оказывало влияние на рост площади пятен с налетом возбудителя. Интенсивность поражения пшеницы бурой ржавчиной усиливалась в данном варианте опыта с уменьшением суммы осадков и относительной влажности в июле и с ростом УФ-индекса в июле. Уменьшение суммы температур в июне и увеличение суммы осадков в июле способствовали усилению интенсивности поражения растений желтой ржавчиной при применении препарата «ФлорГумат».

Торфо-гуминовое удобрение «Фитоп-Флора-С». За период 2017-2021 гг. на сорте Сударыня, к-66407 при внекорневом применении «Фитоп-Флора-С» выявлено увеличение урожайности пшеницы по сравнению с контролем. Максимальное увеличение урожайности пшеницы у сортов Сударыня, к-66407 и Ленинградская 6, к-64900 по сравнению с контролем было зафиксировано в 2021 г. – на 193,4% (с 0,68 – в контроле до 2,01 г/растение) и на 301,8% (с 0,85 – в контроле до 3,42 г/растение). Вегетационный период 2021 г. отличался повышенными среднесуточными температурами и минимальным числом выпавших осадков.

В 2021 г. при применении препарата «Фитоп-Флора-С» выявлена максимальная интенсивность поражения сорта Сударыня, к-66407 возбудителем мучнистой росы: по развитию болезни она выросла на 38,8% (с 17,5% - в контроле до 56,3%), по числу пятен с налетом – на 108,3% (с 24 до 50 шт.), по площади пятен – на 155,1% (с 1,23 до 3,15 мм^2). Кроме того, в указанном варианте опыта развитие бурой ржавчины существенно усилилось – на 19,9% (с 26,1% до 46%), число пустул – на 53,8% (с 756,7 до 1163,6 шт.), однако значения площади пустулы незначительно снизились – на 2,8% (с 0,10592 до 0,10292 мм^2). В 2021 г. поражение мучнистой росой сорта Ленинградская 6, к-64900 при применении «Фитоп-Флора-С» значительно снизилось по сравнению с контролем: по развитию болезни – на 26,8% (с 32,5% до 5,67%, БЭм=82,6%), по числу пятен с налетом – на 72,7% (с 33,0 до 9,0 шт.), по площади пятен с налетом – на 77,3% (с 6,28 до 1,43 мм^2). Однако интенсивность поражения растений бурой ржавчиной усилилась: по развитию болезни – на 27,1% (с 16,7% до 43,8%), по числу пустул – на 111,9% (с 245,6 до 520,3 шт.).

Статистически достоверное увеличение урожайности в варианте «Фитоп-Флора-С» на сорте Сударыня, к-66407 выявлено также в 2017 г. – на 32,2% и в 2020 г. – на 82,5%. В 2018 г. и 2019 г. в данном варианте опыта урожайность пшеницы изменилась несущественно – выросла на 5,8% и на 25,6%. На сорте Ленинградская 6, к-64900 урожайность пшеницы статистически достоверно увеличилась при применении «Фитоп-Флора-С», помимо 2021 г., в 2017 г. – на 106,3%.

Увеличение урожайности мягкой пшеницы при обработке растений «Фитоп-Флора-С» по сравнению с контролем определялось, применительно к сорту Сударыня, к-66407, ростом значений относительной влажности в августе (r=0,90), и было связано с усилением солнечной активности по числу Вольфа в июле (r=0,90), УФ-индекса в июле (r=0,88). На урожайность сорта Ленинградская 6, к-64900, растения которого были обработаны препаратом «Фитоп-Флора-С», оказывала существенное влияние средняя температура в

июне (r=0,90), относительная влажность в августе (r=0,90), солнечная активность (число Вольфа в июле – r=0,90 и УФ-индекс в июле – r=0,88.

В наибольшей степени изменение показателей продуктивности пшеницы сортов Сударыня, к-66407 и Ленинградская 6, к-64900 в варианте «Фитоп-Флора-С» коррелировало с УФ-индексом в июне и июле. В частности, выявлен рост общей кустистости (r=0,93), площади флагового листа (r=0,95), урожайности пшеницы (r=0,90) сорта Сударыня, к-66407 с увеличением УФ-индекса в июне. Повышение величины УФ-индекса в июле обуславливало рост продуктивной кустистости (r=0,97), площади флагового листа (r=0,90), массы колоса (r=0,95), урожайности пшеницы (r=0,88).

Поражение растений пшеницы сорта Сударыня, к-66407 мучнистой росой усиливалось при применении препарата «Фитоп-Флора-С» по сравнению с контролем с повышением значений ГТК в июле (r=0,99) и августе (r=0,99), а также положительно коррелировало с числом пятен на Солнце в июле (r=0,99), определялось числом Вольфа в июле (r=0,99).

В среднем, по сортам Сударыня, к-66407 и Ленинградская 6, к-64900 развитие мучнистой росы и бурой ржавчины в варианте «Фитоп-Флора-С» увеличивалось по сравнению с контролем с ростом суммы выпавших осадков в августе (r=0,99) - рис. 141. Однако площадь пустулы бурой ржавчины на флаговых листьях растений уменьшалась с ростом относительной влажности в июне (r=- 0,88). Развитие септориоза усиливалось с уменьшением относительной влажности в июле (r=- 0,80), а развитие желтой ржавчины обратно коррелировало с суммой осадков в августе (r=- 0,92), ГТК августа (r=- 0,94).

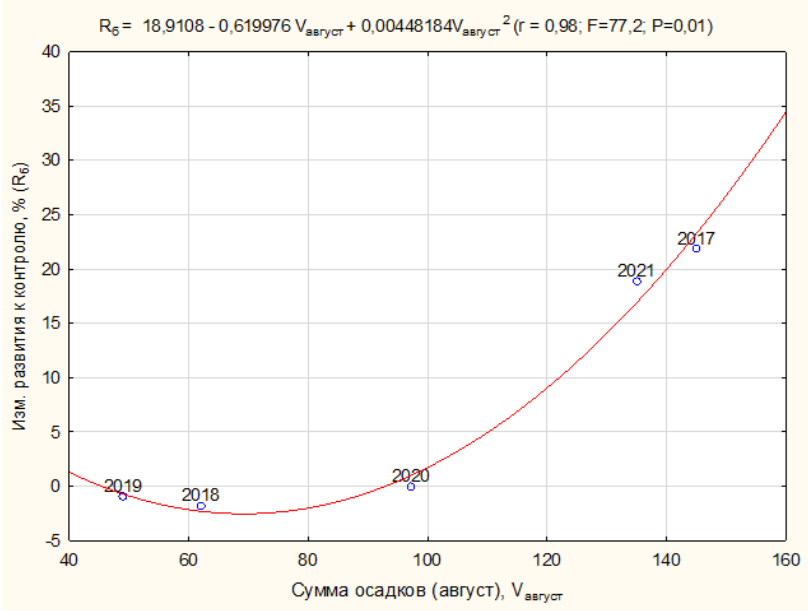


Рис. 141 – Изменение развития бурой ржавчины пшеницы при использовании «Фитоп-Флора-С» в зависимости от суммы осадков в августе. 2017-2021 гг.

Усиление интенсивности развития мучнистой росы на сортах Сударыня, к-66407 и Ленинградская 6, к-64900 при обработке растений «Фитоп-Флора-С» приводило к существенному снижению урожайности пшеницы по сравнению с контролем. Согласно регрессионной модели (рис. 142) при 10% усилении поражения растений мучнистой росой в варианте опыта «Фитоп-Флора-С» по сравнению с контролем урожайность пшеницы снижалась на 13,3%. А если в данном варианте опыта развитие болезни было меньше чем в контроле на 10% урожайность пшеницы была больше чем в контроле на 111,4%. Усиление интенсивности развития желтой ржавчины на 10% по сравнению с контролем при обработке растений препаратом приводило к почти полному отсутствию различий по числу колосков в колосе в варианте опыта – изменение показателя к контролю 0,4%, а при снижении развития болезни на 10% – число колосков в колосе было больше, чем в контроле на 15,8% (рис. 143).

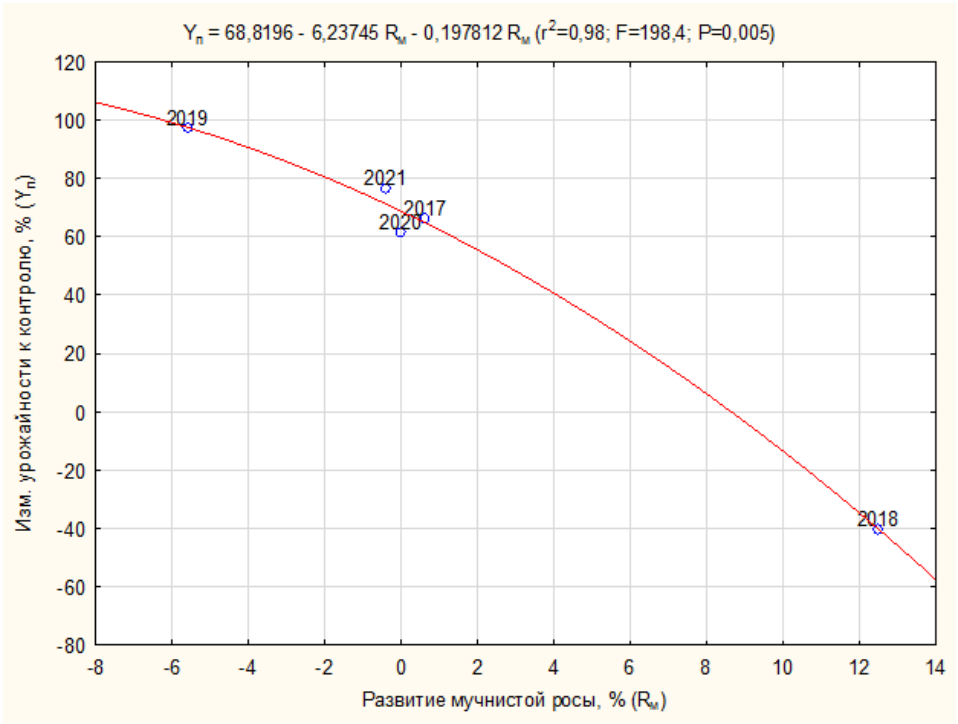


Рис. 142 – Изменение урожайности мягкой пшеницы и интенсивности развития мучнистой росы в варианте опыта «Фитоп-Флора-С» по сравнению с контролем. 2017-2021 гг.

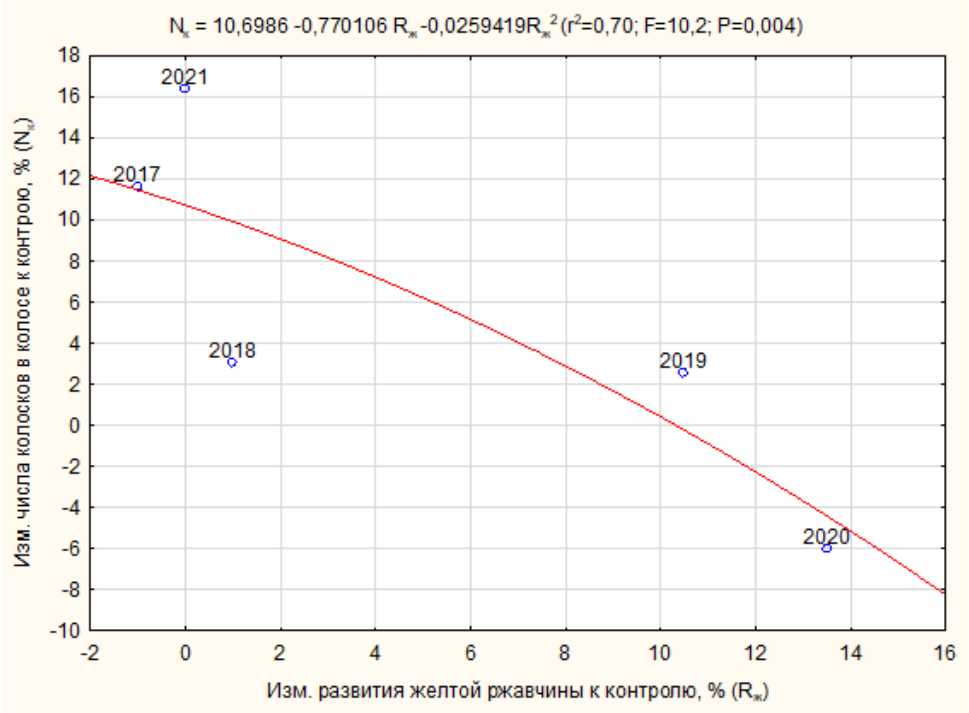


Рис. 143 – Изменение числа колосков в колосе мягкой пшеницы и интенсивности развития желтой ржавчины в варианте опыта «Фитоп-Флора-С» по сравнению с контролем. 2017-2021 гг.

Заключение. Применение торфо-гуминового удобрения «Фитоп-Флора-С» на мягкой пшенице обуславливало ежегодное увеличение урожайности мягкой пшеницы по сравнению с контролем на протяжении пяти лет исследований

(2017-2021 гг.), однако максимальное увеличение показателя было зафиксировано в 2021 г. Урожайность пшеницы повышалась в варианте «Фитоп-Флора-С» с ростом относительной влажности в августе и усилением солнечной активности в июле (по индексу Вольфа и УФ-индексу). Значения УФ-индекса июля и июля оказывали существенное влияние на изменение большинства показателей продуктивности пшеницы. Развитие мучнистой росы и бурой ржавчины в варианте «Фитоп-Флора-С» увеличивалось по сравнению с контролем с ростом суммы выпавших осадков в августе. Развитие септориоза усиливалось с уменьшением относительной влажности в июле, а развитие желтой ржавчины обратно коррелировало с суммой осадков в августе и ГТК. Усиление интенсивности развития болезней пшеницы при обработке растений «Фитоп-Флора-С» приводило к существенному снижению урожайности пшеницы по сравнению с контролем. Так, при 10% усилении поражения растений мучнистой росой в варианте опыта «Фитоп-Флора-С» по сравнению с контролем урожайность пшеницы снижалась на 13,3%, а усиление интенсивности развития желтой ржавчины приводило к почти полному отсутствию различий по числу колосков в колосе в данном варианте опыта.

4.5 Сравнительная характеристика эффективности микробиологических средств защиты растений, удобрений, полимерного гидрогеля, регуляторов роста растений при возделывании пшеницы

Изменение урожайности мягкой пшеницы сорта Ленинградская 6, к-64901 при ее возделывании с использованием микробиологических препаратов, органо-минеральных удобрений и микропрепаратов, полимерного гидрогеля, белкового стимулятора роста, 0,1% салицилат хитозана, в том числе при совместном использовании приведено на рис. 144. По сравнению с контролем (урожайность одного растения $Y_п$=1,24±0,10 г/растение, расчетная урожайность $Y_{р.п.}$ =2,48±0,19 т/га), при совместном использовании белкового стимулятора роста и полимерного гидрогеля: 1G:2RM, урожайность пшеницы выросла на 87,6% ($Y_п$=2,32±0,21 г/растение, $Y_{р.п.}$ =4,65±0,43 т/га) и достигла максимальных значений.

Остальные варианты опыта в порядке снижения величины статистически достоверного прироста урожайности пшеницы ($\triangle Y_п$) при $P<0,05$ относительно контроля могут быть ранжированы следующим образом:

- 1G+0,1% салицилат хитозана. $\triangle Y_п$ = 71,0%. $Y_п$=2,12±0,13 г/растение. $Y_{р.п.}$ = 4,23±0,43 т/га;
- Витаплан, СП. $\triangle Y_п$ = 66,4%. $Y_п$=2,06±0,21 г/растение. $Y_{р.п.}$ = 4,12±0,42 т/га;
- Витаплан, КЖ + 0,1% салицилат хитозана (глубинное культивирование). $\triangle Y_п$ = 58,5%. $Y_п$=1,96±0,18 г/растение. $Y_{р.п.}$ = 3,92±0,96 т/га;
- Витаплан, КЖ + 0,1% салицилат хитозана (композиция). $\triangle Y_п$ = 49,3%. $Y_п$=1,85±0,24 г/растение. $Y_{р.п.}$ = 3,70±0,47 т/га;
- 1G+Витаплан, КЖ. $\triangle Y_п$ = 44,0%. $Y_п$=1,78±0,10 г/растение. $Y_{р.п.}$ = 3,57±0,21 т/га;
- 1G+*Bacillus subtilis* 124-11. $\triangle Y_п$ = 42,9%. $Y_п$=1,75±0,05 г/растение. $Y_{р.п.}$ = 3,54±0,09 т/га;
- 1G+ *Pseudomonas fluorescens* SPB2137. $\triangle Y_п$ = 41,0%. $Y_п$=1,75±0,12 г/растение. $Y_{р.п.}$ = 3,49±0,24 т/га;
- Фитоп-Флора-С. $\triangle Y_п$ = 38,2%. $Y_п$=1,71±0,15 г/растение. $Y_{р.п.}$ = 3,42±0,30 т/га

В варианте с использованием штамма ассоциативной бактерии *Pseudomonas fluorescens* SPB2137 выявлен максимальный рост массы 1000 зерен: $\triangle M_{1000}$ = 26,4% (в варианте опыта – M_{1000} = 28,97± 0,95 г, в контроле – M_{1000} = 22,91± 0,74 г). Существенно выросла масса 1000 зерен в вариантах опыта: «*Bacillus subtilis* 124-11» – на 17,3% (M_{1000} = 26,87± 0,77 г) и «1G+*Bacillus subtilis* 124-11» – на 7,8% (M_{1000} = 24,70± 0,26 г).

В наибольшей степени продуктивная кустистсоть пшеницы по сравнению с контролем выросла в варианте опыта «1G+Витаплан, КЖ» – на 81,1%, а вегетативная масса растений в варианте «1G+0,1% салицилат хитозана» – на 104,3%.

Результаты ранжирования микробиологических препаратов, органо-минеральных удобрений и микропрепаратов, полимерного гидрогеля, белкового стимулятора роста, 0,1% салицилат хитозана по убыванию числа показателей продуктивности пшеницы $N_{пп}$, характеризующихся существенно большими значениями при P<0,05 (и большими P>0,05, $\triangle_{пп}'$) по сравнению с контролем, приведено ниже:

- ✓ 1G+0,1% салицилат хитозана. $\triangle_{пп}$= 71,4% ($\triangle_{пп}'$= 95,2%).
- ✓ Витаплан, КЖ + 0,1% салицилат хитозана (композиция). $\triangle_{пп}$= 57,1% ($\triangle_{пп}'$= 95,2%).
- ✓ Витаплан, КЖ + 0,1% салицилат хитозана (глубинное культивирование). $\triangle_{пп}$= 47,6% ($\triangle_{пп}'$= 90,5%).
- ✓ 1G+*Bacillus subtilis* 124-11. $\triangle_{пп}$= 42,9% ($\triangle_{пп}'$= 71,4%).
- ✓ 1G+Витаплан, КЖ + 0,1% салицилат хитозана (глубинное культивирование). $\triangle_{пп}$= 42,9% ($\triangle_{пп}'$= 71,4%).
- ✓ 1G:2R. $\triangle_{пп}$= 38,1% ($\triangle_{пп}'$= 57,1%).
- ✓ 1G+ *Pseudomonas fluorescens* SPB2137. $\triangle_{пп}$= 38,1% ($\triangle_{пп}'$= 76,2%).
- ✓ 0,1% салицилат хитозана. $\triangle_{пп}$= 33,3% ($\triangle_{пп}'$= 81,0%).
- ✓ 1G:2RM. $\triangle_{пп}$= 33,3% ($\triangle_{пп}'$= 66,7%).
- ✓ Витаплан, КЖ $\triangle_{пп}$= 28,6% ($\triangle_{пп}'$= 95,2%).
- ✓ 1G+*Sphingomonas* sp. K1B. $\triangle_{пп}$= 28,6%. ($\triangle_{пп}'$= 90,5%).
- ✓ 1G+Витаплан, КЖ + 0,1% салицилат хитозана (композиция). $\triangle_{пп}$= 28,6% ($\triangle_{пп}'$= 71,4%).
- ✓ Витаплан, СП. $\triangle_{пп}$= 23,8% ($\triangle_{пп}'$= 81,0%).
- ✓ 1G+Витаплан, СП. $\triangle_{пп}$= 23,8% ($\triangle_{пп}'$= 71,4%).
- ✓ 1G+Витаплан, КЖ. $\triangle_{пп}$= 23,8% ($\triangle_{пп}'$= 47,6%).
- ✓ *Pseudomonas fluorescens* SPB2137. $\triangle_{пп}$= 23,8% ($\triangle_{пп}'$= 52,4%).
- ✓ Фитоп-Флора-С. $\triangle_{пп}$= 23,8% ($\triangle_{пп}'$= 61,9%).
- ✓ 0,5G:1RM. $\triangle_{пп}$= 23,8% ($\triangle_{пп}'$= 52,4%).
- ✓ *Bacillus subtilis* 124-11 $\triangle_{пп}$= 23,8% ($\triangle_{пп}'$= 47,6%).
- ✓ 1G. $\triangle_{пп}$= 19,0% ($\triangle_{пп}'$= 66,7%).

- ✓ Зеребра агро. △пп= 19,0% (△пп'= 42,9%).
- ✓ ФлорГумат. △пп= 14,3% (△пп'= 57,1%).
- ✓ 0,5G:1R. △пп= 14,3% (△пп'= 66,7%).
- ✓ 0,5G. △пп= 9,5% (△пп'= 19,0%).
- ✓ Trace Mix. △пп= 4,8% (△пп'= 23,8%).
- ✓ *Sphingomonas* sp. K1B △пп= 4,8%. (△пп'= 28,6%).

Наибольшая эффективность по числу достоверных положительных изменений в значениях 21-го показателя продуктивности была отмечена в варианте опыта с совместным использованием полимерного гидрогеля и 0,1% салицилат хитозана «1G+0,1% салицилат хитозана» (△пп= 71,4%). Существенный рост по сравнению с контролем был выявлен по показателям: число корней (на 63,0%), длина корней (на 90,4%), число узловых корней (на 48,5%), длина узловых корней (на 105,5%), общая кустистость (на 99,6%), площадь предфлагового листа (на 23,1%), масса корней (на 185,85%), вегетативная масса (на 104,3%), всхожесть полевая (на 42,95%), длина колоса (на 38,3%), масса колоса (на 50,1%), число зерен в колосе (на 19,3%), масса зерен одного колоса (на 24,7%), число зерен в колоске колоса на 64,9%, урожайность одного растения (на 71,0%). Таким образом, число показателей продуктивности максимально увеличилось на 52,4% в варианте «1G+0,1% салицилат хитозана» по сравнению с «1G».

Совместное применение полимерного гидрогеля с белковым стимулятором роста в вариантах опыта «1G:2RM» и «1G:2R» обеспечивало, по сравнению с использованием только полимерного гидрогеля «1G», рост числа показателей продуктивности, отличающихся существенно большими значениями по сравнению с контролем на 14,3% и 19,0%, соответственно. При добавлении полимерного гидрогеля «1G» к штаммам ассоциативных бактерий: «1G+ *Pseudomonas fluorescens* SPB2137», «1G+*Bacillus subtilis* 124-11», «1G+Sphingomonas sp. K1B», число показателей продуктивности пшеницы, значения которых существенно превышало контроль, выросло на 19,0%, 23,8%, 9,5%, соответственно. Применение полимерного гидрогеля 1G с

биопрепаратами и полифункциональными комплексами позволило существенно повысить число показателей продуктивности с большими значениями по сравнению с контролем: «1G+Витаплан, СП» и «1G+Витаплан, КЖ» – на 4,8%; «1G+Витаплан, КЖ + 0,1% салицилат хитозана (глубинное культивирование)» -на 23,8%, «1G+Витаплан, КЖ + 0,1% салицилат хитозана (композиция)» – на 9,5%.

Минимальная интенсивность развития и число пустул бурой ржавчины пшеницы были выявлены в варианте опыта с обработкой растений штаммом *Bacillus subtilis* 124-11 ($R_б$=8,90±1,78% и $N_п$ = 113,7±43,2 шт.) - рис. 145 и рис. 146. Развитие болезни существенно снизилось относительно контроля на 18,6% ($БЭ_б$=67,6%), число пустул – на 73,0%. В варианте опыта, где полимерный гидрогель был использован совместно с бактериальным штаммом: «1G+*Bacillus subtilis* 124-11» развитие болезни выявлено не было. Максимальное усиление интенсивности развития болезни на 22,5% было установлено при совместном использовании белкового стимулятора роста и полимерного гидрогеля: 1G:2R и 0,5G:1R.

В порядке возрастания величины относительного снижения развития бурой ржавчины пшеницы $\triangle R_б$ к контролю при $P<0,05$ варианты опыта могут быть ранжированы следующим образом:

- 0,1% салицилат хитозана. $\triangle R_б$= -17,8% ($БЭ_б$=65,0%);
- 1G+ *Pseudomonas fluorescens* SPB2137. $\triangle R_б$= -17,5% ($БЭ_б$=63,6%);
- Витаплан, КЖ + 0,1% салицилат хитозана (глубинное культивирование). $\triangle R_б$= -16,2% ($БЭ_б$=59,2%);
- Trace Mix. $\triangle R_б$= -15,8% ($БЭ_б$=57,5%);
- *Pseudomonas fluorescens* SPB2137. $\triangle R_б$= -15,1% ($БЭ_б$=54,9%);
- 1G+Витаплан, КЖ + 0,1% салицилат хитозана (композиция). $\triangle R_б$= -15,1% ($БЭ_б$=54,5%);
- *Sphingomonas* sp. K1B. $\triangle R_б$= -13,7% ($БЭ_б$=54,9%);
- Витаплан, СП. $\triangle R_б$= -12,7% ($БЭ_б$=46,1%);
- 1G+*Sphingomonas* sp. K1B. $\triangle R_б$= -12,5% ($БЭ_б$=45,4%);

- 1G. $\triangle R_б$= -10,0% ($БЭ_б$=36,3%);
- 1G+Витаплан, КЖ + 0,1% салицилат хитозана (глубинное культивирование). $\triangle R_б$= -10,0% ($БЭ_б$=36,3%);
- Витаплан, КЖ. $\triangle R_б$= -8,0% ($БЭ_б$=29,2%).

Совместное использование штамма *Pseudomonas fluorescens* SPB2137 и полимерного гидрогеля 1G повышало биологическую эффективность комплекса на 8,7% по сравнению с вариантом, где использовался только штамм *Pseudomonas fluorescens* SPB2137 и на 27,3% в сравнении с вариантом 1G. Кроме того, в варианте опыта с *Pseudomonas fluorescens* SPB2137 значения площади пустулы снизилось на 33,9%, а в варианте «1G + *Pseudomonas fluorescens* SPB2137» – на 64,3%.

Биологическая эффективность полифункционального комплекса «1G+Витаплан, КЖ + 0,1% салицилат хитозана (композиция)» была на 35,5% выше, чем комплекса «Витаплан, КЖ + 0,1% салицилат хитозана (композиция)». При этом число пустул в варианте «Витаплан, КЖ + 0,1% салицилат хитозана (композиция)» незначительно выросло по сравнению с контролем – на 6,0%, а в варианте «1G+Витаплан, КЖ + 0,1% салицилат хитозана (композиция)» - снизилась на 67,5%. Значение площади пустулы в варианте «1G+Витаплан, КЖ + 0,1% салицилат хитозана (глубинное культивирование)» существенно снизились по сравнению с контролем на 53,3%, а варианте без использования полимерного гидрогеля – на 44,0%.

В вариантах опыта «1G+ *Pseudomonas fluorescens* SPB2137», «1G+*Bacillus subtilis* 124-11», «1G+Sphingomonas sp. K1B», «1G+Витаплан, СП», «1G+Витаплан, КЖ», «1G+0,1% салицилат хитозана», «1G+Витаплан, КЖ + 0,1% салицилат хитозана (глубинное культивирование)», «1G+Витаплан, КЖ + 0,1% салицилат хитозана (композиция)» не выявлено симптомов развития мучнистой росы.

Максимальное снижение интенсивности поражения растений мучнистой росой (рис. 147) на 14,4% ($БЭ_м$=89,6%) и числа пятен с налетом (рис. 148) – на 81,0% было выявлено в варианте с использованием 0,1% салицилат хитозана, а

максимальное увеличение - в варианте с использованием полимерного гидрогеля 1G - на 71,4% и 197,9%, соответственно.

Существенно снизилось поражение растений возбудителем мучнистой росой в вариантах опыта: «0,5G:1RM» - на 13,1% ($БЭ_м$=81,4%), «Зеребра агро» – на 12,1% ($БЭ_м$=75,1 %), «Фитоп-Флора-С» – на 10,4% ($БЭ_м$=64,8%), «*Bacillus subtilis* 124-11» - на 9,3% ($БЭ_м$=58,1%), *Sphingomonas* sp. K1B – на 8,7% ($БЭ_м$=54,0%), «1G+ Pseudomonas fluorescens SPB2137» - на 8,6% ($БЭ_м$=53,4%), «Витаплан, КЖ + 0,1% салицилат хитозана (глубинное культивирование)» - на 7,8% ($БЭ_м$=48,6%), «Витаплан, КЖ» - на 7,6% ($БЭ_м$=47,2%). Отмечено, что совместное использование полимерного гидрогеля 1G и штамма *Pseudomonas fluorescens* SPB2137 повышало биологическую эффективность указанного бактериального штамма на 18,6%.

Наибольшее снижение значений площади пятна с налетом мучнистой росы на 83,0% было выявлено в варианте опыта с обработкой пшеницы препаратом «Зеребра агро» (с 2,77 – в контроле до 0,47 мм^2) – рис. 149. Наибольшие значения площади пятна с налетом были выявлены в варианте опыта с использованием белкового стимулятора роста и полимерного гидрогеля: 1G:2R.

Симптомов развития корневой гнили не выявлено в вариантах опыта: «Зеребра агро», «Фитоп-Флора-С», «ФлорГумат», «Trace Mix», «1G+ *Pseudomonas fluorescens* SPB2137», «1G+*Bacillus subtilis* 124-11», «1G+*Sphingomonas* sp. K1B», «1G+Витаплан, СП», «1G+Витаплан, КЖ», «1G+0,1% салицилат хитозана». Максимальное снижение развития корневой гнили было определено при совместном применении белкового стимулятора роста и полимерного гидрогеля: 0,5G:1RM (на 27,0%, $БЭ_г$=87,9%) – рис. 150.

В вариантах опыта «*Bacillus subtilis* 124-11» развитие корневой гнили снизилось на 24,0% ($БЭ_г$=78,3%), «Витаплан, КЖ» - на 23,2% ($БЭ_г$=75,5%), «1G:2R» - на 19,5% ($БЭ_г$=63,8%), «1G+Витаплан, КЖ + 0,1% салицилат хитозана (глубинное культивирование)» - на 19,5% ($БЭ_г$=63,8%), «Витаплан, КЖ + 0,1% салицилат хитозана (глубинное культивирование) – на 18,4% ($БЭ_г$=60,1%), «0,1% салицилат хитозана» - на 17,3% ($БЭ_г$=56,5%), «0,5G» - на

14,0% ($БЭ_г$=45,6%), «1G:2RM» - на 14,0% ($БЭ_г$=45,6%), «1G+Витаплан, КЖ + 0,1% салицилат хитозана (композиция)» - на 14,0% ($БЭ_г$=45,6%), «Витаплан, КЖ + 0,1% салицилат хитозана (композиция)» - на 14,0% ($БЭ_г$=45,6%); «*Sphingomonas* sp. K1B» - на 12,8% ($БЭ_г$=41,7%).

Заключение. Наибольшая урожайность мягкой пшеницы сорта Ленинградская 6, к-64901 была отмечена в варианте опыта «1G:2RM» с предпосевной обработкой семян белковым стимулятором роста 96 и внесением в почву полимерного гидрогеля ($Y_{р.п.}$ =4,65±0,43 т/га). В указанном варианте интенсивность развития корневой гнили снизилась на 14,0% (с 30,7% до 16,7%, $БЭ_г$=45,6%), развитие и число пустул бурой ржавчины – на 5,8% (с 27,5% до 21,7%) и на 29,8% (с 494,5 шт. до 347,1 шт.), соответственно.

Однако степень поражения растений мучнистой росой усилилась: по развитию болезни – на 28,9%, по числу пятен с налетом – на 168,1% (с 16,7 до 44,7 шт.). При этом в варианте «1G:2RM» среднее значение площади пятна мучнистой росы снизилось на 57,5% (с 2,8 до 1,2 мм^2) по сравнению с контролем. Наибольшая эффективность по числу достоверных положительных изменений в значениях 21-го показателя продуктивности и по устойчивости к комплексу болезней отмечена в варианте опыта с совместным использованием полимерного гидрогеля и 0,1% салицилат хитозана «1G+0,1% салицилат хитозана». При его применении отмечен рост 71,4% показателей продуктивности пшеницы, не выявлено симптомов поражения растений корневой гнилью и мучнистой росой.

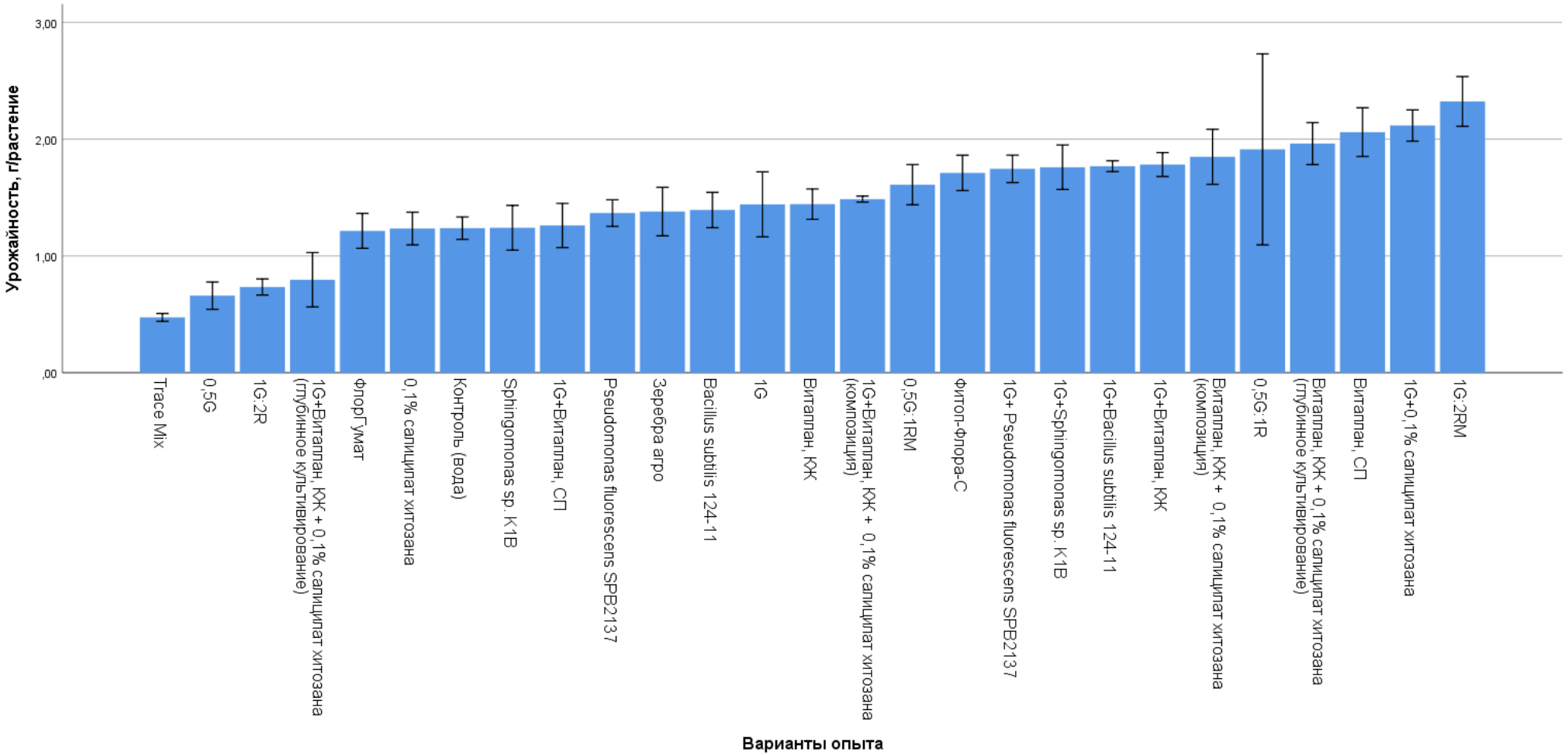


Рис. 144 – Изменение урожайности мягкой пшеницы сорта Ленинградская 6, к-64901 с использованием микробиологических препаратов, органо-минеральных удобрений и микропрепаратов, полимерного гидрогеля, белкового стимулятора роста, 0,1% салицилат хитозана. 2021 г.

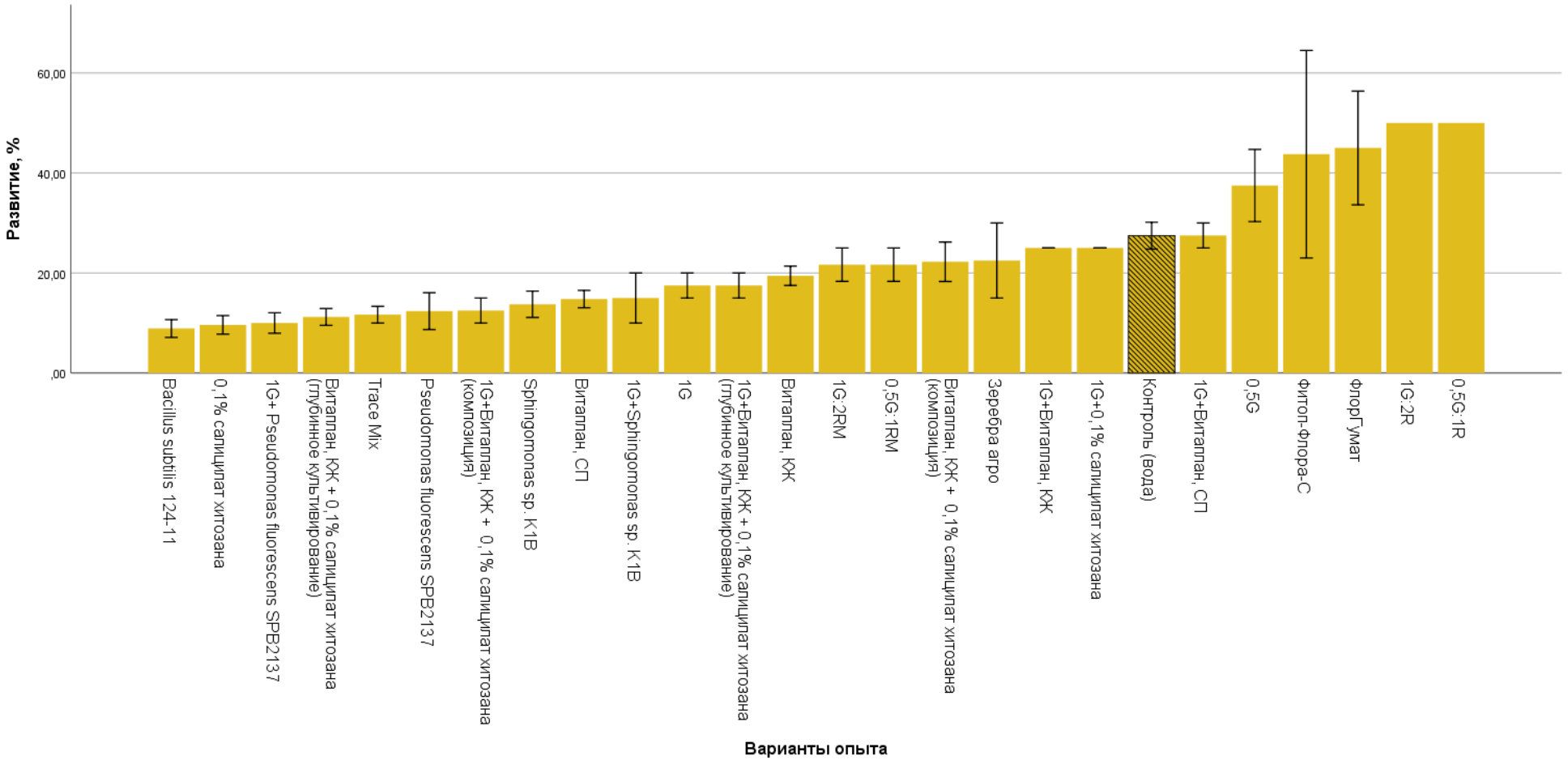


Рис. 145 – Изменение интенсивности развития бурой ржавчины на мягкой пшенице сорта Ленинградская 6, к-64901 при использовании микробиологических препаратов, органо-минеральных удобрений и микропрепаратов, полимерного гидрогеля, белкового стимулятора роста, 0,1% салицилат хитозана. 2021 г.

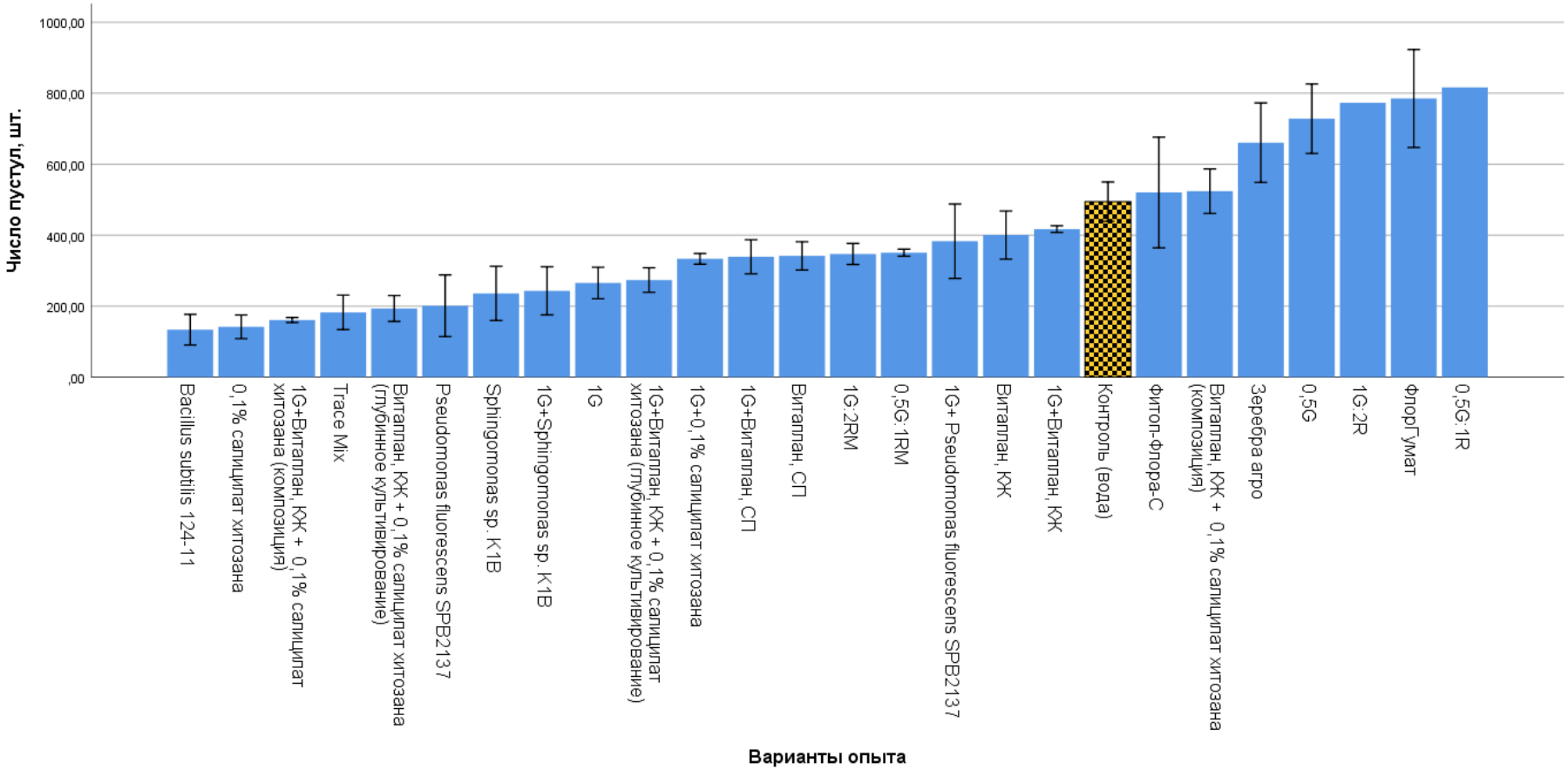


Рис. 146 – Изменение числа пустул бурой ржавчины на флаговых листьях сорта Ленинградская 6, к-64901 при использовании микробиологических препаратов, органо-минеральных удобрений и микропрепаратов, полимерного гидрогеля, белкового стимулятора роста, 0,1% салицилат хитозана. 2021 г.

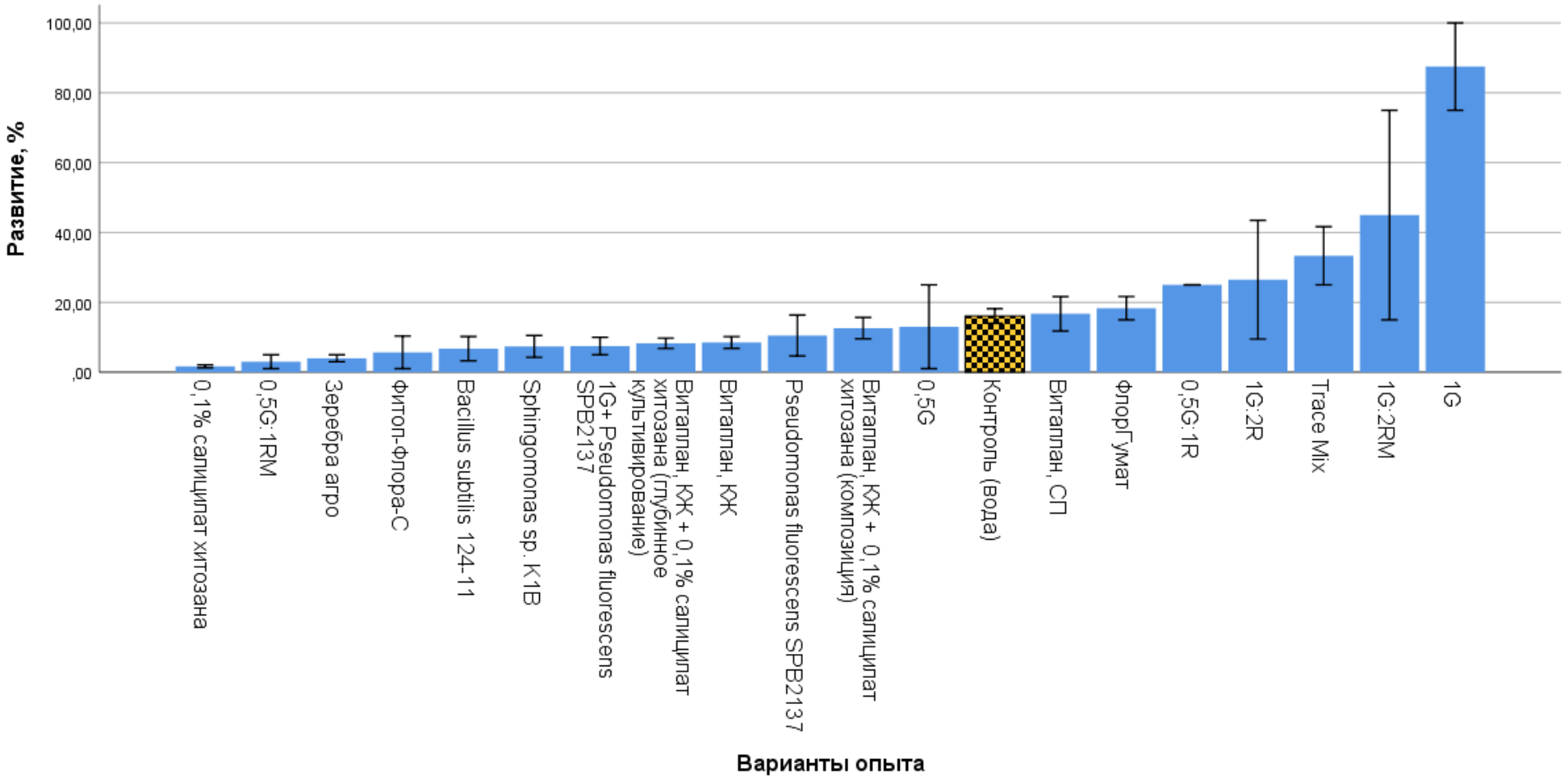


Рис. 147 – Изменение интенсивности поражения растений сорта Ленинградская 6, к-64901 мучнистой росой при использовании микробиологических препаратов, органо-минеральных удобрений и микропрепаратов, полимерного гидрогеля, белкового стимулятора роста, 0,1% салицилат хитозана. 2021 г.

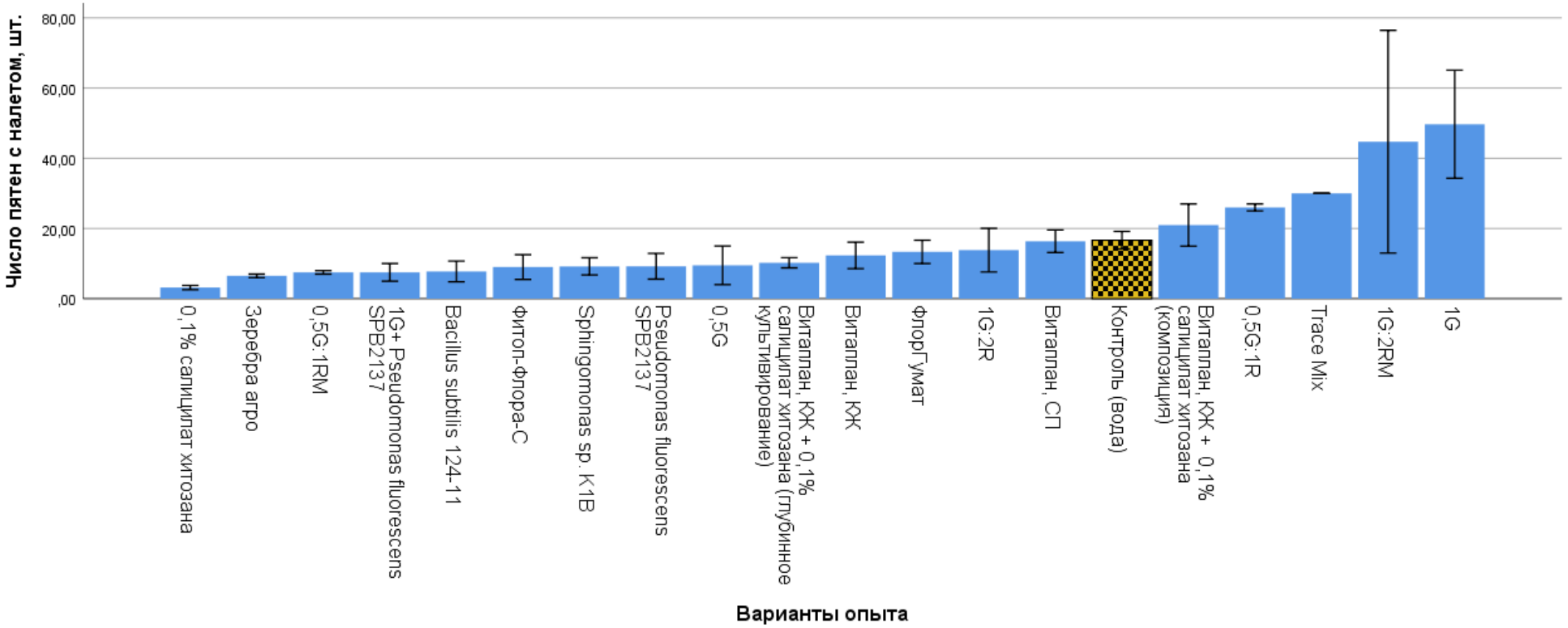


Рис. 148 – Изменение числа пятен с налетом мучнистой росы у сорта Ленинградская 6, к-64901 при использовании микробиологических препаратов, органо-минеральных удобрений и микропрепаратов, полимерного гидрогеля, белкового стимулятора роста, 0,1% салицилат хитозана. 2021 г.

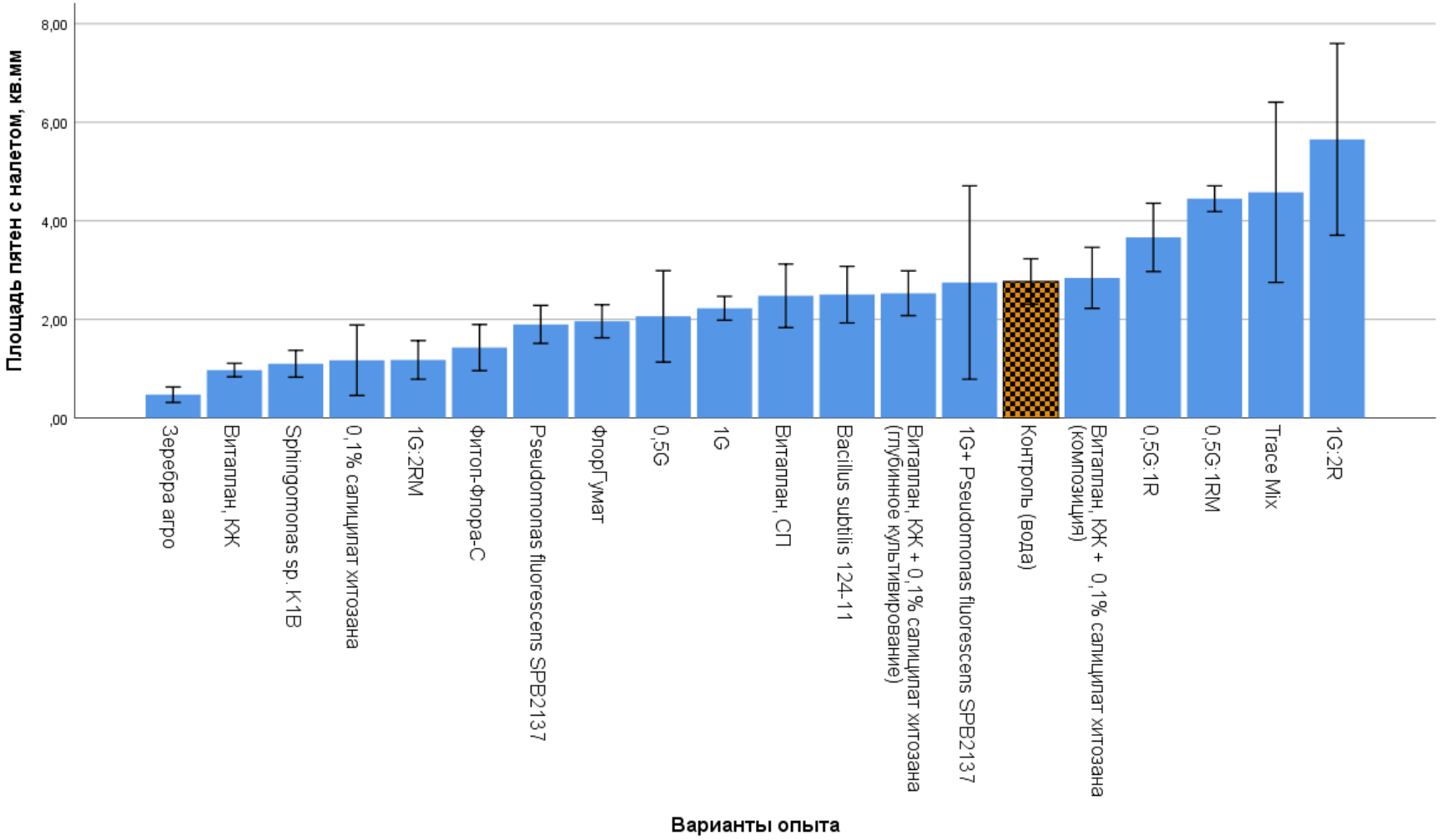


Рис. 149 – Изменение значений площади пятна с налетом мучнистой росы у сорта Ленинградская 6, к-64901 при использовании микробиологических препаратов, органо-минеральных удобрений и микропрепаратов, полимерного гидрогеля, белкового стимулятора роста, 0,1% салицилат хитозана. 2021 г.

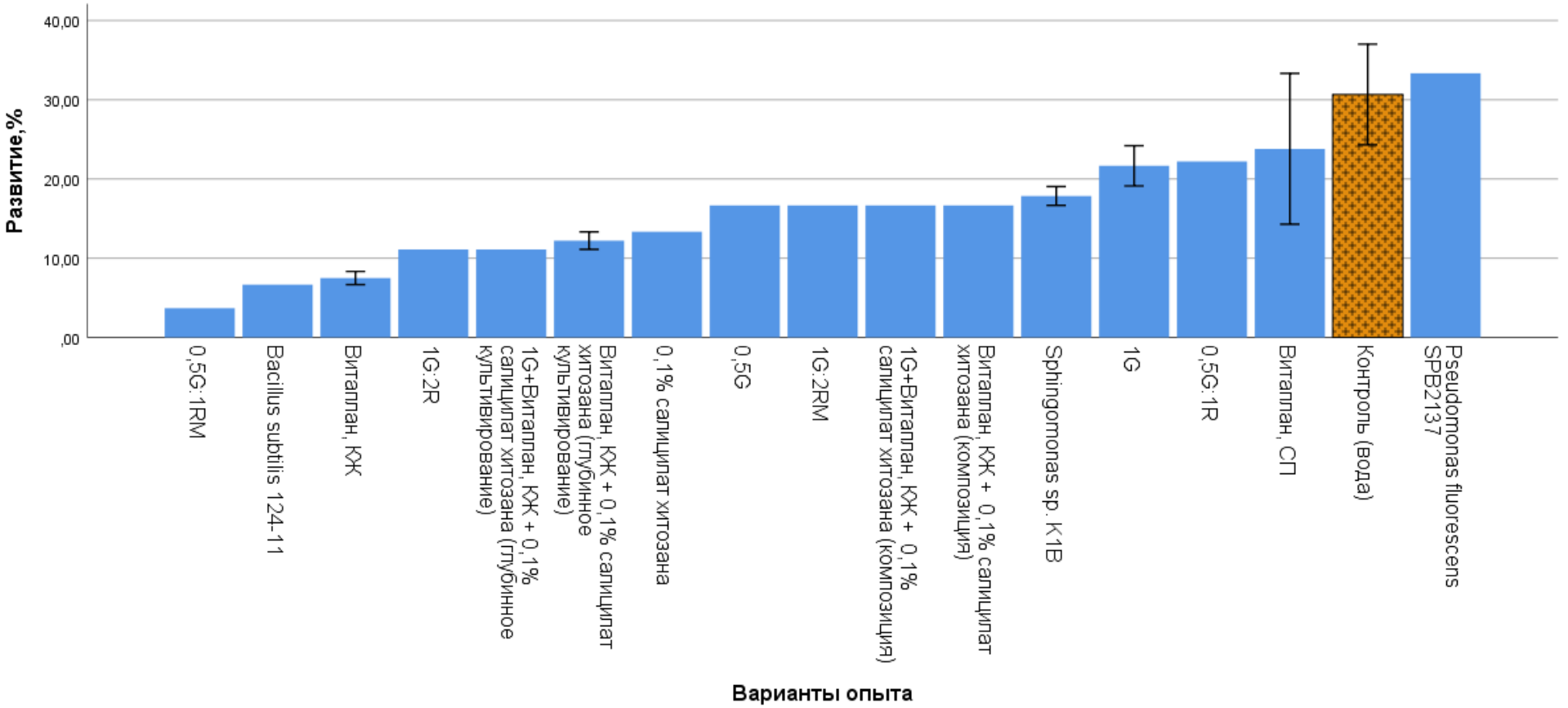


Рис. 150 – Изменение интенсивности развития корневой гнили сорта Ленинградская 6, к-64901 при использовании микробиологических препаратов, органо-минеральных удобрений и микропрепаратов, полимерного гидрогеля, белкового стимулятора роста, 0,1% салицилат хитозана. 2021 г.

В тоже время, не отмечено существенного действия комплекса «1G+0,1% салицилат хитозана» на развитие бурой ржавчины – оно снизилось относительно контроля на 2,5% (с 27,5% до 25,0%), однако число пустул и значения площади пустулы микромицета существенно снизились на 32,6% (с 494,5 до 333,5 шт.) и на 51,1% (с 0,11761 до 0,05746 мм^2). Минимальная интенсивность развития бурой ржавчины пшеницы и мучнистой росы была выявлена в варианте опыта с обработкой растений штаммом *Bacillus subtilis* 124-11 и 0,1% салицилатом хитозана. Максимальное снижение развития корневой гнили было определено при совместном применении белкового стимулятора роста и полимерного гидрогеля: «0,5G:1RM». Совместное использование штамма *Pseudomonas fluorescens* SPB2137 и полимерного гидрогеля 1G повышало биологическую эффективность комплекса на 8,7% и на 18,6% в отношении развития бурой ржавчины и мучнистой росы пшеницы, соответственно, по сравнению с вариантом, где использовался только штамм *Pseudomonas fluorescens* SPB2137. Биологическая эффективность полифункционального комплекса «1G+Витаплан, КЖ + 0,1% салицилат хитозана (композиция)» была на 35,5% выше, чем комплекса «Витаплан, КЖ + 0,1% салицилат хитозана (композиция)».

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ПО ГЛАВЕ 4

В настоящее время большое внимание при возделывании сельскохозяйственных культур уделяется ресурсосберегающим технологиям, основанным на использовании биопрепаратов, содержащих биологически активные вещества, в том числе различные органические соединения. Биопрепараты на основе хитозана - альтернатива химическим препаратам, поскольку известно, что хитозан стимулирует рост и развитие растений, а также повышает фитоиммунитет (Dwivany et al., 2021). В ФГБНУ ВИЗР профессором Тютеревым разработана концепция создания препаратов-индукторов на основе хитозана для применения в защите растений (Тютерев, 2014). Увеличение биологической эффективности препаратов достигается

путем создания механической смеси хитозана с биологически активными веществами (БАВ) - сигнальными молекулами, физиологически активными органическими кислотами, в том числе - салициловой кислотой (СК), которая в качестве основного индуктора устойчивости занимает ключевую позицию в защите растений от вредных организмов (Васюкова, Озерецковская, 2007; Попова и др., 2021).

В наших исследованиях (2016-2020 гг.) определена эффективность защитного действия двух комплексов хитозана с биологически активными веществами. Комплекс Хитозан I – включал 0.1%-ный раствор (по хитозану, хитозана 100 и 50 кДа (1 : 1), янтарную кислоту, глутаминовую кислоту, 0.025%-ную салициловую кислоту. Хитозан II включал 0.1%-ный раствор (по хитозану), хитозана 50 кДа, янтарную кислоту, глутаминовую кислоту; 0.0015%-ную индолилуксусную кислоту и 0.1%-ный салицилат хитозана 60 кДа, который имел в своем составе 25% ионно-связанных фрагментов салициловой кислоты. Комплексы Хитозан I и Хитозан II существенно снижали поражение пшеницы бурой ржавчиной и септориозом, а в варианте Хитозан I отмечено снижение развития мучнистой росы. Салицилат хитозана (0.1%) уменьшал степень поражения пшеницы корневой гнилью на 79%, желтой ржавчиной на 29.1%, подавлял развитие мучнистой росы, увеличивал урожайность на 32.8% и статистически достоверно повышал значения 55.6% показателей, характеризующих рост и развитие пшеницы, продуктивность и урожайность. Комплексы “Хитозан I” и “Хитозан II” оказали существенное влияние на 11.1% и 27.8% показателей продуктивности пшеницы соответственно.

Наиболее перспективными для защиты сельскохозяйственных культур и повышения их урожайности являются композиции, объединяющие полезные свойства микроорганизмов – антагонистов возбудителей болезней и таких активаторов болезнеустойчивости растений, как хитозан и его производные (Novikova и др., 2017). Штаммы *Bacillus subtilis* благодаря разнообразию и высокой изменчивости их биохимических свойств и синтезу спектра

биоактивных метаболитов — циклических липопептидов, полипептидов, белков и непептидных соединений (Hamdache et al., 2011; Новикова, 2016) широко используются в борьбе с возбудителями болезней сельскохозяйственных культур.

По данным многолетних полевых опытов (2016-2021 гг.), наибольшая урожайность пшеницы была выявлена в экспериментальных вариантах «Витаплан, КЖ + 0,1% салицилат хитозана (глубинное культивирование)» и «0,1% салицилат хитозана» $Y_п$= 4,17±0,33 г/растений и 4,11±0,37 г/растений, что на 100,2% и 97,4% больше, чем средняя величина в контроле ($Y_п$=2,01±0,29 г/растений), соответственно. Однако максимальный рост урожайности пшеницы – на 120,9% по сравнению с контролем, выявлен при обработке растений полифункциональным комплексом «Витаплан, КЖ и Хитозан II» (2016-2018 гг.). В отношении снижения поражения растений болезнями наибольшая биологическая эффективность отмечена при использовании «0,1% салицилата хитозана» (мучнистая роса пшеницы, $БЭ_м$=95,0%), полифункциональных комплексов «Витаплан, КЖ + 0,1% Хитозан» (бурая ржавчина пшеницы, $БЭ_б$=70,2%), «Витаплан, КЖ + 0,1% салицилат хитозана (композиция)» (желтая ржавчина пшеницы, $БЭ_ж$=80,7%), «Витаплан, КЖ + коллоидный хитин (0,1%) + 0,1% Хитозан» и «0,1% салицилат хитозана» (септориоз, $БЭ_{сп}$=100%), биопрепарата «Гамаир, СП» (корневая гниль пшеницы, $БЭ_г$=77,8%). Наилучшими ростостимулирующими и защитными свойствами обладал полифункциональный комплекс «Витаплан, КЖ + 0,1% салицилат хитозана (глубинное культивирование)». При его применении зарегистрировано существенное снижение интенсивности поражения растений мучнистой росой, бурой и желтой ржавчиной.

В 2022 г. бактериальные штаммы и полифункциональные комплексы: *B. subtilis* И-5; *B. subtilis* ВКМ В-2604D + ВКМ В-2605; Витаплан, СП; *B. subtilis* ВКМ В-2604D + ВКМ В-2605D + 0.1 % СХ; *B. subtilis* И-5 + 0.1 % СХ существенно снизили интенсивность развития болезней, увеличили урожайность и морфометрические показатели пшеницы. Однако на примере

полифункционального комплекса «*B. subtilis* ВКМ В-2604D + ВКМ В-2605D + 0.1 % СХ» (2019-2022 гг.) показано, что на эффективность защитных и стимулирующих обработок пшеницы оказывают влияние природно-климатические факторы вегетационных периодов, а также фитосанитарное состояние посевов. Добавление 0,1% салицилата хитозана к бактериальным штаммам *B. subtilis* ВКМ В-2604D + ВКМ В-2605D и *B. subtilis* И-5 повышало биологическую эффективность полифункциональных комплексов в отношении желтой ржавчины пшеницы и мучнистой росы. В среднем по трем повторностям было установлено, что наибольшей биологической эффективностью в отношении желтой ржавчины отличались полифункциональный комплекс «*B. subtilis* ВКМ В-2604D + ВКМ В-2605D + 0.1 % СХ», а также бактериальные штаммы *B. subtilis* ВКМ В-2604D, *B. subtilis* ВКМ В-2605D и биопрепарат «Витаплан, СП». В указанных вариантах опыта по сравнению с контролем развитие желтой ржавчины снизилось на 21-22% (БЭ=72-73%). При использовании полифункционального комплекса «*B. subtilis* И-5 + 0.1 % СХ» развитие болезни снизилось на 18,5% относительно контроля (БЭ=62,7%), а в варианте опыта с *B. subtilis* И-5 – на 18,8% (БЭ=63,7%). Биологическая эффективность полифункциональных комплексов «*B. subtilis* ВКМ В-2604D + ВКМ В-2605D + 0.1 % СХ» и «*B. subtilis* И-5 + 0.1 % СХ» в отношении мучнистой росы составила 92,8%, а развитие болезни снизилось на 12,8%. Снижение поражаемости растений возбудителями болезней при применении бактериальных штаммов и полифункциональных комплексов повлияло на урожайность пшеницы и ее морфометрические показатели. Наибольший рост урожайности пшеницы (биологической – 69-93% и потенциальной – на 86-92%) зарегистрирован в вариантах опыта «*B. subtilis* ВКМ В-2604D + ВКМ В-2605D + 0.1 % СХ», «*B. subtilis* И-5 + 0.1 % СХ», а также в варианте «В. *subtilis* И-5». Перспективой для дальнейших исследований в области влияния стимулирующих и защитных обработок пшеницы на показатели скрытой неоднородности и дефектности семян

является выявление факторов, прежде всего связанных с их энзимо-микозным истощением. Актуальна оценка посевных качеств полученных семян (стандартный тест на энергию прорастания и всхожесть, и измерение длины первичных корней и проростка), а также сопоставление этих показателей с полученными в данной работе морфометрическими и рентгенографическими характеристиками зерен.

Среди факторов, определяющих высокую зерновую продуктивность пшеницы, выделяют хлорофилльный фотосинтетический потенциал посева, который характеризует суммарное количество хлорофилла в листьях или целых растениях на единице площади посева за вегетацию или ее определенный период. Повышение эффективности фотосинтеза — перспективная стратегия увеличения продуктивности зерновых культур (Прядкина, 2018). Оптимизация работы фотосинтетического аппарата на разных уровнях его организации способна повысить зерновую продуктивность на 10-60 % (Furbank et al., 2015; Gu et al., 2014).

В 2018 году в варианте с комплексом Витаплан, КЖ + Хитозан II отмечали максимальное содержание хлорофилла *a* во флаговых листьях в фазу цветения пшеницы — 1,32±0,02 мг/г (на 16,7 % больше, чем в контроле, $p < 0,05$). Содержание хлорофилла *b* при этом изменилось незначительно, но было на 4,3 % выше по сравнению с контролем. Наибольшее изменение соотношения между содержание хлорофиллов *a, b* и каротиноидов (на 55,2%) по отношению к контролю мы регистрировали в варианте опыта Витаплан, КЖ + Хитозан II. Некоторые авторы полагают, что соотношение содержания хлорофиллов и каротиноидов может быть одним из показателей устойчивости к внешним неблагоприятным факторам, и отражать экологическую пластичность растений (Калинина, Лящева, 2018).

Характер взаимоотношений между штаммами *B. subtilis* и растением-хозяином может варьировать от мутуализма до комменсализма и зависит от вида стрессового воздействия, специфичности взаимодействующих генотипов биообъектов, состава корнеассоциированного микробиома растения.

Указанные факторы и их взаимодействие оказывают разностороннее влияние на растительный организм в изменяющихся условиях среды, а изучение этой сложной системы – фитобиома, дает материал для оценки изменчивости положительного действия вносимых нее микробиологических препаратов и анализа причин их ограниченного мутуалистического влияния (Пусенкова и др., 2020, 2021).

Нашими исследованиями (2017-2022 гг.) показано, что эффективность штаммов бактерий *B. subtilis* ВКМ B-2604D и *B. subtilis* ВКМ B-2605D в отношении продуктивности и особо опасных болезней пшеницы в большей степени зависела от показателей влагообеспеченности вегетационного периода, что подтверждалось результатами многомерного шкалирования, корреляционного, факторного анализов показателей. В варианте опыта «Витаплан, СП» в F_1 выявлены высокие положительные факторные нагрузки для суммы осадков в июне, июле, августе, ГТК в июле, относительной влажности в июне (0,73…0,93), фазы растений, высоты растений, площади флагового и предфлагового листьев, массы вегетативной части (0,71…0,80), а при использовании КЖ «*B. subtilis* ВКМ B-2604D + *B. subtilis* ВКМ B-2605D» для суммы осадков в июне, августе, ГТК в июле и августе (0,71…0,88), продуктивной кустистости, массы корней, длины колоса, числа колосков в колосе, числа зерен, массы зерен колоса, биологической, потенциальной урожайности (0,71…0,85). Применение штаммов *B. subtilis* позволило повысить биологическую и потенциальную урожайность на 32,5±7,2% и 24,3±7,0%, и снизить интенсивность развития болезней (корневой гнили на 11,7±1,6%; мучнистой росы, бурой и желтой ржавчины на 7,6±0,7%), однако эффективность бактериальных штаммов существенно зависела от природно-климатических факторов периода вегетации пшеницы.

Бактерии, стимулирующие рост растений (Plant Growth Promoting Bacteria – PGPB), относятся к различным группам и многие из них принадлежат к родам *Azospirillum, Bacillus, Enterobacter, Gluconacetobacter, Paenibacillus, Pseudomonas, Streptomyces u Agrobacterium* (Kumar et al., 2015).

Стимулирующее действие многих PGPB традиционно связывают с тремя основными механизмами: продукцией фитогормонов, повышением доступности для растений элементов питания и воды, а также защитой растений от болезней (Asaf et al., 2017). Большой интерес у исследователей вызывает изучение типичных представителей ризосферной микрофлоры – бактерий рода *Pseudomonas*. Помимо антагонистических способностей по отношению к фитопатогенным грибам, бактерии рода *Pseudomonas* проявляют и другие защитные свойства: улучшают фосфорное питание растений (Satyaprakash et al., 2017), синтезируют стимуляторы роста растений (Pham et al., 2017), являются продуцентами сидерофоров, ответственных за транспорт железа (Trapet et al., 2016), а также веществ, влияющих на индукцию резистентности к фитопатогенам (Strunnikova et al., 2007; Pieterse et al., 2014). Мало информации в литературе встречается про такой род ризосферных бактерий, как *Sphingomonas*. Высокой ростостимулирующей активностью обладал штамм *Sphingomonas spiritivorum* 38-22, обеспечивший прибавку урожая озимой пшеницы на уровне 21% (Pukhaev et al., 2009). Штамм Sphingomonas S11 обладал большей антагонистической активностью против восьми штаммов фитопатогенных грибов *Fusarium*, вызывающих болезни пшеницы (Wachowska et al., 2013).

Нашими исследованиями было установлено, что наиболее выраженным защитным действием в отношении комплекса особо опасных листовых болезней проявил штамм *Sphingomonas* sp. K1B. С использованием расчетного показателя – площади пятен с налетом мучнистой росы, выявлено его существенное снижение на сорте Сударыня в варианте опыта с *Sphingomonas* sp. K1B. – на 58% (2017-2019 гг.). Развитие бурой ржавчины, в среднем, на сортах Сударыня и Тризо (2017-2019 гг.) при обработке штаммом *Sphingomonas* sp. K1B. снизилось на 10%. Наибольшее снижение поражения пшеницы желтой ржавчиной по сравнению с контролем было зарегистрировано в 2019 г. на сорте Сударыня (при $P>0,05$: развитие болезни– на 12%; число полос – на 13% и при $P<0,05$: число пустул в полосе – на 34%;

число пустул на лист – на 35). В среднем, на сортах Сударыня и Тризо (2017-2019 гг.) при применении указанного штамма отмечено существенное снижение длины полосы желтой ржавчины на 22%, числа пустул в полосе на 29%. Кроме того, в экспериментальных вариантах с обработкой растений штаммом *Sphingomonas* sp. K1B., отмечено существенное снижение интенсивности развития гельминтоспориозной корневой гнили, в частности, развитие болезни на сорте Trizo к-64981 снизилось на 26% (2017-2019 гг.).

Наиболее выраженным ростостимулирующим действием обладали штаммы *B. subtilis* 124-11 и *Ps. fluorescens* SPB213. Наибольшая потенциальная урожайность пшеницы была выявлена в вариантах опыта с применением штаммов *B. subtilis* 124-11 (Y_p = 4,2 ± 0,2 г/растение, при перерасчете на 1 га Y = 6,19 ± 0,33 т/га) и *Ps. fluorescens* SPB213 (Y_p = 4,0±0,2 г/растение, Y = 5,9 ± 0,4 т/га) – по данным 2019 г., а за период 2017-2019 гг. – при использовании штамма *B. subtilis* 124-11 (Y_p = 3,0 ± 0,2 г/растение, Y = 6,2 ± 0,3 т/га). Отмечено, что только в варианте с применением штамма *Ps. fluorescens* SPB2137 (2017-2019 гг.) выявлен существенный рост продуктивной кустистости пшеницы на 25%. В среднем, на сортах Сударыня и Тризо, наибольшее увеличение хлорофилла *a* на 49 % зарегистрировано при применении штамма *Ps. fluorescens* SPB2137, что обуславливало существенный рост при P<0,05 числа (на 21 %) и длины узловых корней (на 14 %), длины колоса (на 10 %), числа колосков в колосе (на 8 %) и массы 1000 зерен (на 7 %). На сорте Тризо был зарегистрирован существенный рост (при P<0,05 на 61 %) содержания хлорофилла *b* при применении штамма *Ps. fluorescens* SPB2137, тенденция роста (P>0,05) – *B. subtilis* 124-11 (на 37 %) и *Sphingomonas* sp. K1B (на 35 %).

Взаимоотношения между растениями и их ризомикробиомом сложны и варьируют как в зависимости от генотипов растений, так и от популяций микроорганизмов, населяющих почву (Vacheron et al., 2013). На активность сообществ микроорганизмов могут оказывать влияние различные природно-климатические факторы – колебания температуры, засуха, избыточная

инсоляция (Rebelo et al., 2022; Zahir et al., 2008), сумма осадков и влажность почвы (Ласточкина, 2021; Vilchez et al., 2016), уровень ультрафиолетового излучения (Jiang et al., 2022; Wei et al., 2022), тип почвы (Adesemoye, Egamberdieva, 2013).

В ходе исследований для создания систем прогнозирования урожая пшеницы при применении ассоциативных ризобактерий нами были проанализированы причинно-следственные связи между фитометрическими и фитопатологическими характеристиками посевов, метеорологическими факторами, солнечной активностью, количеством микроорганизмов в почве. При этом для упрощения интерпретации полученных взаимосвязей были построены числовые матрицы с ранжированными значениями коэффициентов корреляций по направлению, силе и их значимости, что позволило выявить основные факторы, определяющие экологическое варьирование вышеперечисленных показателей.

За период 2017-2022 гг. в большинстве вариантов с ассоциативными бактериями преобладала тенденция роста урожайности пшеницы со снижением суммы температур в мае, июне и июле, а также с ее повышением в августе. Выявлено преобладание обратных корреляционных связей между урожайностью пшеницы, суммой осадков и относительной влажностью воздуха в мае, относительной влажностью воздуха в июне. Положительное влияние на рост урожайности пшеницы оказывало увеличение ГТК в августе, а также показатели активности Солнца в июле-августе (число пятен на Солнце, число Вольфа). Метеорологические условия периодов вегетации оказывали влияние и на изменение интенсивности развития болезней при применении бактериальных штаммов. В частности, интенсивность поражения пшеницы корневой гнилью, бурой и желтой ржавчиной, септориозом увеличивалась, а эффективность бактериальных штаммов в отношении возбудителей болезней снижалась с увеличением значений суммы температур в мае. Обратная тенденция выявлена в отношении мучнистой росы – со снижением температуры в мае относительное изменение развития болезни в разных

вариантах опыта увеличивалось, а их эффективность снижалась. С ростом суммы выпавших осадков в мае отмечено более интенсивное развитие желтой ржавчины.

Существенно повысить продуктивность и качество урожая (Xu, Geelen, 2018), а также снизить последствия абиотического и биотического стресса на растения, вызванного засолением, засухой и тяжелыми металлами, позволяет использование биогидролизатов, полученных из сырья животного или растительного происхождения (Halpern et al., 2015) и состоящих из смеси пептидов и аминокислот (Colla et al., 2015). Имеются данные о влиянии биостимуляторов на морфологические, физиологические и биохимические изменения у растений, повышение урожайности и качество урожая (Bulgari и др., 2019), стрессоустойчивость растений (Xiong et al., 2002; Kraus et al., 2022), на зависимость между фотосинтетической, ферментативной активностью и накоплением группы веществ фенольных соединений (Cristofano et al., 2023). Благотворное воздействие белковых гидролизатов на растения может быть связано со стимулирующим влиянием на микробиомы растений, играющие важную роль в процессах усвоения питательных веществ и воды. Рядом исследователей были представлены доказательства того, что состав и активность микробиомов растений изменяется при применении белковых гидролизатов (Colla et al., 2017). Белковые гидролизаты индуцируют метаболизм углерода в растениях и способны стимулировать поглощение питательных веществ корневой системой, влияют на доступность для растений минеральных веществ (Colla et al., 2017; Ertani et al., 2018; Abobatta et al., 2020).

В процессе исследований (2017-2019 гг.) нами было установлено, что внекорневая обработка мягкой пшеницы белковым стимулятором роста R обуславливала увеличение урожайности у 72% сортов, при этом существенный рост показателя по сравнению с контролем выявлен у 16% образцов: Сибирская 21, к-66269 на 143,1% (с 1,53 до 3,71 г/растение, 2017 г.); Тулайковская 108, к-65452 на 103,0% (с 1,0 до 2,0 г/растение, 2017 г.);

Уральская кукушка, к-66267 на 87,9% (с 1,91 до 2,32 г/растение, 2017 г.); Амурская красноколоска, к-32095 на 69,9% (с 0,73 до 2,24 г/растение, 2018-2019 гг.); Красноуфимская 110, к-65478 на 59,2% (с 2,45 до 3,90 г/растение, 2018-2019 гг.). Наибольшее число статистически достоверных положительных различий в вариантах с БСР по сравнению с контролем при $P<0,05$ выявлено по показателям: общая кустистость, число зерен в колосе, число колосков в колосе. Наибольшую эффективность БСР проявил в отношении снижения развития корневой гнили и септориоза. Выявлена тенденция статистически достоверного снижения интенсивности развития корневой гнили при $P<0,05$ у 44% сортов пшеницы в вариантах опыта с БСР по сравнению с контролем. Статистически достоверное снижение корневой гнили зафиксировано на следующих сортах: Тюменская 29, к-65247 (на 16,8%, $БЭ_г$=33,7%, 2018-2019 гг.), Тюменская 30, к-65248 (на 11,3%, $БЭ_г$=25,5%, 2018-2019 гг.), Кампанин, к-65445 (на 11,00%, $БЭ_г$=25,0%, 2018-2019 гг.), Оренбургская 22, и-147624 (на 9,7%, $БЭ_г$=24,0%, 2018-2019 гг.), Сударыня, к-66407 (на 25,0%, $БЭ_г$=75,0%, 2017 г), Trizo, к-64981 (на 26,7%, $БЭ_г$=80,0%, 2017 г), (на 50,0%, $БЭ_г$=80,0%, 2017 г), Челяба ранняя, к-66268 (на 22,2%, $БЭ_г$=66,7%, 2017 г), Кинельская юбилейная, к-66270 (на 32,9%, $БЭ_г$=57,6%, 2017 г), Тюменочка, к-66271 (на 16,7%, $БЭ_г$=66,7%, 2017 г). Число отрицательных изменений интенсивности развития септориоза по сравнению с контролем составило 68% (число существенных отрицательных изменений показателя при $P<0,05$ – 28%). Существенное снижение развития септориоза отмечено на сортах: Ленинградская 97, к-62935 (на 6,5%, $БЭ_с$ = 86,7%, 2018-2019 гг.), Ульяновская 100, к-65250 (на 3,5%, $БЭ_с$ = 87,5%, 2018-2019 гг.), Амурская красноколоска, к-32095 (на 20,5%, $БЭ_с$ = 82,0%, 2018-2019 гг.), Тулайковская 108, к-65452 (на 36,0%, $БЭ_с$ = 72,0%, 2018 г). Развитие мучнистой росы, бурой и желтой ржавчины существенно не изменилось. Внекорневое опрыскивание растений белковым стимулятором роста обусловливало увеличение общего азота в листьях пшеницы у 92% образцов в среднем на 84,6%. Увеличение содержания общего азота при применении БСР приводило к росту числа и длины корней,

числа зерен в колосе, массы зерен одного колоса, длины колоса, урожайности растения, но при этом - к снижению продуктивной кустистости. После внекорневой обработки мягкой пшеницы белковым стимулятором роста отмечено увеличение размера зерен, их полноценности и округлости по сравнению с контролем (без обработки), что было определено методами микрофокусной рентгенографии и оптического анализа

Полимерные материалы находят широкое применение в различных приоритетных направлениях развития науки, технологий и техники. Они легко обрабатываются и химически модифицируются, обладают ценными физико-механическими свойствами (Zhang et al., 2013a, 2013b). Среди наиболее перспективных полимерных материалов большой интерес вызывает особая группа «мягких» полимерных материалов – гидрогелей, как правило, представляющих собой трехмерную матрицу, состоящую из линейных (или разветвленных) гидрофильных слабосшитых полимеров, обладающих способностью поглощать большие количества жидкости (Chang et al., 2010; Pourjavadi et al., 2004). Включение в состав сополимеров различных наполнителей резко расширяет потенциальные возможности применения акриловых супервлагоабсорбентов за счет улучшения физико-химических свойств материалов (Успенская и др., 2006). Достаточно актуальным вопросом является использование матрицы гидрогеля в качестве носителя питательных веществ, необходимых растению в период вегетации (Zhong et al., 2013). Совместное применение акриловых гидрогелей и гидролизованных белковых отходов в качестве наполнителей приводит к регулируемому росту растений (Байдакова и др., 2019). Использование аминокислот дает возможность получать препараты с ростостимулирующими свойствами, которые могут конкурировать с дорогостоящими регуляторами роста растений.

Нашими исследованиями (2019-2020 гг.) было установлено, что при предпосевном совместном внесении в почву полимерного гидрогеля и белкового стимулятора роста R существенного снижения интенсивности развития болезней выявлено не было. Наилучшие результаты в отношении

болезней пшеницы показал вариант с использованием только полимерного гидрогеля 1G. В варианте опыта 1G не выявлено симптомов развития мучнистой росы (1G:2S – 4% и 0,5G:1S– 15 %), развитие корневой гнили снизилось на 12,2% ($БЭ_г$=42,8%), желтой ржавчины по развитию болезни – на 9,2% ($БЭ_ж$=61,9%) и по площади пустулы – на 39,0%. Однако в варианте опыта при предпосевном внесении в почву полимерного гидрогеля совместно с белковым стимулятором роста в варианте 1G:2S урожайность пшеницы сорта Ленинградская 97 по сравнению с контролем выросла на 142,4% (с 3,37 до 8,17 г/растение). Максимальная прибавка урожая у сорта Ленинградская 97 в варианте 1G:2S была обусловлена существенным ростом продуктивной кустистости растений на 55,3% (с 2,8 до 4,4 шт.) по сравнению с другими вариантами опыта. Однако в данном экспериментальном варианте зафиксировано усиление интенсивности развития корневой гнили на 31,1% и несущественное снижение поражения растений возбудителями болезней листьев (желтой ржавчиной, бурой ржавчиной, мучнистой росой).

За период 2021-2022 гг. в полевых условиях был проведен сравнительный анализ эффективности применения двух белковых гидролизатов, один из которых, полученный из ретикулярного слоя дермы крупного рогатого скота R, использовался в наших исследованиях ранее, и новый – из обрези шкур свиней RM. Белковый гидролизат RM имел молекулярную массу 700000 Да с содержанием глицина на 17 % больше по отношению к R. Полимерный гидрогель вносили в почву в сухом виде перед посевом пшеницы, а семена пшеницы предварительно замачивали в растворах белковых гидролизатов R и RM с концентрацией 0,195 г/л. Максимальное снижение числа пустул бурой ржавчины пшеницы было зафиксировано при использовании гидрогеля в варианте опыта 1G ($БЭ_г$=83,6%), что обуславливало незначительный рост урожайности на 17,2%. Существенное снижение поражаемости растений желтой ржавчиной (развитие болезни – $БЭ_ж$=68,5%; число полос – $БЭ_{пл.ж}$=69,9%; число пустул $БЭ_{п.ж}$=69,9%) и

мучнистой росой (уменьшение площади пятен с налетом $БЭ_{пл.м}$=77,8%) зафиксировано в варианте опыта 1G:2RM. Наибольший рост урожайности пшеницы по сравнению с контролем зарегистрирован в вариантах опыта при совместном применении полимерного гидрогеля с белковым гидролизатом роста (1G:2RM) и с белковым гидролизатом роста (0,5G:1R), соответственно. Прибавка урожая в варианте опыта 1G:2RM по сравнению с 1G составила 1,4 т/га (0,1 г/растение), а в варианте опыта 0,5G:1R по сравнению с 0,5G – 1,9 т/га (1,4 г/растение).

Современное аграрное производство ставит перед производителями удобрений новые задачи, решение которых возможно только с появлением инновационных продуктов, в том числе - органо-минеральных удобрений. Гуминовые вещества, присутствующие в их составе, способствуют повышению численности микрофлоры в ризосфере растений, улучшению белкового и углеводного обмена веществ растений, обуславливая формирование высококачественного урожая. Доказано благотворное влияние гуминовых веществ на вегетативную массу и корневую систему растений, особенно когда они подвергаются абиотическим стрессам (Aguiar et al., 2013). Гуминовые вещества способны образовывать устойчивые и доступные для растений комплексные соединения с фосфатами, предотвращается их фиксация алюминием и железом, происходит оптимизация фосфорного питания (Наумова и др., 1996, 2000). Есть большое количество данных о влиянии гуминовых веществ как на поглощение N, так и на его усвоение через стимуляцию ферментов НАТФ+ и NO3-ассимиляции (Halpern et al., 2015). В повышении урожайности и качества продукции сельскохозяйственных культур большое значение могут иметь биогенные металлы в коллоидном состоянии (наночастицы) и в частности, наночастицы серебра (Yurkova et al., 2013; Muhammad et al., 2019). Наночастицы серебра могут оказывать действие на систему антиоксидантной защиты растений (Seif et al., 2011). Семена растений, обработанные растворами серебряных наночастиц, демонстрируют лучшие показатели всхожести и ферментативной активности (Banerjee et al.,

2014), однако влияние наноматериалов с серебром на почвенные микроорганизмы неоднозначно.

В наших исследованиях (2017-2021 гг.) было установлено, что при использовании «Зеребра агро» и «Фитоп-Флора-С» в среднем по сортам урожайность мягкой пшеницы существенно выросла на 109,0% и 112,0% относительно контроля, соответственно. Достоверно увеличилась урожайность пшеницы при применении препарата «ФлорГумат» – на 58,8%, «Trace Mix» – на 44,9%, «Эдагум» – на 28,3%. Максимальная урожайность мягкой пшеницы в вариантах опыта «Зеребра агро» и «Фитоп-Флора-С» может быть обусловлена существенным снижением интенсивности поражения растений возбудителем мучнистой росы по сравнению с контролем - на 22,7% ($БЭ_м$=62,4%) и 23,3% ($БЭ_м$=64,0%). Значительное уменьшение степени поражения пшеницы возбудителем мучнистой росы на 28,8% по сравнению с контролем выявлено в варианте опыта, где был использован «ФлорГумат» ($БЭ_м$=79,2%) и незначительное – «Эдагум» (на 14,7%). Развитие бурой ржавчины, желтой ржавчины и корневой гнили относительно контроля при применении органо-минеральных удобрений изменилось незначительно. Статистически достоверное снижение интенсивности поражения предфлаговых листьев пшеницы септориозом зарегистрировано в варианте «Фитоп-Флора-С» – на 7,6% по сравнению с контролем («Зеребра агро» – снизилось незначительно на 2,7%).

Максимальный прирост урожайности пшеницы относительно контроля был выявлен в 2021 г. при внекорневой обработке растений препаратом «Зеребра агро», «ФлорГумат», «Фитоп-Флора-С». Метеоусловия 2021 г. были экстремальными для роста пшеницы, отличались, в частности, максимальной суммой температуры в июне (590,4°С) и июле (837,7°С). При этом сумма осадков в июне и июле была минимальна – 10,7 мм и 5,7 мм, как и относительная влажность (62,0%).

В среднем, на сортах Сударыня, к-66407 и Ленинградская 6, к-64900 с повышением суммы температур в июле эффективность препарата «Зеребра агро» в отношении бурой ржавчины пшеницы снижалась (по числу пустул – r=0,88 и площади пустулы – r=0,94), а желтой ржавчины по развитию болезни возрастала (r=-0,95). Кроме того, снижение относительной влажности в июне обуславливало рост степени поражения растений септориозом в варианте «Зеребра агро» (r= =- 0,96). Интенсивность поражения пшеницы бурой ржавчиной усиливалась по сравнению с контролем при обработке растений препаратом «ФлорГумат» с уменьшением суммы осадков (r= -0,93) и относительной влажности в июле (r= -0,99). Интенсивность развития желтой ржавчины при обработке растений «ФлорГумат» усиливалась по сравнению с контролем с уменьшением суммы температур в июне (r= - 0,99) и увеличением суммы осадков в июле (r=0,99). Развитие мучнистой росы и бурой ржавчины в варианте «Фитоп-Флора-С» увеличивалось по сравнению с контролем с ростом суммы выпавших осадков в августе. Развитие септориоза усиливалось с уменьшением относительной влажности в июле, а развитие желтой ржавчины обратно коррелировало с суммой осадков в августе и ГТК.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Экспериментально оценены элементы стратегии развития защиты растений ФГБНУ ВИЗР (Павлюшин и др., 2016). Данная стратегия основана на системном подходе к биоценотическому регулированию функционирования агробиоценозов зерновых культур с использованием современных достижений селекции, микробиологической и фитоиммунологической защиты и регуляции роста растений, а также информационных технологий.

Охарактеризована фитосанитарная ситуация с болезнями в агроценозах мягкой пшеницы яровой в условиях Северо-Запада. Отмечено стабильное проявление на посевах мучнистой росы и септориоза во все годы исследований. Для бурой ржавчины наблюдается снижение значимости с 2015 годов. При этом в регионе усиливается представленность пораженности

желтой ржавчиной. Стеблевая ржавчина проявлялась в отдельные годы исследований, преимущественно в конце вегетации растений. Для мягкой пшеницы, развивающейся по озимому типу развития, высокую вредоносность в весенний период представляет инфекционное выпревание.

Экспериментально подтверждено существенное влияние на снижение урожайности пшеницы в регионе возбудителей бурой и желтой ржавчины, мучнистой росы и септориоза. В модельных экспериментах, при поражении мучнистой росой свыше 70%, потери урожая составляли 56%, а при комплексной инфекции бурой ржавчины (43%), мучнистой росы (5%), септориоза (12%) – 59%.

На основе анализа эффективности генетической защиты от возбудителей особо опасных болезней и потенциала современных российских и зарубежных сортов и перспективного селекционного материала мягкой пшеницы из коллекции ВИР:

– определен низкий потенциал изученного материала яровой пшеницы по устойчивости к *Septoria* sp., *B. graminis* и *P. graminis*, в том числе перспективных и широко возделываемых на Северо-Западе сортов;

– определены взаимосвязи между происхождением мягкой пшеницы и полевой устойчивостью к болезням, что дает возможность осуществлять целенаправленный отбор резистентных форм из выявленных по происхождению групп;

– выделены образцы пшеницы с высоким уровнем полевой устойчивости к бурой, стеблевой и желтой ржавчине, мучнистой росе, септориозу и образцы озимой пшеницы, устойчивые к инфекционному выпреванию, которые могут быть рекомендованы для селекции на устойчивость в условиях Северо-Запада.

Изучение анатомо-морфологических факторов пассивного иммунитета пшеницы на устойчивость к фитопатогенам выявило:

– меньшую пораженность флаговых листьев сортов пшеницы бурой и желтой ржавчиной, мучнистой росой при их угле наклона к стеблю в интервале 121-180°. Это может быть связано с большей возможностью сохранения спор на

поверхности и в пазухах листьев с небольшим углом наклона, тогда как угол наклона более 120° может способствовать их осыпанию с листа;

– различное влияние плотности опушения листьев на развитие болезней. Выявлено возрастание площади пятен с налетом мучнистой росы с ростом значений плотности и длины волосков опушения, что может быть связано с тем, что в данном случае волоски на поверхности листа способствовали удержанию и, впоследствии, закреплению на нем инфекционного начала – конидий возбудителя, причем при повышенной плотности опушения мог создаваться микроклимат, благоприятный для их прорастания и дальнейшего развития.

Отмечена тенденция усиления поражения пшеницы болезнями с увеличением содержания в растениях тяжелых металлов. При этом у некоторых сортов пшеницы в зернах найдено превышение ПДК по содержанию Fe, Cu, Cr, Cd. В листьях у высокоустойчивых изогенных линий пшеницы, защищенных генами *Lr24*, *Lr28, Lr29*, *Lr47,* определено достоверно меньшее, чем у восприимчивых, содержание в листьях тяжелых металлов Ni, Ag, Cr, Fe, Co, Cd, а также K. Сорта и линии мягкой пшеницы без симптомов патогенеза отличались меньшим содержанием в листьях тяжёлых металлов V, Fe, Co, Zn, Pb, Cr, Mn, а также Sb и Al, некоторые из которых относятся к группе особо опасных экотоксикантов. Устойчивые образцы пшеницы отличались большим числом достоверных корреляционных связей между изученными химическими элементами, чем восприимчивые.

Выявлена тенденция снижения интенсивности поражения растений бурой ржавчиной с ростом антиоксидантной активности ее листьев. При росте величины антиоксидантной активности, определенной в зернах разных сортов пшеницы с 9% до 33%, урожайность возрастала с 3,1 т/га до 3,5 т/га, что было обусловлено увеличением продуктивной кустистости растений (с 1 до 1,7 стеблей на растение), а также с ростом площади флагового листа: с 13,5 см^2 до 14,6 см^2.

2. Для совершенствования системы фитосанитарного мониторинга, прогноза интенсивности поражения растений болезнями, контроля динамики их развития разработаны математические модели. Для повышения точности моделей предложена методика многомерного параметрирования патогенеза особо опасных болезней, основанная на использовании как общепринятых фитопатологических показателей (развитие болезни и тип реакции), так и дополнительных (расчетных). Для бурой ржавчины использовали показатели – число пустул, площадь пустулы, число спор в пустуле; для желтой ржавчины – число и длина пустул, суммарное число пустул, площадь пустулы, число спор в пустуле; для стеблевой ржавчины – число пустул на 1 см длины верхнего колосонесущего междоузлия, площадь пустулы; для мучнистой росы – число и площадь пятен с налетом, число конидий с 1 $см^2$ листа; для септориоза – число и площадь пятен, размерные характеристики пикноспор (конидий): объем, коэффициент вытянутости.

Разработанные статистические и имитационные модели развития особо опасных болезней пшеницы могут быть использованы для определения вероятности возникновения эпифитотий, оценки интенсивности их развития и последствий. Выявление важнейших предикторов развития болезней было основано как на анализе преобладающих тенденций в изменении комплекса фитопатологических показателей сортов и линий пшеницы, варьирование которых было связано с фитометрическими параметрами посевов и метеорологическими факторами, так и на результатах их системного анализа с использованием методов многомерной статистики.

Выявлены метеофакторы, существенно влияющие на сохранение инфекционного начала особо опасных болезней и определяющие, в дальнейшем, фитосанитарное состояние посевов. С повышением средней температуры в сентябре и уменьшением суммы осадков в октябре и декабре предшествующего года, суммы осадков в апреле, развитие бурой ржавчины и мучнистой росы усиливалось. Сильное поражение пшеницы стеблевой ржавчиной в 2010 г., возможно, было обусловлено экстремально высокими

значениями суммы температур и незначительной суммой осадков в июле, а также связано с резким возрастанием активности Солнца в 2010 г. по сравнению с 2009 г. Интенсивность поражения инфекционным выпреванием большинства изученных образцов пшеницы возрастала с понижением температуры в январе и уменьшением суммы выпавших осадков, а также определялась значениями относительной влажности воздуха.

Непосредственно в период проведения наблюдений (апрель) отмечена сопряженность интенсивности патогенеза инфекционного выпревания с ясной и теплой погодой, без осадков.

3. Модифицированы системы управления продукционным процессом и фитосанитарным состоянием агробиоценозов мягкой пшеницы с использованием новейших достижений агрофизики: полевой спектрометрии, функциональной рентгенографии, газоразрядной визуализации. Основными результатами исследований по этому направлению являются:

– система идентификации биологической полноценности семян пшеницы с использованием неинвазивных инструментальных физических методов и моделирование возможных изменений в фитометрических и фитопатологических характеристиках посевов в зависимости от качества семенного материала. Выявлены тенденции возрастания большинства показателей продуктивности с ростом площади, средней яркости, минимальной яркости, периметра, длины и ширины, размера, фактора круга проекции семян. Рост среднего размера и средней яркости проекции семян приводил к увеличению интенсивности поражения растений бурой ржавчиной, мучнистой росой, септориозом. С увеличением фактора круга проекции семян на большинстве сортов развитие бурой ржавчины снижалось, а мучнистой росы усиливалось.

– система оценки отзывчивости мягкой пшеницы на биологические средства защиты и регуляции роста растений и органо-минеральные удобрения, основанная на данных интроскопического анализа зерна вновь собранного урожая. После обработки растений бактериальными штаммами и

полифункциональными комплексами на основе 0,1% салицилата хитозана, достоверно увеличился средний размер и округлость зерен. Средняя яркость рентген-проекции семян достоверно увеличилась в варианте *B. subtilis* И-5 + 0,1 % салицилат хитозана, и снизилась во варианте «*B. subtilis* ВКМ B-2604D + ВКМ B-2605D» и «Витаплан, СП».

– система полевой спектрометрии посевов пшеницы, различающихся как по продуктивности, так и по пораженности особо опасными болезнями с использованием коэффициентов отражения, пропускания и поглощения *in situ*, обратного вегетационного индекса F. Выявлена высокая информативность нормализованного вегетационного индекса NDVI для интегральной оценки биологической эффективности полифункциональных биопрепаратов. Созданы «оптические портреты» сортов мягкой пшеницы.

Выявлена тенденция ухудшения состояния посевов пшеницы по основным показателям структуры урожайности, качества зерна (по содержанию азота, фосфора и калия), фитосанитарного состояния (по степени поражения пшеницы возбудителем мучнистой росы) с ростом значений обратного вегетационного индексса F. Сорта пшеницы, отличающиеся наименьшими значениями F, обладали наибольшей антиоксидантной активностью, наилучшей жизнеспособностью и отсутствием симптомов развития возбудителя бурой ржавчины по сравнению с другими сортами, на которых было зарегистрировано развитие болезни. Минимальное значение стресс-индекса F и максимальная величина NDVI были выявлены в варианте опыта, где растения пшеницы сорта Ленинградская 6 обрабатывали комплексным полифункциональным препаратом Витаплан, КЖ и Хитозан II, использование которого существенно повышало их продуктивность и снижало интенсивность развития особо опасных болезней.

4. Расширены средства биологической защиты и регуляции роста растений и разработаны регламенты их использования для решения важнейших стратегических задач оздоровления фитосанитарного состояния

агробиоценозов мягкой пшеницы и повышения их продуктивности, в том числе:

– Видов и штаммов ассоциативных ризобактерий: *B. subtilis* В-2604D, *B. subtilis* В-2605D, *B. subtilis* И-5, *Bacillus subtilis* 124-11, *Sphingomonas* sp. K1B, *Pseudomonas fluorescens* SPB2137 из ВКМ сельскохозяйственного назначения ФГБНУ ВНИИСХМ. Наиболее выраженным защитным действием в отношении комплекса особо опасных болезней обладал штамм *Sphingomonas* sp. K1B. Биологическая эффективность (БЭ) в отношении корневой гнили составила 58,3%, мучнистой росы – 70,0%, бурой ржавчины – 50,6%, септориоза – 68,4%, желтой ржавчины – 35,9% (сорт Тризо, 2017-2022 г.). Значительным ростостимулирующим действием на растения обладали штаммы *B. subtilis* 124-11 и *Ps. fluorescens* SPB213.

– Полифункциональных комплексов на основе сочетания индукторов устойчивости растений к болезням – хитина, хитозана и 0,1% салицилата хитозана с бактериальными штаммами *B. subtilis* В-2604D, *B. subtilis* В-2605D, *B. subtilis* И-5, а также комплексов хитозана с биологически активными веществами, полученных в лаборатории микробиологической защиты растений ФГБНУ ВИЗР. Наибольшая биологическая эффективность отмечена при использовании «0,1% салицилата хитозана» (мучнистая роса пшеницы, $БЭ_м$=95,0%), полифункциональных комплексов «Витаплан, КЖ + 0,1% Хитозан» (бурая ржавчина пшеницы, $БЭ_б$=70,2%), «Витаплан, КЖ + 0,1% салицилат хитозана (композиция)» (желтая ржавчина пшеницы, $БЭ_ж$=80,7%), «Витаплан, КЖ + коллоидный хитин (0,1%) + 0,1% Хитозан» и «0,1% салицилат хитозана» (септориоз, $БЭ_{сп}$=100%), биопрепарата «Гамаир, СП» (корневая гниль пшеницы, $БЭ_г$=77,8%). Наилучшими ростостимулирующими и защитными свойствами обладал полифункциональный комплекс «Витаплан, КЖ + 0,1% салицилат хитозана (глубинное культивирование)».

– Влагопоглощающей полимерной гидрогелевой композиции на основе акрилата калия, инновационных белковых гидролизатов, в том числе: в вариантах совместного применения, разработанных в университете ИТМО.

Использование аминокислотных белковых гидролизатов различного состава и молекулярной массы, в том числе с акриловым гидрогелем, способствует повышению урожайности пшеницы за счет разных показателей. При использовании белкового гидролизата, полученного из побочного сырья первичной переработки сельскохозяйственных животных, молекулярно-массовое распределение которого было представлено аминокислотами с преобладанием глицина и пептидов молекулярной массой от 200 до 1000 Да оно достигалось за счет ростстимулирующего действия на морфометрические показатели продуктивности пшеницы, а при использовани белкового гидролизата с молекулярной массой 700000 Да – за счет снижения пораженности растений особо опасными болезнями: корневой гнилью (0,5G:1RM – БЭг=83,3%), мучнистой росой (0,5G:1RM – БЭг=81,5%), желтой ржавчиной (1G:2RM – $БЭ_ж$=68,5%).

При анализе эффективности применения органо-минеральных удобрений и микроудобрений было установлено, что наряду с ростостимулирующим действием на растения, наибольшим защитным эффектом, в том числе в отношении развития мучнистой росы, обладали «ФлорГумат» ($БЭ_м$=79,2%), «Фитоп-Флора-С» ($БЭ_м$=64,0%) и «Зеребра агро» ($БЭ_м$=62,4%).

5. Построены математические модели, позволяющие в зависимости от агроэкологических условий возделывания пшеницы оценить возможность изменений в защитном и ростостимулирующем действии микробиологических препаратов («Витаплан, КЖ», «Витаплан, СП»), штаммов ассоциативных ризобактерий (*B. subtilis* В-2604D и *B. subtilis* В-2605D, *Bacillus subtilis* 124-11, *Sphingomonas* sp. K1B, *Pseudomonas fluorescens* SPB2137), органо-минеральных удобрений и микроудобрений («Зеребра агро», «ФлорГумат», «Фитоп-Флора-С»**).**

Согласно построеным математическим моделям было установлено, что эффективность штаммов бактерий *B. subtilis* ВКМ В-2604D и *B. subtilis* ВКМ В-2605D (ФГБНУ ВИЗР) в отношении продуктивности и развития особо

опасных болезней пшеницы в большей степени зависела от показателей влагообеспеченности вегетационного периода, в том числе суммы осадков в июне, ГТК в июле.

Эффективность бактериальных штаммов (*Bacillus subtilis* 124-11, *Sphingomonas* sp. K1B, *Pseudomonas fluorescens* SPB2137), полученных из ВНИИСХМ также определялась метеоусловиями периодов вегетации пшеницы. Возрастание суммы осадков в мае обуславливало существенное снижение величины относительного изменения потенциальной урожайности пшеницы с единицы площади (т/га) к контролю при применении на сорте Сударыня штаммов *Bacillus subtilis* 124-11: r=-0,98 и *Pseudomonas fluorescens* SPB2137: r=-0,97. В основном данная тенденция была вызвана снижением массы 1000 зерен с возрастанием данного метеопоказателя в указанных вариантах опыта (r=-0,97 и r=-0,95, соответственно).

Выявлены прямые корреляционные связи между относительным изменением развития бурой ржавчины к контролю при применении бактериальных штаммов и суммой температур в мае, июле; числом пятен на Солнце и числом Вольфа в июле; годовым числом пятен на Солнце.

Величина относительного изменения развития желтой ржавчины при применении бактериальных штаммов по сравнению с контролем увеличивалась с ростом суммы температур и относительной влажности воздуха в мае; суммы осадков и относительной влажности воздуха в июне; суммы температур и суммы осадков, ГТК, числа Вольфа в июле.

Пораженность мучнистой росой сортов пшеницы усиливалась по сравнению с контролем при применении бактериальных штаммов с уменьшением суммы температур и суммы осадков в мае; суммы температуры в июне и июле, числа пятен на Солнце и числа Вольфа в июле, годового числа пятен на Солнце.

Усилению развития корневой гнили в вариантах опыта с применением бактериальных штаммов способствовало возрастание суммы температур в

мае, июне и июле, а также рост числа пятен на Солнце и индекса Вольфа в июле.

Пораженность сортов пшеницы септориозом снижалась при применении бактериальных штаммов с увеличением относительной влажности воздуха в мае; суммы осадков и относительной влажности воздуха в июне и июле; ГТК июля и августа; суммы температур, суммы осадков и относительной влажности воздуха, числа пятен на Солнце, годового числа пятен на Солнце.

Метеорологические факторы также оказывали влияние на эффективность микроудобрений и органо-минеральных удобрений (2017-2021 гг.). В частности, с повышением суммы температур в июле эффективность препарата «Зеребра агро» в отношении бурой ржавчины пшеницы снижалась (по числу пустул – r=0,88 и площади пустулы – r=0,94), а желтой ржавчины по развитию болезни возрастала (r=-0,95). Кроме того, снижение относительной влажности в июне обуславливало рост степени поражения растений септориозом в варианте «Зеребра агро» (r= =- 0,96).

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

1. При разработке селекционно-иммунологических схем защиты зерновых культур от болезней в качестве перспективных доноров-устойчивости можно рекомендовать сорта и линии мягкой пшеницы резистентные к особо опасным болезням: *стеблевая ржавчина*: Cajeme, к-47108 (Мексика); *бурая ржавчина*: Памяти Леонтьева, к-65245 (РФ, Омская обл.); Памяти Майстренко, к-65448 (РФ, Омская обл.); Волхитка, к-65145; интрогрессивная линия ИТ-6, к-50852 (РФ, Ленинградская обл., LrTt1 и LrTt2), созданная в ВИР Н.А. Скурыгиной (1984) с привлечением вида *T. timopheevii*; Nainari S 60, к-45795 (Мексика, *Lr1,Lr3,Lr13, Lr23, Lr10, Lr34, Yr18, YrA*); Bacanora 88, к-64402 (Мексика, *Lr26, Lr34, Yr7,Yr9,Yr18, Sr31*); *желтая ржавчина*: Кубанка 2447, к-30734 (РФ, Чувашия); Самгау, к-65823 (Казахстан); *мучнистая роса*: пшенично-пырейная линия Пысар 29, к-54516 (РФ, Саратовская обл.); Novodvorska Niva,

к-38731 (Чехословакия); *инфекционное выпревание*: Бугда, к-34174 (Азербайджан); Северодонская 12, к-61971 (РФ, Ростовская обл.).

2. При управлении фитосанитарным состоянием агроценозов пшеницы посредством использования в защите растений признака вертикальной (специфической) устойчивости растений рекомендуется использовать генетические формы пшеницы – носители эффективных генов устойчивости *Yr5, Yr7, Yr10, Yr15, Yr18, Yr24, Yr26, Yr27, Yr32* (к желтой ржавчине) и *Lr19, Lr24, Lr29, Lr45* (к бурой ржавчине). При высоком содержании тяжелых металлов в почве и вероятности сильного поражения растений бурой ржавчиной, можно рекомендовать образцы, сочетающие несколько эффективных Lr-генов устойчивости со слабоэффективным геном *Lr34*. Данный ген устойчивости кодирует в линии Thatcher белок, аналогичный ABC-транспортерам, который участвуют в детоксикации, что способствует снижению коэффициента биологического накопления ряда токсичных элементов.

3. Подразделениям сигнализации и прогноза, занимающимся фитосанитарной диагностикой и экспертизой посевов зерновых культур, при построении системы многолетнего прогноза развития болезней, не рекомендовано ограничиваться данными учета болезней, полученными на единичных сортах с использованием только общепринятого показателя – условного развития болезни. Для повышения точности прогнозирования возможных рисков развития эпифитотий следует использовать многомерные модели патогенеза, основанные на применении комплекса общепринятых и расчетных фитопатологических и фитометрических показателей агробиоценоза, а также руководствоваться данными о доминирующих тенденциях в метеобусловленности указанных показателей на большой выборке сортов.

4. При возделывании мягкой пшеницы в агроэкологических условиях Северо-Запада Российской Федерации следует учитывать, что наиболее чувствительным к совокупному действию комплекса метеорологических факторов является показатель «высота растений». С повышением

среднемесячной температуры в мае может наблюдаться тенденция усиления поражения растений возбудителем бурой ржавчины в июле-августе. При этом развитие желтой ржавчины и мучнистой росы в указанные месяцы с повышением среднемесячной температуры в мае, напротив, может снижаться.

5. Данные по биологической эффективности бактериальных штаммов и лабораторных образцов, приведенных в работе, обладающих защитным и ростостимулирущим действием на мягкую пшеницу, могут быть использованы при создании препаративных форм биопрепаратов, в том числе жидких культур, суспензионных концентратов, и их государственной регистрации.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в Российских журналах из перечня ВАК и индексируемые в международных базах данных

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

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

Колесников, Л.Е. Моделирование эффективности штаммов *Bacillus subtilis* в зависимости от природно-климатических факторов при возделывании мягкой пшеницы/ Л.Е. Колесников, И.И. Новикова, В.А. Павлюшин, Е.В. Зуев, Ю.Р. Колесникова //Российская сельскохозяйственная наука. – 2023. – № 4. – С. 29-37. – DOI: 10.31857/S2500262723040063/ Kolesnikov, L.E. Modeling the effectiveness of *Bacillius subtilis* strains depending on natural and climatic factors in soft wheat cultivation / L.E. Kolesnikov, I.I. Novikova, V.A. Pavlyushin, E.V. Zuev, Yu.R. Kolesnikova //Russian Agricultural Sciences. – 2023. – V. 49. – № 5. – P. 488-500. – DOI: 10.3103/s1068367423050087

Новикова, И.И. Устойчивость к болезням, продуктивность и содержание фотосинтетических пигментов в листьях яровой мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) под влиянием полифункциональных биопрепаратов и комплексов на основе микроорганизмов и хитозана/ И.И. Новикова, Э.В. Попова, **Л.Е. Колесников**, Ю.Р. Колесникова, С.С. Чекурова //Сельскохозяйственная биология. – 2023. – Т. 58. – № 1. – С. 158-183. – DOI: 10.15389/agrobiology.2023.1.158rus

Колесников, Л.Е. Агроэкологическое варьирование продуктивности и поражаемости пшеницы болезнями: элементы и моделирование/ Л.Е. Колесников, В.А. Павлюшин, М.В. Архипов, Н.С. Прияткин, Ю.Р. Колесникова//Агрофизика. – 2022. – № 3. – С. 40-52. – DOI: 10.25695/AGRPH.2022.03.06 (RSCI)

Колесников, Л.Е. Применение хитозана в защите пшеницы от болезней и повышении урожайности/ Л.Е. Колесников, Э.В. Попова, И.И. Новикова, Ю.Р. Колесникова, Е.Д. Балагурова //Прикладная биохимия и микробиология. – 2022. – Т. 58. – № 3. – С. 294-301. – DOI: 10.31857/S0555109922030072/ Kolesnikov, L.E. Application of chitosan to protect wheat from diseases and boost yields/ L.E. Kolesnikov, E.D. Balagurova, E.V. Popova, I.I. Novikova, Y.R. Kolesnikova//Applied Biochemistry and Microbiology. – 2022. – V. 58. – № 3. – P. 329-335

Колесников, Л.Е. Фенотипическое проявление устойчивости пшеницы к бурой ржавчине: элементы и моделирование/Л.Е. Колесников, Е.К. Колесников, В.А. Павлюшин, С.В. Чернов, Ю.Р. Колесникова //Российская сельскохозяйственная наука. 2022. № 1. – С. 38-46. – DOI: 10.31857/ S2500262722010070/ Kolesnikov, L.E. Phenotypic expression of brown rust resistance in wheat: element modeling/ L.E. Kolesnikov, E.K. Kolesnikov, V.A. Pavlyushin, S.V. Chernov, Yu.R.Kolesnikova// Russian Agricultural Sciences. – 2022. – V.48. – № 2. – P. 103-114. – DOI: 10.3103/S1068367422020082

Колесников, Л.Е. Повышение урожайности зерновых культур и снижение вредоносности возбудителей болезней при использовании акрилового гидрогеля и белкового стимулятора роста /Л.Е. Колесников, М.В. Успенская, М.И. Кременевская, А.Г. Орлова, Е.В. Зуев, Ю.Р. Колесникова //Российская сельскохозяйственная наука. – 2021. – № 3. – С. 33-40. DOI: 10.31857/S2500262721030078 /Kolesnikov, L.E. Increase in the yield of cereals and decrease in the harmfulness of pathogens when using acrylic hydrogel and protein growth stimulant/ L.E. Kolesnikov, M.V. Uspenskaya, M.I. Kremenevskaya, A.G. Orlova, E.V. Zuev, Yu.R. Kolesnikova //Russian Agricultural Sciences. – 2021. – Т. 47. – № 4. – P. 377-385. – DOI: 10.3103/S1068367421040091

Kolesnikov, L.E. Biological rationale for the use of polyfunctional biological products based on antagonist microbes and chitosan in wheat cultivation/ L.E. Kolesnikov, D.Yu. Radishevsky, I.I. Novikova, E.V. Popova, Yu.R. Kolesnikova // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Сер. "Innovative Technologies in Agroindustrial, Forestry and Chemical Complexes and Environmental Management, ITAFCCEM 2021" 2021. – С. 012048.– DOI: 10.1088/1755-1315/852/1/012048

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. – 2021. – T. 19. – № 3. – P. 1530-1544. – DOI: 10.15159/AR.21.145

Kolesnikov, L.E. Influence of the structural and functional characteristics of the seeding material on the yield structure elements and resistance to leaf diseases of spring soft wheat / L.E. Kolesnikov, I.E. Razumova, D.Y. Radishevskiy, N.S. Priyatkin, M.V. Arkhipov, Y.R. Kolesnikova //Agronomy Research. – 2021. – V. 19. – № 4. – P. 1791-1812. – DOI: 10.15159/AR.21.152

Kolesnikov, L.E. The biological basis for the use of acrylic hydrogel and protein growth stimulant in the soft wheat and triticale cultivation / L.E. Kolesnikov, A.G. Orlova, I.E. Razumova, M.V. Uspenskaya, M.I. Kremenevskaya, Y.R. Kolesnikova //Agronomy Research. – 2021. – V. 19. – № 3. – P. 1545-1561. – DOI: 10.15159/AR.21.157

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

Колесников, Л.Е. Биологическое обоснование использования белкового стимулятора роста для повышения урожайности пшеницы и оценка качества зерна методами микрофокусной рентгенографии и оптического анализа /Л.Е. Колесников, И.И. Кременевская, Н.С. Прияткин, М.В. Архипов, М.В. Киселёв, Ю.Р. Колесникова, И.Е. Разумова //Российская сельскохозяйственная наука. – 2020. – № 3. – С. 21-27. – DOI: 10.31857/S2500262720030060/ Kolesnikov, L.E. The biological basis for the protein growth stimulant application for increasing the wheat yield and the assessment of grain quality by the microfocus x-ray and optical imaging techniques/ L.E. Kolesnikov, I.I. Kremenevskaya, N.S. Priyatkin, M.V. Arkhipov, M.V. Kiselev, Yu.R. Kolesnikova, I.E. Razumova // Russian Agricultural Sciences, 2020. – V. 46. – № 4. – P. 347–353. – DOI: 10.31857/S2500262720030060

Колесников, Л.Е. Влияние метеорологических факторов и солнечной активности на развитие возбудителей болезней мягкой пшеницы/ Л.Е.

Колесников, Ю.Р. Колесникова, А.А. Кеслина //Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2020. – № 61. – С. 49-59. – DOI: 10.24411/2078-1318-2020-14049

Kolesnikov, L.E. The biological basis for the use of protein growth stimulant made from cattle split for wheat foliar feeding and disease suppression / L.E. Kolesnikov, M.I. Kremenevskaya, I.E. Razumova, Y.R. Kolesnikova, E.V. Tambulatova, E.O. Yazeva //Agronomy Research. – 2020. – V. 18. – № 2. – C. 1336-1349. DOI: 10.15159/AR.20.082

Kolesnikov, L.E. The effectiveness of biopreparations in soft wheat cultivation and the quality assessment of the grain by the digital x-ray imaging/ L.E. Kolesnikov, M.D. Solodyannikov, I.I. Novikova, E.V. Popova, N.S. Priyatkin, E.V. Zuev, Y.R. Kolesnikova //Agronomy Research. –2020. – V. 18. –№ 4. – P. 2436-2448. – DOI: 10.15159/AR.20.206

Novikova, E.V. Biological effectiveness of polyfunctional biopreparations in soft wheat cultivation and assessment of crop quality based on NDVI index/ I.I. Novikova, E.V. Popova, **L.E. Kolesnikov**, N.S. Priyatkin, Y.R. Kolesnikova // BIO Web of Conferences 18 00021. –2020. – DOI: 10.1051/bioconf/20201800021

Колесников, Л.Е. Биологическое обоснование применения микроудобрений и органо-минеральных препаратов для внекорневой подкормки пшеницы / Л.Е. Колесников, С.П. Мельников, М.В. Киселёв, Е.В. Зуев, Т.А. Васильева //Российская сельскохозяйственная наука. – 2019. – № 1. – С. 12-15. DOI: 10.31857/S2500-26272019112-15/ Kolesnikov, L.E. Biological substantiation of application of microfertilizers and organomineral preparations for the foliar treatment of wheat /L.E. Kolesnikov, S.P. Melnikov, M.V. Kiselev, E.V. Zuev, T.A. Vasileva //Russian Agricultural Sciences. – 2019. – V. 45. – № 2. – C. 115-118

Колесников, Л.Е. Биологическая эффективность штаммов ассоциативных ризобактерий в посевах мягкой пшеницы / Л.Е. Колесников, А.А. Белимов, П.М. Донес //Известия Санкт-Петербургского

государственного аграрного университета. – 2019. – № 54. – С. 57-64. – DOI: 10.24411/2078-1318-2019-11057

Колесников, Л.Е. Выявление основных факторов, влияющих на структуру урожайности пшеницы и ее изменчивость в условиях Ленинградской области /Л.Е. Колесников, С.С. Чекурова, Ю.Р. Колесникова //Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2019. – № 55. – С. 22-28. – DOI: 10.24 411/2078-1318-2019-12022

Колесников, Л.Е. Совместное использование штаммов микроорганизмов и хитозановых комплексов для повышения урожайности пшеницы (*Triticum aestivum* L.)/ Л.Е. Колесников, Э.В. Попова, И.И. Новикова, Н.С. Прияткин, М.В. Архипов, Ю.Р. Колесникова, Н.Н. Потрахов, B. Van duijn, А.С. Гусаренко // Сельскохозяйственная биология. – 2019. – Т. 54. – № 5. – С. 1024-1040. – DOI: 10.15389/agrobiology.2019.5.1024rus

Белимов, А.А. Повышение урожайности яровой мягкой пшеницы и снижение вредоносности возбудителей болезней с помощью ассоциативных ризобактерий/ А.А. Белимов, **Л.Е. Колесников**, П.М. Донес //Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2018. – № 52. – С. 26-33.

Колесников, Л.Е. Влияние препаратов на основе гуминовых веществ и серебра на элементы продуктивности мягкой пшеницы/ Л.Е. Колесников, С.П. Мельников, Т.А. Васильева //Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2018. – № 51. – С. 75-84.

Колесников, Л.Е. Масс-спектральный анализ содержания некоторых химических элементов во флаговых листьях у изогенных линий пшеницы (*Triticum aestivum* L.) с различной устойчивостью к бурой ржавчине / Л.Е. Колесников, О.И. Бурова, Ю.Р. Колесникова, А.В. Лаврищев, М.Н. Павлова //Сельскохозяйственная биология. – 2018. –Т. 53. – № 1. – С. 72-84. DOI: 10.15389/agrobiology.2018.1.72rus

Колесников, Л.Е. Оценка эффективности совместного применения хитозана и микробов-антагонистов в защите яровой мягкой пшеницы от

болезней с использованием спектрометрического анализа/ Л.Е. Колесников, И.И. Новикова, В.Г. Сурин, Э.В. Попова, Н.С. Прияткин, Ю.Р. Колесникова //Прикладная биохимия и микробиология. – 2018. – Т. 54. – № 5. – С. 546-552. – DOI: 10.1134/S0555109918050082 / Kolesnikov, L.E. Estimation of the efficiency of the combined application of chitosan and microbial antagonists for the protection of spring soft wheat from diseases by spectrometric analysis/ L.E. Kolesnikov, I.I. Novikova, E.V. Popova, V.G. Surin, N.S. Priyatkin, Y.R. Kolesnikova //Applied Biochemistry and Microbiology. – 2018. – V. 54. – № 5. – P. 540-546. – DOI: 10.1134/S0003683818050083

Кременевская, М.И. Влияние белкового стимулятора из спилка крупного рогатого скота на элементы продуктивности пшеницы и интенсивность развития болезней /М.И. Кременевская, **Л.Е. Колесников**, И.Е. Разумова //Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2018. – № 53. – С. 80-87. DOI: 10.24411/2078-1318-2018-14080

Колесников, Л.Е. Биологическое обоснование совместного использования микробов-антагонистов и хитозановых комплексов в защите яровой мягкой пшеницы от корневой гнили и листовых пятнистостей/ Л.Е. Колесников, И.И. Новикова, Э.В. Попова, Н.С. Прияткин, Ю.Р. Колесникова //Вестник защиты растений. – 2017. – № 2 (92). – С. 28-35.

Колесников, Л.Е. Использование информационных технологий в анализе фитосанитарного состояния агроценозов/ Л.Е. Колесников// Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2017. – № 49. – С. 56-63.

Попова, Э.В. Биологическая активность хитозана с разной молекулярной массой/ Э.В. Попова, Н.М. Коваленко, С.Л. Тютерев, Н.С. Домнина, **Л.Е. Колесников**, Е.А. Борисова // Вестник защиты растений. – 2017. – № 3 (93). – С. 28-33.

Архипов, М.В. Прогнозирование урожайности и устойчивости к болезням мягкой пшеницы с использованием методов интроскопического анализа зерна / М.В. Архипов, Н.С. Прияткин, **Л.Е. Колесников** //Известия

Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2016. – № 44. – С. 21-27.

Мельников, С.П**.** Влияние препаратов на основе гуминовых веществ и серебра на элементы структуры урожайности и устойчивость яровой мягкой пшеницы к болезням/ С.П**.** Мельников**, Л.Е. Колесников**, А.Н. Базыкина //Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2016. – № 43. – С. 67-75.

Колесников, Л.Е. Определение устойчивости яровой мягкой пшеницы к возбудителю мучнистой росы спектрометрическим методом/ Л.Е. Колесников, В.Г. Сурин, Ю.Р. Колесникова //Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2015. – № 38. – С. 33-39.

Колесников, Л.Е. Применение спектрометрического анализа при оценке адаптивного потенциала мягкой пшеницы к условиям северо-западного региона РФ/ Л.Е. Колесников, В.Г. Сурин, М.В. Киселев, Ю.Р. Колесникова //Вестник Санкт-Петербургского университета. – Серия 3. – Биология. – 2015. – № 2. – С. 78-89.

Колесников, Л.Е. Биохимический состав зерна у устойчивых и восприимчивых к бурой ржавчине сортов яровой мягкой пшеницы / Л.Е. Колесников, М.Н. Павлова, Ю.Р. Колесникова //Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2014. – № 36. – С. 46-49.

Колесников, Л.Е. Биохимический состав листьев устойчивых и восприимчивых к бурой ржавчине сортов яровой мягкой пшеницы/ Л.Е. Колесников, О.Н. Танюхина, О.И. Бурова //Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2014. – № 37. – С. 48-52.

Колесников, Л.Е. Агробиологические особенности устойчивости пшеницы к возбудителю бурой ржавчины в условиях Северо-Западного региона РФ/ Л.Е. Колесников, Е.В. Зуев, Ю.Р. Колесникова //Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. – 2011. – № 5. – С. 23-27/ Kolesnikov, L.E. Agrobiological characteristics of leaf rust resistance in wheat

under conditions of the orthwestern region of the russian federation/ L.E. Kolesnikov, E.V. Zuev, Yu.R. Kolesnikova // Russian Agricultural Sciences. – 2011. – V. 37. – № 5. – P. 395-399

Колесников, Л.Е. Мониторинг развития септориоза на мягкой пшенице различного происхождения/ Л.Е. Колесников, Э.А. Власова, Ю.Р. Колесникова //Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. – 2010. – № 1. – С. 16-18/ Kolesnikov, L.E. Monitoring the Development of Leaf Blotch on Soft Wheat of Various Provenance/ L.E. Kolesnikov, E.A. Vlasova, Yu. R. Kolesnikova// Russian Agricultural Sciences. 2010. V. 36. №1. P. 18–21

Колесников, Л.Е. Устойчивость изогенных линий Thatcher с Lr-генами к возбудителю бурой ржавчины пшеницы в условиях Северо-Запада России / Л.Е. Колесников, Э.А. Власова, Ю.Р. Колесникова //Сельскохозяйственная биология. – 2010. – Т. 45. – № 3. – С. 82-87

Колесников, Л.Е. Устойчивость яровой мягкой пшеницы к возбудителю стеблевой ржавчины/ Л.Е. Колесников**,** Е.В. Зуев, Ю.Р. Колесникова // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2013. – № 32. – С. 39-44.

Зуев, Е.В. Анализ коллекции яровой мягкой пшеницы по селекционно-ценным признакам и устойчивости к болезням в условиях Северо-Запада РФ/ Е.В. Зуев, **Л.Е**. **Колесников**, Ю.Р. Колесникова //Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2012. – № 28. – С. 37-42.

Колесников, Л.Е. Влияние возбудителей болезней листьев на урожайность и экономическую эффективность возделывания яровой пшеницы/ Л.Е. Колесников, М.Н. Павлова, К.В. Рыхлова //Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2012. – № 29. – С. 19-23.

Колесникова, Ю.Р. Продуктивность яровой мягкой пшеницы и ее ограничение возбудителями болезней листьев/ Ю.Р. Колесникова, **Л.Е.**

Колесников //Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2012. – № 27. – С. 60-67.

Колесников, Л.Е. Анализ и прогноз развития инфекционного выпревания на сортах и линиях мягкой пшеницы в Северо-Западном регионе РФ / Л.Е. Колесников, Ю.Р. Колесникова //Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2010. – № 19. – С. 47-54.

Колесников, Л.Е. Влияние природно-климатических факторов на динамику патогенеза возбудителей болезней пшеницы/ Л.Е. Колесников, Э.А. Власова, Ю.Р. Колесникова //Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. – 2009. – № 2. – С. 19-22/ Kolesnikov L.E. Effect of natural climatic factors on the dynamics of pathogenesis of wheat disease pathogens/ L.E. Kolesnikov, E.A. Vlasova, Yu.R. Kolesnikova // Russian Agricultural Sciences. – 2009. – V. 35. – № 2. – P. 90-93.

Колесников, Л.Е. Динамика развития возбудителя бурой ржавчины на сортах мягкой пшеницы с идентифицированными Lr-генами/ Л.Е. Колесников, Э.А. Власова, Ю.Р. Колесникова //Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2009. – № 13. – С. 30-33.

Колесников, Л.Е. Многомерный анализ патогенеза видов ржавчины, септориоза, мучнистой росы на мягкой пшенице различного географического происхождения / Л.Е. Колесников, Ю.Р. Колесникова //Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2009. – № 14. – С. 59-63.

Колесников, Л.Е. Развитие септориоза на коллекционных образцах мягкой пшеницы/ Л.Е. Колесников, Э.А. Власова, А.А. Виноградов //Сельскохозяйственная биология. – 2009. – Т. 44. – № 5. – С. 90-93.

Колесников, Л.Е. Имитационное моделирование уредостадии возбудителя бурой ржавчины пшеницы /Л.Е. Колесников, Е.К. Колесников, Э.А. Власова, Ю.Р. Колесникова //Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2008. – № 10. – С. 47-50.

Колесников, Л.Е. Мониторинг развития возбудителя бурой ржавчины на образцах мягкой пшеницы/ Л.Е. Колесников, Э.А. Власова, Ю.Р. Саблина // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. – 2008. – № 4. – С. 18-21 / Kolesnikov, L.E. Monitoring the Development of Leaf Rust Pathogen on Common Wheat Specimens/ L.E. Kolesnikov, E.A. Vlasova, Yu. R. Sablina // Russian Agricultural Sciences. – 2008. – V. 34. – № 4. –P. 230–233

Колесников, Л.Е. Фитопатологические аспекты развития основных возбудителей болезней пшеницы /Л.Е. Колесников**,** Э.А. Власова, Ю.Р. Колесникова //Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2008. – № 8. – С. 25-28.

Власова, Э.А. Сопоставление параметров патогенеза возбудителей желтой и бурой ржавчины пшеницы с помощью теоретических и визуально-лабораторных методов/ Э.А. Власова, **Л.Е. Колесников**, Ю.Р. Саблина //Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2007. – № 4. – С. 22-29.

Колесников, Л.Е. Развитие возбудителя бурой ржавчины на образцах мягкой пшеницы из коллекции ВНИИР им. Н.И. Вавилова/ Л.Е. Колесников, Э.А. Власова //Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2006. – № 3. – С. 90-93.

Колесников, Л.Е. Динамика развития бурой ржавчины пшеницы на линиях Thatcher / Л.Е. Колесников, Э.А. Власова // Микология и фитопатология. – 2003. – Т. 37. – № 1. – С. 87-91

Власова, Э.А. Многомерное параметрирование патогенеза бурой ржавчины пшеницы на сортах и линиях Thatcher/ Э.А. Власова, **Л.Е. Колесников** //Микология и фитопатология. – 2002. – Т. 36. – № 6. – С. 86-92

Публикации в журналах, материалах научных конференций, съездов

Колесников, Л.Е. Модели управления фитосанитарным состоянием агроценозов пшеницы на Северо-Западе РФ/Л.Е. Колесников, В.А. Павлюшин, И.И. Новикова, Ю.Р. Колесникова, М.Д. Солодянников// V Всероссийский

конгресс по защите растений. Сборник тезисов докладов (Санкт-Петербург, 16-19 апреля, 2024 г.). – СПб.: ФГБНУ ВИЗР. – 2024. – С. 210

Колесников, Л.Е. Предпосевная обработка семян полупроводниковым лазерным излучением для оптимизации фитосанитарного состояния и повышения продуктивности мягкой пшеницы / Л.Е. Колесников, Д.Ю. Радишевский, М.И. Фокина, М.В. Архипов, Ю.Р. Колесникова, Г.Г.Р. Яхъяев// V Всероссийский конгресс по защите растений. Сборник тезисов докладов (Санкт-Петербург, 16-19 апреля, 2024 г.). – СПб.: ФГБНУ ВИЗР. – 2024. – С. 273

Новикова, И.И. Перспективы использования штамма *Bacillus subtilis* И-5 и его сочетаний с салицилатом хитозана в качестве основы нового полифункционального биопрепарата для защиты сельскохозяйственных культур от болезней и повышения урожайности//И.И. Новикова, Э.В. Попова, И.Л. Краснобаева, **Л.Е. Колесников** // V Всероссийский конгресс по защите растений. Сборник тезисов докладов (Санкт-Петербург, 16-19 апреля, 2024 г.). – СПб.: ФГБНУ ВИЗР. – 2024. – С. 216

Черникова, Н.В. Влияние нового природного штамма *Bacillus velezensis* на продуктивность и поражаемость мягкой пшеницы болезнями /Н.В. Черникова, **Л.Е. Колесников**, Г.Ю. Лаптев, Ю.Р. Колесникова // V Всероссийский конгресс по защите растений. Сборник тезисов докладов (Санкт-Петербург, 16-19 апреля, 2024 г.). – СПб.: ФГБНУ ВИЗР. – 2024. – С. 234

Kolesnikov, L.E. The effectiveness of the combined use of polymer hydrogel with protein hydrolysates of various composition and molecular weight in relation to wheat productivity and disease susceptibility/ L.E. Kolesnikov, M.I. Kremenevskaya, M.V. Uspenskaya, Y.R. Kolesnikova, F. Adkhamov, V.S. Varik // Proceedings of the 2nd International Online Conference on Agriculture, 1–15 November 2023, MDPI. – Basel, Switzerland. – DOI:10.3390/IOCAG2023-17334

Колесников, Л.Е. Агроэкологическое варьирование продуктивности и устойчивости пшеницы к болезням: элементы и моделирование /Л.Е.

Колесников, В.А. Павлюшин, М.В. Архипов, Н.С. Прияткин, Ю.Р. Колесникова // Агрофизический институт: 90 лет на службе земледелия и растениеводства. Материалы международной научной конференции (Санкт-Петербург, ФГБНУ АФИ, 14-15 апреля 2022 г.). – СПб.: ФГБНУ АФИ – 2022. – С. 410-416.

Прияткин, Н.С. Программное обеспечение для обработки и анализа цифровых рентгеновских изображений семян/ Н.С. Прияткин, П.А. Щукина, **Л.Е. Колесников** //Научное обеспечение развития АПК в условиях импортозамещения: материалы международной научно-практической конференции «Приоритеты развития АПК в условиях цифровизации и структурных изменений национальной экономики» (Санкт-Петербург - Пушкин, 25-27 мая 2022 г.) – СПб.: СПбГАУ. – С. 60-62.

Кременевская, М.И. Применение белкового гидролизата, полученного методом глубокой переработки мясного сырья, для внекорневой подкормки мягкой пшеницы и снижения интенсивности развития болезней/ М.И. Кременевская, **Л.Е. Колесников**, Ю.Р. Колесникова, Ф.С.У. Адхамов, М.М. Ткачева, Д.С. Минаков //Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств. – 2022. – № 2 (52). – С. 40-56. – DOI: 10.17586/2310-1164-2022-15-2-40-56

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): материалы III международной научной конференции (Санкт-Петербург, 19-24 апреля 2021 г.). – СПб. – 2021. – С. 158-159.

Колесников, Л.Е. Обоснование использования органоминеральных удобрений и продуктов глубокой переработки мясной отрасли при возделывании мягкой пшеницы / Л.Е. Колесников, М.И. Кременевская, С.П. Мельников, Ю.Р. Колесникова, И.Е. Разумова, Е.О. Язева, О.Н. Бисюкова

//Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств. – 2020. – № 1 (43). – С. 57-66. – DOI: 10.17586/2310-1164-2020-10-1-57-66

Новикова, И.И. Эффективность полифункциональных биопрепаратов при возделывании мягкой пшеницы и оценка качества посевов на основе вегетационного индекса NDVI / И.И. Новикова, Э.В. Попова, **Л.Е. Колесников**, Н.С. Прияткин //IV всероссийский съезд по защите растений с международным участием «Фитосанитарные технологии в обеспечении независимости и конкурентоспособности АПК России». Сборник тезисов докладов (Санкт-Петербург, 09–11 сентября 2019 г.) – 2019. – С. 146.

Борисова, Е.А. Биологическая эффективность хитозана, модифицированного салициловой кислотой, в защите пшеницы от темно-бурой пятнистости/ Е.А. Борисова, Н.М. Коваленко, Э.В. Попова, **Л.Е. Колесников**//Роль молодых ученых в решении актуальных задач АПК. Сборник по материалам международной научно-практической конференции молодых учёных (Санкт-Петербург-Пушкин, 1–02 марта 2018 года). – 2018. – С. 8-10.

Коваленко, Н.М. Биологическая эффективность хитозан-салицилата в защите пшеницы от бурой ржавчины и темно-бурой пятнистости//FOODLIFE 2018/ Н.М. Коваленко, **Л.Е. Колесников**, Е.А. Борисова, Э.В. Попова, Н.С. Домнина // Генетические ресурсы растений и здоровое питание: потенциал зерновых культур. Материалы 1-ой международной конференции (Санкт-Петербург, 18-20 апреля 2018 г.). – 2018. – С. 107.

Колесников, Л.Е. Влияние микроудобрений и органо-минеральных препаратов на элементы продуктивности мягкой пшеницы/ Л.Е. Колесников, С.П. Мельников, М.В. Киселёв, Т.А. Васильева, И.Е. Разумова // Качественный рост российского агропромышленного комплекса: возможности, проблемы и перспективы. Материалы деловой программы XXVII международной агропромышленной выставки «Агрорусь – 2018» (Санкт-Петербург, 21–24 августа 2018 г.). – 2018. – С. 97-100.

Колесников, Л.Е. Совершенствование приемов биологической и фитоиммунологической защиты пшеницы для оптимизации фитосанитарного состояния агроценозов с использованием инструментальных методов агрофизики / Л.Е. Колесников, И.И. Новикова, Э.В. Попова, А.А. Белимов, Н.С. Прияткин, Ю.Р. Колесникова // Современные технологии и средства защиты растений – платформа для инновационного освоения в АПК России. Материалы международной научно-практической конференции (Санкт-Петербург, 8–12 октября 2018 г.). – 2018. – С. 87-88.

Кременевская, М.И. Влияние белкового стимулятора из спилка крупного рогатого скота на продуктивность пшеницы и развитие болезней листьев/ М.И. Кременевская, О.А. Соснина, **Л.Е. Колесников**, Н.С. Прияткин, В.В. Богомолов // Качественный рост российского агропромышленного комплекса: возможности, проблемы и перспективы. Материалы деловой программы XXVII международной агропромышленной выставки «Агрорусь-2018» (Санкт-Петербург, 21–24 августа 2018). – 2018. – С. 110-114.

Новикова, И.И. Влияние полифункциональных биопрепаратов на продуктивность пшеницы / И.И. Новикова, **Л.Е. Колесников**, Э.В. Попова // Современные технологии и средства защиты растений – платформа для инновационного освоения в АПК России: международная научно-практическая конференция (Санкт-Петербург, 8–12 октября 2018 г). – 2018. – С. 113-114.

Новикова, И.И. Применение микробов-антагонистов и хитозановых составов для оптимизации фитосанитарного состояния посевов яровой мягкой пшеницы / И.И. Новикова, Э.В. Попова, **Л.Е. Колесников**, Н.С. Прияткин, Н.Р. Борисова //Научное обеспечение развития АПК в условиях импортозамещения. Сборник научных трудов. – Часть I – СПб. – 2018. – С. 70-75.

Попова, Э.В. Производные хитозана с регулируемыми иммуномодулирующими свойствами/ Э.В. Попова, Н.С. Домнина, **Л.Е. Колесников**, Н.М. Коваленко //Научное обеспечение развития АПК в

условиях импортозамещения. Сборник научных трудов. – Часть I – СПб. – 2018. – С. 62-67

Колесников, Л.Е. Экспресс-методы прогнозирования урожайности и оценки устойчивости сортов пшеницы к болезням / Л.Е. Колесников, Н.С. Прияткин, П.М. Донес, А.С. Гусаренко, И.П. Давлатов // Роль молодых ученых в решении актуальных задач АПК. Сборник научных трудов международной научно-практической конференции молодых учёных (Санкт-Петербург-Пушкин, 27–28 февраля 2017 г.) – 2017. – С. 43-45.

Прияткин, Н.С. Интроскопический анализ зерна при оценке эффективности стимулирующих обработок посевов пшеницы/ Н.С. Прияткин, **Л.Е. Колесников**, Н.Р. Борисова // Научное обеспечение развития АПК в условиях импортозамещения. Сборник научных трудов международной научно-практической конференции профессорско-преподавательского состава «Научное обеспечение развития сельского хозяйства и снижение технологических рисков в продовольственной сфере» (26–28 января 2017 г.) – 2017. – С. 114-117.

Гусаренко, А.С. Определение причинно-следственных связей между хозяйственно-ценными признаками яровой мягкой пшеницы, элементным составом зерна пшеницы и спектрометрическими характеристиками / А.С. Гусаренко, **Л.Е. Колесников** //Научный поиск-3. Сборник научных трудов магистрантов. – СПб.: СПбГАУ – 2016. – С. 60-64.

Жемякин, С.В. Использование современных микробиологических препаратов в органическом земледелии/ С.В. Жемякин, **Л.Е. Колесников**, П.М. Донес // Научное обеспечение развития АПК в условиях импортозамещения. Сборник научных трудов международной научно-практической конференции профессорско-преподавательского состава (Санкт-Петербург-Пушкин, 28–30 января 2016 г.). – Том Часть I. – СПб.: СПбГАУ – 2016. – С. 78-81.

Колесников, Л.Е. Элементный состав изогенных линий Thatcher - носителей Lr-генов устойчивости к бурой ржавчине пшеницы/ Л.Е.

Колесников, О.И. Бурова, О.Н. Танюхина, Ю.Р. Колесникова // Научное обеспечение развития АПК в условиях импортозамещения. Сборник научных трудов международной научно-практической конференции профессорско-преподавательского состава (Санкт-Петербург-Пушкин, 28–30 января 2016 г.). – Часть I. – СПб.: СПбГАУ. – 2016. – С. 81-84.

Мельников, С.П. Определение эффективности препаратов на основе гуминовых веществ и серебра в отношении урожайности мягкой пшеницы и интенсивности ее поражения болезнями / С.П. Мельников, Л.Е. Колесников // Сельское хозяйство – драйвер российской экономики (для обсуждения и выработки решений). Международный конгресс в рамках международной агропромышленной выставки-ярмарки "Агрорусь-2016" (Санкт-Петербург, 30 августа – 4 сентября 2016 г.) – 2016. – С. 102-103.

Прияткин, Н.С. Методика комплексной оценки эффективности влияния различных стимулирующих обработок вегетирующих растений на качество семенного материала с использованием технологий интроскопического анализа/ Н.С. Прияткин, **Л.Е. Колесников**, М.В. Архипов, Л.П. Гусакова, Н.Р. Борисова //Неделя науки СПбПУ. Материалы научной конференции с международным участием. Высшая школа биотехнологии и пищевых технологий (Санкт-Петербург, 14–19 ноября 2016 г.). – 2016. – С. 92-94.

Прияткин, Н.С. Моделирование влияния структурно-функциональных характеристик посевного материала на элементы структуры урожайности яровой мягкой пшеницы/ Н.С. Прияткин, **Л.Е. Колесников**, Л.П. Гусакова, Е.В. Зуев, М.В. Архипов // Годичное собрание общества физиологов растений России. Сигнальные системы растений: от рецептора до ответной реакции организма: конференция с международным участием и школа молодых ученых (Санкт-Петербург, 21–24 июня 2016 г.). – СПб. – 2016. – С. 86-87.

Колесников, Л.Е. Анализ факторов, влияющих на развитие возбудителя мучнистой росы яровой мягкой пшеницы и оценка вредоносности болезни/ Л.Е. Колесников // Современные проблемы сельскохозяйственных наук в

мире. Сборник научных трудов по итогам международной научно-практической конференции (Казань, 8 июня 2015 г.). – № 2. – 2015. – С. 18-21.

Колесников, Л.Е. Антиоксидантная активность яровой мягкой пшеницы и ее связь с урожайностью и устойчивостью к болезням/ Л.Е. Колесников, Я.С. Шапиро, Ю.Р. Колесникова, В.Г. Сурин, В.М. Шапкин //Агроэкология. – 2015. – Т. 4. – № 4 (6). – С. 10-17.

Колесников, Л.Е. Влияние интенсивности поражения листьев яровой мягкой пшеницы возбудителями болезней на элементы структуры урожая/ Л.Е. Колесников//Сельскохозяйственные науки и агропромышленный комплекс на рубеже веков. – СПб.: СПбГАУ – 2015. – № 10. – С. 107-111.

Сурин, В.Г. Анализ структуры урожайности и устойчивости сортов яровой мягкой пшеницы к болезням оптическим методом/ В.Г. Сурин, **Л.Е. Колесников**, Ю.Р. Колесникова // Научное обеспечение развития АПК в условиях реформирования: материалы научно-практической конференции профессорско-преподавательского состава (Санкт-Петербург, 29–31 января 2015 г.). –Часть I. – СПб.: СПбГАУ. – 2015. – С. 108-109.

Колесников, Л.Е. Влияние агроэкологических факторов на развитие возбудителей болезней зерновых культур/ Л.Е. Колесников, Ю.Р. Колесникова // Векторы развития современной науки. Материалы Международной научно-практической конференции (Уфа, 20–21 января 2014 г.). – Часть II. – 2014. – С. 51-56.

Колесников, Л.Е. Влияние листовых инфекций на элементы структуры урожайности яровой мягкой пшеницы в условиях Северо-Запада РФ/ Л.Е. Колесников, Е.В. Зуев, Ю.Р. Колесникова, М.Н. Павлова, К.В. Рыхлова, С.С. Белов // Научное обеспечение развития АПК в условиях реформирования. Сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции профессорско-преподавательского состава (Санкт-Петербург-Пушкин, 23–25 января 2014 г.) – Часть 1. – СПб.: СПбГАУ. – 2014. – С. 66-68.

Колесников, Л.Е. Выявление зависимостей интенсивности развития болезней листьев от элементного состава яровой мягкой пшеницы/ Л.Е. Колесников, О.Н. Танюхина, А.И. Дрижаченко, С.С. Белов // Глобализация и развитие агропромышленного комплекса России. Сборник научных трудов международной научно-практической конференции, посвященной 110-летию Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. Министерство сельского хозяйства РФ (Санкт-Петербург, 17–18 октября 2014 года). – СПб.: СПбГАУ. – 2014. – С. 15-17.

Колесников, Л.Е. Элементарный состав зерна у устойчивых и восприимчивых к болезням сортов яровой мягкой пшеницы / Л.Е. Колесников, Е.В. Зуев // Перспективы инновационного развития агропромышленного комплекса и сельских территорий. Материалы международного конгресса «Агрорусь» (Санкт-Петербург, 25–29 августа 2014 года). – 2014. – С. 124-125.

Сурин, В.Г. Спектрометрические приборы и оптические методы в прикладных задачах природопользования / В.Г. Сурин, **Л.Е. Колесников**, Ю.Р. Колесникова // Глобализация и развитие агропромышленного комплекса России. сборник научных трудов международной научно-практической конференции, посвященной 110-летию Санкт-Петербургскому государственному аграрному университету (Санкт-Петербург, 17–18 октября 2014 г.) – СПб.: СПбГАУ. – 2014. – С. 34-35.

Колесников, Л.Е. Влияние листовых инфекций яровой мягкой пшеницы предшествующего года на элементы структуры урожая и устойчивость к болезням/ Л.Е. Колесников, Е.В. Зуев, Ю.Р. Колесникова, М.Н. Павлова, К.В. Рыхлова, С.С. Белов //Перспективы развития агропромышленного комплекса России в условиях членства в ВТО. Международный агропромышленный конгресс: материалы для обсуждения. – СПб: ЭкспоФорум. – 2013. – С. 198-199.

Колесников, Л.Е. Развитие желтой ржавчины на яровой мягкой пшенице различного происхождения и анализ вредоносности болезни/ Л.Е. Колесников, Е.В. Зуев, М.Н. Павлова, Ю.Р. Колесникова, К.В. Рыхлова //

Перспективы развития агропромышленного комплекса России в условиях членства в ВТО. Международный агропромышленный конгресс: материалы для обсуждения. – СПб: ЭкспоФорум. – 2013. – С. 196-197.

Колесников, Л.Е. Фитосанитарное состояние посевов мягкой пшеницы в условиях Северо-Запада России / Л.Е. Колесников, Е.В. Зуев, Ю.Р. Колесникова, М.И. Павлова, К.В. Рыхлова, С.С. Белов // Фитосанитарная оптимизация агроэкосистем. Материалы III Всероссийского съезда по защите растений (16–20 декабря 2013 г.) – Т. 1 – 2013. – С. 409-411.

Поздняков, В.А. Теоретические аспекты толерантности растений к патогенам/ В.А. Поздняков, А.В. Поздняков, **Л.Е. Колесников**, А.И. Дрижаченко // Научное обеспечение развития АПК в условиях реформирования: материалы научной конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов (Санкт-Петербург, 26–28 января 2012 г.). – СПб.: СПбГАУ. – 2012. – С. 120-123.

Исаев, А.В. Фитосанитарный мониторинг сортов мягкой пшеницы по устойчивости к возбудителю бурой ржавчины пшеницы / А.В. Исаев, И.А. Яскин, **Л.Е. Колесников** // Вестник Студенческого научного общества. – 2010. – № 1. – С. 171-174.

Колесников, Л.Е. Влияние природно-климатических факторов на патогенез мучнистой росы пшеницы / Л.Е. Колесников, К.В. Рыхлова, Ю.Р. Колесникова// Вавиловские чтения – 2010. Материалы Международной научно-практической конференции (Саратов, 25–26 ноября 2010 г.). – Т.1 – 2010. – С. 220-221.

Колесников, Л.Е. Определение числа спор в пустуле возбудителя бурой ржавчины на сортах мягкой пшеницы с идентифицированными Lr-генами / Л.Е. Колесников, Э.А. Власова // Научное обеспечение развития АПК в условиях реформирования: материалы научной конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов СПбГАУ (Санкт-Петербург, 28–29 января 2010 г.). – 2010. – С. 65-69.

Колесников, Л.Е. Устойчивость генетического разнообразия р. *Triticum* L. к основным возбудителям болезней в Северо-Западном регионе РФ / Л.Е. Колесников, Э.А. Власова, Ю.Р. Колесникова // Пятая международная научная конференция Ирана и России по проблемам развития сельского хозяйства (Санкт-Петербург, 8–9 октября 2009 года). – 2010. – С. 342-344.

Колесников, Л.Е. Фитосанитарный мониторинг мягкой пшеницы по устойчивости к возбудителю желтой ржавчины// Л.Е. Колесников, М.Н. Павлова, Ю.Р. Колесникова // Внедрение экологически безопасных технологий комплексной защиты растений. Материалы Международной научно-практической конференции (Саратов, 1 января – 31 декабря 2010 г.). – 2010. – С. 50-53.

Мороз, С.И. Многомерный анализ патогенеза бурой ржавчины на образцах пшеницы, защищенных Lr-генами / С.И. Мороз, **Л.Е. Колесников**, Ю.Р. Колесникова // Вестник Студенческого научного общества. – 2010. – № 1. – С. 151-153.

Колесников, Л.Е. Мониторинг, моделирование и прогноз развития основных возбудителей болезней пшеницы в Северо-Западном регионе РФ / Л.Е. Колесников, Э.А. Власова, Ю.Р. Колесникова, К.А. Фунтов // Тезисы докладов 5-ой Международной научной конференции Ирана и России по проблемам развития сельского хозяйства (СПб, 8-9 октября 2009). – СПб.: СПбГАУ. – 2009. – С. 132-134.

Колесников, Л.Е. Развитие возбудителя бурой ржавчины на гибридах пшеницы различного происхождения / Л.Е. Колесников, Э.А. Власова, Ю.Р. Колесникова, К.А. Фунтов // Научное обеспечение развития АПК в условиях реформирования. Сборник научных трудов: материалы научной конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов СПбГАУ (Санкт-Петербург, 29–30 января 2009 года). Министерство сельского хозяйства Российской Федерации. – СПб.: СПбГАУ. – 2009. – С. 95-98.

Власова, Э.А. Особенности патогенеза желтой ржавчины на видах р. *Triticum* L. и его сопряженность с биолого-географическими характеристиками растений-хозяев / Э.А. Власова, Ю.Р. Колесникова, **Л.Е. Колесников** // Научное обеспечение развития АПК в условиях реформирования. Сборник научных трудов: материалы научной конференции (Санкт-Петербург, 01 января – 31 декабря 2008 года). Министерство сельского хозяйства Российской Федерации, – СПб.: СПбГАУ. – 2008. – С. 56-60.

Колесников, Л.Е. Мониторинг развития и распространенности возбудителя бурой ржавчины на образцах мягкой пшеницы / Л.Е. Колесников // Научное обеспечение развития АПК в условиях реформирования. Сборник научных трудов: материалы научной конференции (Санкт-Петербург, 01 января – 31 декабря 2008 года). Министерство сельского хозяйства Российской Федерации. – СПб.: СПбГАУ. – 2008. – С. 51-56.

Колесников, Л.Е. Устойчивость образцов мягкой пшеницы к возбудителю мучнистой росы / Л.Е. Колесников, Ю.Р. Колесникова // Научное обеспечение развития АПК в условиях реформирования. Сборник научных трудов: материалы научной конференции (Санкт-Петербург, 01 января – 31 декабря 2008 года). Министерство сельского хозяйства Российской Федерации. – СПб.: СПбГАУ. – 2008. – С. 60-65.

Колесникова, Ю.Р. Мониторинг патогенеза желтой ржавчины на видовом разнообразии р. *Triticum* L./ Ю.Р. Колесникова, Э.А. Власова, **Л.Е. Колесников** // Современные проблемы иммунитета растений к вредным организмам. Сборник научных трудов: материалы Второй Всероссийской конференции «Современные проблемы иммунитета растений к вредным организмам» (Санкт-Петербург, 29 сентября – 02 октября 2008 года). – СПб: ВИЗР. – 2008. – С. 57-60.

Колесников, Л.Е. Мониторинг развития возбудителя мучнистой росы на образцах мягкой пшеницы / Л.Е. Колесников, Э.А. Власова // Научное обеспечение развития АПК в условиях реформирования. Сборник научных трудов научной конференции профессорско-преподавательского состава,

научных сотрудников и аспирантов (Санкт-Петербург, 07–09 февраля 2007 года). – СПб.: СПбГАУ. – 2007. – С. 71-80.

Колесников, Л.Е. Устойчивость сортов и линий яровой пшеницы к возбудителю бурой ржавчины / Л.Е. Колесников // Научное обеспечение развития АПК в условиях реформирования. Сборник научных трудов научной конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов (Санкт-Петербург, 07–09 февраля 2007 года). – СПб.: СПбГАУ. – 2007. – С. 62-71.

Колесников, Л.Е. Определение площади уредопустул возбудителя бурой ржавчины на образцах мягкой пшеницы с идентифицированными Lr-генами устойчивости / Л.Е. Колесников, Э.А. Власова, Ю.Р. Саблина //Научное обеспечение развития АПК в условиях реформирования. Сборник научных трудов: материалы научной конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов (Санкт-Петербург, 01 января – 31 декабря 2006 года). – СПб.: СПбГАУ. – 2006. – С. 61-68.

Колесников, Л.Е. Устойчивость образцов мягкой пшеницы к основным возбудителям болезней Северо-Западного региона РФ/Л.Е. Колесников // Научное обеспечение развития АПК в условиях реформирования. Сборник научных трудов: материалы научной конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов (Санкт-Петербург, 01 января – 31 декабря 2006 года). – СПб.: СПбГАУ. – 2006. – С. 56-61.

Фунтикова, Е.Ю. Фитосанитарный мониторинг образцов коллекции тритикале по признаку устойчивости к основным возбудителям болезней зерновых культур / Е.Ю. Фунтикова, А.Ф. Мережко, Ю.Р. Саблина, **Л.Е. Колесников** // Научное обеспечение развития АПК в условиях реформирования. Сборник научных трудов: материалы научной конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и

аспирантов (Санкт-Петербург, 01 января – 31 декабря 2006 года). – СПб.: СПбГАУ. – 2006. – С. 73-82.

Колесников, Л.Е. Анализ фитосанитарного состояния посевов зерновых культур в Северо-Западном регионе РФ/ Л.Е. Колесников // Агротехнический метод защиты растений от вредных организмов. Материалы третьей всероссийской научно-практической конференции (Краснодар, 14–18 июня 2005 года). – 2005. – С. 23-24.

Колесников, Л.Е. Микобиота пшеницы (мониторинг, моделирование, прогноз)// Прогрессивные технологии в аграрной науке. Сборник научных трудов. – СПб.: СПбГАУ. – 2005. – С. 103-114.

Колесников, Л.Е. Моделирование развития *Septoria nodorum* Berk на различных по устойчивости образцах пшеницы/ Л.Е. Колесников, Э.А. Власова, А.А. Виноградов // Фитосанитарное оздоровление экосистем. Материалы Второго Всероссийского съезда по защите растений (Санкт-Петербург, 05–10 декабря 2005 года). – 2005. – С. 182-184.

Колесников, Л.Е. Развитие возбудителя бурой ржавчины пшеницы на изогенных линиях сорта Thatcher/ Л.Е. Колесников, Э.А. Власова, А.А. Виноградов // Фитосанитарное оздоровление экосистем. Материалы Второго Всероссийского съезда по защите растений (Санкт-Петербург, 05–10 декабря 2005 года). – 2005. – С. 207-210.

Сурин, В.Г. Исследование устойчивости растений к болезням фотометрическим методом/ В.Г. Сурин, **Л.Е. Колесников**, Ю.Р. Саблина // Фитосанитарное оздоровление экосистем. Материалы Второго Всероссийского съезда по защите растений (Санкт-Петербург, 05–10 декабря 2005 года). – 2005. – С. 221-223.

Власова, Э.А. Развитие возбудителя септориоза на видовом разнообразии р. *Triticum* L./ Э.А. Власова, **Л.Е. Колесников**, А.А. Виноградов // Прогрессивные технологии в аграрной науке. сборник научных трудов. Министерство сельского хозяйства Российской Федерации. – СПб.: СПбГАУ. – 2005. – С. 23-32.

Власова, Э.А. Лабораторная оценка интенсивности спорообразования возбудителя бурой ржавчины на различных по устойчивости образцах пшеницы / Э.А. Власова, **Л.Е. Колесников**, Ю.Р. Саблина // Прогрессивные технологии в аграрной науке. сборник научных трудов. Министерство сельского хозяйства Российской Федерации. – СПб.: СПбГАУ. – 2005. – С. 33-40.

Власова, Э.А. Эпидемиология выпревания озимых зерновых культур / Э.А. Власова, **Л.Е. Колесников**, Е.Ю. Фунтикова // Прогрессивные технологии в аграрной науке. сборник научных трудов. Министерство сельского хозяйства Российской Федерации. – СПб.: СПбГАУ. – 2005. – С. 41-46.

Колесников, Л.Е. Устойчивость *Triticum aestivum* L. к основным возбудителям болезней северо-западного региона РФ/ **Л.Е. Колесников**, Э.А. Власова // Экология Санкт-Петербурга и его окрестностей. Материалы научной конференции, посвященной 130-летию проекта профессора императорского Санкт-Петербургского университета В. В. Докучаева о детальном естественно-историческом, физико-географическом сельскохозяйственном исследовании Санкт-Петербурга и его окрестностей (Санкт-Петербург, 05–07 декабря 2005 года). Санкт-Петербургский государственный университет, Центральный музей почвоведения им. В.В. Докучаева, РАСХН, Докучаевское общество почвоведов, Русское географическое общество. – 2005. – С. 282-285

Саблина, Ю.Р. Мониторинг развития местной популяции бурой ржавчины на сортовом разнообразии коллекции *Triticum aestivum* L. в Северо-Западном регионе РФ/ Ю.Р. Саблина, **Л.Е. Колесников**, Э.А. Власова // Экология Санкт-Петербурга и его окрестностей. Материалы научной конференции, посвященной 130-летию проекта профессора императорского Санкт-Петербургского университета В. В. Докучаева о детальном естественно-историческом, физико-географическом сельскохозяйственном исследовании Санкт-Петербурга и его окрестностей (Санкт-Петербург, 05–07

декабря 2005 года). Санкт-Петербургский государственный университет, Центральный музей почвоведения им. В. В. Докучаева, РАСХН, Докучаевское общество почвоведов, Русское географическое общество. – 2005. – С. 304-308.

Власова, Э.А. Анализ биологического загрязнения уредоспорами бурой ржавчины пшеницы приземного слоя воздуха на территории северо-западного региона РФ/ Э.А. Власова, Е.К. Колесников, **Л.Е. Колесников** // Проблемы аграрной науки на современном этапе. сборник научных трудов : к 100-летию университета. – СПб.: СПбГАУ. – 2004. – С. 32-36.

Власова, Э.А. Оценка коллекций *Tr.aestivum* L. и ППГ по устойчивости к возбудителям выпревания озимых зерновых культур / Э.А. Власова, **Л.Е. Колесников**, К.А. Фунтов, Е.Ю. Фунтикова // Молодые ученые в научном обеспечении сельского хозяйства на современном этапе. сборник научных трудов: материалы всероссийской научно-практической конференции молодых ученых Северо-Западного федерального округа (Санкт-Петербург, 18–21 ноября 2003 года). – 2004. – С. 36-39.

Власова, Э.А. Перспективные источники устойчивости к комплексу возбудителей болезней мягкой пшеницы среди генофонда ВНИИР/ Э.А. Власова, **Л.Е. Колесников** // Молодые ученые в научном обеспечении сельского хозяйства на современном этапе. Сборник научных трудов: материалы всероссийской научно-практической конференции молодых ученых Северо-Западного федерального округа (Санкт-Петербург, 18–21 ноября 2003 года). – 2004. – С. 24-31.

Колесников, Л.Е. Математическое моделирование патогенеза возбудителей болезней пшеницы / Л.Е. Колесников// Проблемы аграрной науки на современном этапе. Сборник научных трудов: к 100-летию университета. – СПб.: СПбГАУ. – 2004. – С. 41-48.

Колесников Л.Е. Моделирование патогенеза бурой ржавчины пшеницы при различном уровне устойчивости растения хозяина/ Л.Е. Колесников// Защита растений от вредителей, болезней и сорняков. 100 лет СПбГАУ и 75

лет факультету защиты растений: юбилейный сборник научных трудов. Министерство сельского хозяйства – СПб.: СПбГАУ. – 2004. – С. 167-173.

Колесников, Л.Е. Оценка коллекционных образцов мягкой пшеницы и ППГ по признаку устойчивости к возбудителям выпревания озимых зерновых культур/ Л.Е. Колесников, К.А. Фунтов //Проблемы аграрной науки на современном этапе. сборник научных трудов: к 100-летию университета. – Санкт-Петербург. – 2004. – С. 37-41.

Колесников Л.Е. Статистический анализ динамики патогенеза в исследовании эпифитотиологии бурой ржавчины пшеницы/ Л.Е. Колесников, Э.А. Власова, А.В. Ястребов // Молодые ученые в научном обеспечении сельского хозяйства на современном этапе. сборник научных трудов: материалы всероссийской научно-практической конференции молодых ученых Северо-Западного федерального округа (Санкт-Петербург, 18–21 ноября 2003 года). – 2004. – С. 31-36.

Kolesnikov, L.E. Factorial analyses of the pathogenesis of wheat brown rust/ L.E. Kolesnikov, K.A. Funtov // Crop Protection Conference Pests, diseases and weeds (St.-Petersburg, 28–30 May 2002). St.-Petersburg State Agrarian University, All-Russian Institute of Plant Protection RAAS, Swedish University of Agricultural Sciences. – 2003. – P. 289-290

Kolesnikov, L.E. Long-term dynamics of wheat leaf rust on Thatcher lines / L.E. Kolesnikov, E.A. Vlasova // Crop Protection Conference Pests, diseases and weeds (St.-Petersburg, 28–30 May 2002). St.-Petersburg State Agrarian University, All-Russian Institute of Plant Protection RAAS, Swedish University of Agricultural Sciences. – 2003. – P. 267-273.

Kolesnikov, L.E. Parameterization of pathogenesis of the brown rust on wheat varieties/ L.E. Kolesnikov, E.A. Vlasova, A.V. Yastrebov, A.A. Vinogradov // Crop Protection Conference Pests, diseases and weeds (St.-Petersburg, 28–30 May 2002). St.-Petersburg State Agrarian University, All-Russian Institute of Plant Protection RAAS, Swedish University of Agricultural Sciences. – 2003. – P. 275-281.

Kolesnikov, L.E. Wheat leaf rust modeling with an integrated plant resistance factor/ L.E. Kolesnikov, E.A. Vlasova, E.K. Kolesnikov, E.Y. Funtikova // Crop Protection Conference Pests, diseases and weeds (St.-Petersburg, 28–30 May 2002). St.-Petersburg State Agrarian University, All-Russian Institute of Plant Protection RAAS, Swedish University of Agricultural Sciences. – 2003. – P. 283-287.

Колесников, Л.Е. Определение коэффициента оседания спор в имитационной модели патогенеза возбудителя бурой ржавчины пшеницы/ Л.Е. Колесников, Э.А. Власова, Е.К. Колесников //Защита растений от вредителей, болезней и сорняков. Сборник научных трудов. – Санкт-Петербург. – 2001. – С. 58-62.

Колесников, Л.Е. Развитие бурой ржавчины на образцах пшеницы с несколькими Lr-генами устойчивости / Л.Е. Колесников, Э.А. Власова // Защита растений от вредителей, болезней и сорняков. Сборник научных трудов. – СПб.: СПбГАУ. – 2001. – С. 39-44.

Власова, Э.А. Закономерности патогенеза бурой ржавчины пшеницы при различном уровне устойчивости растения-хозяина / Э.А. Власова, **Л.Е. Колесников** // Растение и почва. Проблемы агрохимии, агрофизики и фитофизиологии. Тезисы докладов Всероссийской молодежной конференции (Санкт-Петербург, 06–10 декабря 1999 года). Федеральная целевая программа «Интеграция», Санкт-Петербургский государственный университет, Всероссийский институт защиты растений, Агрофизический институт РАСХН. – 1999. – С. 106-107.

Колесников, Л.Е. Динамика уровня экспрессии Lr-генов устойчивости линий Thatcher в 1995-1997 гг./ Л.Е. Колесников, Э.А. Власова // Защита растений от вредителей, болезней и сорняков. Сборник научных трудов. – СПб.: СПбГАУ. – 1999. – С. 23-31.

Колесников, Л.Е. Имитационная модель патогенеза бурой ржавчины пшеницы / Л.Е. Колесников, Э.А. Власова // Защита растений от вредителей, болезней и сорняков. Сборник научных трудов. – СПб.: СПбГАУ. – 1999. – С. 31-36.

Колесников, Л.Е. Методы математического моделирования в исследовании эпифитотиологии возбудителя бурой ржавчины пшеницы/ Л.Е. Колесников, Э.А. Власова // Растение и почва. Проблемы агрохимии, агрофизики и фитофизиологии. Тезисы докладов Всероссийской молодежной конференции (Санкт-Петербург, 06–10 декабря 1999 года). Федеральная целевая программа «Интеграция», Санкт-Петербургский государственный университет, Всероссийский институт защиты растений, Агрофизический институт РАСХН. – 1999. – С. 108-109.

Колесников, Л.Е. Многофакторная регрессионная модель динамики возбудителя бурой ржавчины пшеницы при различной экспрессии Lr-генов устойчивости / Л.Е. Колесников, Э.А. Власова // Защита растений от вредителей, болезней и сорняков. Сборник научных трудов. – СПб.: СПбГАУ. – 1999. – С. 19-22.

Власова, Э.А. Определение устойчивости линий Thatcher по данным мониторинга патогенеза бурой ржавчины пшеницы / Э.А. Власова, **Л.Е. Колесников** // Защита растений от вредителей, болезней и сорняков. Сборник научных трудов. – СПб.: СПбГАУ. – 1997. – С. 162-164.

Колесников, Л.Е. Построение прогностических зависимостей динамики эпифитотийного процесса бурой ржавчины пшеницы на линиях Thatcher / Л.Е. Колесников, Э.А. Власова // Защита растений от вредителей, болезней и сорняков. Сборник научных трудов. – СПб.: СПбГАУ. – 1997. – С. 164-168.

Колесников Л.Е. Особенности транспирации пшеницы при патогенезе бурой ржавчины / Л.Е. Колесников // Защита растений в условиях реформирования Агропромышленного комплекса: экономика, эффективность, экологичность. Тезисы докладов Всероссийского съезда по защите растений (Санкт-Петербург, 06–10 декабря 1999 года). Министерство сельского хозяйства и продовольствия Российской Федерации, Российская академия сельскохозяйственных наук, Министерство науки и технической политики

Российской Федерации, Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений. – 1995. – С. 57-58.

Колесников, Л.Е. Прогностические зависимости при патогенезе бурой ржавчины пшеницы с учетом влияния азотного питания растения-хозяина / Л.Е. Колесников // Защита растений в условиях реформирования Агропромышленного комплекса: экономика, эффективность, экологичность. Тезисы докладов Всероссийского съезда по защите растений (Санкт-Петербург, 06–10 декабря 1999 года). Министерство сельского хозяйства и продовольствия Российской Федерации, Российская академия сельскохозяйственных наук, Министерство науки и технической политики Российской Федерации, Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений. – 1995. – С. 58.

Учебные и методические пособия

Долженко, Т.В. Интегрированная защита растений/ Т.В. Долженко, **Л.Е. Колесников**, А.Г. Семенова, Я.С. Шапиро, Н.В. Лепп, О.В. Сергеева, Е.В. Макаренко. Учебное пособие для вузов. – Санкт-Петербург: Лань. – 2022. – 120 с.

Архипов, М.В. Методика исследования характеристик газоразрядного свечения семян/ М.В. Архипов, Н.С. Прияткин, Л.П. Гусакова, М.В. Борисова, **Колесников Л.Е.** Методическое пособие (рекомендовано к печати Ученым Советом АФИ, протокол № 1 от 18 февраля 2016 г.). – 52 с.

Копытенкова, О.И. Экология. Учебное пособие по выполнению лабораторных и практических занятий для студентов всех специальностей/О.И. Копытенкова, Т.Б. Балтрукова, Н.А. Бондарь, Р.А. Овчинникова, О.И. Иванова, **Л.Е. Колесников**, О.Н. Танюхина, А.В. Леванчук, И.Ф. Иванова, И.Х. Эмиров, Г.П. Подвигин, Е.В. Ялунер. – Санкт-Петербург: СПбГУСЭ. – 2006. –131 с.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Абрамов, Н. В. Проблемы получения максимально возможной урожайности яровой пшеницы в условиях Северного Зауралья/ Н.В. Абрамов, Д.И. Еремин //Аграрный вестник Урала. – 2009. – Т. 145. – №. 174. – С. 31.

Агафонов, О.М. Возможности полимерного гидрогеля как накопителя почвенной влаги в зоне неустойчивого увлажнения Краснодарского края/ О.М. Агафонов, В.Ю. Ревенко // International Journal of Humanities and Natural Sciences. –2017. – V.10. – С.35-38

Адров, С.В. Влияние полезащитной полосы на урожайность сельскохозяйственных культур в условиях степной зоны / С.В. Адров, Н.А. Куликова, А.Е. Габидулина //Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2011. – №. 2. – С. 57-62

Айтхожина, Н.А. Стимуляция и ингибирование вторичного роста микроорганизмов металлами / Н.А. Айтхожина, М.Э. Файн, Е.Т. Никитина // Прикл. биохимия и микробиология. – 1993. –Т.29. – Вып. 2. – С .292-298.

Андреева, В.А. Фермент пероксидаза. Участие в защитном механизме растений / В.А. Андреева. – М.: Изд. «Наука». – 1988. – 129 с.

Арнон Д. Микроэлементы/ Д. Арнон – М.: Изд. «ИЛ». – 1962. – С. 9-40.

Архипов, М.В. Микрофокусная рентгенография растений/ М.В. Архипов, М.Н. Потрахов. СПб.: Изд-во «Технолит». – 2008. – 192 с.

Архипов, М.В. Возможности биофизических методов в агрофизике и растениеводстве / М.В. Архипов, Л.П. Великанов, А.Г. Желудков, Л.П. Гусакова, Д.В. Алферова, Н.Н. Потрахов, Н.С. Прияткин // Биотехносфера. – 2013a. – № 6 (30). – С. 40–43.

Архипов, М.В. Идентификация пустых и выполненных семян ели европейской методами мягколучевой рентгенографии и газоразрядной визуализации/ М.В. Архипов, Н.С. Прияткин, Л.П. Великанов, А.С. Бондаренко, А.В. Жигунов //Агрофизика. – 2013b. – № 1(9). – С. 8-12.

Архипов, М.В. Применение методов микрофокусной рентгенографии и газоразрядной визуализации для оценки полнозернистости семян ели европейской/ М.В. Архипов, Л.П. Гусакова, Н.С. Прияткин, А.С. Бондаренко // Труды Санкт-Петербургского НИИ лесного хозяйства. – 2014. – № 3. – С. 29-35.

Архипов, М.В. Системный подход к оценке разнокачественности семян зерновых культур на основе использования современных методов интроскопической диагностики /М.В. Архипов, Н.С. Прияткин, Н.Н. Потрахов, Л.П. Гусакова, Е.В. Журавлева // Труды Кубанского государственного аграрного университета. – 2015. – Вып.3 (54). – С. 79-83.

Архипов, М.В. Методика исследования характеристик газоразрядного свечения семян/ М.В. Архипов, Н.С. Прияткин, Л.П. Гусакова, М.В. Борисова, Л.Е. Колесников. – СПб: АФИ, ООО «Кирлионикс Технолоджис Интернейшнл». – 2016a. – 52 с.

Архипов, М.В. Прогнозирование урожайности и устойчивости к болезням мягкой пшеницы с использованием методов интроскопического анализа зерна/ М.В. Архипов, Н.С. Прияткин, Л.Е. Колесников // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2016b. – № 44. – С. 21-27.

Архипов, М.В. Пути и возможности фитосанитарной оптимизации агроэкосистем Северо-Западного региона России/ М.В. Архипов, Т.А. Данилова, В.А. Павлюшин, С.М. Синицына, Е.Н. Пасынкова, Ю.А. Тюкалов // Вестник защиты растений. – 2017. – № 2(92). – С. 5-14.

Архипов, М.В. Рентгеновские компьютерные методы исследований структурной целостности семян и их значение в современном семеноведении / М.В. Архипов, Н.С. Прияткин, Л.П. Гусакова, Н.Н. Потрахов, А.Ю. Грязнов, В.Б. Бессонов, А.В. Ободовский, Н.Е. Староверов // Журнал технической физики. – 2019. – Т.89. – №4. – С. 627-638.

Архипов, М.В. Повышение эффективности оперативного контроля при экспертной оценке качества зерна / М.В. Архипов // Таврический вестник аграрной науки. – 2021. – № 2 (26). – С. 19-27.

Аслямова, Э.Ф. Органо-биологические хозяйства Башкирии и Германии: экономико-экологический аспект /Э.Ф. Аслямова // Материалы III Всероссийской молодёжной конференции-школы с международным участием, посвященной 75-летию академика АН РБ И. Б. Абдрахманова. Достижения химии в Агропромышленном комплексе. – Башкирия – 2017. – С. 191-192.

Афанасенко, О.С. Новые и потенциально опасные болезни зерновых культур в России/ О.С. Афанасенко, Л.А. Михайлова, Н.В. Мироненко, А.В. Анисимова, Н.М. Коваленко, О.А. Баранова, К.В. Новожилов // Вестник защиты растений. – 2011. – № 4.– С.3-18

Афанасенко О.С. Генетическая защита зерновых культур: итоги и перспективы / О.С. Афанасенко //Защита и карантин растений. – 2020. – № 9. – С. 3-7.

Афонников, Д.А. Анализ генетического контроля и физиологической роли опушения листа пшеницы на основе высокопроизводительного фенотипирования / Д.А. Афонников, А.В. Дорошков, М.А. Генаев, А.В. Симонов, О.Б. Добровольская, С.В. Осипова, А. Бёрнер, Т.А. Пшеничникова // Беляевские чтения. Тезисы докладов Международной конференции, посвященной 100-летию со дня рождения академика АН СССР Д.К. Беляева. – Новосибирск. – 2017. – 169 с

Бабаянц, Л. Методы селекции устойчивости пшеницы и ячменя к болезням в странах – членах СЭВ. Прага/ Л. Бабаянц, А. Мештерхази, Ф. Вехтер, Н. Неклеса, Л. Дубинина, Л. Смельченко, Е. Клечковская, А. Слюсаренко, Н.Бартош. – Прага. – 1988. – 321с.

Бабкенова, С.А. Генетические ресурсы устойчивости яровой пшеницы к стеблевой ржавчине. Современные проблемы селекции и семеноводства сельскохозяйственных культур/ С.А. Бабкенова, А.Т. Бабкенов. – 2012. – С. 14-17

Бабоев С.К., Туракулов Х.С., Хасанов Б.А. Гены устойчивости пшеницы к желтой ржавчине и роль эпифитотий в появлении новых рас//Генетика. 2014. Т. 50. № 3. С. 299.

Байдаков, А.Н. О построении прогнозных сценариев развития зернового производства / А.Н. Байдаков, А. В. Назаренко, Е.Г. Сергиенко //Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2013. – №. 94. – С. 784-794

Байдакова, М.В. Исследование свойств композиционных гидрогелей на основе полиакрилата калия и белкового наполнителя / М.В. Байдакова, Ситникова В.Е., М.В. Успенская, Р.О. Олехнович, М.И. Кременевская, Т.С. Денисов // Известия СПбГТИ(ТУ) – 2019. – №48(74). – С. 115-119.

Бакулина, А.В. Септориоз листьев и колоса пшеницы: генетический контроль устойчивости хозяина (обзор)/ А.В. Бакулина, А.В. Харина, А.А. Широких // Теоретическая и прикладная экология. – 2020. – № 2. – С.26-35

Баранова, О.А. Идентификация генов Sr у новых источников устойчивости мягкой пшеницы к расе стеблевой ржавчины Ug99 с использованием молекулярных маркеров / О.А. Баранова, И.Ф. Лапочкина, А.В. Анисимова, Н.Р. Гайнуллин, И.В. Иорданская, И.Ю. Макарова // Вавиловский журнал генетики и селекции. – 2015. – Т. 19. – № 3. – С.316-322

Баранова, О.А. Характеристика по устойчивости к особо опасным листовым болезням образцов пшеницы из коллекции ВИР/ О.А. Баранова, Н.М. Коваленко, А.Г. Хакимова, О.П. Митрофанова // Вестник защиты растений. – 2016. – № 3(89). – С. 22-23

Барковская, Т.А. Сортовые особенности формирования урожайности и технологических показателей качества зерна у сорта яровой пшеницы Агата в зависимости от уровня влагообеспеченности / Т.А. Барковская, О.В. Гладышева //Зерновое хозяйство России. – 2020. – №. 4. – С. 9-13.

Баршадская, С.И. Калийное питание и продуктивность ельскохозяйственных культур на черноземе обыкновенном Западного Предкавказья / С.И. Баршадская, Ф.И. Дерека // Питание растений. – 2013. –№3. – С.23-25.

Баташева, Б.А. Возможные механизмы устойчивости ячменя к мучнистой росе/ Б.А. Баташева, Р.А. Абдуллаев, О.Н. Ковалева, И.А. Звейнек, Е.Е. Радченко // Вестник российской сельскохозяйственной науки. – 2020. – № 4. – С.54-57

Бахвалова, С.А. Повышение качества зерна яровой пшеницы при применении водорастворимого удобрения «Акварин 5» / С.А. Бахвалова, Х.А. Пискунова, А.В. Федорова //Зерновое хозяйство России. – 2021. – №. 1. – С. 73-77.

Бекмухамедов, Н.Э. Изменение спектральных характеристик растений яровой пшеницы зараженных грибковыми болезнями / Н.Э. Бекмухамедов, Н.Н. Карабкина // Сельское, лесное и водное хозяйство. – 2013. – № 10 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://agro.snauka.ru/2013/10/1169)

Беленков, А.И. Оценка воздействия систем земледелия и агротехнологий на окружающую среду / А.И. Беленков, М.А. Мазиров, А.И. Мельченко. Учебное пособие. – М.: изд-во «Скрипта манент». – 2015. – 119 с.

Белимов, А.А. Взаимодействия ассоциативных бактерий с растениями: роль биотических и абиотических факторов/ А.А. Белимов. Монография. – Германия: изд-во «Palmarium (Saarbrücken)». – 2012. – 228 с.

Белимов, А.А. Повышение урожайности яровой мягкой пшеницы и снижение вредоносности возбудителей болезней с помощью ассоциативных ризобактерий/ А.А. Белимов, **Л.Е. Колесников**, П.М. Донес //Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2018. – № 52. – С. 26-33.

Беляев В.И. Урожайность яровой мягкой пшеницы в зависимости от сорта и дозы внесения удобрений / В.И. Беляев, Л.В. Соколова //Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2012. – № 12(98) – С. 21-24

Бесалиев, И.Н. Влияние фонов возделывания на показатели качества зерна сортов яровой пшеницы в Оренбургском Приуралье / И.Н. Бесалиев, А.Л. Панфилов, Т.А. Тимошенкова, Р.Р. Абдрашитов //Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2020. – №. 5 (85). – С.22-27

Бреус, Т.К. Влияние солнечной активности на биологические объекты автореферат дис. ... докт. физ.-мат. наук: 01.03.03, 03.00.02 / Бреус Тамара Константиновна. – М., 2003. – 32 с.

Буланова, М.В. Агроэкологическая оценка земель, проектирование адаптивно-ландшафтных систем земледелия и агротехнологий/ М.В. Буланова, И.В. Слива, Ю.П. Жуков и др. Монография. – М.: Росинформагротех. – 2005. – 784 с.

Булыгин, С.Ю. Микроэлементы в сельском хозяйстве / С.Ю. Булыгин, Л.Ф. Демишев, В.А. Доронин, А.С. Заришняк, Я.В. Пащенко, Ю.Е. Туровский, А.И. Фатеев, М.М. Яковенко. – Дніпропетровськ: изд.-во "Січ". – 2007. – 100 с.

Быков, Г.Н. Влияние азотного удобрения на урожайность и качество зерна сортов яровой пшеницы: автореферат дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.04 / Быков Геннадий Николаевич. – М., 2006. – 15 с.

Валеева, Г.Р. Роль отдельных факторов в формировании элементного состава растений: автореферат дис. ... канд. хим. наук: 03.00.16 / Валеева Гузель Равильевна. – Казань, 2004. – 21 с.

Валекжанин, В.С. Адаптивность сортов и линий яровой мягкой пшеницы по урожайности и элементам её структуры в условиях Приобской лесостепи Алтайского края / В.С. Валекжанин, Н.И. Коробейников //Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2012. – № 6 (92). – С.10-14

Ван дер Планк, Я. Основные принципы анализа экосистемы/ Я. Ван дер Планк // Стратегия борьбы с вредителями и сорняками в будущем. – М. – 1977. – С. 110-138.

Варламов, В.П. Применение товарных форм хитозансодержащих препаратов в растениеводстве/В.П. Варламов, А.И. Албулов, М.А. Фролова, А.В. Гринь, И.С. Мысякина // Экобиотех. – 2019. – Т. 2. – № 4. – С. 529-532

Васюкова, Н.И. Индуцированная устойчивость растений и салициловая кислота (обзор)/ Н.И. Васюкова, О.Л. Озерецковская //Прикладная биохимия и микробиология. – 2007. – Т.43. – № 4. – С. 405-411.

Ведров, Н.Г. Яровая пшеница в Восточной Сибири/ Н.Г. Ведров, В.Е. Дмитриев, Е.М. Нестеренко, В.И. Никитина, Л.Г. Санникова, И.Н. Фролов, А.Н. Халипский. Красноярск: изд–во КрасГАУ. – 1998. – 176 с.

Вилкова, Н.А. Иммунитет семенных растений и его фитосанитарное значение в агроэкосистемах/ Н.А. Вилкова, Л.И. Нефедова, А.Н. Фролов // Защита и карантин растений. – 2015. – № 8. – С. 3-9.

Власова, Э.А. Многомерное параметрирование патогенеза бурой ржавчины пшеницы на сортах и линиях Thatcher/ Э.А. Власова, Л.Е. Колесников //Микология и фитопатология. – 2002. – Т. 36. – № 6. – С. 86-92.

Власова, Э.А. Анализ биологического загрязнения уредоспорами бурой ржавчины пшеницы приземного слоя воздуха на территории Северо-Западного региона РФ / Э.А. Власова, Л.Е. Колесников, Е.К. Колесников // Сборник науч. трудов. Проблемы аграрной науки на современном этапе: к 100-летию университета. – СПб.: СПбГАУ. – 2004a. – С. 32-37

Власова, Э.А. Оценка коллекций *Tr. aestivum* L. и ППГ по устойчивости к возбудителям выпревания озимых зерновых культур / Э.А. Власова, Л.Е. Колесников, К.А. Фунтов, Е.Ю. Фунтикова // Молодые ученые в научном обеспечении сельского хозяйства на современном этапе. Сборник научных трудов. Материалы всероссийской научно-практической конференции молодых ученых Северо-Западного федерального округа. – СПб.: СПбГАУ. – 2004b. – С.37-41

Власова, Э.А. Эпидемиология выпревания озимых зерновых культур/ Э.А. Власова, Л.Е. Колесников, Е.Ю. Фунтикова // Сборник научных трудов. Прогрессивные технологии в аграрной науке. – СПб.: СПбГАУ. – 2005a. –С. 41-46.

Власова, Э.А. Лабораторная оценка интенсивности спорообразования возбудителя бурой ржавчины на различных по устойчивости образцах пшеницы/ Э.А. Власова, Л.Е. Колесников, Ю.Р. Саблина // Сборник научных трудов. Прогрессивные технологии в аграрной науке. – СПб.: СПбГАУ. – 2005b. – С. 33-40.

Власова, Э.А. Развитие возбудителя септориоза на видовом разнообразии р. *Triticum* L./ Э.А. Власова, Л.Е. Колесников, А.А. Виноградов // Сборник научных трудов. Прогрессивные технологии в аграрной науке. – СПб.: СПбГАУ. – 2005с. – С. 23-32.

Власова, Э.А. Сопоставление параметров патогенеза возбудителей желтой и бурой ржавчины пшеницы с помощью теоретических и визуально-лабораторных методов/ Э.А. Власова, Л.Е. Колесников, Ю.Р. Саблина //Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. –2007. – № 4. – С. 22-29.

Вожжова, Н.Н. Идентификация гена устойчивости к желтой ржавчине *Yr*24 в коллекционном материале озимой мягкой пшеницы/Н.Н. Вожжова, Н.Т. Купрейшвили, А.Ю. Мышаста, А.А. Яцына, Т.Г. Дерова, Д.М. Марченко //Зерновое хозяйство России. – 2018. – № 1. – С. 35-37.

Волкова, Г.В. Научно обоснованные принципы создания и использования устойчивых к вредоносным болезням сортов пшеницы для стабилизации фитосанитарного состояния агроценозов на юге России / Г.В. Волкова // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2013. – № 91(07). – С. 964-985

Волкова, Г.В. Скрининг Lr-генов пшеницы на устойчивость к *Puccinia triticina* в условиях Северо-Кавказского региона/ Г.В. Волкова, О.А. Кудинова, О.Ф. Ваганова //Вестник российской сельскохозяйственной науки. – 2019. – № 5. – С. 54-56.

Волкова, Г.В. Фитосанитарная оценка высеваемых на юге России сортов озимой пшеницы по устойчивости к комплексу болезней/ Г.В. Волкова, О.Ю. Кремнева, О.А. Кудинова //Таврический вестник аграрной науки. – 2020a. – Т. 3. – С .39.

Волкова, Г.В. Вирулентность популяции возбудителя желтой ржавчины пшеницы в Северо-Кавказском регионе России/ Г.В. Волкова, И.П. Матвеева, О.А. Кудинова //Микология и фитопатология. – 2020b. – Т.54. – №1. – С. 33-41

Воробейков, Г. Биология критического периода растений в условиях нарушения влажности почвы: к 100-летию со дня рождения профессора ВВ Аникиева/ Г. Воробейков, В. Бредихин, В. Лебедев, В. Юргина //Известия Российского государственного педагогического университета им. АИ Герцена. – 2015. – №. 173. – С.109-121

Воробьев, Н.Н. Методические аспекты оценки эффективности производства сельскохозяйственной продукции/Н.Н. Воробьев, С.В. Фролко, А.В. Лось //KANT. – 2018. – №. 2 (27). – С. 256-260

Воронкова, М.В. Разработка новых средств защиты для повышения продуктивности органического растениеводства / М.В.Воронкова// Вестник аграрной науки. – 2020. – №1(82). –С. 30-33.

Вронских, М.Д. Коррелятивная связь между параметрами климата и уровнем развития болезней озимой пшеницы/ М.Д. Вронских // Аграрная наука. – № 51. 2019. – С.148–153

Гагкаева, Т.Ю. Зараженность зерна и видовой состав грибов рода *Fusarium* на территории РФ в 2004-2006 годах / Т.Ю. Гагкаева, М.М. Левитин, С.С. Санин, Л.Н. Назарова // Научно-практический журнал «Агро XXI». – № 4-6. – 2009. – С.4-6.

Гагкаева, Т.Ю. Фузариоз зерновых культур / Т.Ю. Гагкаева, О.П. Гаврилова, М.М. Левитин, К.В. Новожилов // Приложение к журналу «Защита и карантин растений». – 2011. – № 5. – 51 с

Гафин, М.М. Основные показатели качества зерна пшеницы / М.М. Гафин //Научный вестник Технологического института-филиала ФГБОУ ВПО Ульяновская ГСХА им. П.А. Столыпина. – 2015. – №. 14. – С. 38-44.

Гешеле, Э.Э. Методическое руководство по фитопатологической оценке зерновых культур/ Э.Э. Гешеле. – Одесса. – 1971. – 179 с.

Гешеле, Э.Э. Основы фитопатологической оценки в селекции растений. – М.: «Колос». – 1978. – 206 с.

Гончар, Л.Н. Влияние нано-микроэлементов на окислительно-востановительные ферменты патогена и растения-хозяина пшеницы озимой / Л.Н.

Гончар, Е.Н. Щербакова // Ежемесячный научный журнал. Национальная ассоциация ученых (НАУ). Сельскохозяйственные науки. – № 2. – 2014. – С.31-34

Гончаров В.Т. Мониторинг эпифитотийно-опасных болезней / В.Т. Гончаров, В.П. Чуприна, Ю.Г. Соколов // Защита и карантин растений. – 1996. – № 7. – С. 18.

Горбунова, Е.А. Тяжелые металлы как фактор стресса для грибов: проявление их действия на клеточном и организменном уровнях/ Е.А. Горбунова, В.А. Терехова // Микология и фитопатология. – Т.29. – 1995. – Вып. 4. – С.63-69.

ГОСТ Р 59603-2021 «Семена сельскохозяйственных культур. Методы цифровой рентгенографии». – М.: Стандартинформ. – 16 с.

Гостев, А.В. Теоретические основы эффективного применения современных ресурсосберегающих технологий возделывания зерновых культур/ А.В. Гостев, И.Г. Пыхтин, Л.Б. Нитченко, В.А. Плотников, Н.П. Гапонова. – Курск: ФГБНУ ВНИИЗиЗПЭ. – 2016. – 87 с.

Государственный (национальный) доклад о состоянии и использовании земель в Российской Федерации в 2019 году [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://rosreestr.gov.ru/activity/gosudarstvennoe-upravlenie-v-sfere-ispolzovaniya-i-okhrany-zemel/gosudarstvennyy-natsionalnyy-doklad-o-sostoyanii-i-ispolzovanii-zemel-rossiyskoy-federatsii

Грегори, П. Распространение фитопатогенных микроорганизмов по воздуху / П. Грегори // Сельское хозяйство за рубежом. – 1964. – №2. – С. 53–58.

Грехова, И.В. Реакция яровой пшеницы на применение регуляторов и микроудобрения при протравливании семян / И.В. Грехова, Н.В. Матвеева / //Аграрный вестник Урала. – 2014. – №. 1. – С. 6.

Гузь, Л.Н. Содержание уредоспор Р. *recondita* в пограничном слое атмосферы и развитие бурой ржавчины на территории Средней Азии и Казахстана/ Л.Н. Гузь, В.А. Мостовой // Сб. докл. науч. конф., посвящ. памяти проф. К.М. Степанова. Эпифитотии с.-х. культур. Их прогноз и профилактика. Фитопатология и прогнозирование как основа создания рациональных систем защиты растений. – Кобулети. – 1983. – Ч.1. – С. 25-34.

Гуйда А.М. Устойчивость в форме медленного развития ржавчины и ее использование в селекции/ А.М. Гуйда // Селекция и семеноводство. – 1989. – № 4. – С. 25-30.

Гультяева, Е.И. Структура российских популяций гриба *Puccinia triticina* Eriks//Вестник защиты растений. – 2015. – № 3(85). – С. 5-10

Гультяева, Е.И. Внутривидовая изменчивость *Puccinia triticina* на гексаплоидных видах *Triticum* и *Aegilops trivialis* / Е.И. Гультяева, Е.Л. Шайдаюк, И.А. Казарцев // Вавиловский журнал генетики и селекции. – 2017. – № 21(6). – С. 671-676

Гультяева, Е.И. Молекулярно-генетические подходы в изучении популяций возбудителя бурой ржавчины пшеницы / Е.И. Гультяева, И.А. Казарцев // Вестник защиты растений. – 2018. – № 2(96). –С. 5–12

Гультяева, Е.И. Идентификация генов устойчивости к бурой ржавчине у новых российских сортов мягкой пшеницы/ Е.И. Гультяева, Е.Л. Шайдаюк //Биотехнология и селекция растений. – 2021. – Т. 4. – № 2. – С. 15-27.

Давоян, Э.Р. Использование молекулярных маркеров в селекции пшеницы на устойчивость к бурой ржавчине в Краснодарском НИИСХ им. П.П. Лукьяненко/ Давоян Э.Р., Беспалова Л.А., Давоян Р.О., Зубанова Ю.С., Миков Д.С., Филобок В.А., Худокормова Ж.Н. // Вавиловский журнал генетики и селекции. – 2014. – Т.18. – № 4/1. – С. 732-738

Данилова, Т.Н. Роль абсорбента AQUASORB в улучшении водоудерживающей способности почв/ Т.Н. Данилова, Л.К. Табынбаева, С.Б. Кененбаев, В.С. Бойко //Агрофизика. – 2018. – № 2. – С.1-8

Данилова, Т.Н. Полимерные гели для управления водообеспеченностью пшеницы (*Triticum aestivum* L.) в разных экологических условиях/Т.Н. Данилова, Л.К. Табынбаева// Сельскохозяйственная биология. – 2019. – Т.54. – № 1. – С.76-83

Денисов, Е.П. Многолетние травы как предшественники и фитомелиоранты зерновых культур / Е.П. Денисов, А.П. Солодовников, Н.П. Молчанова, Д.Г.

Шестеркин, Р.З. Тугушев // Вестник саратовского госагроуниверситета им. Н.И. Вавилова. – 2013. – №11. –С.23-27

Дмитриев, А.П. Материалы к построению имитационной модели развития бурой ржавчины пшениц / А.П. Дмитриев., Н.Н. Семенова, В.Р. Жаров // Защита растений в условиях реформирования агропромышленного комплекса. Экономика, эффективность, экологичность. Тез. докл. – СПБ.: ВИЗР. – 1995. - С. 540.

Доктрина продовольственной безопасности Российской Федерации. Указ Президента РФ от 21 января 2020г. № 20

Долгодворова, А.П. Влияние селеновых удобрений на рост и развитие ярового ячменя / А.П. Долгодворова, Л.П. Воронина // Питание растений. – 2012. – №3. – С. 15-19.

Долгополова, Н.В. Агробиологическое обоснование разработки технологий возделывания яровой твердой пшеницы в адаптивно-ландшафтном земледелии лесостепи Центрального Черноземья: автореферат дис. ... докт. с.-х. наук: 06.01.01 / Долгополова Наталья Валерьевна. – Брянск, 2014. – 45 с.

Долженко, В.И. Защита растений: состояние, проблемы и перспективы их решения в зерновом производстве / В.И. Долженко, А.И. Силаев //АГРО XXI. – 2010. – № 7-9. – С.3-5.

Долженко, В.И., Совершенствование ассортимента средств борьбы с вредителями растений в XXI веке / В.И. Долженко, Г.И. Сухорученко, Л.А. Буркова, Г.П. Иванова, Т.И. Васильева, О.В. Долженко, А.Б. Лаптиев // Агрохимия. – № 1. – 2021. – С. 31–40.

Долженко, Т.В. Интегрированная защита растений. Учебное пособие для вузов / Т.В. Долженко, Л.Е. Колесников, А.Г. Семенова, Я.С. Шапиро, Н.В. Лепп, О.В. Сергеева, Е.В. Макаренко. – СПб.: «Лань». – 2022. – 120 с.

Дунин, М.С. О проблеме энзимо-микозного истощения семян ("истекании" зерна) в растениеводстве / М.С. Дунин, С.К. Темирбекова // Плодоводство и ягодоводство России. – 2012. – Т. 34. – № 1. – С. 258-274.

Дьяченко Е.Н. Влияние последействия минеральных и известковых удобрений на урожайность и качество зерна яровой пшеницы в условиях Прибайкалья / Е.Н. Дьяченко, А.Т. Шевелев //Агрохимический вестник. – 2020. – №. 3. – С. 45-48.

Дюбин, В.Н., Влияние температуры и освещенности в осенний период на перезимовку озимой пшеницы / В.Н. Дюбин, В.А. Корнеев //Тр. по прикл. ботанике, генетике и селекции. – Л.: ВИР. – 1981. – Т. 71. – Вып. 1. – С.109-113.

Еремченко, О.З. Солевой обмен растений в условиях техногенного засоления / О.З. Еремченко, О.А. Лымарь, Н.В. Орлова // Вестник Пермского университета. Биология. – 2005. – Вып. 6. – С. 164-167.

Ермаков, А.И. Методы биохимического исследования растений / А.И. Ермаков, В.В. Арасимович, Н.П. Ярош /Под ред. А.И. Ермакова. – Л.: Агропромиздат, 1987. – 429 с.

Жаров, В.Р. Информационно-советующая система по защите озимой пшеницы от вредных организмов (SOVET-1) / В.И. Кондратенко, М.М. Левитин, М.М. Соколов, В.И. Танскгий // Тезисы докладов. Защита растений в условиях реформирования агропромышленного комплекса. Экономика, эффективность, экологичность. – СПБ, ВМЗР. – 1995. – С. 541.

Жаров, В.Р. Методы математического моделирования и вычислительная техника в обеспечении исследований ВИЗР/ В.Р. Жаров, С.В. Васильев, Н.Н. Семенова // 70 лет ВИЗР Ретроспектива исследований (методология, теория, практика) 1929-1999. – СПб.: Инновационный центр защиты растений ВИЗР. – 1999. – С.88-98.

Желтков, Д.А. Эффективная программная реализация численных методов решения жестких систем дифференциальных уравнений с запаздывающим аргументом / Д.А. Желтков, Р.М. Третьякова, В.В. Желткова, Г.А. Бочаров // Вычислительные методы и программирование. – 2020. – Т. 21. – С. 78 – 86.

Жеруков, Т.Б. Агробиологические условия продуктивности фотосинтетической деятельности посевов озимой пшеницы в условиях процесса

биологизации сельского хозяйства / Т.Б. Жеруков, А.Ю. Кишев, Д.А. Тутукова // Международные научные исследования. – 2016. – №4. – С. 8-10.

Журавлева, Е.В. Система увеличения производства высококачественного зерна пшеницы / Е.В. Журавлева, Н.З. Милащенко, С.Н. Сапожников, С.В. Трушкин // Достижения науки и техники АПК. – 2020. – № 34(3). – С. 7-10.

Жученко, А.А. Адаптивное растениеводство. Эколого-генетические основы. Теория и практика / А.А. Жученко. – М.: Агрорус. – 2008, 2009. – Т. 1. 814. – Т.2. – 1098 с. – Т.3. – 958 с.

Зайцева, К.Г. Влияние минеральных, биоминеральных удобрений и биопрепарата на урожайность и качество зерна яровой пшеницы / К.Г. Зайцева, Г.В. Сайдяшева // Вестник Курганской ГСХА. – 2020. – №. 3 (35).– С. 30-33.

Захаренко, В.А. Экономический аспект применения пестицидов в современном земледелии России / В.А. Захаренко, А.В. Захаренко // Российский химический журнал (Журнал Рос. хим. об-ва им. Д.И. Менделеева). – 2005. - Т. XLIX. – № 3. – С. 55-63.

Захаренко, В.А. Ресурсосбережение в защите растений / В.А. Захаренко // Защита и карантин растений. – 2009. – № 11. – С. 4-9.

Захаренко, В.А. Тенденции и перспективы химической и биологической защиты растений / В.А. Захаренко // Защита и карантин растений. – 2011. – № 3. – С.6-10.

Захарова, Н.Н. Формирование качества зерна озимой и яровой мягкой пшеницы в условиях лесостепи Среднего Поволжья / Н.Н. Захарова, Н.Г. Захаров, М.Н. Гаранин // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2016. – №. 1 (33). – С. 14-20.

Зверева Г.К. Агроценозы (понятия, структура, особенности функционирования): учебное пособие / Г.К. Зверева. – Новосибирск: Изд. НГПУ, 2006. – 118 с.

Зеленев, А.В. Плодородие светло-каштановых почв и продуктивность биологизированных севооборотов Нижнего Поволжья / А.В. Зеленев, Р.Х. Уришев, Е.В. Семинченко // Вестник Прикаспия. – 2016. – №. 2. – С. 32.

Зеленева, Ю.В. Влияние сорта на патогенные свойства возбудителя *Septoria tritici* Rob. et. Desm. в условиях Центрального Черноземья / Ю.В. Зеленева, В.П. Судникова // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. – 2014. – №2(51). – С.15-20.

Зеленева Ю.В. Структура генотипного состава популяции *Puccinia recondita* Rob. ex. Desm. *f. sp. tritici* в ЦЧР/ Ю.В. Зеленева, В.П. Судникова // Сборник докладов 3-й Всероссийской научно-практической интернет-конференции молодых ученых и специалистов с международным участием. Экология, ресурсосбережение и адаптивная селекция. Изд.: «Научная книга». – 2019. – С. 33-37.

Зимина, Ю.А. Применение биопрепаратов на основе хитозана в сельском хозяйстве / Ю.А. Зимина, Г.А. Срослова, М.В. Постнова, Г.А. Срослова, М.В. Постнова // Природные системы и ресурсы. – 2018. – Т.8. – № 3. – С. 22-28.

Зоолшоев, З.Ф. Получение и свойства гидрогелей на основе полиакриламида, сшитого глутаровым альдегидом / З.Ф. Зоолшоев, Н.В. Боброва, И.С. Курындин, П.В. Власов // Вестник Тверского государственного университета. – 2016. – №1. – С. 100-109.

Зубков А.Ф. Агробиоценология / А.Ф. Зубков. – СПб.: Инновац. центр защиты растений, 2005. - 76 с.

Зубков, А.Ф. 80 лет развития агробиоценологии в институте защиты растений / А.Ф. Зубков /Под редакцией И.Я. Гричанова // Приложение к журналу «Вестник защиты растений» – Санкт-Петербург: ВИЗР. – 2015a. – №15. – 110 с.

Зубков А.Ф. Агробиогеоценология – методология полевой защиты растений. К 80-летию агробиоценологических исследований ВИЗР / А.Ф. Зубков //Вестник защиты растений. – 2015b. – № 4(86). – С. 59–61.

Зубков А.Ф. Агробиоценология / А.Ф. Зубков. – СПб.: ВИЗР, 2008. – 208 с.

Ибрагимов Т.З. Информационное обеспечение фитосанитарного мониторинга / Т.З. Ибрагимов // Защита и карантин растений. 2002. – № 10. – С.10-11.

Ибрагимов, Т.З. Компьютеризация мониторинга фитосанитарного состояния посевов сельскохозяйственных культур / Т.З. Ибрагимов, Т.С. Чертова, С.С. Санин // Тез. докл. координац. совещ. «Совершенствование контроля фитосанит. состояния с. х. культур с целью предотвращения вспышек массового развития болезней, вредителей и сорняков». – М., 1994. – С. 99-101.

Иванов, А.И. Аккумуляция тяжелых металлов и мышьяка базидиомами макромицетов различных эколого-трофических и таксономических групп / А.И. Иванов, А.А. Костычев, А.В. Скобанев // Поволжский экологический журнал. – 2008. – № 3. – С. 190 – 199.

Иванов, А.Л. Глобальное изменение климата и его влияние на сельское хозяйство России / А.Л. Иванов // Земледелие. – 2009. – №. 1. С. 3-5.

Иванова, Н.А. Влияние водного режима почв на продуктивность сельскохозяйственных культур / Н.А. Иванова, И.В. Гурина, С.Ф. Шемет // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. – 2014. – №. 4. – С. 124-135.

Иващенко, В.Г. Интенсификация растениеводства и эколого-продукционный баланс агроэкосистем: снижение плодородия почв и фитосанитарная дестабилизация / В.Г. Иващенко, В.А. Павлюшин // Вестник защиты растений. – 2027.– №3(93). – С. 5–16.

Ильин Д.Ю. Влияние селена на рост и развитие микромицетов-продуцентов биологически активных веществ: автореф. дис. канд. биол. наук: 03.00.23, 03.00.24 / Ильин Дмитрий Юрьеви+ч. – М., 2001. – 24 с.

Ионова, Н.Э. Роль отдельных органов в продукционном процессе у растений яровой пшеницы разного эколого-географического происхождения / Н.Э. Ионова, Л.П. Хохлова, Р.Н. Валиуллина, Э.Ф. Ионов // Сельскохозяйственная биология. – 2009. – № 1. – С. 60-67.

Кабашникова, Л.Ф. Молекулярные механизмы взаимодействия растений и фитопатогенов: врожденный иммунитет / Л.Ф. Кабашникова // Журнал Белорусского государственного университета. Экология. – 2018. – № 2. – С. 26–37.

Казнина, Н.М. Влияние свинца и кадмия на рост, развитие и некоторые другие физиологические процессы однолетних злаков: автореферат дис. ... канд. биол. наук: 03.00.12 / Казнина Наталья Мстиславовна. – Петрозаводск, 2003. – 23 с.

Калинина, А.В. Состав и содержание пигментов фотосинтеза в листьях проростков озимой мягкой пшеницы/ А.В. Калинина, С.В. Лящева // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2018. – Т.20(2). – Р. 286-290.

Каракулев, В.В., Фитосанитарные особенности возделывания яровой пшеницы по мезаформам рельефа на обыкновенных чернозёмах Оренбургской области / В.В. Каракулев, А.П. Глинушкин, А.А. Соловых // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2011. – Т. 4 (32). – С. 66-68.

Кашин, В.К. Биологическое действие и накопление селена в пшенице в условиях селенодефицитной биогеохимической провинции / В.К. Кашин, О.И. Шубина // Химия в интересах устойчивого развития. – 2011. – №19. – С. 151-156.

Кашуба, Ю.Н. Источники устойчивости к болезням озимой мягкой пшеницы и их использование в селекционном процесс / Ю.Н. Кашуба, Л.В. Мешкова, Т.В. Шварцкопф, Т.С. Зверовская // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2017. – № 10(156). – С.5-9.

Кекало, А.Ю. Защита зерновых культур от болезней / А.Ю. Кекало, В.В. Немченко, Н.Ю. Заргарян, М.Ю. Цыпышева. – Куртамыш: ООО «Куртамышская типография». – 2017. – 172 с.

Кекало, А.Ю. Влияние погодных условий в межфазные периоды вегетации на развитие листовых болезней яровой пшеницы/ А.Ю. Кекало, Е.В. Нестерова, М.В. Немченко // Аграрный вестник Урала. – 2017. – № 09 (163). – С. 8-15.

Ким, Ю.С. Фитосанитарная оценка высеваемых на юге России сортов озимой пшеницы по устойчивости к комплексу болезней / Ю.С. Ким // Таврический вестник аграрной науки. – 2019. – № 3(19). – С.39-48.

Кипрушкина, Е.И. Воздействие низкой температуры на динамику численности и проявление биоконтролирующего эффекта бактериями родов *Pseudomonas* и *Bacillus* / Е.И. Кипрушкина // Вестник международной академии холода. – 2007. – № 3. – С.34-38.

Кирюшин, В.И. Проблема экологизации земледелия в России (Белгородская модель) / В.И. Кирюшин // Достижения науки и техники АПК. – 2012. – №. 12. – С.3-9.

Кирюшин, В.И. Разработка и проектирование адаптивно-ландшафтных система земледелия в различных природно-сельскохозяйственных зонах / В.И. Кирюшин // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. – 2002. – №. 1. – С.36-53.

Климова, Н.В. Экспортный потенциал сельского хозяйства России [Электронный ресурс] / Н.В. Климова, М.И. Ищенко // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2016. – №. 119. – Режим доступа: http://ej.kubagro.ru/get.asp?id=6031&t=1

Козулина, Н.С. Устойчивость перспективных сортов яровой пшеницы к комплексу болезней в лесостепной зоне Красноярского края. Проблемы современной аграрной науки / Н.С. Козулина // Материалы международной заочной научной конференции (15 октября 2011 г.). Секция № 2. – Ст. №6. - С. 1-3.

Койшибаев, М.К. Интегрированная защита пшеницы от грибных болезней в Казахстане / М.К. Койшибаев, Л.А. Пономарева // Фитосанитарное оздоровление экосистем. Сборник научных трудов II Всероссийского съезда по защите растений. – СПб.: ВИЗР. – 2005. Т.1 – С. 179-181.

Койшыбаев, М. Устойчивость яровой пшеницы к корневой гнили / М. Койшыбаев, К. Куланбай // Защита и карантин растений. – 2010. – N 7. – С. 14-17.

Койшибаев, М. Болезни пшеницы. (Продовольственная и сельскохозяйственная организация ООН (ФАО)) / М. Койшибаев. – Анкара, 2018. – 365 с.

Колесников, Л.Е. Мониторинг патогенеза бурой ржавчины пшеницы при различной экспрессии генов устойчивости: автореферат дис. ... канд. биол. наук: 06.01.11 / Колесников Леонид Евгеньевич. – СПб, 1997. – 19 с.

Колесников, Л.Е. Особенности патогенеза бурой ржавчины пшеницы при различном уровне азотного питания растения-хозяина / Л.Е. Колесников, Э.А. Власова // Межинститутский сборник научных трудов. – СПб: СПБГАУ. – 2001a. – С.13-25.

Колесников, Л.Е. Методика построения имитационной модели системы патоген-хозяин. / Л.Е. Колесников, Э.А. Власова, Е.К. Колесников // *Universitas*: Наука в контексте современной культуры. Междисциплинарный сборник научных трудов молодых ученых СПбГУ. Раздел IV: Биология. Медицина. Экология. – СПб.: СПбГУ, 2001b. – С.408-418.

Колесников, Л.Е. Определение коэффициента оседания спор в имитационной модели патогенеза возбудителя бурой ржавчины пшеницы/ Л.Е. Колесников, Э.А. Власова, Е.К. Колесников //Защита растений от вредителей, болезней и сорняков. Сборник научных трудов. – Санкт-Петербург. – 2001c. – С. 58-62.

Колесников, Л.Е. Динамика развития бурой ржавчины пшеницы на линиях Thatcher / Л.Е. Колесников, Э.А. Власова // Микология и фитопатология. – 2003. – Т.37. – Вып.1. – С. 87-91.

Колесников, Л.Е. Оценка коллекционных образцов мягкой пшеницы и ППГ по признаку устойчивости к возбудителям выпревания озимых зерновых культур / Л.Е. Колесников, К.А. Фунтов // Проблемы аграрной науки на современном этапе: к 100-летию университета. Сборник науч. трудов. – 2004. – СПб.: СПбГАУ. – С. 37-41.

Колесников, Л.Е. Микобиота выпревания озимых зерновых культур в Северо-Западном регионе РФ / Л.Е. Колесников, Э.А. Власова // Агротехнический метод защиты растений от вредных организмов. Материалы третьей всероссийской научно-практической конференции Краснодар. – 2005. – С. 215-216.

Колесников, Л.Е. Мониторинг развития возбудителя мучнистой росы на образцах мягкой пшеницы / Л.Е. Колесников, Э.А. Власова // Научное обеспечение развития АПК в условиях реформирования. Сборник научных трудов научной конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов. – СПб.: СПбГАУ. – 2007. – С. 71-80.

Колесников, Л.Е. Имитационное моделирование уредостадии возбудителя бурой ржавчины пшеницы / Л.Е. Колесников, Е.К. Колесников, Э.А. Власова, Ю.Р. Колесникова // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2008a. – СПб: СПбГАУ. – № 10. – С. 47-50.

Колесников, Л.Е. Фитопатологические аспекты развития основных возбудителей болезней пшеницы /Л.Е. Колесников, Э.А. Власова, Ю.Р. Колесникова //Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2008b. – № 8. – С. 25-28.

Колесников, Л.Е. Мониторинг развития возбудителя бурой ржавчины на образцах мягкой пшеницы / Л.Е. Колесников, Э.А. Власова, Ю.Р. Саблина // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. – 2008c. – № 4. – С. 18-21.

Колесников, Л.Е. Устойчивость образцов мягкой пшеницы к возбудителю мучнистой росы / Л.Е. Колесников, Ю.Р. Колесникова // Научное обеспечение развития АПК в условиях реформирования. Сборник научных трудов. Министерство сельского хозяйства Российской Федерации. – СПб.: СПбГАУ. – 2008d. – С. 60-65.

Колесников, Л.Е. Влияние природно-климатических факторов на динамику патогенеза возбудителей болезней пшеницы / Л.Е. Колесников, Э.А. Власова, Ю.Р. Колесникова // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. – 2009a. – № 2. – С. 19-22.

Колесников Л.Е., Власова Э.А., Виноградов А.А. Развитие септориоза на коллекционных образцах мягкой пшеницы / Колесников Л.Е., Э.А. Власова, А.А. Виноградов // Сельскохозяйственная биология. – 2009b. – Т. 44. – № 5. – С. 90-93.

Колесников, Л.Е. Многомерный анализ патогенеза видов ржавчины, септориоза, мучнистой росы на мягкой пшенице различного географического происхождения / Л.Е. Колесников, Ю.Р. Колесникова //Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2009с. – № 14. – С. 59-63.

Колесников, Л.Е. Мониторинг развития септориоза на мягкой пшенице различного происхождения / Л.Е. Колесников, Э.А. Власова, Ю.Р. Колесникова // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. – 2010a. – №1. – С. 16-18.

Колесников, Л.Е. Анализ и прогноз развития инфекционного выпревания на сортах и линиях мягкой пшеницы в Северо-Западном регионе РФ / Л.Е. Колесников, Ю.Р. Колесникова // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2010b. – СПб: СПбГАУ. – № 19. – С. 47-54.

Колесников, Л.Е. Агробиологические особенности устойчивости пшеницы к возбудителю бурой ржавчины в условиях Северо-Западного региона РФ / Л.Е. Колесников, Е.В. Зуев, Ю.Р. Колесникова //Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. – 2011. – № 5. – С. 23-27.

Колесников, Л.Е. Влияние возбудителей болезней листьев на урожайность и экономическую эффективность возделывания яровой пшеницы / Л.Е. Колесников, М.Н. Павлова, К.В. Рыхлова // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2012. – №29. – С. 19-23.

Колесников, Л.Е. Устойчивость яровой мягкой пшеницы к возбудителю стеблевой ржавчины / Л.Е. Колесников, Е.В. Зуев, Ю.Р. Колесникова // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – № 32. – 2013a. – С.39-44.

Колесников, Л.Е. Развитие желтой ржавчины на яровой мягкой пшенице различного происхождения и анализ вредоносности болезни / Л.Е. Колесников, Е.В. Зуев, М.Н. Павлова, Ю.Р. Колесникова, К.В. Рыхлова // Перспективы развития агропромышленного комплекса России в условиях членства в ВТО.

международный агропромышленный конгресс: материалы для обсуждения. Международный агропромышленный конгресс, Северо-Западный региональный научный центр Российской академии сельскохозяйственных наук, Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, Экспофорум. Санкт-Петербург. – 2013b. – С. 196-197.

Колесников, Л.Е. Влияние листовых инфекций яровой мягкой пшеницы предшествующего года на элементы структуры урожая и устойчивость к болезням / Л.Е. Колесников, Е.В. Зуев, Ю.Р. Колесникова, М.Н. Павлова, К.В. Рыхлова, С.С. Белов // Перспективы развития агропромышленного комплекса России в условиях членства в ВТО. международный агропромышленный конгресс: материалы для обсуждения. Международный агропромышленный конгресс, Северо-Западный региональный научный центр Российской академии сельскохозяйственных наук, Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, Экспофорум. – Санкт-Петербург, 2013c. – С. 198-199.

Колесников, Л.Е. Биохимический состав листьев у устойчивых и восприимчивых к бурой ржавчине сортов яровой мягкой пшеницы / Л.Е. Колесников, О.Н. Танюхина, О.И. Бурова // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – № 37. – 2014a. – С.48-52.

Колесников, Л.Е. Биохимический состав зерна у устойчивых и восприимчивых к бурой ржавчине сортов яровой мягкой пшеницы / Л.Е. Колесников, М.Н. Павлова, Ю.Р. Колесникова // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – № 36. – 2014b. – С.46-49.

Колесников, Л.Е. Внутривидовая изменчивость элементного состава яровой мягкой пшеницы и ее связь с урожайностью и повреждением листьев вредителями / Л.Е. Колесников, Е.Б. Подгорная, О.Н. Танюхина, О.И. Бурова, Ю.Р. Колесникова // Междисциплинарный научный и прикладной журнал «Биосфера». – 2014c. – Т.6. – №4. – С.359-364.

Колесников, Л.Е. Применение спектрометрического анализа при оценке адаптивного потенциала мягкой пшеницы к условиям северо-западного региона РФ / Л.Е. Колесников, В.Г. Сурин, М.В. Киселев, Ю.Р. Колесникова // Вестник

Санкт-Петербургского университета. Серия 3. Биология. – 2015a. – № 2. – С. 78-89.

Колесников, Л.Е. Определение устойчивости яровой мягкой пшеницы к возбудителю мучнистой росы спектрометрическим методом / Л.Е. Колесников, В.Г. Сурин, Ю.Р. Колесникова // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – № 38. – 2015b. – С.33-39.

Колесников, Л.Е. Анализ факторов, влияющих на развитие возбудителя мучнистой росы яровой мягкой пшеницы и оценка вредоносности болезни/ Л.Е. Колесников // Современные проблемы сельскохозяйственных наук в мире. Сборник научных трудов по итогам международной научно-практической конференции. – 2015c. – С. 18-21.

Колесников, Л.Е. Антиоксидантная активность яровой мягкой пшеницы и ее связь с урожайностью и устойчивостью к болезням / Л.Е. Колесников, Я.С. Шапиро, Ю.Р. Колесникова, В.Г. Сурин, В.М. Шапкин // Агроэкология. – 2015c. – Т. 4. – № 4 (6). – С. 10-17.

Колесников, Л.Е. Использование информационных технологий в анализе фитосанитарного состояния агроценозов / Л.Е. Колесников // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2017a. – № 4 (49). – С. 56-63.

Колесников, Л.Е. Биологическое обоснование совместного использования микробов-антагонистов и хитозановых комплексов в защите яровой мягкой пшеницы от корневой гнили и листовых пятнистостей / Л.Е. Колесников, И.И. Новикова, Э.В. Попова, Н.С. Прияткин, Ю.Р. Колесникова // Вестник защиты растений. – 2017b. – № 2 (92). – С. 28-35.

Колесников, Л.Е. Масс-спектральный анализ содержания некоторых химических элементов во флаговых листьях у растений изогенных линий пшеницы (*Triticum aestivum* L.) с различной устойчивостью к бурой ржавчине / Л.Е. Колесников, О.И. Бурова, Ю.Р. Колесникова, А.В. Лаврищев, М.Н. Павлова // Сельскохозяйственная биология. – 2018a. – № 1. – Т. 53. – С. 72-84.

Колесников, Л.Е. Оценка эффективности совместного применения хитозана и микробов-антагонистов в защите яровой мягкой пшеницы от болезней с использованием спектрометрического анализа / Л.Е. Колесников, И.И. Новикова, В.Г. Сурин, Э.В. Попова, Н.С. Прияткин, Ю.Р. Колесникова // Прикладная биохимия и микробиология. – 2018b. – Т. 54. – № 5. – С. 546-552.

Колесников, Л.Е. Влияние препаратов на основе гуминовых веществ и серебра на элементы продуктивности мягкой пшеницы / Л.Е. Колесников, С.П. Мельников, Т.А. Васильева // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2018 с. – № 51. – С. 75-84.

Колесников, Л.Е. Биологическое обоснование применения микроудобрений и органо-минеральных препаратов для внекорневой подкормки пшеницы / Л.Е. Колесников, С.П. Мельников, М.В. Киселёв, Е.В. Зуев, Т.А. Васильева // Российская сельскохозяйственная наука. – 2019a. – № 1. – С. 12-15.

Колесников, Л.Е. Совместное использование штаммов микроорганизмов и хитозановых комплексов для повышения урожайности пшеницы (*Triticum aestivum* L.) / Л.Е. Колесников, Э.В. Попова, И.И. Новикова, Н.С. Прияткин, М.В. Архипов, Ю.Р. Колесникова, Н.Н. Потрахов, B. Van duijn, А.С. Гусаренко // Сельскохозяйственная биология. – 2019b. – Т. 54. – № 5. – С. 1024-1040.

Колесников, Л.Е. Выявление основных факторов, влияющих на структуру урожайности пшеницы и ее изменчивость в условиях Ленинградской области / Л.Е. Колесников, С.С. Чекурова, Ю.Р. Колесникова // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2019c. –№ 55. – С. 22-28.

Колесников, Л.Е. Биологическая эффективность штаммов ассоциативных ризобактерий в посевах мягкой пшеницы / Л.Е. Колесников, А.А. Белимов, П.М. Донес //Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2019d. – № 54. – С. 57-64. – DOI: 10.24411/2078-1318-2019-11057

Колесников, Л.Е. Биологическое обоснование использования белкового стимулятора роста для повышения урожайности пшеницы и оценка качества зерна

методами микрофокусной рентгенографии и оптического анализа / Л.Е. Колесников, И.И. Кременевская, Н.С. Прияткин, М.В. Архипов, Киселёв М.В., Ю.Р. Колесникова, И.Е. Разумова // Российская сельскохозяйственная наука. – 2020a. – № 3. – С. 21-27.

Колесников, Л.Е. Обоснование использования органоминеральных удобрений и продуктов глубокой переработки мясной отрасли при возделывании мягкой пшеницы / Л.Е. Колесников, М.И. Кременевская, С.П. Мельников, Ю.Р. Колесникова, И.Е. Разумова, Е.О. Язева, О.Н. Бисюкова // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств. – 2020b. – № 1 (43). – С. 57-66.

Колесников, Л.Е. Влияние метеорологических факторов и солнечной активности на развитие возбудителей болезней мягкой пшеницы / Л.Е. Колесников, Ю.Р. Колесникова, А.А. Кеслина // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2020c. – № 61. – С. 49-59.

Колесников, Л.Е. Биологическое обоснование использования белкового стимулятора роста для повышения урожайности пшеницы и оценка качества зерна методами микрофокусной рентгенографии и оптического анализа / Л.Е. Колесников, И.И. Кременевская, Н.С. Прияткин, М.В. Архипов, Киселёв М.В., Ю.Р. Колесникова, И.Е. Разумова // Российская сельскохозяйственная наука. – 2020d. – № 3. – С. 21-27.

Колесников, Л.Е. Повышение урожайности зерновых культур и снижение вредоносности возбудителей болезней при использовании акрилового гидрогеля и белкового стимулятора роста / Колесников Л.Е., Успенская М.В., Кременевская М.И., Орлова А.Г., Зуев Е.В., Колесникова Ю.Р. // Российская сельскохозяйственная наука. – 2021. – № 3. – С. 33-40.

Колесников, Л.Е. Фенотипическое проявление устойчивости пшеницы к бурой ржавчине: элементы и моделирование / Л.Е. Колесников, Е.К. Колесников, В.А. Павлюшин, С.В. Чернов, Ю.Р. Колесникова // Российская сельскохозяйственная наука. – 2022a. – № 1. – С. 38-46.

Колесников, Л.Е. Агроэкологическое варьирование продуктивности и поражаемости пшеницы болезнями: элементы и моделирование/ Л.Е. Колесников, В.А. Павлюшин, М.В. Архипов, Н.С. Прияткин, Ю.Р. Колесникова //Агрофизика. – 2022b. – № 3. – С. 40-52. – DOI: 10.25695/AGRPH.2022.03.06 (RSCI)

Колесников, Л.Е. Применение хитозана в защите пшеницы от болезней и повышении урожайности / Л.Е. Колесников, Э.В. Попова, И.И. Новикова, Ю.Р. Колесникова, Е.Д. Балагурова // Прикладная биохимия и микробиология. – 2022c. – Т.58. – №3. – С. 294–301.

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. – 2023a. – № 1. – С. 40-47.

Колесников, Л.Е. Моделирование эффективности штаммов *Bacillus subtilis* в зависимости от природно-климатических факторов при возделывании мягкой пшеницы / Л.Е. Колесников, И.И. Новикова, В.А. Павлюшин, Е.В. Зуев, Ю.Р. Колесникова // Российская сельскохозяйственная наука. – 2023b. – № 4. – С. 29-37.

Колесников, Л.Е. Разработка инновационного способа предпосевной обработки семян зерновых культур в электрическом поле переменного напряжения / Л.Е. Колесников, А.С. Казакова, И.В. Юдаев, М.В. Архипов, Н.В. Черникова, Ю.Р. Колесникова, Д.Ю. Радишевский, О.А. Пархоменко //Агрофизика. – 2024a. – № 1. – С. 16-26.

Колесников, Л.Е. Предпосевная обработки семян полупроводниковым лазерным излучением для оптимизации фитосанитарного состояния и повышения продуктивности мягкой пшеницы /Л.Е. Колесников, Д.Ю. Радишевский, М.И. Фокина, М.В. Архипов, Ю.Р. Колесникова, Г.Г.Р. Яхъяев // V Всероссийский конгресс по защите растений. Сборник тезисов докладов. – СПб.: ФГБНУ ВИЗР. 2024b. – С. 273

Колесникова, Ю.Р. Продуктивность яровой мягкой пшеницы и ее ограничение возбудителями болезней листьев / Ю.Р. Колесникова, Л.Е.

Колесников // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2012a. – № 27. – С. 60-67.

Колесникова, Ю.Р. Влияние агроэкологических факторов на продуктивность яровой мягкой пшеницы и развитие возбудителей болезней в условиях Северо-Запада РФ: автореферат дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.01, 06.01.07 / Колесникова Юлия Рудольфовна. – СПб, 2012b. – 22 с.

Колобаев, В.А. Иммунные к фитопатогенам сорта культурных растений как фактор экологической безопасности: картофель и сахарный тростник в качестве примеров / В.А. Колобаев, Е.В. Рогозина // Междисциплинарный научный и прикладной журнал «Биосфера». – 2014. – Т.6. – № 3. – С.222-230.

Коломиец, Т.М. Сорта пшеницы (*Triticum* L.) из коллекции GRIN (США) для использования в селекции на длительную устойчивость к септориозу / Т.М. Коломиец, Л.Ф. Панкратова, Е.В. Пахолкова // Сельскохозяйственная биология. – 2017. – № 52(3). – С. 561-569.

Колупаев, Ю.Е. Регуляция активности каталазы в колеоптилях пшеницы: возможная роль ионов Ca2+ и кальмодулина / Ю.Е. Колупаев, Ю.В. Карпец // Вісник харківського національного аграрного університету. Серія біологія. – 2008. – Вип. 1 (13). – С.15-21.

Колупаев, Ю.Е. Индукция теплоустойчивости колеоптилей пшеницы ионами кальция и ее связь с окислительным стрессом / Ю.Е. Колупаев, Г.Е. Акинина, А.В. Мокроусов // Физиология растений. – 2005. – Т. 52. – № 2. – С. 227-232.

Колупаев, Ю.Е. Участие активных форм кислорода в индуцировании аскорбатпероксидазы и гваяколпероксидазы при тепловом закаливании проростков пшеницы / Ю.Е. Колупаев, А.И. Обозный // Укр. біохім. Журнал. – 2012. – Т. 84. – № 6. – С.131-138.

Кононов, В.М. Агроклиматические ресурсы и уровень урожайности зерновых культур в Волгоградской области/ В.М. Кононов, Е.А. Шевяхова, А.А. Зибаров // Научно-агрономический журнал. – 2008. – № 1. – С. 22-27.

Копытенкова, О.И. Мониторинг состояния здоровья населения в антропогенно-трансформированных природных условиях города Санкт-Петербург / О.И. Копытенкова, А.В. Леванчук, Л.Е. Колесников //Экология Санкт-Петербурга и его окрестностей. Материалы научной конференции, посвященной 130-летию проекта профессора императорского Санкт-Петербургского университета В. В. Докучаева о детальном естественно-историческом, физико-географическом сельскохозяйственном исследовании Санкт-Петербурга и его окресностей. Санкт-Петербургский государственный университет, Центральный музей почвоведения им. В. В. Докучаева, РАСХН, Докучаевское общество почвоведов, Русское географическое общество. – 2005. – С. 206-212.

Копытенкова, О.И. Экология. Учебное пособие по выполнению лабораторных и практических занятий для студентов всех специальностей/О.И. Копытенкова, Т.Б. Балтрукова, Н.А. Бондарь, Р.А. Овчинникова, О.И. Иванова, Л.Е. Колесников, О.Н. Танюхина, А.В. Леванчук, И.Ф. Иванова, И.Х. Эмиров, Г.П. Подвигин, Е.В. Ялунер. – Санкт-Петербург: СПбГУСЭ. – 2006. –131 с.

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

Корзун, О.С. Адаптивные особенности селекции и семеноводства сельскохозяйственных растений / О.С. Корзун, А.С. Бруйло Гродно : ГГАУ, 2011. – 140 с.

Корнеев, В.А. Устойчивость озимой пшеницы и тритикале к снежной плесени / В.А. Корнеев, Л.Г. Чадаева, Н.Н. Чикида // Сб. науч. тр. по прикл. ботанике, генетике и селекции. – Л.: ВИР. – 1985. – Т. 92. – С. 25-28.

Корнеев, В.А. Изменение морозоустойчивости озимой пшеницы и озимого ячменя в связи с условиями выпревания (Агроклиматическая характеристика сельскохозяйственных культур в связи с селекцией и обоснованием размещения

посевов) / В.А. Корнеев, Л.Г. Чадаева // Бюллетень ВИР. – 1992a. − Вып. 217. − С. 14-18.

Корнеев, В.А. Изучение сортов озимой мягкой пшеницы на устойчивость к снежной плесени (Агроклиматическая характеристика сельскохозяйственных культур в связи с селекцией и обоснованием размещения посевов) / В.А. Корнеев, Л.Г. Чадаева // Бюллетень ВИР – 1992b. – Вып. 217. – С. 3-6.

Корнеев, В.А. Реакция сортов озимой мягкой пшеницы североамериканской экологической группы к инфекционному выпреванию (Агроклиматическая характеристика сельскохозяйственных культур в связи с селекцией и обоснованием размещения посевов) / В.А. Корнеев, Л.Г. Чадаева // Бюллетень ВИР. – 1993. – Вып. 231. – С. 3-6.

Королюк, М.А. Метод определения активности каталазы/ М.А. Королюк, Л.И. Иванова, И.Г.Майорова, В.Е. Токарев // Лаб. дело. – 1988. – № 1. – С. 16-18.

Косачев, И.А. Элементы структуры урожая и качества зерна яровой мягкой пшеницы в зависимости от технологии возделывания в условиях Усть-пристанского района Алтайского края / И.А. Косачев, С.И. Завалишин, В.Н. Чернышков, В.С. Карелина, Л.В. Соколова // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – № 6 (188). – 2020. – С. 26-32.

Костенко, И.А. Разработка и применение методов обнаружения ржавчины зерновых культур и пирикуляриоза риса: автореферат дис. ... канд. биол. наук: 06.01.11 / Костенко Игорь Александрович. – Краснодар, 2006. – 25 с.

Кохметова, А.М. Идентификация источников устойчивости к стеблевой ржавчине пшеницы с использованием молекулярных маркеров / А.М. Кохметова, М.Н. Атишова // Вавиловский журнал генетики и селекции – 2012. – Т.16. – № 1. – С. 132-141.

Кошелева, Н.Н. Корреляционный анализ и его применение для подсчета ранговой корреляции Спирмена / Н.Н. Кошелева // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. – 2012. – № 5. – С.23-26.

Кравченко, Э.В. состоянии и использовании земельных ресурсов Краснодарского края / Э.В. Кравченко, И.В. Будагов, Е.О. Бондаренко // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2014. – №. 4. – С. 60-65.

Красильников, В.В. Влияние хелатных микроудобрений на фитосанитарное состояние, урожайность и качество зерна яровой пшеницы Йолдыз / В.В. Красильников, М.А. Ложкин, О.В. Коробейникова // Научные инновации в развитии отраслей АПК: материалы Международной научно-практической конференции 18–21 февраля 2020 года, г. Ижевск. В 3 т.–Ижевск: ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА, 2020. – Т.1. – 204 с.

Кременевская, М.И. Влияние белкового стимулятора из спилка крупного рогатого скота на элементы продуктивности пшеницы и интенсивность развития болезней / М.И. Кременевская, Л.Е. Колесников, И.Е. Разумова // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2018. – № 53. – С. 80-87.

Кременевская, М.И. Применение белкового гидролизата, полученного методом глубокой переработки мясного сырья, для внекорневой подкормки мягкой пшеницы и снижения интенсивности развития болезней / М.И. Кременевская, Л.Е. Колесников, Ю.Р. Колесникова, Ф.С.У. Адхамов, М.М. Ткачева, Д.С. Минаков // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств. –2022. – № 2(52). – С. 40-56.

Кривобочек, В.Г. Новые сорта яровой пшеницы для инновационных технологий / В.Г. Кривобочек // Нива Поволжья. – 2014. – № 3. – С. 20-26.

Кудрявцева, Е.А. Влияние различных форм железа на прорастание семян *Triticum aestivum* L. / Е.А. Кудрявцева, Л.В. Анилова, С.Н. Кузьмин, М.В. Шарыгина // Вестник ОГУ. – 2013. – №6 (155). – С.46-48.

Кузьминых, А.Н. Влияние стимуляторов роста на урожайность и качество зерна яровой пшеницы / А.Н. Кузьминых, И.Я. Долгушева // Вестник Марийского государственного университета. Серия «Сельскохозяйственные науки. Экономические науки». – 2020. – Т. 6. – №. 2 (22). – С. 175-180.

Кузьмич, М.А. Влияние уровней азотного питания и реакции почвенной среды на продуктивность и качество зерна яровой и озимой пшеницы / М.А. Кузьмич, Л.С. Кузьмич, Е.М. Купреев //Агрохимический вестник. – 2007. – №3. – С.22-24.

Кузьмич, М.А. Качество российского зерна проблемы и перспективы / М.А. Кузьмич, Б.И. Сандухадзе, В.В. Бугрова, М.С. Крахмалёва, Л.С. Кузьмич, Р.З. Мамедов // АгроФорум. – 2020. – № 4. – С.46-52.

Кулагина, Ю.М. Влияние селенита натрия на рост и развитие растений пшеницы в зависимости от способа обработки / Ю.М. Кулагина, И.Ф. Головацкая // Вестник Томского государственного университета. Биология. – 2011. – Вып. №2 (14). – С. 56-64.

Кулик, К.Н. Катастрофические засухи в степной европейской части России, их дендрохронологическая индикация и связь с цикличностью солнечной активности / К.Н. Кулик, А.Т. Барабанов, В.И. Панов // Известия Самарского научного центра Российской Академии наук. – 2016. – Т.18. – № 2(2). – С. 438-443.

Кульков, О.В. Агрометеорологическая информационно-измерительная система для исследования динамики развития болезней растений по погодным индексам и опыт ее использования / О.В. Кульков, В.Б. Липатов, В.И. Якуткин, Р.А. Асосков, А.А. Никифоров // Агрофизические методы и приборы. – СПб., 1997. – Т.2. – С. 91-101.

Лапина, В.В., Роль предшественников в снижении поражаемости яровой пшеницы корневыми гнилями / В.В. Лапина, Н.В. Смолин, Н.С. Жемчужина // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2013. – №.1 (21). – С.29-33.

Ларионов, Ю.С. Альтернативные подходы к современному земледелию и наращиванию плодородия почв (новая парадигма) / Ю.С. Ларионов // Вестник сибирской государственной геодезической академии. – 2013. – №1(21). С. 49-60.

Ласточкина, О.В. Адаптация и устойчивость растений пшеницы к засухе, опосредованная природными регуляторами роста Bacillus spp.: механизмы

реализации и практическая значимость (обзор) / О.В. Ласточкина // Сельскохозяйственная биология. – 2021. – Т.56. – № 5. – С. 843-867.

Лачуга, Ю.Ф. Научно-техническая модернизация для качественного производства сельскохозяйственной продукции / Ю.Ф. Лачуга // Зернобобовые и крупяные культуры. – 2017. – №. 3(23). – С. 10–14.

Лебедева, Т.В. Наследование устойчивости к мучнистой росе у некоторых образцов яровой мягкой пшеницы из коллекции ВИР / Т.В. Лебедева, Е.В. Зуев // Vavilovia. – 2018. – Т.1, – № 1. – С.18-24.

Левитин М.М., Танский В.И., Власов Ю.И., Соколов И.М, Жаров., В.Р., Гончаров Н.Р. Принципы интегрированного подхода к решению проблем защиты растений / М.М. Левитин, В.И. Танский, Ю.И. Власов, И.М. Соколов, В.Р. Жаров, Н.Р. Гончаров // Вестник защиты растений. – 1999. – №1. – С.44-50.

Левитин, М.М. Защита растений от болезней при глобальном потеплении / М.М. Левитин // Защита и карантин растений. – 2012. – № 8. – С. 16-17.

Левитин М.М. Микроорганизмы в условиях глобального изменения климата / М.М. Левитин // Сельскохозяйственная биология. – 2015. – Т.50. – №5. – С. 641-647.

Ленточкин, А.М. Резервы повышения урожая яровой пшеницы / А.М. Ленточкин // Земледелие. – 2003. – №. 2. – С. 24-24.

Ленточкин, А.М. Эффективность систем обработки почвы в технологии выращивания яровой пшеницы / А.М. Ленточкин, П.Е. Широбоков, Л.А. Ленточкина // Достижения науки и техники АПК. – 2015. – Т. 29. – №. 5. –С.54-56.

Леонова, И.Н. Влияние чужеродного генетического материала на проявление хозяйственно важных признаков мягкой пшеницы (*T. aestivum* L.) / И.Н. Леонова // Вавиловский журнал генетики и селекции. – 2018. – № 22(3). – С. 321-328.

Лукьянова, И.В. Анализ видовых и сортовых особенностей устойчивости стеблей злаковых культур к полеганию с учетом их физико-механических свойств и архитектоники для использования в селекции: автореферат дис. ... докт. биол. наук: 06.01.05 / Лукьянова Ирина Владимировна. – Краснодар, 2008. – 51 с.

Лысоченко, А.А. Условия обеспечения и оценка угроз продовольственной безопасности регионов России / А.А. Лысоченко // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. – 2009. – № 3(36). – С.38-42.

Мазанко, М.С. Изменение численности микроорганизмов серопесков под влиянием сочетанного загрязнения свинцом и переменным магнитным полем / М.С. Мазанко, С.И. Колесников, Т.В. Денисова, К.Ш. Казеев, Е.В. Даденко, Ю.С. Кузнецова, А.А. Кузина // Научный журнал КубГАУ. – №82(08). – 2012. – С.1-10.

Максимов, И.В. Стимулирующие рост растений бактерии в регуляции устойчивости растений к стрессовым факторам / И.В. Максимов, С.В. Веселова, Т.В. Нужная, Е.Р. Сарварова, Р.М. Хайруллин // Физиология Растений. – 2015. – №62(6). – С. 763–775.

Малюга, Н.Г. Влияние технологии возделывания на продуктивность озимой пшеницы / Н.Г. Малюга, Т.В. Логойда, А.В. Курепин // Научный журнал КубГАУ. – 2014. – №99(05). – С.786-802.

Мамеев, В.В. Оценка урожайности, адаптивности, экологической стабильности и пластичности сортов озимой пшеницы в условиях Брянской области / В.В. Мамеев, В.М. Никифоров // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2015. – №. 7. – С. 125-129.

Маркелова, Т.С. Использование диких видов и сородичей пшеницы для интрогрессии генов устойчивости к болезням / Т.С. Маркелова //АГРО XXI. – 2007. – № 4-6. – С.16-18.

Маркин, В.Д. Формирование качества зерна сортов яровой пшеницы в условиях северо-востока ЦЧР [Электронный ресурс] / В.Д. Маркин, О.Н. Агаурова, П.В. Маркин // Наука и Образование. – 2020. – Т.3. – №.1. – Режим доступа: http://opusmgau.ru/index.php/see/article/view/1593

Мартынов, С.П. Генеалогический подход к анализу устойчивости пшеницы к болезням / С.П. Мартынов,Т.В. Добротворская // Фитосанитарное оздоровление экосистем. Сборник научных трудов II Всероссийского съезда по защите растений. – Т.1. – СПб.:ВИЗР. – 2005. –С. 511-513.

Марфенина, О.Е. Микроскопические грибы как показатель техногенного загрязнения почв тяжелыми металлами / О.Е. Марфенина // Влияние промышленных предприятий на окружающую среду. – М:«Наука». – 1987. –С. 189-196.

Матвеева, И.П. Желтая ржавчина пшеницы. Распространение, вредоносность, меры борьбы (обзор) / И.П. Матвеева, Г.В. Волкова // Вестник Ульяновской Государственной Сельскохозяйственной Академии. – 2019. – №2(46). – С. 102-116.

Матюк, Н.С. Экологическое земледелие с основами почвоведения и агрохимии / Н.С. Матюк, А.И. Беленков, М.А. Мазиров, В.Д. Полин, А.Я. Рассадин, Е.Д. Абрашкина – М.: РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 2011. – 189 с.

Матюк, Н.С. Роль сидератов в экологизации и биологизации земледелия / Н.С. Матюк, Г.Д. Гогмачадзе, С.С. Солдатова, В.Г. Безуглов //АгроЭкоИнфо. – 2010. – № 1(6). – С. 1-1.

Медведев, И.Ф. Роль экологических условий рельефа и удобрений в формировании урожайности яровой пшеницы на черноземах южных / И.Ф. Медведев, М.Н. Любимова // Вестник СГАУ им. Н.И. Вавилова. – 2008. – №. 4. – С. 28-30.

Медведев, П.В. Исследование влияния природно-географических и сортовых факторов на накопление тяжелых металлов яровой пшеницей/ П.В. Медведев, В.А. Федотов // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2009. – № 6. – С. 222-226.

Мединец, О.Э. Экологические предпосылки эпифитотий бурой ржавчины пшеницы / О.Э. Мединец // Защита и карантин растений. – 2014. – № 7. – С. 12-15.

Мелешкина, Е.П. Современные аспекты качества зерна пшеницы / Е.П. Мелешкина // Аграрный вестник Юго-Востока. – 2009. – №3. – С. 4-7.

Мельников, С.П. Влияние препаратов на основе гуминовых веществ и серебра на элементы структуры урожайности и устойчивость яровой мягкой пшеницы к болезням / С.П. Мельников, Л.Е. Колесников, А.Н. Базыкина //

Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2016. – № 43. – С. 67-75.

Мельникова, О.В., Количественная изменчивость и корреляционная зависимость урожайности и показателей качества зерна пшеницы мягкой яровой / О.В. Мельникова, В.Е. Ториков, В.М. Никифорова, Е.В. Тищенко // Вестник курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2020. – № 3. – С.21-27.

Мережко, А.Ф. Пополнение, сохранение в живом виде и изучение мировой коллекции пшеницы, эгилопса и тритикале. Методические указания / А.Ф. Мережко, Р.А. Удачин, В.Е. Зуев, А.А. Филотенко, А.А. Сербин, О.А. Ляпунова, В.Ю. Косов, У.К. Куркиев, Т.В. Охотникова, Н.А. Наврузбеков, Р.Л. Богуславский, А.К. Абдуллаева, Н.Н. Чикида, О.П. Митрофанова, С.А. Потокина – СПб.: ВИР, 1999. – 82 с.

Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур/ Под ред. В.И. Головачева, Е.В. Кириловской. Выпуск второй. Зерновые, крупяные, зернобобовые, кукуруза и кормовые культуры. – М., 1989. – 194 с.

Минаков, Д.В. Хитозан-глюкановые комплексы высших грибов: выделение, идентификация и определение некоторых свойств / Д.В. Минаков, А.Д. Верещагин, Ю.В. Мороженко, Н.Г. Базарнова //Химия растительного сырья. – 2019. – №1. – С. 251 -257.

Минкевич, М.И. Логическая модель прогноза вредоносности ржавчины пшеницы и ржи в различных эколого-географических зонах / М.И. Минкевич // Труды ВИЗР. Логическое и математическое моделирование в защите растений. – 1976. – Вып. 50. – С.103-106.

Мирончук, В.А. Государственное регулирование органического земледелия: состояние и тенденции развития в России / В.А. Мирончук, С.А. Есаян // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2015. – №. 112. – С. 1675-1696.

Митрофанова, О.П. Генетические ресурсы пшеницы в России: состояние и председекционное изучение / О.П. Митрофанова // Вавиловский журнал генетики и селекции. – 2012. – Т.16. – № 1. – С.10-20.

Михин, Д.В. Эколого-мелиоративные особенности полезащитных насаждений Воронежской области / Д.В. Михин // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – №. 6. – С. 968-968.

Можарова, И.П. Урожайность и качество зерна озимой пшеницы в зависимости от применения удобрений на основе комплекса микроэлементов с аминокислотами / И.П. Можарова, О.А. Шаповал // Плодородие. – 2021. – №5. – С.49-52.

Моргун, В.В. Кофизиологические и генетические аспекты адаптации культурных растений к глобальным изменениям климата / В.В. Моргун, Д.А. Киризий, Т.М. Шадчина // Физиология и биохимия культурных растений. – 2010. – Т. 42. – № 1. – С.3-22.

Морковкин, Г.Г. Влияние способов основной обработки почвы на урожайность зерна и его качество при оптимизации минерального питания яровой пшеницы / Г.Г. Морковкин, С.В. Жандарова, И.П. Аверьянова // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2014. – №. 12 (122). – С. 25-28.

Мохов, И.И. Климатические изменения и их оценка с использованием глобальной модели / И.И. Мохов, А.В. Елисеев, П.Ф. Демченко, В.Ч. Хон, М.Г. Акперов, М.М. Аржанов, А.А. Карпенко, В.А. Тихонов, А.В. Чернокульский // ИФА РАН. Доклады РАН. – 2005. – Т.402. – № 2. – С. 243-247.

Мусаев, Ф.Б. Применение рентгенографического метода в семеноведении овощных культур / Ф.Б. Мусаев, О.В. Курбакова, Е.Л. Курбаков, М.В. Архипов, Л.П. Великанов, Н.Н. Потрахов // Гавриш. – 2011. – №1. – С. 44-46.

Мусаев, Ф.Б. Рентгенография семян овощных культур / Ф.Б. Мусаев, Н.Н. Потрахов, М.В. Архипов. – СПб: СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2016. – 207 с.

Мусаев, Ф.Б. Инструментальный метод контроля качества семян корнеплодных овощных культур. М. ФГБНУ ВНИИССОК / Ф.Б. Мусаев, А.Ф. Бухаров, Е.Г. Козарь, С.Л. Белецкий // Овощи России. – 2017. – №4. – С. 73 – 77.

Мусаев, Ф.Б. Цифровая морфометрия разнокачественности семян овощных культур / Ф.Б. Мусаев, Н.С. Прияткин, М.В. Архипов, П.А. Щукина, А.Ф. Бухаров, М.И. Иванова // Картофель и овощи. – 2018. – № 6. – С.35-37.

Мусаев, Ф.Б. Цифровая морфометрия семян луковых культур / Ф.Б. Мусаев, М.И. Иванова, Н.С. Прияткин, С.М. Кузнец // Овощи России. – 2021. – № 3. – С. 44-48.

Мыхлык, А.И. Влияние удобрений и регуляторов роста на строение и продуктивность растений овса посевного / А.И. Мыхлык, С.В. Лазаревич // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2015. – №. 1. – С.73-74.

Найда, Н.М. Исследование биоморфологических особенностей и антиоксидантной активности лекарственных растений в Ленинградской области / Н.М. Найда, Я.С. Шапиро // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2014. – № 34. – С. 7-15.

Наследов, А. IBM SPSS Statistics 20.0 и AMOS: профессиональный статистический анализ данных / А. Наследов. – СПб.: Питер. – 2013. – 416 с.

Наумкин, В.Н. Экологические основы адаптивного растениведства / В.Н. Наумкин, Л.А. Наумкина, П.И. Кубарев, Г.А. Хлопяников, Г.А. Хлопяникова, А.В. Наумкин // Достижения науки и техники АПК №1. – 2006. – С. 47-48.

Наумов, А.М. Влияние биопрепаратов на накопление As пшеницей из дерново-подзолистой почвы. Всерос. науч.-практ. конф. «Молодежная наука 2013: технологии, инновации» / А.М. Наумов, В.В. Митрофанов, Г.Ю. Исаев, М.А. Ефремова. – Ч. 1. – Пермь, 2013. – С. 231-238.

Наумова, Г.В. Биологически активные гуминовые препараты и различные аспекты их физиологического действия / Г.В. Наумова, Н.А. Жмакова, Т.Ф. Овчинникова и др.// Природопользование. - 1996. - № 1. - С 99-103

Наумова, Г.В. Об эффективности использования препаратов гуминовой и меланоидиновой природы в качестве добавок к новым формам минеральных удобрений / Г.В. Наумова, Н.А. Жмакова, Т.Ф. Овчинникова // Природопользование. – 2000. – №6. – С. 136-138.

Нескорожений, Б.Ф. Довгостроковий біоценотичний прогноз ураження бурою іржею озимоі пшениці / Б.Ф. Нескорожений, О.Б. Зеленська // Укр. ботанический журнал. – 1993. – Т.50. – № 2. – С. 93-97.

Нигматьянов, А.А. Сортовая отзывчивость яровой пшеницы на биопрепараты при обработке семян / А.А. Нигматьянов, Р.К. Кадиков, Р.Р. Мигранов // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2015. – №.2 (52). – С.31-33.

Никитенко, Е.Г. Обоснование прогнозных сценариев развития зернового производства: автореферат дис. ... канд. экон. наук: 08.00.05 / Никитенко Екатерина Геннадьевна. – Ставрополь, 2012. – 22 с.

Никитин, С.Н. Влияние последействия органических удобрений и инокуляции семян ризоагрином на накопление пожнивно-корневых остатков и продуктивность яровой пшеницы / С.Н. Никитин // Достижения науки и техники АПК. – 2012. – №. 1. – С.12-13.

Никифоров, В.М. Урожайность и качество зерна сортов яровой пшеницы в условиях Брянской области / В.М. Никифоров, М.И. Никифоров, В.В. Мамеев // Вестник Брянской государственной сельскохозяйственной академии. – 2020. – №. 1 (77). – С. 7-12.

Никифоров, Е.В. Проблемы практического использования модели прогноза крупномасштабного распространения уредоспор возбудителя бурой ржавчины пшеницы / Е.В. Никифоров С.С. Санин. – Тез. докл. координац. совещ. «Совершенствование контроля фитосан. состояния с.-х. культур с целью предотвращения вспышек массового развития болезней, вредителей и сорняков». – М., 1994. – С. 111-115.

Николаев, С.В. Системный подход к моделированию развития листостебельных грибных инфекций пшеницы / С.В. Николаев, У.С. Зубаирова,

Е.С. Сколотнева, Е.А. Орлова, Д.А. Афонников // Вавиловский журнал генетики и селекции. – 2019. – № 23(1). – С.100-109.

Новиков, А.А. Обоснование роли корневых и пожнивных остатков в агроценозах / А.А. Новиков, О.П. Кисаров // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2012. – №. 78. – С.643-652.

Новикова, И.И. Биологическая эффективность препаративных форм на основе микробов-антагонистов для защиты картофеля от болезней при вегетации и хранении / И.И. Новикова, И.В. Бойкова, В.А. Павлюшин, В.Н. Зейрук, С.В. Васильева, М.К. Деревягина // Вестник защиты растений. –№4(86). – 2015. – С. 12–19.

Новикова, И.И. Биологическое разнообразие микроорганизмов – основа для создания новых полифункциональных биопрепаратов для фитосанитарной оптимизации агроэкосистем / И.И. Новикова // Вестник защиты растений. – 2016. – № 89(3). – С. 120-122.

Новикова, И.И. Устойчивость к болезням, продуктивность и содержание фотосинтетических пигментов в листьях яровой мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) под влиянием полифункциональных биопрепаратов и комплексов на основе микроорганизмов и хитозана / И.И. Новикова, Э.В. Попова, Л.Е. Колесников, Ю.Р. Колесникова, С.С. Чекурова // Сельскохозяйственная биология. – 2023. – Т. 58. – № 1. – С. 158-183.

Новоселов, С.Н. Философия идеотипа сельскохозяйственных культур. I. Методология и методика / С.Н. Новоселов // Научный журнал КубГАУ. – 2006. – №24(8). – С. 308-319.

Новохатин, В.В. Научное обоснование первичного и элитного семеноводства зерновых культур / В.В. Новохатин // Достижения науки и техники АПК. – 2018. – Т. 32. – № 9. – С.40–47.

Огурцов, М.Г. Солнечная активность и гелиоклиматические факторы– долговременная эволюция и возможные сценарии будущего развития:

автореферат дис. ... докт. физ.-мат. наук: 01.03.03 / Огурцов Максим Геннадиевич. – СПб., 2009. – 24 с.

Одинцова, И.Г. Лабораторный метод определения неспецифической устойчивости пшеницы к бурой ржавчине / И.Г. Одинцова, Л.А. Михайлова // Сельскохозяйственная биология. – 1981. – Т.16. – № 1. – С.137-141.

Оленин, О.А. Биологизация технологии возделывания яровой пшеницы и производство экологически безопасного зерна / О.А. Оленин // Земледелие. – 2016. – №. 2. – С.8-12.

Оленин, О.А. Цифровой мониторинг показателей агроэкосистем на основе космических и беспилотных технологий / О.А. Оленин, С.Н. Зудилин, Ю.В. Осоргин // Пермский аграрный вестник. – 2019. – № 3 (27). – С.53–61.

Омельченко, А.Я. Информационный портал ВИР и перспективы его развития / А.Я. Омельченко, Л.Ю. Новикова // Генетические ресурсы культурных растений в XXI веке. Состояние, проблемы, перспективы: Тезисы докладов II Вавиловской международной конференции. – СПб.: ВИР, 2007. – С. 678-680.

Орловская, О.А. Устойчивость линий мягкой пшеницы с генетическим материалом видов рода *Triticum* к грибным болезням / О.А. Орловская, С.И. Вакула, Л.В. Хотылева // Сельскохозяйственная биология. – 2021. – Т. 56. –№1. – С. 171-182.

Отчет о работе отделения защиты растений и выполнении научно-исследовательских программ за 2009 г./В.И. Долженко, В.А. Захаренко, К.В. Новожилов, В.А. Павлюшин, А.А. Кузьмичев. – М.: РАСХН. – 2010. –161 с

Павлюшин, В.А. Устойчивые сорта – важнейший элемент в фитосанитарной оптимизации агроэкосистем / В.А. Павлюшин // Научные материалы Первой Всероссийской конференции по иммунитету растений к болезням и вредителям. – СПб.: ВИЗР, 2002. – С. 16.

Павлюшин, В.А. Индуцированный иммунитет сельскохозяйственных растений и трансгенные сорта в решении проблем оптимизации функционирования агроэкосистем / В.А. Павлюшин, Н.А. Вилкова, Г.И.

Сухорученко, С.Р. Фасулати, Л.И. Нефедова // АГРО XXI. – 2008a. – № 1–3. – С. 9-14.

Павлюшин, В.А. Антропогенная трансформация агроэкосистем и ее фитосанитарные последствия / В.А. Павлюшин, С.Р. Фасулати, Н.А. Вилкова. – СПб.: ГНУ ВИЗР, 2008b. – 120 с.

Павлюшин, В.А. Агроэкосистемный подход в решении фундаментальных проблем по защите растений / В.А. Павлюшин // Вестник защиты растений. – 2009. – № 4. – С. 3-8.

Павлюшин, В.А. Новые комплексные биопрепараты для защиты овощных культур от грибных и бактериальных болезней / В.А. Павлюшин, С.Л. Тютерев, Э.В. Попова, И.И. Новикова, Г.А. Быкова, Н.С. Домнина // Биотехнология. – 2010. – № 4. – С. 69-80.

Павлюшин В.А., Вилкова Н.А., Сухорученко Г.И., Нефедова Л.И., Фасулати С.Р. Фитосанитарная дестабилизация агроэкосистем / Павлюшин В.А., Вилкова Н.А., Сухорученко Г.И., Нефедова Л.И., Фасулати С.Р. // СПб.: Родные просторы, 2013. – 184 с.

Павлюшин, В.А. Современные проблемы управления фитосанитарным состоянием агроэкосистем / В.А. Павлюшин, Н.А. Вилкова, Г.И. Сухорученко, Л.И. Нефедова // Информационный бюллетень ВПРС МОББ. – 2017. – № 52. – С. 221-227.

Павлюшин, В.А. Фитосанитарная безопасность агроэкосистем и дистанционный фитосанитарный мониторинг в защите растений / В.А. Павлюшин, А.К. Лысов // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2019. – Т.16. – №3. – С. 69-78.

Павлюшин, В.А. Микробиологическая защита растений в технологиях фитосанитарной оптимизации агроэкосистем: теория и практика (обзор) / В.А. Павлюшин, И.И. Новикова, И.В. Бойкова // Сельскохозяйственная биология. – 2020. – Т. 55. – № 3. – С. 421-438.

Панарин, И.В. Типы кривых развития эпифитотического процесса и их использование / И.В. Панарин // Интенсивная защита зерновых культур от вреди-

телей и болезней при интенсивных технологиях возделывания : сб. науч. тр. / под ред. П.Н. Рыбалкина. – Краснодар, 1987. – С.43-49.

Парахин, Н.В. Защита растений в повышении урожайности и качества зерна / Н.В. Парахин, Н.Н. Лысенко // Вестник аграрной науки. – 2012. – Т. 39. – №. 6. С.2-6.

Петрова, Л.Н. К оценке сортовых особенностей механизма формирования урожайности зерна у озимой пшеницы / Л.Н. Петрова, О.Ю. Гудиев // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2006. – №. 20. – С. 449-455.

Подгорбунских П.Е. Аграрное производство и сельские территории: единая система // Вестник Курганской ГСХА. – 2013. – №. 2(6). – С. 4-7.

Подгорная, Е.Б. Влияние физической нагрузки на элементный гомеостаз профессиональных пловцов в зависимости от половых различий / Е.Б. Подгорная, О.И. Бурова, А.С. Радилов, В.Р. Рембовский, О.Н. Танюхина // Лечебная физкультура и спортивная медицина. – 2012. – № 11(107).– 2012. – С. 4-10.

Полиевец, Н.Г. Имитационная модель сезонной динамики мучнистой росы пшеницы (возбудитель: *Erysiphe graminis* f. *tritici* Ein March. / Н.Г. Полиевец, В.И. Терехов // Эпифитотия с.-х. культур. Их прогноз и профилактика. Сборник докладов науч. конф. ч.3. Принципы и методы управления зашитой растений в условиях интенсивного растениеводства. –Чимган, 1988. – с. 25.

Политыко, П.М. Урожайность и качество зерна сортов яровой пшеницы в технологиях разного уровня интенсивности / П.М. Политыко, В.Н. Капранов, Н.Ю. Гармаш, В.Н. Федорищев, Г.А. Гармаш, С.Ю. Новиков, А.В. Соломатин // Аграрная Россия. – 2021. – №. 1. – С. 3-7.

Половникова, М.Г. Активность компонентов антиоксидантной защиты и полифенолоксидазы у газонных растений в онтогенезе в условиях городской среды / М.Г. Половникова, О.Л. Воскресенская // Физиология растений. – 2008. – Т. 55. – № 5. – С. 777-785.

Полонский, В.И. Селекция на содержание антиоксидантов в зерне как перспективное направление для получения продуктов здорового питания / В.И.

Полонский, И.Г. Лоскутов, А.В. Сумина // Вавиловский журнал генетики и селекции. – 2018. – № 22(3). – С. 343-352.

Поляков, М.В. Яровая пшеница и ячмень в Северном Зауралье: сорта, элементы технологии, урожайность и качество зерна / М.В. Поляков, Р.И. Белкина, О.В. Шулепова. – Тюмень, 2020. – 148 с.

Попов, Ю.В. Метод оценки развития корневых гнилей зерновых культур / Ю.В. Попов // Защита и карантин растений. – 2011. – № 8. – С. 45-47.

Попова, Э.В. Биологическая активность хитозана с разной молекулярной массой / Э.В. Попова, Н.С. Домнина, Н.М. Коваленко, Е.А. Борисова, Л.Е. Колесников, С.Л. Тютерев // Вестник защиты растений. – 2017. – № 3 (93). – С. 28-33.

Попова, Э.В. Инновационные гибридные иммуномодуляторы растений на основе хитозана и биоактивных антиоксидантов и прооксидантов / Э.В. Попова, Н.С. Домнина, С.В. Сокорнова, Н.М. Коваленко, С.Л. Тютерев // Сельскохозяйственная биология. – 2021. – Т. 56. – № 1. – С. 158-170.

Привалов, Ф.И. Микроудобрения в составе защитно-стимулирующих смесей / Ф.И. Привалов, А.Р. Цыганов // Достижения науки и техники АПК. – 2009. – №5. – С. 31-33.

Пригге, Г. Грибные болезни зерновых культур / Г. Пригге, М. Герхард, И. Хабермайер /Под редакцией проф. Ю.М. Стройкова. – Лимбургерхоф: БАСФ, 2004. – 192 с.

Прияткин, Н.С. Исследование влияния внешней среды на состояние растений на основе метода ГРВ биоэлектрографии / Н.С. Прияткин, К.Г. Коротков, В.А. Куземкин, Т.Б. Дорофеева // Известия вузов. Приборостроение. – 2006a. – Т. 49(2). – С. 67-72.

Прияткин, Н.С. Исследование влияния внешней среды на состояние растений на основе метода ГРВ Биоэлектрографии / Н.С. Прияткин, К.Г. Коротков, В.А. Куземкин, Т.Б. Дорофеева // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. – 2006b. – Т. 49. – № 2. – С. 67-73.

Прияткин, Н.С. Методика комплексной оценки эффективности влияния различных стимулирующих обработок вегетирующих растений на качество семенного материала с использованием технологий интроскопического анализа / Н.С. Прияткин, Л.Е. Колесников, М.В. Архипов, Л.П. Гусакова, Н.Р. Борисова // Неделя науки СПБПУ. Материалы научной конференции с международным участием. Высшая школа биотехнологии и пищевых технологий. – 2016a. – СПб.: СПБПУ. – С. 92-94

Прияткин, Н.С. Перспективы использования методик автоматизированного анализа изображений в лесном семеноводстве и лесной фитопатологии / Н.С. Прияткин, Л.Е. Колесников, М.В. Архипов, Л.П. Гусакова, С.М. Кузнец // Тезисы докладов Пятой международной научно-практической конференции «ITF-2016» (31 мая- 2 июня 2016 г.). –СПб.: СПбНИИЛХ, 2016b. – С. 116.

Прияткин, Н.С. Интроскопический анализ зерна при оценке эффективности стимулирующих обработок посевов пшеницы / Н.С. Прияткин, Л.Е. Колесников, Н.Р. Борисова // Научное обеспечение развития АПК в условиях импортозамещения. Сборник научных трудов международной научно-практической конференции профессорско-преподавательского состава «Научное обеспечение развития сельского хозяйства и снижение технологических рисков в продовольственной сфере». – Ч. 1. – 2017. – СПб.: СПбГАУ. – С. 114-117.

Прияткин, Н.С. Исследование рентгеновских и газоразрядных характеристик желудей дуба черешчатого (*Quercus robur* L.) для оценки их посевных качеств / Н.С. Прияткин, М.В. Архипов, Л.П. Гусакова, Д.С. Шабунин, О.Ю. Бутенко, А.А. Бойцов, Н.Н. Потрахов, Н.Е. Староверов, К.А. Саввина // Труды Санкт-Петербургского НИИ лесного хозяйства. – 2018a. – №2. – С. 4-17.

Прияткин, Н.С. Автоматический анализ и классификация цифровых рентгеновских и газоразрядных изображений семян пшеницы, поврежденных клопом вредная черепашка, для прогноза их посевных качеств / Н.С. Прияткин, М.В. Архипов, Л.П. Гусакова, А.А. Бойцов, Н.Н. Потрахов, Н.Е. Староверов, П.А. Щукина, А.В. Капусткина // Известия СПб ГЭТУ ЛЭТИ. – 2018b. – № 6. – С. 60-67.

Прияткин, Н.С. Опыт применения минерального удобрения «Natural Green Карелия» для обработок вегетирующих растений пшеницы / Н.С. Прияткин, Л.Е. Колесников, М.В. Архипов, Е.В. Зуев // Главный агроном. – 2020. – №4. – С. 4.

Прядкина, Г.А. Пигменты, эффективность фотосинтеза и продуктивность пшеницы/ Г.А. Прядкина // Plant varieties studying and protection. – 2018. – V.14(1). – P. 97-108.

Пусенкова, Л.И. Эффективность инокуляции семян яровой пшеницы эндофитными бактериями *Bacillus subtilis* 26Д / Л.И. Пусенкова, С.Р. Гарипова, О.В. Ласточкина, Р.А. Юлдашев // Проблемы агрохимии и экологии. – 2020. – № 3. – С. 56–64.

Рабинович, В.А. Краткий химический справочник / В.А. Рабинович, З.Я. Хавин. Под ред. А.А. Потехина и А.И. Ефимова. – Л.: Химия, 1991. – 432 с.

Рациональное питание. Рекомендуемые уровни потребления пищевых и биологически активных веществ. Методические рекомендации МР 2.3.1.1915-04. – М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека Российской Федерации, 2004. – 58 с.

Ревенко, В.Ю. Использование гидрогелей в растениеводстве / В.Ю. Ревенко, О.М. Агафонов // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. – 2018. – №11-2. – С.59-65.

Рига, Г.А. Прогноз эпифитотий бурой и стеблевой ржавчины пшеницы по результатам анализа заспоренности приземного слоя воздуха / Г.А. Рига, С.С. Санин, В.Т. Гончаров, В.П. Чуприна // Эпифитотия с.-х. культур. Их прогноз и профилактика. Сб. докл. науч. конф. посвящ. памяти проф. К.М. Степанова. ч.2. Биоэкологическое. обоснование защиты растений от грибных болезней. – Вильяди, 1986. – С. 151-155.

Рогожин, В.В. Изменение реакции антиоксидантной системы проростков пшеницы после ультрафиолетового облучения семян / В.В. Рогожин, Т.Т. Курилюк, Н.П. Филиппова // Биофизика. – 2000. – Т. 45. – № 4. – С. 730-736.

Рогожина, Т.В. Роль компонентов антиоксидантной системы в механизмах прорастания зерен пшеницы / Т.В. Рогожина, В.В. Рогожин // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2010. – № 11 (73). – С. 31-38.

Рогожина, Т.В. Роль перекисного окисления липидов в прорастании зерновок пшеницы / Т.В. Рогожина, В.В. Рогожин // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2013. – № 4 (102). – С. 28-32.

Розаков, Ю.Л. Перенос спор бурой ржавчины при различных метеорологических условиях и синоптических ситуациях / Ю.Л. Розаков // Эпифитотиология с.-х. культур. Их прогноз и профилактика. Сб. докл. науч. конф. посвящ. памяти проф. К.М. Степанова. Ч.1. Фитопатологическое прогнозирование как основа создания рациональных систем защиты растений. – Кобулети, 1983. – С. 51-58.

Рутковская, Т.С. О связи посевных качеств семян и биохимических показателей качества зерна яровой мягкой пшеницы / Т.С. Рутковская, М.В. Архипов, Е.Н. Пасынкова, Н.С. Прияткин, П.Ю. Конончук, Н.В. Кочерина, К.В. Симон // Агрофизика. – 2022. – № 1. – С.42-48.

Рыжов, И.А. Значение технологии возделывания сельскохозяйственных культур в повышении эффективности растениеводства / И.А. Рыжов // Биология в сельском хозяйстве. – 2016. – №. 3. – С. 14-17.

Фунтов, К.А. Эффективность различных методов создания стержневых коллекций (на примере пшеницы полбы): автореферат дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.05 / Фунтов Кирилл Александрович. – СПб, 1998. – 19 с.

Сабитов, М.М. Эффективность технологий возделывания озимой пшеницы при различных уровнях интенсификации / М.М. Сабитов // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2016. – №. 1 (50). – С. 41-46.

Савинова, Л.Н. Изучение влияния соединений тяжелых металлов на рост и развитие растений / Л.Н. Савинова, А.А. Попова, А.А. Ланина // Техносфера, безопасность жизнедеятельности, образование: Межвуз. сб. статей (Междунар. заоч. науч.практ. конференция. 17 апреля 2013 г.). – Тула: Изд. ТГПУ им. Л. Н. Толстого. – 2013. – С. 257-265.

Сандухадзе, Б.И. Селекция озимой пшеницы - важнейший фактор повышения урожайности и качества / Б.И. Сандухадзе // Достижения науки и техники АПК. – 2010. – №. 11. – С. 4-6.

Санин, С.С. Определение количества уредоспор ржавчины на посевах по концентрации их в приземном слое воздуха / С.С. Санин, В.И. Терехов, В.П. Чуприна, А.Д. Позднякова // Сельскохозяйственная биология. – 1976. – Т. 6. – №4. – С.587-591.

Санин, С.С. Интегрированные уравнения турбулентной диффузии для расчета профилей концентрации уредоспор на различных расстояниях от пораженного поля / С.С. Санин, Ю.А. Стрижекозин, А.А. Агаев // Эпифитотия с.-х. культур. Их прогноз и профилактика. Сб. докл. науч. конф. посвящ. памяти проф. К.М. Стенова. Ч.1. Фитопатологическое прогнозирование как основа создания рациональных систем защиты растений. – Кобулети, 1983. – С.35-38.

Санин, С.С. Совершенствование методики определения заспоренности приземного слоя воздуха и посевов пшеницы уредоспорами ржавчины / С.С. Санин // Эпифитотия с.-х. культур. Их прогноз и профилактика. Сб. докл. науч.конф. посвящ. памяти проф. К.М. Степанова. Ч.2. – Биоэкологическое обоснование защиты растений от грибных болезней. – Вильяди, 1986. – С. 53-56.

Санин, С.С. Фитосанитарная экспертиза зерновых культур / С.С. Санин. – М.: Росинформагротех, 2002. – 138 с.

Санин С.С. Защита пшеницы от бурой ржавчины / С.С. Санин // Защита и карантин растений. – 2007a. – № 11. – С. 58.

Санин, С.С. Защита пшеницы от бурой ржавчины / С.С. Санин. – Москва, 2007b. – 25 с.

Санин, С.С. Эпифитотии болезней зерновых культур: теория и практика / С.С. Санин // Избранные труды. – М.: ГНУ Всерос. науч.-исслед. ин-т. фитопатологии (ВНИИФ), 2012a. – С. 446-458.

Санин, С.С. Определение потерь урожая пшеницы от септориоза листьев и колоса / С.С. Санин, Л.Г. Корнева, Т.П. Жохова, Т.М. Полякова, Е.А. Акимова // Защита и карантин растений. – 2012b. – № 8. – С. 47–49.

Санин, С.С. Прогноз риска развития эпифитотий септориоза листьев и колоса пшеницы / С.С. Санин, Л.Г. Корнева, Т.М. Поляков // Защита и карантин растений. – 2015. – № 3. – С. 33-36.

Санин, С.С. Проблемы фитосанитарии России на современном этапе / С.С. Санин // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. – 2016. – №. 6. – С. 45-55.

Санин, С.С. Цифровые технологии в защите растений / С.С. Санин, Т.З. Ибрагимов // Защита и карантин растений. – 2019. – № 9. – С. 3-7.

Санин, С.С. Экономические и агроэкологические аспекты химической защиты зерновых культур от вредных организмов / С.С. Санин, Л.В. Карлова, А.В. Кащеев, Л.Г. Корнева // Защита и карантин растений. – 2022. – № 5. – С. 3-12.

Саранин, Е.К. Биологизация земледелия. Теория и практика / Е.К. Саранин. – М.: ИКАР, 1996. – 130 с.

Семена сельскохозяйственных культур. Методы анализа. – ИПК Издательство стандартов, 2004. – 219 с.

Семенова, Н.Н. Имитационная модель воздействия химических обработок на развитие бурой ржавчины на пшенице / Н.Н. Семенова, М.С. Эпштейн, А.П. Дмитриев // Фитосанитарное оздоровление экосистем. Сборник научных трудов II Всероссийского съезда по защите растений. Т.1. – СПб.: ВИЗР, 2005. – С. 216-217.

Серая, Л.Г. Возбудитель серой (пятнистой) снежной плесени гриб *Typhula ishikariensis S. Imai*: биология, экология, патогенез и обоснование приемов защиты: автореферат дис. ... канд. биол. наук: 06.01.11 / Серая Лидия Георгиевна. – М., 2001. – 20 с.

Сиптиц, С.О. Модельные оценки влияния климата на урожайность зерновых и зернобобовых культур в регионах России / С.О. Сиптиц, И.А. Романенко, Н.Е. Евдокимова // Проблемы прогнозирования. – 2021. – № 2. – С.75-86.

Сирота, Т.В. Патент № 2144674 (Россия). Способ определения антиоксидантной активности супероксидисмутазы и химических соединений / Т.В. Сирота (20.01.2000).

Скатова, С.Е. Озимая пшеница: принципы, методы, результаты селекции устойчивых к болезням сортов / С.Е. Скатова // Достижения науки и техники АПК. – 2013. – №4. – С. 27-30.

Сколотнева, Е.С. Разнообразие механизмов устойчивости, вовлеченных в многоуровневый иммунитет пшеницы к ржавчинным заболеваниям / Е.С. Сколотнева, Е.А. Салина // Вавиловский журнал генетики и селекции. – 2019. – № 23(5). – С. 542-550.

Слюсаренко А.Н. Защита посевов пшеницы от бурой ржавчины с учетом прогноза эпифитотий болезни: автореферат дис. ... канд. биол. наук: / Укр.гос.аграр.ун-т Киев, 1994, 38 с

Смирнова, Л.А. Исследование корреляционной зависимости между отдельными показателями устойчивости сортов пшеницы к бурой ржавчине, полученными в полевых и лабораторных экспериментах / Смирнова Л.А., Т.П. Алексеева, Б.М. Гуревич, Р.Х. Гончарова // Биологические науки. – 1991. – № 7. – С.115-121.

Соколов, М.С. Разработка и реализация институтами Российской Академии сельскохозяйственных наук эколого-биоценотической концепции и стратегии долгосрочной агроценотической регуляции / М.С. Соколов // Агрохимия. – 1996. – № 6. – С. 103-120.

Соколовская-Сергиенко, О.Г. Углекислотный газообмен и активность супероксиддисмутазы флаговых листьев различных сортов озимой пшеницы/ О.Г. Соколовская-Сергиенко, Д.А. Киризий // Вісн. Укр. тов-ва генетиків і селекціонерів. – 2010. – Т.8. – №1. – С.46-50

Сотпа, А.С. Влияние видов паров на свойства темно-каштановых почв Тывы и урожайность пшеницы / А.С. Сотпа // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2014. – №. 3. – С. 12-18.

Старовойтов, В.И. Возделывание картофеля с использованием влагосберегающих полимеров / В.И. Старовойтов, О.А. Старовойтова, А.А. Манохина // Техника и технологии АПК. – 2015. – № 1. – С. 15-18.

Старовойтова, Н.П. Органическое земледелие в России: плюсы и минусы / Н.П. Старовойтова // Бизнес. Образование. Право. – 2015. – №. 4. – С. 226-230.

Стасюк, А.И. Фенотипическая изменчивость селекционных линий мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) по элементам структуры урожая в экологических условиях Западной Сибири и Татарстана / А.И. Стасюк, И.Н. Леонова, М.Л. Пономарева, Н.З. Василова, В.П. Шаманин, Е.А. Салина // Сельскохозяйственная биология. – 2021. – Т.56. – № 1. – С. 78-91.

Степанов, К.М. Прогноз болезней сельскохозяйственных растений / К.М. Степанов, А.Е. Чумаков – Л.: Колос, 1972. – 271 с.

Стожков, Ю.И. О новом длительном минимуме солнечной активности / Ю.И. Стожков, В.П. Охлопков // Краткие сообщения по физике ФИАН. – 2013. – № 2. – С. 3–12.

Стрижекозин, Ю.А. Рейтинговые оценки и экономические пороги целесообразности применения фунгицидов на озимой и яровой пшенице / Ю.А. Стрижекозин, С.С. Санин, А.А. Агаев, Е.А. Соколова // Производство экологически безопасной продукции растениеводства. Вып. 3. – Пущино, 1997. – С. 40-45.

Стрижекозин, Ю.А. Оценка вредоносности болезней пшеницы на территории РФ/ Ю.А. Стрижекозин // АгроXXI. – 1999. – № 5. – С. 2-4.

Стрижекозин, Ю.А. Модельные системы принятия решений в защите зерновых культур от болезней / Ю.А. Стрижекозин // Вестник РАСХН. – 2000. – № 3. – С. 31-34.

Стрижекозин, Ю.А. Математические модели развития и вредоносности септориоза и бурой ржавчины пшеницы / Ю.А. Стрижекозин, Г.В. Пыжикова // Доклады РАСХН. – № 4. – 2001. – С. 16-18.

Стрижекозин, Ю.А. Модельные оценки вредоносности болезней зерновых / Ю.А. Стрижекозин, С.С. Санин // Защита и карантин растений. – 2003. – № 4. – С. 48-49.

Строкова, Н.Г. Современные способы переработки хитинсодержащего сырья / Н.Г. Строкова, А.В. Подкорытова // Технология переработки водных биоресурсов. Труды ВНИРО. – 2018. – Т. 170. – С. 124–152.

Сурин, В.Г. Метод определения оптических характеристик листьев в полевых условиях / В.Г. Сурин // Лесоведение. – 2001. – №2. – С. 70-75.

Сурин, В.Г. Исследование устойчивости растений фотометрическим методом / В.Г. Сурин, Л.Е. Колесников, Ю.Р. Саблина // Фитосанитарное оздоровление экосистем. Материалы Второго Всероссийского съезда по защите растений (5-10 декабря 2005 г.). – 2005. –Т.1. – С. 221-223.

Сурин, В.Г. Сравнительный фотометрический и биолокационный методы оценки состояния растений / В.Г. Сурин, Л.Е. Колесников, Э.В. Кувалдин, Ю.Р. Саблина // Сб. научных статей: Источники биоактивных излучений. Минералы. Электрические поля. Растения. – М.: МНТО РЭС им. А.С.Попова, 2006. – С. 48-54.

Сурин, В.Г. Оптические тестеры для полевой диагностики состояния посевов и их применение / В.Г. Сурин, Э.В. Кувалдин // Материалы координационного совещания и научной сессии Агрофизического института Санкт-Петербург. – 2009. – С. 155-159.

Сурин, В.Г. Использование вегетационного индекса для калибровки оптических тестеров по азотному питанию растений в посеве / В.Г. Сурин, К.Г. Моисеев, В.Н. Пищик // Материалы научной сессии Агрофизического института. СПб, 27-29 декабря 2011 г. – СПб.: АФИ, 2012. – С. 90-94.

Сурин В.Г. Прикладная полевая спектроскопия. Средства и методы / В.Г. Сурин. – Palmarium Academic Publishing (Saarbrücken). – 2013a. – 108 с.

Сурин, В.Г. Спектральные методы аэрокосмической фитоиндикации / В.Г. Сурин, М.А. Шубина. – Palmarium Academic Publishing (Saarbrücken), 2013b. – 68 с.

Сурин, В.Г. Спектрометрические приборы и оптические методы в прикладных задачах природопользования / В.Г. Сурин, Л.Е. Колесников, Ю.Р. Колесникова // Глобализация и развитие агропромышленного комплекса России.

Сборник научных трудов международной научно-практической конференции, посвященной 110-летию Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – СПб.: СПбГАУ. – 2014. – С. 34-35.

Сухарьков, Е.А. Влияние полезащитных лесонасаждений на накопление и распределение снежного покрова в условиях Приобской лесостепи Алтайского края / Е.А. Сухарьков // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2004. – Т. 16. – №. 4. С. 126-129.

Сухорученко, Г.И. Формирование ассортимента химических средств защиты растений от вредителей в XX веке / Г.И. Сухорученко, Л.А. Буркова, Г.П. Иванова, Т.И. Васильева, О.В. Долженко, С.Г. Иванов, В.И. Долженко // Вестник защиты растений. – 2020. – Т. 103. –Вып. 1. – С. 5-24.

Тайметов, М.Э. Фитосанитарная обстановка зерновых агроэкосистем / М.Э. Тайметов // Вестник Марийского государственного университета. Серия «Сельскохозяйственные науки. Экономические науки». – 2016. – Т.2 – №. 3(7). – С.50-55.

Таланов, И.П. Практическое руководство по технологии возделывания яровой пшеницы / И.П. Таланов. – Казань: Казанский государственный аграрный университет, 2011. – 48 с.

Танюхина, О.Н. Моделирование экотоксикологического состояния гидросистем различного типа, потенциально подверженных техногенным воздействиям, как один из инструментов экологического прогнозирования / О.Н. Танюхина, Л.Е. Колесников, А.Р. Коневалова, А.В. Синявин //Актуальные проблемы химической безопасности в Российской Федерации. Сборник трудов Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 45-летию ФГУП "НИИГПЭЧ" ФМБА России, 15-16 февраля 2007. – Санкт-Петербург. – 2007. – С. 197-200.

Танюхина, О.Н. Использование информационных технологий для оценки экологического состояния водоемов по данным химического анализа воды / О.Н. Танюхина, Л.Е. Колесников // Аналитика России. материалы III Всероссийской конференции с международным участием: к 175-летию со дня рождения Д. И.

Менделеева. Российская академия наук, Федеральное агентство по образованию РФ, Научный совет РАН по аналитической химии, ИОНХ имени Н. С. Курнакова РАН и другие. – 2009. – С. 489.

Танюхина, О.Н. Комплексная эколого-гигиеническая оценка влияния водной химической нагрузки на здоровье населения в индустриально развитых регионах/ О.Н.Танюхина, Е.К. Ланге, Л.Е. Колесников, О.И. Бурова, А.С. Радилов // Химическая и биологическая безопасность. –2012. – С. 47.

Танюхина, О.Н. Эколого-токсикологический мониторинг состояния экосистемы Ладожского озера/ О.Н. Танюхина, Л.Е. Колесников, Е.К. Ланге, О.В. Софронова, С.В. Лобякина, О.И. Буров, А.С. Радилов //IV Съезд токсикологов России. Сборник трудов. Под редакцией Г.Г.Онищенко и Б.А.Курляндский. – 2013. – С. 459-460.

Танюхина, О.Н. Санитарно-экологическая оценка воздействия тяжелых металлов на здоровье населения в зоне питьевого водоснабжения из Ладожского озера// О.Н. Танюхина, Е.К. Ланге, Л.Е. Колесников, О.И. Бурова, А.С. Радилов //Амурский медицинский журнал. – 2014. – № 3 (7). – С. 40-42.

Терехов В.И Кайдаш А.С., Солодухина Л.Д. Определение длительности инкубационного периода ржавчины хлебных злаков с использованием показателя энтальпии / В.И. Терехов А.С. Кайдаш, Л.Д. Солодухина // Сельскохозяйственная биология. – 1983. – М., С. 112-117.

Терехов, В.И. Краткосрочный прогноз развития бурой ржавчины в посевах пшеницы / В.И. Терехов, А.С. Кайдаш, В.Л. Бессмельцев, Л.Д. Солодухина, Н.Н. Корзаченко // Сельскохозяйственная биология. – 1984. – №2. – С. 119-124.

Терехов, В.И. Прогнозирование эпифитотий: классификация и частные решения / В.И. Терехов, Д.В. Денисова // Защита и карантин растений. –2001. – №1. – С. 42-44.

Тибирьков, А.П. Влияние полимерного гидрогеля и условий минерального питания на урожай и качество зерна озимой пшеницы на светло-каштановых почвах / А.П. Тибирьков, В.И. Филин // Известия Нижневолжского

агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2012. – № 3. – С. 66-70.

Тибирьков, А.П. Влияние полиакриламидного гидрогеля на структурно-агрегатный состав пахотного слоя светло-каштановой почвы Волго-Донского междуречья / А.П. Тибирьков, В.И. Филин // Известия нижневолжского агроуниверситетского комплекса. – 2013. – № 4 (32). – С.1-5.

Титова, В.И. Методы учета численности и биомассы микроорганизмов почвы: учеб.-методич. пособие / В.И. Титова, А.В. Козлов. – Н. Новгород: НГСХА, 2011. – 40 с.

Ткаченко, О.Б. Селекция озимых зерновых на устойчивость к снежной плесени / О.Б. Ткаченко // Сельскохозяйственная биология. – 2003. – № 5. –С. 101-108.

Ткачук, О.А. Совершенствование элементов технологии возделывания яровой пшеницы, обеспечивающих снижение энергетических затрат и повышение урожайности на черноземных почвах лесостепи Поволжья / О.А. Ткачук, А.Н. Орлов, Е.В. Павликова // Нива Поволжья. – 2012. – №. 2.

Торопова, Е.Ю. О роли биологического разнообразия в фитосанитарной оптимизации агроландшафтов / Е.Ю. Торопова, И.Г. Воробьева, В.А. Чулкина, Е.Ю. Мармулева // Сельскохозяйственная биология. – 2013. – № 3. – С. 12-17.

Трухачев, В.И. Природные факторы в прогнозировании экономических показателей зернового хозяйства / В.И. Трухачев, Е.Г. Никитенко // Вестник АПК Ставрополья. – 2011. – №. 3. – С. 46-49.

Тырышкин, Л.Г. Влияние элементов минерального питания на агрессивность возбудителя листовой ржавчины пшеницы *Puccinia triticina* Erikss. / Л.Г. Тырышкин // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2015. – Т. 38. – С. 29-32.

Тырышкин, Л.Г. Эффективная устойчивость к листовой ржавчине образцов яровой мягкой пшеницы новейших поступлений из коллекции ВИР / Л.Г. Тырышкин, Г.В. Волкова, Т.М. Коломиец, А.Н. Брыкова, Е.В. Зуев // Vavilovia. – 2019. – Т.2. – №2. – С.35-43.

Тырышкин, Л.Г. Эффективная ювенильная устойчивость образцов яровой мягкой пшеницы из коллекции вир к листовой ржавчине и темно-бурой листовой пятнистости / Л.Г. Тырышкин, С.К. Темирбекова, Е.Ю. Кудрявцева, Е.В. Зуев // Вестник российской сельскохозяйственной науки. – 2021. – № 3. – С.18-23.

Тютерев, С.Л. Природные и синтетические индукторы устойчивости растений к болезням / С.Л. Тютерев. – СПб: ВИЗР, 2014. – 212 с.

Успенская, М.В. Абсорбционные характеристики акрилатных композиций с двойным наполнением / М.В. Успенская, Н.В. Сиротинкин, В.А. Горский // Научно-технический вестник. Исследования и разработки в области физики и приборостроения. ИТМО. – СПб.: 2006. – Вып. 31. – С. 122-125.

Федоренко, В.Ф. Перспективные технологии диагностики патогенов сельскохозяйственных растений: науч. аналит. обзор / В.Ф. Федоренко, Н.П. Мишуров, Л.А. Неменущая. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2018. – 68 с.

Феоктистова, Н.В. Ризосферные бактерии / Н.В. Феоктистова, А.М. Марданова, Г.Ф. Хадиева, М.Р. Шарипова // Ученые записки казанского университета. Серия естественные науки. – 2016. – Т. 158(2). – С. 207–224.

Фесенко М.А., Шпанев А.М. Оценка сезонных значений вегетационного индекса NDVI для диагностики и анализа состояния посевов зерновых культур на северо-западе России / М.А. Фесенко, А.М. Шпанев // Агрофизика. – 2018. – С. 145-152.

Фесенко, М.А. Фотометрическая экспресс-диагностика минерального питания и фитосанитарного состояния посевов зерновых культур / М.А. Фесенко, А.М. Шпанев //Агрофизика. – 2019. – № 2. – С. 54-63.

Фесенко, М.А. Информативность вегетационного индекса (NDVI) при оценке состояния агроценоза и прогноза урожайности ярового ячменя с подсевом многолетних трав / М.А. Фесенко, А.М. Шпанев // Применение средств дистанционного зондирования Земли в сельском хозяйстве. Материалы III Всероссийской научной конференции с международным участием. – 2021. – С. 90-93.

Фирсова, Е.В. Скрининг фитосанитарного состояния семян и растений озимой мягкой пшеницы / Е.В. Фирсова, В.Б. Хронюк, А.С. Ерешко // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – № 12 (182). – 2019. – С. 11-17.

Фиссюра, Н.И. Система прогнозирования развития мучнистой росы пшеницы / Н.И. Фиссюра // Эпифитотия сельскохозяйственных культур. Их прогноз и профилактика. Сб. докл. науч. конф. посвяш, памяти проф. К.М. Степанова. ч.3. Принципы и методы управления защитой растений от болезней в условиях интенсивного растениеводства. – Ташкент: Чимган, 1988. – С. 42.

Фолманис, Г.Э. Нанотехнологии для растениеводства, современные тенденции в сельском хозяйстве / Г.Э. Фолманис // Сборник трудов I-ой международной Интернет-конференции. Казань, 15 - 17 октября 2012 г. –Казань: Изд-во «Казанский университет», 2012. – 224-229 с.

Фомина, А.В. Роль редкоземельных элементов в жизни растений и перспектива их применения в растениеводстве / А.В. Фомина, В.А. Назаров, Л.С. Назаров, Т.С. Подгорнова // Специалисты АПК нового поколения. Материалы IV Всероссийской научно-практической конференции. – Саратов. – 2010. – С. 237-238.

Фролов, А.В. О засухе 2010 года и ее влиянии на урожайность зерновых культур / А.В. Фролов, А.И. Страшная // Анализ условий аномальной погоды на территории России летом. – 2010. – С. 22-31.

Хисамов, Р.Р. Способы инактивации экологической депрессии у растений / Р.Р. Хисамов // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2008. – №. 12 (94). – С.37-40.

Цветкова, Н.А. Влияние погодных условий на развитие церкоспореллеза озимой пшеницы в центральных районах Нечерноземной зоны / Н.А. Цветкова, А.М. Симон // Защита растений от вредителей и болезней в условиях экологизации с.-х. производства. – СПб.: СПбГАУ, 1992. – С. 70-75.

Чекмарев, В.В. Новый подход к составлению формул прогноза болезней сельскохозяйственных культур (на примере ржавчинных заболеваний зерновых культур) / В.В. Чекмарев. – Тамбов: Принт-сервис, 2016. – 186 с.

Чекмарёв, В.В. Построение формул прогноза болезней растений на основе граничных значений факторов погоды / В.В. Чекмарёв, Ю.В. Зеленева, Э.А. Конькова, А.В. Козачек // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. – 2017. – №4 (66). – С. 15-22.

Черкасов, Г.Н. Совершенствование севооборотов и структуры посевных площадей для хозяйств различной специализации Центрального Черноземья / Г.Н. Черкасов, А.С. Акименко // Земледелие. – 2016. – №. 5. – С. 8-11.

Черпак, В.Ф. Технологические приемы повышения качества семян и урожайности зерновых культур в Приамурье / В.Ф. Черпак, В.Н. Макаров, И.М. Шиндин // Региональные проблемы. – 2010. – Т. 13. – №. 2. – С. 105-108.

Чесноков, Ю.В. Устойчивость растений к патогенам / Ю.В. Чесноков // Сельскохозяйственная биология. – 2007. – № 1. – С.16-35.

Чулкина, В.А. Эпифитотиология (экол. основы защиты растений) / В.А. Чулкина, Е.Ю. Торопова, Г.Я. Стецов / Под ред. акад. РАСХН А.А. Жученко. – Новосибирск, 1998. – 198 с.

Чулкина, В.А. Экологические основы интегрированной защиты растений. / В.А. Чулкина, Е.Ю. Топорова, Г.Я. Стецов. – Новосибирск: ФГБОУ ВО Новосибирский ГАУ, 2020. – 568 с.

Чумаков, А.Е. Методические указания по краткосрочному прогнозу распространенных болезней сельскохозяйственных культур / А.Е. Чумаков, И.И. Минкевич, Т.И. Захарова – М.: Колос, 1972. – С. 2-4.

Шабаев, А.И. Ресурсосберегающие технологии возделывания озимой пшеницы в агроландшафтах Поволжья. Методические рекомендации / А.И. Шабаев, Н.В. Михайлин, А.И. Прянишников, Ю.Ф. Курдюков, Н.М. Соколов, С.В. Лящева, З.М. Азизов, Л.В. Андреева, Л.П. Лощинина, Н.Г. Левицкая, В.Б. Лебедев, Н.И. Стрижков, С.Е. Каменченко, Д.А. Юсупов, М.П. Чуб, Т.М. Ярошенко, И.Ф. Медведев, Т.В. Демьянова, Н.М. Жолинский, Т.Б. Кулеватова, М.Н. Панасов, Г.В.

Шубитидзе, С.Б. Стрельцов, В.В. Худяков, Е.И. Грабовская, С.М. Янина, М.С. Цветков, В.П. Графов, А.П. Спирин, А.Ф. Жук, В.В. Покровский, С.Н. Косолапов, В.Н. Мараев, А.Н. Зайцев. – Саратов, 2008. – 64 с.

Шайдаюк, Е.Л. Популяционно-генетические исследования *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* в Дагестане и на Северо-Западе России /Е.Л. Шайдаюк, Д.Р. Яковлева, К.М. Абдуллаев, В.П. Пюккенен, Е.И Гультяева //Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. – 2021. – Т. 182(3). – С. 174-181. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-3-174-181

Шаймерденова, Д.А. Сравнительная характеристика классификаций зерна мягкой пшеницы Казахстана и основных зернопроизводящих стран / Д.А. Шаймерденова // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. – 2018. – Т. 80. – №. 1(75). – С. 140-145.

Шапиро, Я.С. Научно-методические основы изготовления экстракта кипрея узколистного (*Chamerion angustifolium* (L.) Holub. / Я.С. Шапиро // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2013. – № 32. – С. 33-35.

Шапиро, Я.С. Способ изготовления сиропа на основе иван-чая (кипрея узколистного). Патент RU 25455551 C2. / Я.С. Шапиро // Официальный бюллетень Федеральной службы по интеллектуальной собственности (Роспатент). – 2015. – №10. – С. 1-6.

Шапошников, А.И. Влияние ризобактерий *Pseudomonas fluorescens* SPB2137 на алюмоустойчивость растений пшеницы / А.И. Шапошников, Н.М. Макарова, М.Е. Баганова, Т.С. Азарова, Я.В. Пухальский // Национальная ассоциация ученых. – 2015. – №4-6 (9). – С. 133-136.

Шариков А.Ю., Степанов В.И., Иванов В.В., Поливановская Д.В., Амелякина М.В. Экструдирование смесей пшеницы и выжимок моркови повышенной влажности в технологии продуктов, готовых к употреблению / А.Ю. Шариков, В.И. Степанов, В.В. Иванов, Д.В. Поливановская, М.В. Амелякина // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. – 2018. – Т. 80(3). – С. 43-49.

Шашута, К.В. Органическое земледелие: сущность, подходы к определению понятия / К.В. Шашута //Актуальные проблемы развития экономики в современных условиях. – 2018. – С. 258-262.

Шешегова, Т.К. Зависимость развития грибной инфекции зерновых культур от сезонной динамики климатических факторов / Т.К. Шешегова, Л.М. Щеклеина, И.Н. Щенникова, А.Н. Мартьянова // Достижения науки и техники АПК. – 2017. – Т. 31. – № 4. – С.58-61.

Широких, И.Г. Влияние кислотности почвы и токсичности алюминия на структуру микробной биомассы в ризосфере ячменя / И.Г. Широких // Почвоведение. – 2004. – №. 8. – С. 961-966.

Широков, А.И. Роль устойчивости пшеницы в динамике развития ржавчинных заболеваний / А.И. Широков, Л.Я. Чмут // Защита растений. – 1993. – №2. – С.45-46.

Шишкин, Н.В. Определение генов устойчивости к бурой ржавчине у сортов озимой мягкой пшеницы с использованием традиционных и современных методов исследований / Н.В. Шишкин, Т.Г. Дерова, Е.И. Гультяева, Е.Л. Шайдаюк // Зерновое хозяйство России. – 2018. – № 5(59). – С.63–67.

Школьник, М.Я. Микроэлементы в жизни растений / М.Я. Школьник. – Л., 1974. – 323 с.

Шнякина, В.В. Прогнозирование бурой ржавчины пшеницы в Северном Казахстане по соотношению типов атмосферной циркуляции в марте текущего года / В.В. Шнякина // Эпифитотия сельскохозяйственных культур. Их прогноз и профилактика. Сб. докл. науч.конф. посвящ. памяти проф. К.М. Степанова, Ч.1. Фитопатологическое прогнозирование как основа создания рациональных систем защиты растений. – Кобулети, 1983. – С. 25-34.

Шпанев, А.М. Опыт применения БПЛА при мониторинге фитосанитарного состояния агробиоценозов / А.М. Шпанев // Сб. научных трудов второй всероссийской научной конференции с международным участием «Применение средств дистанционного зондирования земли в сельском хозяйстве» (Санкт-Петербург, 26-28 сентября 2018 г.). – СПб., 2018. – С. 379-383.

Шпанев, А.М. Применение гербицидов на основе спектральных измерений / А.М. Шпанев, В.В. Смук // Земледелие. – 2021. – №1. – С.37-40.

Шпилев, Н.С. Совершенствование оригинального семеноводства зерновых культур. / Н.С. Шпилев, В.Е.Ториков, Ф.И. Клименков // Вестник Брянской государственной сельскохозяйственной академии. – 2018. – №3 (67). – С. 3-5.

Шугалей, И.В. Некоторые аспекты влияния алюминия и его соединений на живые организмы / И.В. Шугалей, А.В. Гарабаджиу, М.А. Илюшин, А.М. Судариков // Экологическая химия. – 2012. – 21(3). – С. 172-186.

Шумилов, Ю.В. Желтая ржавчина пшеницы требует особого внимания / Ю.В. Шумилов., Г.В. Волкова //Защита и карантин растений. – 2013. – № 8. – С. 13-14.

Щеглов, А.И. Грибы - биоиндикаторы техногенного загрязнения / А.И. Щеглов, О.Б. Цветнова // Природа. – 2002. – № 11. – 2002. – С. 39-46.

Экспорт по странам и продукции на сайте http/www.fczerna.ru/Анализ экспорта зерна и продуктов его переработки за 2021/22 с.-х. год. – URL: http://www.fczerna.ru/news/?NAME=analiz-eksporta-zerna-i-produktov-ego-pererabotki-za-2021-22-s-kh-god-na-02-12-predvaritelno (дата обращения 02.12.21)

Юрченко, Е.Г. Отечественные биопрепараты в современных адаптивных технологиях контроля вредных организмов на винограде / Е.Г. Юрченко // Виноделие и виноградарство. – 2016. – №4. – С. 56-62.

Юрченко, Е.Г. Изучение микопатосистем многолетних агроценозов на основе биоценотического методологического подхода / Е.Г. Юрченко, Г.В. Якуба, И.Г. Мищенко, Н.А. Холод, А.И. Насонов, Н.В. Савчук // Научные труды СКФНЦСВВ. – 2018. – Т.15. – С. 79-84.

Юсупова, З.Р. Активность пероксидазы в различных клеточных фракциях при инфицировании пшеницы *Septoria nodorum* Berk / З.Р. Юсупова, Р.М. Хайруллин, И.В. Максимов // Физиология растений. – 2006. – Т.53. – №6. - С. 910-917.

Юшкевич, Л.В. Особенности формирования урожайности зерна яровой пшеницы в южной лесостепи Омской области / Л.В. Юшкевич, А.В. Ломановский,

В.М. Жиленко // Вестник Омского государственного аграрного университета. – 2015. – №. 3(19). – С.3-7.

Ягодин, Б.А. Агрохимия / Б.А. Ягодин, Ю.П. Жуков, В.И. Кобзаренко. – М.: Колос, 2002. – 584 с.

Якименко, В.Н. эффективность применения калийных удобрений в Западной Сибири / В.Н. Якименко, В.В. Носов // Питание растений. – 2012. – №1. с.2-4.

Abbott, W. Method of computing the effectiveness of an insecticide / W. Abbott // Journal of Economic Entomology – 1968. – V.8. – P. 265-267.

Abildayev, Y.Y. Ways for increasing phytosanitary stability of agrobiocenoses in adapted agriculture of South-Eastern Kazakhstan / Y.Y. Abildayev, N. Suleimenova, B. Mahamaedova, S. Zharaspayeva, I. Rayimbekova, M. Sybanbayeva // Journal of Biotechnology. – 2016. – V. 231. – P. 553-554.

Abobatta, W. Hydrogel Polymer: A New Tool for Improving Agricultural Production / W. Abobatta // Academic Journal of Polymer Science. – 2019. – V.3 (2). – P. 37-41.

Abobatta, W. Plant stimulants and horticultural production / W. Abobatta // MOJ Ecology & Environmental Sciences. – 2020. – V.6. – P. 261-265.

Abud, H.F. Radiographic images and relationship of the internal morphology and physiological potential of broccoli seeds / H.F. Abud, S.M. Cicero, Gomes F.G. Junior // Acta Scientiarum: Agronomy. – 2018. – V.40(1). – P. 1-9.

Adesemoye, A.O. Beneficial effects of plant growth-promoting rhizobacteria on improved crop production: prospects for developing economies / A.O. Adesemoye, D. Egamberdieva // In Bacteria in agrobiology: Crop productivity. – 2013. – Springer, Berlin, Heidelberg. – P. 45-63.

Afanasenko, O. Validation of molecular markers of barley net blotch resistance loci on chromosome 3h for marker-assisted selection/ O. Afanasenko, I. Rozanova, A. Gofman, N. Lashina, F. Novakazi, N. Mironenko, O. Baranova, A. Zubkovich //Agriculture. – 2022. – V. 12. – № 4. – P. 439.

Agarwal, R. Role of antibiosis in the biological control of s33pot blotch (*Cochliobolus sativus*) of wheat by *Chaetomium globosum* / R. Agarwal, A.K. Tewari, K.D. Srivastava, D.V. Singh // Mycopathologia. – 2004. – V.157. – P. 369-377.

Aguiar, N.O. Prediction of humic acids bioactivity using spectroscopy and multivariate analysis / N.O. Aguiar, E.H. Novotny, A.L. Oliveira, V.M. Rumjanek, F.L. Olivares, L.P. Canellas // Journal of Geochemical Exploration. – 2013. – V.129. – P.95–102.

Alemu, G. Wheat Breeding for Disease Resistance: Review / G. Alemu // Open Access Journal of Microbiology & Biotechnology. – 2019. – V.4 (2). – P. 1-10.

Ali, S.Z. Effect of inoculation with a thermotolerant plant growth promoting Pseudomonas putida strain AKMP7 on growth of wheat (*Triticum* spp.) under heat stress / S.Z. Ali, V. Sandhya, M. Grover, V.R. Linga, V. Bandi // Journal of Plant Interactions. – 2011. – N 6. – P. 239-246.

Ali, S. Yellow Rust Epidemics Worldwide Were Caused by Pathogen Races from Divergent Genetic Lineages / S. Ali, J. Rodriguez-Algaba, T. Thach, C.K. Sorensen, J.G. Hansen, P. Lassen, K. Nazari, D.P. Hodson, A.F. Justesen, M.S. Hovmoller // Front Plant Sci. – V. 20(8). – 2017. – article 1057. – DOI: 10.3389/fpls.2017.01057.

Altieri, M. Agroecology and the design of climate change-resilient farming systems / Altieri M., Nicholls C., Henao A., Lana M. // Agronomy for Sustainable Development. – 2015. – N 35. – P. 869-890.

Amir, J. A model of the temperature and solar-radiation effects on spring wheat growth and yield / J. Amir, T.R. Sinclair // Field Crops Research. – 1991. – Т. 28. – №. 1-2. – С. 47-58.

Andersen, E.A. Disease Resistance Mechanisms in Plants / E.A. Andersen, B. Shaukat, Y.Y. Emmanuel, M. Nepal // Genes. – 2018. – V. 9. P. – 339.

Arkhipov, M.V. Seed Assessment Using Fuzzy Logic and Gas Discharge Visualization Data / M.V. Arkhipov, N.S. Priyatkin, E.D. Krueger, D.A. Kurtener, A.S. Bondarenko // European Agrophysical Journal. – 2014. – Vol. 1. – N. 4. – P. 124-133.

Arkhipov, M.V. Visualization of internal structural defects of wheat seeds using microCT / M.V. Arkhipov, N.S. Priyatkin, L.P. Gusakova, A.M. Kulkov // MicroCT User Meeting. Abstract Book. Bruge, Belgium, 2015. – P. 177-179.

Arkhipov, M.V. Managed grain production as an element of rational nature management, ensuring the production of economically valuable grain with a minimum level of hidden damage / M.V. Arkhipov, Y. Tyukalov, T. Danilova, S. Letunov, N. Potrakhov, N. Staroverov // Agriculture digitalization and organic production. "Smart Innovation, Systems and Technologies". Singapore: Springer, 2022. – V. 245. – P. 103–112.

Arruda, N. Radiographic analysis for the evaluation of polyembryony in Swingle citrumelo seeds / N. Arruda, M.C. Silvio, F.G.J. Gomes // Journal of Seed Science. – 2018.– V. 40. – №.2. – P.118-126.

Asad, N.I. Predictive microbial-based modelling of wheat yields and grain baking quality across a 500 km transect in Québec / Asad N.I., Tremblay J., Dozois J., Mukula E., L'Espérance E., Constant P., Yergeau E. // FEMS Microbiology Ecology. – 2021. – V.97(12). – P. 160.

Asaf, S. Bacterial endophytes from arid land plants regulate endogenous hormone content and promote growth in crop plants: an example of *Sphingomonas* sp. and *Serratia marcescens* / S. Asaf, M.A. Khan, A.L. Khan, M. Waqas, R. Shahzad, Ah-Yeong Kim, Sang-Mo Kang, In-Jung Lee // Journal of Plant Interactions. – 2017. – N 12 (1). – P. 31-38.

Asseng, S. The impact of temperature variability on wheat yields / S. Asseng, I.A.N. Foster, N.C. Turner // Global Change Biology. – 2011. – T. 17. – №. 2. – C. 997-1012.

Azzam, R.AI. Agricultural polymers. Polyacrylamide preparation, application and prospects in soil conditioning / R.AI. Azzam // Communications in Soil Science and Plant Analysis. – 1980. – V. 11(8). – P. 767-834.

Babla, M. Value-added products as soil conditioners for sustainable agriculture / M. Babla, U. Katwa, Miing-Tiem Yong, S. Jahandar, M. Rahme, Zhong-Hua Chen, Z. Tao // Resources, Conservation and Recycling. – 2022. – V.178 (2).

Xu, T. Characterization of the microbial communities in wheat tissues and rhizosphere soil caused by dwarf bunt of wheat / T. Xu, W. Jiang, D. Qin, Tai-Guo Liu, J. Zhang, W. Chen, Li Gao // Scientific Reports. – 2021. – 11. –5773.

Baidakova, M. Polymer acrylic hydrogels with protein filler: Synthesis and characterization / M. Baidakova, V. Sitnikova, M. Uspenskaya, R. Olekhnovich, M. Kremenevskaya // Agricultural Research. – 2019. – V. 17. – I. 1. – P. 913-922.

Baidakova, M.V. Study of the properties of composition hydrogels based on potassium polyacrylate and protein filler / M.V. Baidakova, V.E. Sitnikova, M.V. Uspenskaya, R.O. Olekhnovich, M.I. Kremenevskaya, T.S. Denisov // Izvestiya SPbGTI (TU). – 2019. – N 48 (74). – 115-119.

Banerjee, P. Leaf extract mediated green synthesis of silver nanoparticles from widely available Indian plants: synthesis, characterization, antimicrobial property and toxicity analysis / P. Banerjee, M. Satapathy, A. Mukhopahayay, P. Das // Bioresources and Bioprocessing. – 2014. – V.1. – N. 3.

Baran, A. Hydrophysical and Biological Properties of Sandy Substrata Enriched with Hydrogel / A. Baran, T. Zaleski, D. Kulikowski, J. Wieczorek // Polish Journal of Environmental Studies. – 2015. – V. 24 (6). – P. 2355-2362.

Beest, D. Disease–Weather Relationships for Powdery Mildew and Yellow Rust on Winter Wheat / D. Beest, N. Paveley, M. Shaw, F. Bosch // Phytopathology. – 2008. – V. 98. – P. 609-617.

Belimov, A.A Genetic variability in tolerance to cadmium and accumulation of heavy metals in pea (*Pisum sativum* L.) / A.A. Belimov, V.I. Safronova, V.E. Tsyganov, A.Y. Borisov, A.P. Kozhemyakov, V.V. Stepanok, A.M. Martenson, V. Gianinazzi-Pearson, I.A. Tikhonovich // Euphytica. – 2003. – V. 131 (1). – P.25-35.

Ben-Ze'evl, S. The plant clinic as a tool for monitoring plant disease: 14 th Congr. Isr. Phytopathol.Soc. / S. Ben-Ze'evl, E. Levy, Osnat Ben Gal // Phytoparasitica. – 1993. – V. 21. – N 2. – P. 125-167.

Bickenstaedt, E. Long term preservation of uredospores of different species of the genus Puccinia on graminis / E. Bickenstaedt, S. Hardtke, E. Lorens, V.H. Paul // Cereal Rusts and Powdery Mildews Bulletin. – 1992. –N 20 (1-2). – P. 14-25.

Bieby, V.T. Review on heavy metals (As, Pb, and Hg) uptake by plants through phytoremediation/ // V.T. Bieby, R.S.A. Siti, B. Hassan, I. Mushrifah, A. Nurina, M.A. Muhammad International Journal of Chemical Engineering. – 2011. – Article ID 939161. Doi: 10.1155/2011/939161).

Biel, W. Comparison of yield, chemical composition and farinograph properties of common and ancient wheat grains / W. Biel, A. Jaroszewska, S. Stankowski, M. Sobolewska, J. Kępińska- Pacelik // European Food Research and Technology. –2021. – V. 247. – P.1525–1538.

Bigi, A. Mechanical and thermal properties of gelatin films at different degrees of glutaraldehyde crosslinking / A. Bigi, G. Cojazzi, S. Panzavolta, K. Rubini, N. Roveri // Biomaterials. – 2001. – 22 (8). – P. 763–768.

Bocharov, G.A. Numerical Modelling in Biosciences Using Delay Differential Equations / G.A. Bocharov, F.A. Rihan // Journal of Computational and Applied Mathematics. – 2000. – V. 125 (1–2). – P.183–199.

Bortolin, A. Application of polysaccharide hydrogels in adsorption and controlled-extended release of fertilizers processes / A. Bortolin, F.A. Aouada, M.R. Moura, C. de Ribeiro, E. Long, L.H.C. Mattoso // Journal of Applied Polymer Science. – 2011. – 123 (4). – P. 2291-2298.

Boskovic, J. Application of the gene-for-gene models in wheat hybrids resistant to *Puccinia recondita tritici* / J. Boskovic, M. Boskovic // Zastita Bilja. – 1993. – V. 44. – N 205. – P. 197-202.

Breckle S-W. Book Review: Walter's Vegetation of the Earth: the ecological systems of, the geobiosphere / S-W. Breckle. – 4th edn. Berlin, Germany: Springer-Verlag, 2002. – P. 527.

Briard, B. Pseudomonas aeruginosa manipulates redox and iron homeostasis of its microbiota partner *Aspergillus fumigatus* via phenazines / B. Briard, P. Bomme, E.B. Lechner, L.A. Mislin Gatan, V. Lair, M.-C. Provost, J.-P. Latg, H. Haas, A. Beauvais // Scientific reports. – 2015. – N 5. – P. 8220.

Bruggink, H. X-Ray based seed image analysis / H. Bruggink, B. van Duijn // Seed Testing International. – 2017. – 153. – P. 45-50.

Bulgari, R. Biostimulants Application in Horticultural Crops under Abiotic Stress Conditions / R. Bulgari, G. Franzoni, A. Ferrante // Agronomy. – 2019. – V.9. – P.306.

Burg, W.J. Non-destructive seed evaluation with impact measurements and X-ray analysis / W.J. Burg, H. Jalink, R.A. van Zwol, J.W. Aartse, R.J. Bino // Acta Horticulturae. – 1995. – V. 362. – P. 149 - 157.

Butenko, A.O. Agrobiological and ecological bases of productivity increase and genetic potential implementation of new buckwheat cultivars in the conditions of the Northeastern Forest-Steppe of Ukraine / A.O. Butenko, M.G. Sobko, V.O. Ilchenko, M.V. Radchenko, Z.I. Hlupak, L.M. Danylchenko, O.M. Tykhonova // Ukrainian Journal of Ecology. – 2019. – № 9 (1). – P. 162-168.

Calvero, S.B. Development of empirical forecasting models for rice blast based on weather factors / S.B. Calvero, S.M. Coakley, P.S. Teng // Journal of Plant Pathology. – 1996. – № 45. – P. 667-678.

Cao, Keqiang. The establishment of a mid-term forecast model for leaf rust of wheat / Keqiang Cao, Zhiyu Zhu, Shuanma Wang // Acta Phytophysiologica Sinica. – 1995. – V. 22. – N1. – P. 57-62.

Carmona-Hernandez, S. Biocontrol of Postharvest Fruit Fungal Diseases by Bacterial Antagonists: A Review / S. Carmona-Hernandez, J.J. Reyes-Prez, R.G. Chiquito-Contreras, G. Rincon-Enriquez, C.R. Cerdan-Cabrera, L.G. Hernandez-Montiel // Agronomy. – 2019. – 9(3). – P. 121.

Čater, M. Determination of seed vitality by High Frequency Electrophotography / M. Čater, F. Batič // In Phyton: annales rei botanicae– 1998. – 38 (2). – P. 225-336.

Čepulienė, R. Influences of biological preparations on soil properties in the spring wheat crop / R. Čepulienė, D. Jodaugienė // Conference: rural development. – 2018. – 10.15544/RD.2017.013.

Chang, C. Superabsorbent hydrogels based on cellulose for smart swelling and controllable delivery / C. Chang, B. Duan, J. Cai, L. Zhang // European Polymer Journal. V.46, Issue 1, 2010. P. 92-100. https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2009.04.033

Chavda, H.V. Preparation and characterization of SPH and SPHCs / H.V. Chavda, R.D. Patel, I.P. Modhia, C.N. Patel // International Journal of Pharmaceutical Investigation. – 2012. – N 2. – P. 134-139.

Chen X.M. Epidemiology and control of stripe rust (Puccinia striiformis f. sp. tritici) on wheat / X.M.Chen // Canadian Journal of Plant Pathology. - 2005. - № 27. –P. 314-337.

Chen, Y. Phenotypic variability in bread wheat root systems at the early vegetative stage/ Y. Chen, J. Palta, P.V. Vara Prasad, K. Siddique // BMC Plant Biology. – 2020. – V. 20(1). – 10.1186/s12870-020-02390-8

Cicek, E. Seed Size Effects on Germination, Survival and Seedling Growth of Castanea sativa Mill / E. Cicek, F. Tilki // Journal of Biological Sciences. – 2007. – V.7. – P. 438-441.

Coakley, S.M. Predicting stripe rust severity on winter wheat using an improved method for analyzing meteorological and rust data / S.M. Coakley, R.F. Line, L.R. McDaniel // Phytopathology. – 1988. – V. 78. – N 5. – P. 543-550.

Colla, G. Biostimulant action of a plant-derived protein hydrolysate produced through enzymatic hydrolysis / G. Colla, Y. Rouphael, R. Canaguier, E. Svecova, M. Cardarelli // Frontiers in Plant Science. – 2014. – V. 5. – 10.3389/fpls.2014.00448

Colla, G. Protein hydrolysates as biostimulants in horticulture / G. Colla, S. Nardi, M. Cardarelli, A. Ertani, L. Lucini, R. Canaguier, Y. Rouphael // Scientia Horticulturae. – 2015. – V.196. – P. 28-38.

Colla, G. Biostimulant Action of Protein Hydrolysates: Unraveling Their Effects on Plant Physiology and Microbiome / G. Colla, L. Hoagland, M. Ruzzi, M. Cardarelli, P. Bonini, R. Canaguier, Y. Rouphael // Frontiers in Plant Science. 2017. V.8. – 10.3389/fpls.2017.02202

Cristofano, F. Tracking the Biostimulatory Effect of Fractions from a Commercial Plant Protein Hydrolysate in Greenhouse-Grown Lettuce / F. Cristofano, C. El-Nakhel, G. Colla, M. Cardarelli, Y. Pii, L. Lucini, Y. Rouphael // Antioxidants. – 2023. – V.12. – P. 107. https:// doi.org/10.3390/antiox12010107

Cu, R.M. An expert advisory system for wheat disease management / R.M. Cu, R.F. Line // Plant Disease. – 1994. – V.78. – N 2. – P.209-215.

Dabhi, R. Super absorbent polymers –An Innovative water saving technique for optimizing crop yield / R. Dabhi, N. Bhatt, B. Pandit // International Journal of Innovative Research in Science. Engineering and Technology. – 2013. – N 2 (10). – P. 5333-5340.

Daly, J.M. Biochemical comparisons of resistance to wheat stem rust disease controlled by the Sr6 or Sr11 alleles / J.M. Daly, P. Ludden, P. Seevers // Physiological Plant Pathology. – 1971. – V. 1(4). – P. 397-407.

Dams, R. Bioaugmentation of pcp in two different soils by *Sphingomonas chlorophenolica* ATCC 39723 / R. Dams, G. Paton, K. Killham // Pesticidas: r. ecotoxicol. e meio ambiente. Curitiba. – 2006. – V. 16. – P. 111-124.

Del Nobile, M.A. Applications of tomography in food inspection. In book: Industrial tomography. Systems and applications / M.A. Del Nobile, J. Laverse, V. Lampignano, B. Cafarelli, A. Spada. – 2015. – V. 12. – P. 693-710.

Dell'Aquila, A. Pepper seed germination assessed by combined X-radiography and computer-aided imaging analysis /A. Dell'Aquila // Journal Biologia Plantarum. – 2007. – 51. – P. 777–781.

Dinglasan, E. Resistance to yellow spot in wheat grown under accelerated growth conditions / E. Dinglasan, I. Godwin, M. Mortlock, L. Hickey // Euphytica. – 2016. – V. 209(3) . – 10.1007/s10681-016-1660-z.

Donald, E.A. Aerialspore dispersal close to a focus of disease / E.A. Donald // Agricultural and Forest Meteorology. – 1989. – V.47. – N2-4. – P.109-122.

Dordas C. Role of nutrients in controlling plant diseases in sustainable agriculture. A review / C. Dordas // Agronomy for Sustainable Development. – 2008. – 28(1). – P. 33-46.

Drenth, H. An evaluation of the cropphysiological and epidemiological information in EPIPRE / H. Drenth, J. Hoek, R.A. Daamen, W.A.H. Rossing, W. Stol, F.G. Wijnands // Bulletin OEPP. – 1989. – V.19. – N3. – P. 417-424.

Dutta, A. *Bipolaris sorokiana* (Sacc.) Shoem.: The most destructive wheat fungal pathogen in the warmer areas / A. Dutta, P. Pradhan // Australian Journal of Crop Science. – 2011. – V.5. – P. 1064-1071.

Duveiller, E. The challenges of maintaining wheat productivity: pests, diseases, and potential epidemics / E. Duveiller, R.P. Singh, J.M. Nicol // Euphytica. – 2007. – V.157. – P. 417–430.

Dwivany, F. Chitosan improving Growth in Chili (*Capsicum annuum* L.) Plants and acting through Distinct Gene Regulation between Cultivars/ F. Dwivany, K.M. Kuswati, R. Esyanti, H. Nugrahapraja // Research Journal of Biotechnology. – 2021. –V. 16 (2). – P.87-92.

Easson, D.L. The effects of weather, seed rate and cultivar on lodging and yield in winter wheat / D.L. Easson, E.M. White, S.J. Pickles // The Journal of Agricultural Science. – 1993. – V. 121. – N. 2. – C. 145-156.

Eitzinger, J. Sensitivities of crop models to extreme weather conditions during flowering period demonstrated for maize and winter wheat in Austria / J. Eitzinger, S. Thaler E. Schmid, F. Strauss, R. Ferrise, M. Moriondo, M. Bindi, T. Palosuo, R.P. Rötter, K. Kersebaum, J. Olesen, R. Patil, L. Şaylan, Çaldağando B., Çaylak., E. Thaler, F. Schmid, R. Strauss, M. Ferrise, Çaldağando. //The Journal of Agricultural Science. – 2013. – T. 151. – №. 6. – C. 813-835.

El-Hady, O.A. Super gel as a soil conditioner: its effect on plant growth, enzymes activity, water use efficiency and nutrient uptake / El-O.A. Hady, M.Y. Tayel, A.A. Lofty // Acta Horticulture. – 1981. – V.119(22). – P. 257-265.

Bakass, M. Absorption and desorption of liquid water by a superabsorbent polymer: effect of polymer in the drying of the soil and the quality of certain plants / M. Bakass, A. Mokhlisse, M. Lallemant // Journal of Applied Polymer Science. – 2002. – V. 83(2). – P. 234-243.

Entrya, J.A. Polyacrylamide preparations for protection of water quality threatened by agricultural runoff contaminants / J.A. Entrya, R.E. Sojkaa, M. Watwoodb, C. Rossc // Environmental Pollution. –2002. – V. 120. – P. 191–200.

Ertani, A. Evaluation of seaweed extracts from *Laminaria* and *Ascophyllum nodosum* spp. as biostimulants in *Zea mays* L. using a combination of chemical, biochemical and morphological approaches / A. Ertani, O. Francioso, A. Tinti, M. Schiavon, D. Pizzeghello, S. Nardi // Frontiers in plant science. – 2018. – V. 9. – P. 428.

Eversmeyer, M.G. Survival of *Puccinia recondita* and *P. graminis urediniospores* as affected by exposure to weather condition at one meter / M.G. Eversmeyer, C.L. Kramer // Phytopathology. – 1994. – V. 84. – N 4. –P. 332-335.

Eversmeyer, M.G. Models of early spring survival of wheat leaf rust in the central Great Plains / M.G. Eversmeyer, C.L. Kramer // Plant Disease. – 1998. – V. 82. – N 9. – P. 987-991.

Fahad, S. Potential role of phytohormones and plant growth-promoting rhizobacteria in abiotic stresses: consequences for changing environment / S. Fahad, S. Hussain, A. Bano, S. Saud, S. Hassan, D. Shan, F.A. Khan, F. Khan, Y. Chen, C. Wu, M.A. Tabassum, M.X. Chun, M. Afzal, A. Jan, M.T. Jan, J. Huang // Environmental Science and Pollution Research. – 2015. – V. 22. – No 7. – P. 4907–4921.

FAO Crop Prospects and Food Situation– Quarterly Global Report No. 4, December 2020. Food and Agriculture Organization, Rome. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.fao.org/documents/card/en/c/cb2334en

Ferrandino, F.J. Length scale of disease spread: Fact or artifact of experimental geometry / F.J. Ferrandino // Phytopathology. – 1996. – V. 86. – N 8. – P. 806-811.

Feuillet, C. Map-based isolation of the leaf rust disease resistance gene Lr10 from the hexaploid wheat (*Triticum aestivum* L.) genome / C. Feuillet, S. Travella, N. Stein, L. Albar, A. Nublat, B. Keller // Proceedings of the National Academy of Sciences. – 2003. – V. 100(25). – P. 15253-15258.

Firsova, Ye.V. The screening of phytosanitary state of seeds and plants of soft winter wheat/ Ye.V. Firsova, V.B. Khronyuk, A.S. Yereshko // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – № 12 (182). – 2019. – С. 11-17.

Flegg, J.J.M. Forecasting developments in crop protection. Monogr. / J.J.M. Flegg // British Crop Protection Council. – Farnham (Sur.), 1993. – N 54. – P. 177-180.

French, R.J. Water use efficiency of wheat in a Mediterranean-type environment. I. The relation between yield, water use and climate / R.J. French, J.E. Schultz //Australian Journal of Agricultural Research. – 1984. – T. 35. – №. 6. – C. 743-764.

Fry W.E., Birch P.R., Judelson H.S., Grünwald N.J., Danies G., Everts K.L. Gevens A.J., Gugino B.K., Johnson D.A., Johnson S.B., McGrath M.T., Myers K.L., Ristaino J.B., Roberts P.D., Secor G., Smart C.D. Five reasons to consider Phytophthora infestans a reemerging pathogen / W.E. Fry, P.R. Birch, H.S. Judelson, N.J. Grünwald, G. Danies, K.L. Everts, A.J. Gevens, B.K. Gugino, D.A. Johnson, S.B. Johnson, M.T. McGrath, K.L. Myers, J.B. Ristaino, P.D. Roberts, G. Secor, C.D. Smart // Phytopathology. – 2015. – V. 105. – P. 966–981.

Furbank, R.T. Improving photosynthesis and yield potential in cereal crops by targeted genetic manipulation: prospects, progress and challenges/ R.T. Furbank, W.P. Quick, X.R.R. Sirault // Field crops research. – 2015. – V.182. – P. 19-29.

Gagkaeva T.Yu., Levitin M.M., Sanin S.S., Nazarova L.N. Fusarium head blight of small cereals and causal organisms associated with this disease on the territory of Russia during 2004-2006/ T.Yu. Gagkaeva, M.M. Levitin, S.S. Sanin, L.N. Nazarova // Научно-практический журнал «Агро XXI». □ № 4-6. □ 2009. □ С.4-6

Garcia-Fraile, P. Role of bacterial biofertilizers in agriculture and forestry / P. Garcia-Fraile, E. Menendez, R. Rivas // American Institute of Mathematical Sciences Journal. – 2015. – V.2. – P. 183-205.

Garvin, D.F. Historical shifts in the seed mineral micronutrient concentration of US hard red winter wheat germplasm / D.F. Garvin, R.M. Welch, J.W. Finley // Journal of the Science of Food and Agriculture. – 2006. – V. 86. – P. 2213 - 2220.

Gassner, G. Die Bestimmung der biologischen Rasses des Weizengelbrostes (*Puccinia glumarum* f.sp. tritici (Schm.) Erikss. and Henn.) / G. Gassner, W. Straib // Arbeiten Biol.Reichsanstalt Land und Forstwirtschalt. – 1932. – V. 21. – P. 141–164.

Ge, Hongyi. Identification of wheat quality using THz spectrum / Ge Hongyi, Jiang Yuying, Xu Zhaohui, Lian Feiyu, Zhang Yuan, Xia Shanhong // Optics Express. – 2014. – V. 22. – P. 12533-12544.

Geertsema, W. Actionable knowledge for ecological intensification of agriculture / W. Geertsema, W.A. Rossing, D.A. Landis, F.J. Bianchi, Van P.C. Rijn, J.H. Schamine, T. Tscharntke, W. van der Werf // Frontiers in Ecology and the Environment. – 2016. – V. 14(4). – P. 209-216.

Ghorbani, S. Signaling peptidesin plants / S. Ghorbani, A. Fernandez, P. Hilson, T. Beeckman // Cell and Developmental Biology. – 2014. – V. 3(2). – 10.4172/2168-9296.1000141

Ghulam, Q.S. Evaluation of eleven macro and micro elements present in various hybrids of millet (*Pennisetum glaucum*, or *P. americanum*) / Q.S. Ghulam, A.S. Liaquat, M.M. Pirbho, B.S. Shamroz //Pakistan Journal of Analytical and Environmental Chemistry. – 2012. – 13(1). – P. 78-86.

Gomes-Junior, F.G. X-ray densitometry to assess internal seed morphology and quality / F.G. Gomes-Junior, J.T. Yagushi, U.L. Belini, S.M. Cicero, M. Tomazello-Filho // Seed Science and Technology. – 2012. – 40(1). – P. 102-107.

Gooding, M.J. Contrasting effects of dwarfing alleles and nitrogen availability on mineral concentrations in wheat grain / Gooding M.J., M. Fan, McGrath S.P., Shewry P.R., F.-J. Zhao // Plant Soil. – 2012. – V. 360. – P. 93-107.

Goutam, U. Recent trends and perspectives of molecular markers against fungal diseases in wheat / U. Goutam, S. Kukreja, R. Yadav, N. Salaria, K. Thakur, A.K. Goyal // Frontiers in Microbiology. – 2015. – V. 6. – Article № 861.

Gregory P.H. Interpreting plant disease dispersal gradients / P.H. Gregory // Annual Review of Phytopathology. – 1968. – N6. – P.189-212.

Gregory, S. Response of succeptible and slow leaf rusting wheats to infection by *Puccinia recondita* / S. Gregory, O.W. Herbert, F.E. Robert // Phytopathology. – 1978. – 68. – N 3. – P.471-475.

Groll, E. Auskunftssystem Pflanzenschutz - Aufbau und Funktion. Nachrbl / E. Groll, A. Roder, G. Habermann // Pflzschutz in DDR. – 1989. – V. 43. – N 2/3. – S. 55-58

Gu, J. Can exploiting natural genetic variation in leaf photosynthe-sis contribute to increasing rice productivity? A simulation analysis / J. Gu, X. Yin, T.J. Stomph, P.C. Struik // Plant Cell and Environment. – 2014. – V. 37(1). – P. 22-34.

Guilherme, M.R. Superabsorbent hydrogels based on polysaccharides for application in agriculture as soil conditioner and nutrient carrier: A review / M.R. Guilherme, F.A. Aouada, A.R. Fajardo, A.F. Martins, A.T. Paulino, M.F.T. Davi, A.F. Rubira, E.C. Muniz // European Polymer Journal. – 2015. V. 72. – P. 365-385.

Gultyaeva, E.I. Race characterization and molecular genotyping of *Puccinia triticina* populations from durum wheat in Russia / E.I. Gultyaeva, E.L. Shaydayuk, I.A. Kazartsev, E. Kosman // Plant Disease. – 2021. – V. 105. – № 5. – P. 1495-1504.

Gundyrin, V.N. Productivity of winter wheat with hydrogel after seeded fallow / V.N. Gundyrin, E.I. Godunova, S.N. Shkabarda //Achievements of Science and Technology of AIC. – 2016. – V. 30(8). – P. 37-39.

Guo, Q. Fengycin produced by *Bacillus subtilis* NCD-2 plays a major role in biocontrol of cotton seedling damping-off disease / Q. Guo, W. Dong, S. Li, X. Lu, P. Wang, X. Zhang, P. Ma // Microbiology Research. – 2014. – V. 169. – P. 533-540.

Guo, Y. QTL mapping of wheat plant architectural characteristics and their genetic relationship with seven QTLs conferring resistance to sheath blight [Электронный ресус] / Y. Guo, Z. Du, J. Chen, Z. Zhang // PLOS ONE. – 2017. – V.12. Режим доступа: e0174939. 10.1371/journal.pone.0174939.

Gyrka, A. Growth, development and productivity of winter wheat depending on the soil tillage and sowing systems / A. Gyrka, I. Gasanova, T. Gyrka, O. Bokun // The Scientific Journal Grain Crops. – 2018. – № 2. – P. 88-93.

Habgood, R.M. Designation of physiologic races of plant pathogens / R.M. Habgood // Nature. – 1970. – V. 227. – № 5264. – P. 1268-1269.

Hacker, M.C. Synthetic Polymers. In: Principles of Regenerative Medicine / M.C. Hacker, A.G. Mikos – Academic Press, San Diego, 2011. – P. 587-622.

Hafeez, A. Creation and judicious application of a wheat resistance gene atlas / A. Hafeez, S. Arora, S. Ghosh, D. Gilbert, R. Bowden, B. Wulff // Molecular Plant. – 2021. – V. 14(7). – P. 1053-1070.

Halpern, M. The use of biostimulants for enhancing nutrient uptake / M. Halpern, A. Bar-Tal, M. Ofek, D. Minz, T. Muller, U. Yermiyahu // Advances in Agronomy. – 2015. –V.130. – P.141-174.

Hamdache, A. Non-peptide metabolites from the genus *Bacillus* / A. Hamdache, A. Lamarti, J. Aleu, I.G. Collado //Journal of Natural Products. – 2011. – V. 74(4). – P. 893-899.

Hamdy, A. Use of soil conditioners under saline irrigation: Effect of wheat / A. Hamdy, P. Sfeir // Acta Horticulturae. – V. 573. – P. 339-348.

Hanson, J.D. Dynamic cropping systems: increasing adaptability amid an uncertain future. / J.D. Hanson, M.A. Liebig, S.D. Merrill, D.L. Tanaka, J.M. Krupinsky, D.E. Stott // Agronomy Journal. – 2007. – V. 99. – P. 939-943.

Harmuth, P. Gezielter Pflanzenschutz in Winterweizen mit dem Prognose-Verfahren ERIPRE / P. Harmuth, W. Weng // Gesunde Pflanzen. – 1987. – V. 39. – N 10. – S. 408-415.

Hassan, Z.M. Summer andwinter survival of *Puccinia recondita* and infection by soilborne urediniospores / Z.M. Hassan, G.L. Kramer, M.G. Eversmeyer // Trans. Brit. Mycol. Soc. – 1986. – V. 86. – N 3. – P. 365-372.

Hindhaug, R. Mechanical stimulation in wheat triggers age- and dose-dependent alterations in growth, development and grain characteristics / R. Hindhaug, M. Bosch, I. Donnison // Annals of Botany. – 2021. – V. 128. – P. 589-603.

Hofemeister, J. Genetic analysis of the biosynthesis of non-ribosomal peptide-and polyketide-like antibiotics, iron uptake and biofilm formation by *Bacillus subtilis* / J. Hofemeister, B. Conrad, B. Adler, B. Hofemeister, J. Feesche, N. Kucheryava, G. Steinborn, P. Franke, N. Grammel, A. Zwintscher, F. Leenders, G. Hitzeroth, J. Vater // Molecular Genetics and Genomics. – 2004. – V.272(4). – P. 363-378.

Hovmøller, M.S. GRRC annual report 2019: Stem- and yellow rust genotyping and race analyses. Report of stem and yellow rust genotyping 2019: GRRC, Aarhus University, Denmark; 2020/ M.S. Hovmøller, M. Patpour, J. Rodriguez-Algaba, T. Thach, A.F. Justesen, J.G. Hansen Available from:

https://agro.au.dk/fileadmin/www.grcc.au.dk/International_Services/Pathotype_YR_results/GRRC_annual_report_2019.pdf (accessed Feb. 22, 2021).

Housusright, D.R. Microbiological method for the assay of subtilling / D.R. Housusright, J.R. Henry, S.A. Berkman / D.R. Housusright // Journal of Bacteriology. – 1948. – V.55(4). – P. 545-550.

Hu, H. Isolation and characterization of a new fluorescent Pseudomonas strain that produces both phenazine 1-carboxylic acid and pyoluteorin / H. Hu, Y. Xu, F. Chen, X.H. Zhang, B.K. Hu // Journal of microbiology and biotechnology. – 2005. – 15(1). – P. 86-90.

Huang, L. Map-based cloning of leaf rust resistance gene Lr21 from the large and polyploid genome of bread wheat / L. Huang, S.A. Brooks, W. Li, J.P. Fellers, H.N. Trick, B.S. Gill // Genetics. – 2003. – V. 164. P. 655-664.

Huang, M. Review of seed quality and safety tests using optical sensing technologies / M. Huang, Q.G. Wang, Q.B. Zhu, J.W. Qin, G. Huang // Seed Science and Technology. 2015. – V. 43(3). – P. 337-366.

Huang, M. Review of seed quality and safety tests using optical sensing technologies / M. Huang, Q.G. Wang, Q.B. Zhu, J.W. Qin, G. Huang // Seed Science and Technology. – 2015. – V. 43. – P. 337-366.

Huber, D.M. The role of nutrition in crop resistance and tolerance to disease. In: Mineral nutrition of crops fundamental mechanisms and implications / D.M. Huber, R.D. Graham / Z. Rengel (ed.). – NY: Food Product Press, 1999. – P. 205-226.

Iizawa, T. Synthesis of porous poly (N-isopropylacrylamide) gel beads by sedimentation polymerization and their morphology / T. Iizawa, H. Taketa, M. Maruta, T. Ishido, T. Gotoh, S. Sakohara // Journal of Applied Polymer Science. – 2007. – V.104(2). – P. 842-850.

Iqbal, F.M. Synthesis and in vitro characterization of hydroxypropyl methylcellulose-graft-poly (acrylic acid/2-acrylamido-2-methyl-1-propanesulfonic acid) polymeric network for controlled release of captopril / F.M. Iqbal, M. Ahmad, A. Rashid // Acta Poloniae Pharmaceutica. – 2016. – V. 73(1). – P. 183-196.

Iqbal, M. Effect of silver nanoparticles on growth of wheat under heat stress / M. Iqbal, N. Raja, Z.-R. Mashwani, M. Hussain, M. Ejaz, F. Yasmeen // Iranian Journal of Science and Technology, Transactions A: Science. – 2017. – V.43. – P. 387–395.

Isidro, J. Quantitative genetic analysis and mapping of leaf angle in durum wheat / J. Isidro, R. Knox, F. Clarke, A. Singh, R. DePauw, J. Clarke, D. Somers // Planta. – 2012. – V. 236. – P. 1713–1723.

Ivantsova, E.A. Ecological aspects of phytosanitary optimization of arid agrobiocenoses of the South of Russia / E.A. Ivantsova, V. Novochadov, N.V. Onistratenko, M.V. Postnova // Bulgarian Journal of Agricultural Science. – 2017. –V. 23 (№ 5). – P. 834–842.

Jaiswal, D. Potassium as an Important Plant Nutrient in Sustainable Agriculture: A State of the Art / D. Jaiswal, J. Verma, S. Prakash, V. Meena, R.S. Meena – New Delhi: Springer, 2016. –10.1007/978-81-322-2776-2_2.

Jalal, A. Agro-biofortification of zinc and iron in wheat grains / A. Jalal, S. Shah, M.C.M. Teixeira Filho, A. Khan, T. Shah, M. Ilyas, P.A.L. Rosa // Gesunde Pflanzen. – 2020. V. 72(3). – 227-236.

Jambuthenne, D.T. Mining the Vavilov wheat diversity panel for new sources of adult plant resistance to stripe rust / D.T. Jambuthenne, A. Riaz, N. Athiyannan, S. Alahmad, W.L. Ng, L. Ziems, S.K. Periyannan, I. Godwin, K.P. Voss-Fels, E. Dinglasan, L.T. Hickey, O. Afanasenko, E. Aitken, G. Platz // Theoretical and Applied Genetics TAG. – 2022. – V. 101 (2). – P. 317-323.

James W.O. An illustrated series of assessment for plant diseases preperation and usage / W.O. James // Canadian plant disease survey – 1971. – V.51. – N 2. – P. 36-55.

Jiang, Y. Early detection of germinated wheat grains using terahertz image and chemometrics / Y. Jiang, H. Ge, F. Lian, Y. Zhang, S. Xia // Scientific Reports. – 2016. – V. 6. – P. 21299.

Jiang, H. UV radiation doubles microbial degradation of standing litter in a subtropical forest / H. Jiang, Y. Pan, J. Liang, Y. Yang, Q. Chen, M. Lv, L. Pang, W. He, X. Tian // Journal of Ecology. – 2022. – V. 110(9). – P. 2156-2166.

Jones, J.D. The plant immune system / J.D. Jones, J.L. Dangl // Nature. – 2006. – V.444. – P.323–329.

Kabakova, M.M. Behavior of cross-linked copolymers of acrylic acid and 5-vinyltetrazole in aqueous media / M.M. Kabakova, M.V. Uspenskaya, N.V. Sirotinkin, E.V. Sanatin // Russian Journal of Applied Chemistry. – 2003. – V. 76 (7). – P. 1176-1178.

Kabiri, K. Superabsorbent hydrogel composites and nanocomposites: A review / K. Kabiri, H. Omidian, M.J. Zohuriaan-Mehr, S. Doroudiani // Polymer Composites. – 2011. – V.32 (2). – P. 277–289.

Kaiser, H.F. The varimax criterion for analytic rotation in factor analysis / H.F. Kaiser // Psychometmka. – 1958. – V.23. – № 3. – P. 187-200.

Karatay, Y.N. Profitability and downside risk implications of site-specific nitrogen management with respect to wheat grain quality / Y.N. Karatay, A. Meyer-Aurich // Precision Agriculture. – 2020. – T. 21. – №. 2. – C. 449-472.

Kendall, D.A. A simulation model of the epidemiology of barley yellow dwarf virus in winter sown cereals and its application to forecasting / D.A. Kendall, P. Brain, N.E. Chinn // Journal of Applied Ecology. – 1992. – V. 29. – N 2. – P. 414-426.

Khan, M.A. Quantitative relationship between leaf rust and wheat yield in Mississippi / M.A. Khan, L.E. Trevathan, J.T. Robbins // Plant Disease. – 1997. – V.81. – N 7. – P. 769-772.

Khanab, S. Combined application of moringa leaf extract and chemical growth-promoters enhances the plant growth and productivity of wheat crop (*Triticum aestivum* L.). / S. Khanab, S.M.A. Basrab, M. Nawazc, I. Hussainde, N. Foidlf // South African Journal of Botany. – 2020. – V. 129. – P. 74-81.

Kidarsa, T.A. Phloroglucinol mediates cross-talk between the pyoluteorin and 2, 4-diacetylphloroglucinol biosynthetic pathways in Pseudomonas fluorescens Pf-5 / T.A. Kidarsa, N.C. Goebel, T.M. Zabriskie, J.E. Loper // Molecular microbiology. – 2011. – V. 81(2). – P. 395-414.

Kilpatrick, R.A. Development of a germplasm bank of cereals in South Africa / R.A. Kilpatrick, J.A.M van der Mey, F.M. Thatcher // Cereal Research Communications Szeged. – 1985. – T. 13. – N 4. – P. 445-447.

Kiryushin, V. Methodology for Integrated Assessment of Agricultural Land / V. Kiryushin // Eurasian Soil Science. – 2020. – V. 53. – P. 960-967.

Kiyosawa, S. Relationship between frequencies of resistance gene in the host and corresponding virulence gene in the pathogen in rice blast disease / S. Kiyosawa, Y. Orimoto, S. Iida // Japan. J. Breedg. – 1984. – T. 34. – N 3. – P. 322-334.

Kolesnikov, L.E. The effectiveness of biopreparations in soft wheat cultivation and the quality assessment of the grain by the digital x-ray imaging / L.E. Kolesnikov, M.D. Solodyannikov, I.I. Novikova, E.V. Popova, N.S. Priyatkin, E.V. Zuev, Y.R. Kolesnikova // Agronomy Research. – 2020a. – V. 18. – № 4. – P. 2436-2448.

Kolesnikov, L.E. The biological basis for the use of protein growth stimulant made from cattle split for wheat foliar feeding and disease suppression / L.E. Kolesnikov, M.I. Kremenevskaya, I.E. Razumova, Yu.R. Kolesnikova, E.V. Ambulatova, E.O. Yazeva // Agronomy Research. 2020b. – V. 18(S2). – P. 1336-1349.

Kolesnikov, L.E. The effectiveness of biopreparations in soft wheat cultivation and the quality assessment of the grain by the digital x-ray imaging / L.E. Kolesnikov, I.I. Novikova, E.V. Popova, N.S. Priyatkin, E.V. Zuev, Yu.R. Kolesnikova, M.D. Solodyannikov // Agronomy Research. – 2020c. – V.18(4). – P. 2436–2448.

Kolesnikov, L.E. Increase in the Yield of Cereals and Decrease in the Harmfulness of Pathogens When Using Acrylic Hydrogel and Protein Growth Stimulant / L.E. Kolesnikov, M.V. Uspenskaya, M.I. Kremenevskaya, A.G. Orlova, E.V. Zuev, Yu.R. Kolesnikova // Russian Agricultural Sciences. – 2021a. – V. 47. – N. 4. – P. 377–385.

Kolesnikov, L.E. Identification of the effectiveness of associative rhizobacteria in spring wheat cultivation / L.E. Kolesnikov, A.A. Belimov, E.Y. Kudryavtseva, B.A. Hassan, Yu.R. Kolesnikova // Agronomy Research. – V.19(3). – 2021b. – P.1530–1544.

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 // IOP Conf. Scries: Earth and Environmental Science. – 2021c. – V 866. – P. 012011.

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): сборник трудов III международной научной конференции (Санкт-Петербург, 19-24 апреля 2021 г.) – Санкт-Петербург: Университет ИТМО, 2021d – С. 158-159.

Kolesnikov, L.E. Biological Rationale for the Use of Polyfunctional Biological Products Based on Antagonist Microbes and Chitosan in Wheat Cultivation / L.E. Kolesnikov, I.I. Novikova, E.V. Popova, D.Yu. Radishevsky, Yu.R. Kolesnikova // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. – 2021e. – V. 852. – P. 012048.

Kolesnikov, L.E. The biological basis for the use of acrylic hydrogel and protein growth stimulant in the soft wheat and triticale cultivation / L.E. Kolesnikov, A.G. Orlova, I.E. Razumova, M.V. Uspenskaya, M.I. Kremenevskaya, Y.R. Kolesnikova // Agronomy Research. – 2021f. – V. 19. – № 3. – P. 1545-1561.

Kolesnikov, L.E. Influence of the structural and functional characteristics of the seeding material on the yield structure elements and resistance to leaf diseases of spring soft wheat / L.E. Kolesnikov, N.S. Priyatkin, M.V. Arkhipov, I.E. Razumova, D.Yu. Radishevskiy, Yu.R. Kolesnikova // Agronomy Research. – 2021g. – V. 19(4). – P. 1791–1812.

Kolesnikov, L.E. Biological rationale for the use of polyfunctional biological products based on antagonist microbes and chitosan in wheat cultivation / L.E. Kolesnikov, D.Yu. Radishevsky, I.I. Novikova, E.V. Popova, Yu.R. Kolesnikova // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Ser. "Innovative Technologies in Agroindustrial, Forestry and Chemical Complexes and Environmental Management, ITAFCCEM 2021". – 2021h. – V. 852 – P. 012048.

Kolesnikov, L.E. The effectiveness of the combined use of polymer hydrogel with protein hydrolysates of various composition and molecular weight in relation to wheat

productivity and disease susceptibility/ L.E. Kolesnikov, M.I. Kremenevskaya, M.V. Uspenskaya, Y.R. Kolesnikova, F. Adkhamov, V.S. Varik // Proceedings of the 2nd International Online Conference on Agriculture, 1–15 November 2023, MDPI. – Basel, Switzerland. – DOI:10.3390/IOCAG2023-17334

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. – 2024. – V. 58. – № 1. – P. 63-69. – DOI: 10.18805/IJARe.AF-766

Kovalyshyna, H.M. Screening of winter wheat varieties for leaf diseases resistance / H.M. Kovalyshyna, Yu.M. Dmytrenko, A.O. Butenko, T.I. Mukha, O.S. Makarchuk O.L. Tonkha, V.P. Kovalenko, V.M. Zavgorodniy, T.O. Onychko // Ukrainian Journal of Ecology. – 2020. – № 10(5). – P. 287-290.

Kramer, C.L. Effect of temperature on germination and germ-tube development of *Puccinia septыuзdita* and *P. graminis* / C.L. Kramer, M.G. Eversmeyer // Mycological Research. – 1992. – V. 96. – N 8. – P. 689-693.

Krattinger, S.G. A putative ABC transporter confers durable resistance to multiple fungal pathogens in wheat / S.G. Krattinger, E.S. Lagudah, W. Spielmeyer, R.P. Singh, J. Huerta-Espino, H. McFadden, E. Bossolini, L.L. Selter, B. Keller // Science. – 2009. – V. 323(5919). – 1360-1363.

Kraus, K. The Effect of the Application of Stimulants on the Photosynthetic Apparatus and the Yield of Winter Wheat / K. Kraus, H. Hnilickova, J. Pecka, M. Lhotska, A. Bezdickova, P. Martinek, L. Kucirkova, F. Hnilicka // Agronomy. – 2022. – V.12. – P.78.

Kumar, A. Does a plant growth-promoting rhizobacteria enhance agricultural sustainability / A. Kumar, I. Bahadur, B.R. Maurya, R. Raghuwanshi, V.S. Meena, D.K. Singh, J. Dixit // Journal of Pure and Applied Microbiology. – 2015. – 9 (1). – P. 715-724.

Lazarev, V. Efficiency of cultivation technologies for spring wheat with different levels of intensity on chernozem soils of Kursk Region / V. Lazarev, B. Ilyin // BIO Web Conference. – 2021. – V. 32. – P. 01004.

Loeffler, W. Antifungal Effects of Bacilysin and Fengymycin from *Bacillus subtilis* A Comparison with Activities of Other Bacillus Antibiotics / W. Loeffler, J. S.-M. Tschen, N. Vanittanakom, M. Kugler // Journal of Phytopathology. – 1986. – V. 115(3). – P. 204-213.

Long, J.-Y. Research on water absorbance of poly (starch-acrylic acid-acrylamide) complex superabsorbent in different mediums / J.-Y. Long, Zh.Q. Song // Chemistry and industry of forest products. – 2003. – Vol. 23. –N. 4. – P. 27–30.

Lopes, M. Optimizing Winter Wheat Resilience to Climate Change in Rain Fed Crop Systems of Turkey and Iran / M. Lopes, C. Royo, F. Alvaro, M. Sanchez-Garcia, E. Özer, F. Ozdemir, M. Karaman, M. Roostaei, K. Jalal, R. Mohammad, D. Pequeno // Frontiers in Plant Science. – 2018. – V. 9. – 0.3389/fpls.2018.00563.

Luo, Y. Simulation studies on epidemics of wheat stripe rust (*Puccinia striiformis*) on slow-rusting cultivars and analysis of effects of resistance components / Y. Luo, S.M. Zeng // Plant Pathology. – 1995. – V. 44. – N 2. – P. 340-349.

Mahdavi, S. Grain Quality of Wheat Genotypes Under Heat Stress / S. Mahdavi, A. Arzani, S. Mirmohammady Maibody, M. Kadivar // Saudi Journal of Biological Sciences. – 2022. – V. 29(10). – P. 103417.

Mahmoud, A. Wheat Germ: An Overview on Nutritional Value, Antioxidant Potential and Antibacterial Characteristics / A. Mahmoud, A. Mohdaly, N. Elneairy // Food and Nutrition Sciences. – 2015. – V. 06. – P. 265-277.

Mains, E.B. Physiologic form of barley mildew *Erysiphe graminis* DC. / E.B. Mains, S.M. Dietz // Phytopathology. – 1930. – V. 20. – №. 3. – P. 229-239.

Mains, E.B. Physiologic specialisation in leaf rust *Puccinia triticina* Erikss et Henn. / E.B. Mains, H.C. Jackson // Phytopathology. – 1926. – V.16. – P.89-120.

Manners, J.C. Studies of the physiologic specialization of yellow rust ((*Puccinia glumarum* (Schm.) Erikss. and Henn.) in Great Britain / J.C. Manners // Annals of Applied Biology. – 1950. – № 37. – P. 187-214.

Marandi, G.B. Ph sensitivity and swelling behavior of partially hydrolyzed formaldehyde-crosslinked poly (acrylamide) superabsorbent hydrogels / G.B. Marandi, K. Esfandiari, F. Biranvand, M. Babapour, S. Sadeh, G. Mahdavinia // Journal of Applied Polymer Science. – 2008. – V. 109(2). – P. 1083-1092.

Marcos-Filho, J. Using Tomato Analyzer software to determine embryo size in X-rayed seeds / J. Marcos- Filho, F.G. Gomes-Junior, M.A. Bernett, A.A. Wells, S. Stieve // Revista Brasileira de Sementes. – 2010. – V. 32. – P. 146-153.

Marschner H. Mineral nutrition of higher plants / H. Marschner. – London: Academic Press, 1995. – 674 p.

Martinia, D. Variation of total antioxidant activity and of phenolic acid, total phenolics and yellow coloured pigments in durum wheat (*Triticum turgidum* L. var. durum) as a function of genotype, crop year and growing area / D. Martinia, F. Taddei, R. Ciccoritti, M. Pasquini, I. Nicoletti, D. Corradini, M.G. D'Egidio // Journal of Cereal Science. – 2015. – V.65. – P. 175-185.

McIntosh, R.A. Wheat Rust: An Atlas of Resistance Genes / R.A. McIntosh, C.R. Wellings, R.F. Park. – Australia: CSIRO Publ., 1995. – 200 p.

McIntosh R.A. Catalogue of Gene Symbols for Wheat 2013 [Электронный ресурс] / McIntosh R.A., Yamazaki Y., Dubcovsky J., Rogers J., Morris C., Appels R., Xia X.C. – Available at: https://shigen.nig.ac.jp/wheat/komugi/genes/

Médiène, S. Agroecosystem management and biotic interactions: A review / S. Médiène, M. Valantin-Morison, J.-P. Sarthou, S. de Tourdonnet, M. Gosme, M. Bertrand, J. Roger-Estrade, J.-N. Aubertot, A. Rusch, N. Motisi, C. Pelosi, T. Doré // Agronomy for Sustainable Development. – 2011. – V. 31. – P. 491-514.

Meihong, Lu. Identification of maize seeds by terahertz scanning imaging / Lu Meihong, Zhang Yan, Sun Jinhai, Chen Sijia, Li Ning, Zhao Guozhong, Shen Jingling // Chinese Optics Letters. – 2005. – V. 3(51). – P. 239-241.

Miedaner, T. Climate change will influence disease resistance breeding in wheat in Northwestern Europe / T. Miedaner, P. Juroszek // Theoretical and Applied Genetics. – 2021. – V. 134(6). – P. 1771-1785.

Mohite, B. Isolation and characterization of indole acetic acid (IAA) producing bacteria from rhizospheric soil and its effect on plant growth / B. Mohite // Journal of soil science and plant nutrition. – 2013. – V.13 (3). – P. 638-649.

Moreira, M.L. Pre-harvest stress cracks in maize (*Zea mays* L.) kernels as characterized by visual, X-ray and low temperature scanning electron microscopical analysis: effect on kernel quality / M.L. Moreira, A.C. van Aelst, J.W. van Eck, F.A. Hoekstra // Seed Science Research. – 1999. – V. 9. – P. 227-236.

Moschini, R.C. Modelling of wheat black point incidence based on meteorological variables in the southern Argentinean Pampas region / R.C. Moschini, M.N. Sisterna, M.A. Carmona // Australian Journal of Agricultural Research. – 2006. – 57. – N 11. – P. 1151-1156.

Moulin, A.P. Spatial variability of wheat yield, soil properties and erosion in hummocky terrain / A.P. Moulin, D.W. Anderson, M. Mellinger // Canadian journal of soil science. – 1994. – T. 74. – №. 2. – C. 219-228.

Moyne, A.-L. Molecular characterization and analysis of the operon encoding the antifungal lipopeptide bacillomycin D. / A.-L. Moyne, T.E. Cleveland, S. Tuzun // FEMS Microbiology Letters. – 2004. – V. 234. – P. 43-49.

Mundt, C.C. Computerized simulation of crown rust epidemics in mixtures of immune and susceptible oat plants with different genotype unit areas and spatial distributions of initial disease / C.C. Mundt, K.J. Leonard, W.M. Thal, J.H. Fulton // Phytopathology. – 1986. – T.76. – N 6. – P. 590-598.

Mundt, C.C. Use of the modified Gregory model to describe primary disease gradients of wheat leaf rust produced from area sources of inoculum / C.C. Mundt // Phytopathology. – 1989. – V.79. – N 2. – P.241-246.

Nadeem, S.M. Mitigation of salinity-induced negative impact on the growth and yield of wheat by plant growth-promoting rhizobacteria in naturally saline conditions / S.M. Nadeem, Z.A. Zahir, M. Naveed, S. Nawaz // Annals of Microbiology. – 2013. – V. 63(1). – P. 225–232.

Naiman, A.D. Inoculation of wheat with *Azospirillum brasilense* and *Pseudomonas fluorescens*: impact on the production and culturable rhizosphere

microflora / A.D. Naiman, A. Latronico, I.E. Garcia de Salamone // European Journal of Soil Biology. – 2009. – V. 45(1). – P. 4-51.

Nelson, S.C. Spatiotemporal distance class analysis of plant disease epidemics / S.C. Nelson // Phytopathology. – 1995. – V. 85. – N1. – P. 37-43.

Novikova, I.I. Biological justification for the optimization of preparative forms of biological preparations based on antagonist microbes to control populations of phytopathogenic fungi and bacteria - causative agents of plant diseases/ I.I. Novikova, Yu.A Titova., I.V. Boykova, V.N. Zeyruk, I.L. Krasnobaeva, T.A. Serova //Bulletin of Plant Protection. – 2017. – № 3. – P. 16-23.

Novikova, I.I. Biological effectiveness of polyfunctional biopreparations in soft wheat cultivation and assessment of crop quality based on NDVI index / I.I. Novikova, E.V. Popova, L.E. Kolesnikov, N.S. Priyatkin, Yu.R. Kolesnikova // BIO Web of Conferences. – 2020. – V. 18(93). – P. 00021 (2020).

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

Olesen, M.H. Viability Prediction of *Ricinuscummunis* L. Seeds Using Multispectral Imaging / M.H. Olesen, P. Nikneshan, S. Shrestha, A. Tadayyon, L. Ch. Deleuran, B. Boelt, R. Gislum // Sensors (Basel). – 2015. – V. 15(2). – P. 4592–4604.

Ortiz-Monasterio, J.I.R. Improving the nitrogen use efficiency of irrigated spring wheat in the Yaqui Valley of Mexico / J.I.R. Ortiz-Monasterio, K.D. Sayre, J. Pena, R.A. Fischer // Trans 15th World Congress of Soil Science. – 1994. – V. 5b. – P. 348-349.

Osman, R. Comparison of wheat simulation models for impacts of extreme temperature stress on grain quality / R. Osman, Y. Zhu, W. Ma, D. Zhang, Z. Ding, L. Liu, L. Tang, B. Liu, W. Cao // Agricultural and Forest Meteorology. – 2020. – V. 288–289. – P. 107995.

Pacini, C. Evaluation of sustainability of organic, integrated and conventional farming systems: a farm and field-scale analysis / C. Pacini, A. Wossink, G. Giesen, C. Vazzana, R. Huirne // Agriculture, Ecosystems and Environment. – 2003. – V. 95(1). – P. 273-88.

Pandit, M. Physico-chemical characteristics and anti-nutritional factors of wheat, soybean, oats and pumpkin leaves / M. Pandit, N. Kaur // Chemical Science Review and Letters. – 2020. – V. 9 (34). – P. 260-267.

Park, J.Y. Production of the antifungal compounds phenazine and pyrrolnitrin from Pseudomonas chlororaphis O6 is differentially regulated by glucose / J.Y. Park, S.A. Oh, A.J. Anderson, J. Neiswender, J.-C. Kim, Y.C. Kim // Letters in applied microbiology. – 2011. – V. 52(5). – P. 532-537.

Passioura, J.B. Drought and drought tolerance / J.B. Passioura // Plant growth regulation. – 1996. – V. 20. – №. 2. – С. 79-83.

Pavlyushin, V.A. Phytosanitary safety of agro-ecological systems and remote phytosanitary monitoring in plant protection / V.A. Pavlyushin, A.K. Lysov // Sovremennye Problemy Distantsionnogo Zondirovaniya Zemli iz Kosmosa. – 2019. – T. 16. –N3. – С. 69-78.

Pearson, T.C. Feasibility of impact-acoustic emissions for detection of damaged wheat kernels / T.C. Pearson, A.E. Cetin, A.H. Tewfik, R.P. Haff // Digital Signal Processing. – 2007. – V. 17. – P. 617–633.

Peterson, R.F. Adiagrammatic scale for estimating rust intensity of leaves and stem of cereals / R.F. Peterson, A.B. Campbell, A.E. Hannah // Canadian journal of research. – 1948. – V. 26. – P. 490-500.

Peypoux, F. Structures of Bacillomycin D and Bacillomycin L peptidolipid antibiotics from Bacillus subtilis / F. Peypoux, M.T. Pommier, B.C. Das, F. Bessonn, L. Delcambe, G. Michel // The Journal of antibiotics. –1984. – V. 77 (12). – С.1600-1604.

Pham, V.T. The plant growth-promoting effect of the nitrogen-fixing endophyte *Pseudomonas stutzeri* A15 / V.T. Pham, H. Rediers, M.G. Ghequire, H.H. Nguyen, R. De Mot, J. Vanderleyden, S. Spaepen // Archives of microbiology. – 2017. –199(3). – P. 513-517.

Pieterse, C. Induced systemic resistance by beneficial microbes / C. Pieterse, C. Zamioudis, R. Berendsen, D. Weller, S. van Wees, P. Bakker //Annual review of phytopathology. – 2014. – V.52. – P. 347-375.

Pietravalle, S. Modeling of relationships between weather and Septoria tritici epidemics on winter wheat: A critical approach / S. Pietravalle, M.W. Shaw, S.R. Parker, F. van den Bosch // Phytopathology. – 2003. – V. 93. – P. 1329-1339.

Ponisio, L. Diversification practices reduce organic to conventional yield gap. Proceedings. Biological sciences / L. Ponisio, L. M'Gonigle, K. Mace, J. Palomino, P. de Valpine, C. Kremen // The Royal Society. – 2015. – V. 282. – P. 20141396.

Porta-Puglia, A. Direct and indirect influences of morphological variations on diseases, yield and quality. In: Linking Research and Marketing Opportunities for Pulses in the 21st Century / A. Porta-Puglia, T.W. Bretag, J.B. Brouwer, M.P. Haware, S.A. Khalil // Current Plant Science and Biotechnology in Agriculture. – 2000. – V. 34. – P. 199–220.

Pourjavadi, A. Modified carrageenan 3. Synthesis of a novel polysaccharide-based superabsorbent hydrogel via graft copolymerization of acrylic acid onto kappa-carrageenan in air / A. Pourjavadi, A.M. Harzandi, H. Hosseinzadeh // European Polymer Journal. – 2004. – V.40 (7). – P. 1363-1370.

Priyatkin, N.S. Influence of bacterial infection on physical characteristics and sowing qualities of *Zea mays* seeds / N.S. Priyatkin, M.V. Arkhipov, L.P. Gusakova, V.N. Pishchik, T.A. Kuznetsova, M.A. Kuznetsova, N.N. Potrakhov, N.E. Staroverov, L.E. Kolesnikov // Abstracts of 32th ISTA Congress Hyderabad, India, 26-28 June 2019. – P. 86.

Pukhaev, A.R. Efficiency of new associative rhizobacteria strains at winter wheat sowings / A.R. Pukhaev, A.T. Farniev, A.P. Kozhemyakov // Zemledelie. – 2009. – V.8. – P. 40-41.

Racca, P. Decision support systems in agriculture: administration of weather data, use of geographic information systems (GIS) and validation methods in crop protection warning service. In: Jao C (ed) Efficient decision support systems: practice and

challenges-from current to future / P. Racca, B. Kleinhenz, T. Zeuner, B. Keil, B. Tschöpe, J. Jung // IntechOpen. – 2011. – P. 331–354.

Raheem, A. Auxin production by rhizobacteria was associated with improved yield of wheat (*Triticum aestivum* L.) under drought stress / A. Raheem, A. Shaposhnikov, A.A. Belimov, I.C. Dodd, Basharat Ali //Archives of Agronomy and Soil Science. – 2018. – V. 64(4). – P.574-587.

Ram, H. Resource-conserving technologies for enhancing resource use efficiency and crop productivity / H. Ram, B. Kumar, N. Aggarwal, J. Kaur // Eco-friendly Agro-biological Techniques for Enhancing Crop Productivity. – 2018. – V. 3. – P.129-145.

Ramzan, Y. Biofortification with zinc and iron improves the grain quality and yield of wheat crop / Y. Ramzan, M.B. Hafeez, S. Khan, M. Nadeem, Saleem-ur-Rahman, S. Batool, J. Ahmad // International Journal of Plant Production. – 2020. – V. 14. – P. 501–510.

Ratnadass, A. Ecological Intensification for Crop Protection / A. Ratnadass, M. Barzman // Sustainable Agriculture Reviews. – 2014. – V. 14. – P. 53–81.

Rebelo Romão, I. Seed-Encapsulation of Desiccation-Tolerant Microorganisms for the Protection of Maize from Drought: Phenotyping Effects of a New Dry Bioformulation/ Romão I. Rebelo, Dos Santos A.S. Rodrigues, L. Velasco, E. Martínez-Ferri, J.I. Vilchez, M. Manzanera // Plants. – 2022. – V.11. – P. 1024. doi: 10.3390/plants11081024.

Ren, T.H. Genetic diversity of wheat-rye 1BL.1RS translocation lines derived from different wheat and rye sources / T.H. Ren, F. Chen, B.J. Yan, H.Q. Zhang, Z.L. Ren // Euphytica. – 2012. – V. 183. – P. 133-146.

Ricachenevsky, F.K. Editorial: Improving the Nutritional Content and Quality of Crops: Promises, Achievements, and Future Challenges / F.K. Ricachenevsky, M.W. Vasconcelos, H. Shou, A.A.T. Johnson, R.A. Sperotto // Frontiers in Plant Science. – 2019. – V. 10. – N 738. – P. 1-4.

Richter, T.E. The evolution of disease resistance genes / T.E. Richter, P.C. Ronald // Plant Molecular Biology. – 2000. – V. 42. – P. 195–204.

Rocque, de la D. Rouille brune du ble': presision des risque et dates de traitment. Presentation de deux models operation nels / D. de la Rocque // Bulletin OEPP. – 1991. – V.21. – N 3. – P.469-476.

Roelfs, A.P. The cereal rust: Diseases, distribution, epidemiology control / A.P. Roelfs, W.R. Bushnell // N.Y.: Academic Press. – 1985. – V. 2. – P.512.

Roelfs, A.P. Rust diseases of wheat: concepts and methods management / A.P. Roelfs, R.P. Singh, E.E. Saari. – Mexico: CIMMIT, 1992. – 81 p.

Roermund, van H.J.W Simulation of yield reduction by leaf rust in winter wheat, applied to the analysis of genetic variation in partial resistance / H.J.W van Roermund, C.J.T. Spitters // Netherlands Journal of Plant Pathology. – 1990. – V. 96. – N1. – P. 17-28.

Rossberg, D. PC-Programma zur Uberwachung und Bekampfung von Mehltau an Wintergetreide / D. Rossberg, E. Kluge // Nachrbl. Pflzschutz in DDR. – 1989. – V. 43. – N 2/3. – P. 37-39.

Rossi, V. A simulation model for the development of brown rust epidemics in winter wheat / V. Rossi, P. Racca, S. Giosue, D. Pancaldi, I. Alberti // European Journal of Plant Pathology. – 1997. – V.103. – N 5. – P. 453-465.

Rossi, V. Influence of temperature and humidity on the infection of wheat spikes by some fungi causing Fusarium head blight / V. Rossi, A. Ravanetti, E. Pattori, S. Giosuè // The Plant Pathology Journal. – 2001. – V. 83. – P. 89–198.

Rosyara, U. Field resistance to spot blotch is not associated with undesirable physio-morphological traits in three spring wheat populations / U. Rosyara, K. Khadka, S. Subedi, S. Ram, E. Duveiller // Journal of Plant Pathology. – 2009. – V. 91 (1). – P. 113-122.

Royle, D.J. Understanding and predicting epidemics: a commentary based on selected pathosystems / D.J. Royle // Plant pathology. – 1994. – V. 43. – N 5. – P. 777-789.

Rozycki H. Effect of heavy metals (Pb, Zn, Cu and Cd) on germination of conidia of *Cylindrocarpon destructans* (Zinnsm.) Scholten / H. Rozycki // ZBL Mikrobiology – 1992. – V. 147. – N 34. – P. 261-269.

Saari, E.E. A scale for appraising the foliar intensity of wheat diseases / E.E. Saari, I.M. Prescott // Plant Disease Report. – 1975. – V.59. – 377 p.

Sache I. Effect of density and age of lesions on sporulation capacity and infection efficiency in wheat leaf rust (*Puccinia recondita* f.sp.tritici) / I. Sache // Plant pathology. – 1997. – V. 46. – N 4. – P. 581-589.

Salina, E.A. A *Thinopyrum intermedium* chromosome in bread wheat cultivars as a source of genes conferring resistance to fungal diseases / E.A. Salina, I.G. Adonina, E.D. Badaeva, P.Yu. Kroupin, A.I. Stasyuk, I.N. Leonova, A.A. Shishkina, M.G. Divashuk, E.V. Starikova, L. Khuat Thi Mai, V.V. Syukov, G.I. Karlov // Euphytica. – 2015. – V. 204. – P. 91-101.

Satyaprakash, M. Phosphorous and phosphate solubilising bacteria and their role in plant nutrition. / M. Satyaprakash, E.U.B. Reddi B. Sadhana, S. Satya Vani // International Journal of Current Microbiology and Applied Science. 2017. – V.6(4). – P. 2133-2144.

Schlatter, D. Core Rhizosphere Microbiomes of Dryland Wheat Are Influenced by Location and Land Use History / D. Schlatter, C. Yin, S. Hulbert, T. Paulitz // Applied and environmental microbiology. – 2019. V. 86(5). – e02135-19.

Searchinger, T. The Great Balancing Act: Installment of Creating a Sustainable / T. Searchinger, C. Hanson, J. Ranganathan, R. Waite // Food Future. – 2013. – Washington, DC: World Resources Institute. – 10.13140/RG.2.1.4257.2241.

Shaffer W.H., Hulse M.M., Parker R.I. A low cost computerized system to monitor weather and forecast plant disease infections periods.: Abstr. APS Annu. Meet., Pittsburght, Pa, Aug. 12-16, 1995 / W.H. Shaffer, M.M. Hulse, R.I. Parker // Phytopathology. – 1995. – V. 85. – N 10. – P.1195.

Sharma, A. Recent advances in developing disease resistance in plants / A. Sharma, J. Jones, F. White // F1000Research. – 2019. – V.8. – 1934.

Sharma, R.R. Biological control of postharvest diseases of fruits and vegetables by microbial antagonists: A review / R.R. Sharma, D. Singh, R. Singh // Biological control. –2009. – V. 50 (3). – P. 205-221.

Shaw, M.W. Modelling stochastic processes in plant pathology / M.W. Shaw // Annual Review of Phytopathology. – 1994. – V.32. – P. 523-544.

Shennan, C. Biotic interactions, ecological knowledge and agriculture / C. Shennan // Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences. – 2008. – № 363. – P. 717-39.

Seif Sahandi, M. Effect of nano silver and silver nitrate on seed yield of borage / M. Seif Sahandi, A. Sorooshzadeh, S. Rezazadeh, H. Naghdibadi // Journal of Medicinal Plants Research. – 2011. – V.5. – P. 171–175.

Siah, A. Natural agents inducing plant resistance against pests and diseases / A. Siah, M.Magnin-Robert, B. Randoux, C. Choma, C. Rivire, P. Halama, P. Reignault // Sustainable Development and Biodiversity. Natural Antimicrobial Agents. – 2018. – V. 19. – 121-159.

Silva, V.N. Relationship between eggplant seed morphology and germination / Silva V.N., Cicero S.M., Bennett M. // Revista Brasileira de Sementes. – 2012. – V. 34. – № 4. – P. 597 – 604.

Singh, D. Searching of wheat genotypes for resistance against Bipolaris sorokiniana / D. Singh, K. Chandan, C. Singh, R. Singh, S. Singh, A. Singh // Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry. – 2017. – N 1. – P. 2181-2183.

Singh, P. Studies about the soil conditioners on production of wheat (*Triticum astivum* L.) under different levels of fertilizer / P. Singh, P.C. Singh, S.K. Chaubey, A. Singh, V.P. Dwivedi, A. Kumar, R. Pyare // Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry. – 2020. – Sp 9(5). – P. 37-39

Singh, R.P. Will stem rust destroy the world's wheat crop? / R.P. Singh, D.P. Hodson, H.J. Espino, Y. Jin, P. Njau, R. Wanyera, Herrera-S. Foessel, R. Ward // Advances in Agronomy. – 2008. – V. 98. – P. 271-309.

Singh, R.P. The 61 Emergence of Ug99 Races of the Stem Rust Fungus is a Threat to World Wheat Production / R.P. Singh, D.P. Hodson, J. Espino, Jin Yue, S. Bhavani // Annual Review of Phytopathology. – 2011. – V.49. – P. 465-481.

Soil Colloids and Their Associations in Aggregates / Edited by M.F. De Boodt, M.H.B. Hayes, A. Herbillon. NATO ASI Series. Series B: Physics. – Belgium, 1984. – V. 215. – 598 p.

Sordi, E. Agronomic biofortification of rice and wheat with zinc: A metanalytical study / E. Sordi, J. Novakowiski, R. Rebesquini, T. Benedetti, I. Carvalho, F. Lautenchleger, E. Bortoluzzi // Research Society and Development. – 2021. – N 10. – e39210615133.

Spielmeyer, W. NBS-LRR sequence family is associated with leaf and stripe rust resistance on the end of homoeologous chromosome group 1S of wheat / W. Spielmeyer, L. Huang, H. Bariana, A. Laroche, B.S. Gill, E.S. Lagudah // Theoretical and Applied Genetics. – 2000. – V. 101(7). – P. 1139-1144.

Šramkováa, Z. Chemical composition and nutritional quality of wheat grain / Z. Šramkováa, E. Gregováb, E. Šturdíka // Acta Chimica Slovaca. – 2009. – V. 2. – N.1. – C. 115-138.

Srivastava, K.D. Liberation of uredospores of Puccinia recondita tritici under varying wind speeds / K.D. Srivastava, L.M. Joshi, S. Nagarajan // Indian Phytopathology. – 1987. – V.40. – N 4. – P. 474-477.

Stakman, E.C. The determination of physiologic forms of *Puccinia graminis* on *Triticum* spp. / E.C. Stakman, M.N. Levine // University of Minnesota Agriculture Technical Bulletin. – 1922. – No. 8. – 10 p.

Stein, T. *Bacillus subtilis* antibiotics: structures, synthesesand specific functions / T. Stein // Molecular Microbiology. – 2005. – V. 56. – P. 845-857.

Stetter, S. Epidan, behovsbestemt svampebekaempelse i korn. 5. Danske plantevaernskonference. 2. marts 1988 / S. Stetter // Sygdomme og skadedyr. (Indlaeg). – 1988. – S.l. – P. 273-278.

Stoate, C. Ecological impacts of arable intensification in Europe / C. Stoate, N.D. Boatman, R.J. Borralho, C.R. Carvalho, G.R. de Snoo, P. Eden // Journal of Environmental Management. – 2001. – V. 63. – P. 337–365.

Stoyanov, I. Study of the components of horizontal resistance.Size and number of pustules of brown rust per unit of leaf area / I. Stoyanov // Rastenievudni Nauki. – 1994. – V.31. – N 7/10. – P. 244-247.

Strunnikova, O.K. Development and relations of Fusarium culmorum and *Pseudomonas fluorescens* in soil / O.K. Strunnikova, V.Yu.Shakhnazarova, N.A. Vishnevskaya, V. Chebotar, I.A. Tikhonovich // Microbiology. – 2007. – V.76(5). – P. 596-602.

Suarez, A. Limitation of multi-elemental fingerprinting of wheat grains: Effect of cultivar, sowing date, and nutrient management / A. Suarez, S. Kucheryavskiy, B. Christensen, I. Thomsen, J. Rasmussen // Journal of Cereal Science. – 2017. – V.76. – P. 76-84.

Subbarao, K.V. Detection, viability and possible sources of urediniospores of *Puccinia recondita* f. sp. *tritici* in Lousiana / K.V. Subbarao, J.P. Snow, G.T. Berggren // Plant Disease. – 1989. – V.73. – N 5. – P.437-443.

Subbarao, K.V. A model to estimate disease on cereal leaves at different positions from whole plant severity data / K.V. Subbarao, X.B. Yang, J.P. Snow // Phytopathology. – 1992. – V. 82. – N 2. – P. 184-190.

Surovy, M. Modulation of nutritional and biochemical properties of wheat grains infected by the blast fungus Magnaporthe oryzae Triticum pathotype / M. Surovy, D. Gupta, N. Mahmud, P. Bhattacharjee, S. Hossain, Md. Mehebub, M. Rahi, B. Majumdar, T. Islam // Frontiers in Microbiology. – 2020. – V. 11. – N 1174. – P. 1-11.

Svecnjak, Z. Trace element concentrations in the grain of wheat cultivars as affected by nitrogen fertilization / Z. Svecnjak, M. Jenel, M. Bujan, D. Vitali, I.V. Dragojevic // Journal of the Science of Food and Agriculture. – 2013. – V.22. – P. 445-451.

Sweeney, D.W. Phosphorus, potassium, chloride, and fungicide effects on wheat yield and leaf rust severity / D.W. Sweeney, G.V. Granade, M.G. Eversmeyer, D.A. Whitney // Journal of Plant Nutrition. – 2000. – V. 23(9). – P. 1267-1281.

Tak, H.I. Advances in the application of plant growth-promoting rhizobacteria in phytoremediation of heavy metals / H.I. Tak, F. Ahmad, O.O. Babalola // Environmental

Contamination and Toxicology. Reviews of ed. D.M. Whitacre. New York: Springer Science Business Media. – 2013. – V. 223. – P. 33–52.

Trapet, P. The *Pseudomonas fluorescens* siderophore pyoverdine weakens *Arabidopsis thaliana* defense in favour of growth in iron-deficient conditions / P. Trapet, A. Laure, K. Agnès, P. Stéphanie, C. Sylvie, C. Christian, M. Sylvie, L. Philippe, W. David, A. Besson-Bard // Plant physiology. – 2016. – V. 171(1). – P. 675-93.

Troeh, F. Soils and soil fertility—6 th edition / F. Troeh, L.M. Thompson. – Wiley, 2005. – 498 p.

Tsavkelova, E.A. Microbial producers of plant growth stimulators and their practical use: a review / E.A. Tsavkelova, S.Yu. Klimova, T.A. Cherdyntseva, A.I. Netrusov // Applied biochemistry and microbiology. – 2006. – V. 42 (2). – P.117-126.

Ullah, N. Phenotypic and genotypic variability for durable resistance to yellow rust (*Puccinia striiformis f. sp. tritici*) in Pakistan wheat cultivars / N. Ullah, H. Bux, A. Mumtaz, S.T. Qureshi, M. Sial, H. Budak // Archives of Phytopathology and Plant Protection. – 2015. – V. 48(2). – P.181-187.

Uspenskaya, M.V. Absorption characteristics of double-filled acrylate compositions / M.V. Uspenskaya, N.V. Sirotinkin, V.A. Gorsky // Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics. – 2006. – V.31. – P. 122-125.

Vacheron, J. Plant growth-promoting rhizobacteria and root system functioning / J. Vacheron, G. Desbrosses, M.-L. Bouffaud, B. Touraine, Y. Moenne-Loccoz, D. Muller, L. Legendre, F. Wisniewski-Dyé, C. Prigent-Combaret // Frontiers in Functional Plant Ecology. – 2013. – № 4. – 356. DOI 356. 10.3389/fpls.2013.00356.

Velásquez, A. Plant–Pathogen Warfare under Changing Climate Conditions / A. Velásquez, C.D. Castroverde, S. He // Current Biology. – 2018. – V. 28. – P. 619-634.

Vílchez, J.I. Plant Drought Tolerance Enhancement by Trehalose Production of Desiccation-Tolerant Microorganisms / J.I. Vílchez, C. García-Fontana, D. Román-Naranjo, J. González-López, M. Manzanera // Frontiers in Microbiology. – 2016. – N7. – P. 1557.

Vioque, J. Partially hydrolyzed rapeseed protein isolates with improved functional properties / J. Vioque, R. Sanchez-Vioque, A. Clemente, J. Pedroche, F. Millán // Journal of the American Oil Chemists' Society. – 2000. – V. 77(4). – P. 447-450.

Wachowska, U. Use of *Aureobasidium pullulans* to control *Fusarium* head blight on winter wheat ears caused by *Fusarium culmorum* / U. Wachowska, M. Jedryczka, W. Irzykowski, K. Glowacka // Communications in agricultural and applied biological sciences. – 2013. – V. 78(3). – P. 545-549.

Wachowska, U. Bacteria Associated with Winter Wheat Degrade Fusarium Mycotoxins and Triazole Fungicide Residues / U. Wachowska, K. Kucharska, W. Pluskota, S. Czaplicki, K. Stuper // Agronomy. – 2020. – V. 10(11). – P. 1673.

Wadan, A. Genotypic and phenotypic interrelationships among yield and yield components in Egyptian bread wheat genotypes / A. Wadan, S. Abo-Hegazy, M. Taha // Journal of Plant Breeding and Crop Science. – 2012. – V.4. – P. 9-16.

Wang, Y. Stressed food – The impact of abiotic environmental stresses on crop quality / Y. Wang, M. Frei // Agriculture Ecosystems and Environment. – 2011. – V. 141. – P. 271-286.

Wei, B. Decreased ultraviolet radiation and decomposer biodiversity inhibit litter decomposition under continuous nitrogen inputs / B. Wei, D. Zhang, D. Kou, G. Yang, F. Liu, Y. Peng, Y. Yang // Functional Ecology. – 2022. – V.6(4). – P. 998-1009.

Wellings, C.R. The development and application of near-isogenic lines for monitoring cereal rust pathogens / C.R. Wellings, R.P. Singh, A. Yahyaoui, K. Nazari, R.A. McIntosh // Proc. of the Borlaug Global Rust Initiative Technical Workshop (BGRI). – Mexico, 2009. – P. 77-87

Werres, G. Development of a forecasting model for scald, *Rhynchosporium secalis* on rye in relation climatic condition / G. Werres, H. Hindorf // EPPO Bulletin. – 1991. – V. 21. – N 3. – P. 485-493.

Xie, D. Studies on the control effect of Bacillus subtilis on wheat powdery mildew / D. Xie, X. Cai, C. Yang, L. Xie, G. Qin, M. Zhang, Y. Huang, G. Gong, X. Chang Li, H. Chen // Pest Management Science. 2021. – V. 77(10). – P. 4375-4382.

Xiong L., Schumaker K.S., Zhu J.-K. Cell Signaling during Cold, Drought, and Salt Stress / L. Xiong, K.S. Schumaker, J.-K. Zhu // Plant Cell. – 2002. – V.14 (Suppl. 1). – P.165–183.

Xu, L. Developing biostimulants from agro-food and industrial by-products / L. Xu, D. Geelen // Frontiers in plant science. – 2018. – V.9. – P.1567.

Yamaguchi, T. Rapid Swelling and Pattern Formation in Hydrogel Particles / T. Yamaguchi // Nihon Reoroji Gakkaishi. – 2014. – V. 42 (2). – P. 129-133.

Yang, X.B. Analysis of the long-term dynamics of stem and leaf rusts of wheat in North America using a time-series approach / X.B. Yang // Journal of Phytopathology. – 1995. – V. 143. – N 11/12. – P. 651-657.

Yurkova, I.N. The influence of time treatment nanobiosilver composition of wheat seeds on their growth and development / I.N. Yurkova, A.V. Omelchenko, I.A. Bugara// Taurida National V.I. Vernadsky University. – 2013. – V. 26(65)(3). – P. 246-252.

Zabihi, H. Pseudomonas bacteria and phosphorous fertilization, affecting wheat (*Triticum aestivum* L.) yield and P uptake under greenhouse and field conditions / H. Zabihi, G.R. Savaghebi, K. Khavazi, A. Ganjali, M. Miransari // Acta Physiologiae Plantarum. – 2010. – V. 33. – P. 145-152.

Zadoks, G.C. Twenty-five years botanical epidemiology / G.C. Zadoks // Philosophical Transactions of the Royal Society. – 1988. – V. 321. – N 1207. – P. 377-387.

Zadoks, J.C. A decimal code for the growth stages of cereals / J.C. Zadoks, T.T. Chang, C.F. Konzak // Weed Research. – 1974. – V. 14. – P. 415–421.

Zadoks, J.C. Postponed germination of Puccinia recondita uredospores deposited on wheat seedlings. Ripening and longevity of uredospores with postponed ger mination / J.C. Zadoks, E.M. Hees-Boukema // Netherlands Journal of Plant Pathology. – 1986. – V. 92. – N2. – P. 57-69.

Zahir, Z.A. Effectiveness of rhizobacteria containing ACC deaminase for growth promotion of peas (Pisum sativum) under drought conditions / Z.A. Zahir, A. Munir, H.N. Asghar, B. Shaharoona, M. Arshad // J Microbiol Biotechnol. – 2008. – V.18(5). – P.958-963.

Zanco, J.J. Biophotonics in the characterization of seeds submitted to high dynamic dilutions (Doctoral thesis, Federal University of Santa Catarina) / J.J. Zanco. – Lages, Brasil, 2016. – P. 238.

Zaynab, M. Role of primary metabolites in plant defense against pathogens / M. Zaynab, M. Fatima, Y. Sharif, M.H. Zafar, H. Ali, K.A. Khan // Microbial Pathogenesis. – 2019. – V. 137. – 103728.

Zhang, D. Novel screening strategy reveals a potent *Bacillus antagonist* capable of mitigating wheat take-all disease caused by *Gaeumannomyces graminis var. tritici* / D. Zhang, X. Guo, Y. Wang, T. Gao, B. Zhu // Letters in Applied Microbiology. – 2017. – V. 65. – P. 512-519.

Zhang, J. Study on Superabsorbent composite. VI. Preparation, characterization and swelling behaviors of starch phosphate graft- acrylamide/attapulgite Superabsorbent composite / J. Zhang, A. Li, A. Wang // Carbohydrate Polymers. –2006. – V. 65 (2). – P. 150-158.

Zhang, X. Isolation and yield optimization of lipopeptides from *Bacillus subtilis* Z-14 active against wheat take-all caused by *Gaeumannomyces graminis* var. *tritici* / X. Zhang, X. Chen, X. Qiao, X. Fan, X. Huo, D. Zhang // Journal of Separation Science. – 2021. – V. 44(4). – P. 931-940.

Zhang, Y. Advanced materials and processing for drug delivery: the past and the future / Y. Zhang, H.F. Chan, K.W. Leong // Advanced Drug Delivery Reviews. – 2013a. – V. 65(1). – P. 104–120.

Zhang, Y. Synthesis and urea sustained-release behavior of eco-friendly superabsorbent based on flax yarn wastes / Y. Zhang, F. Wu, L. Liu, J. Yao // Carbohydrate polymers. – 2013b. – V. 91(1). – P. 277-283.

Zhong, K. Starch derivative-based superabsorbent with integration of water-retaining and controlled-release fertilizers / K. Zhong, Z.T. Lin, X.L. Zheng, G.B. Jiang, Y.S. Fang, X.Y. Mao, Z.W. Liao // Carbohydr Polym. – 2013. – V. 92(2). – P. 1367-1376.

Zia-ur-Rehman, M. Comparative effects of different soil conditioners on wheat growth and yield grown in saline-sodic soils / M. Zia-ur-Rehman, M. Rizwan, M. Sabir, A.S. Shahjahan, H. Ahmad // Sains Malaysiana. – 2016. – V. 45(3). – P.339-346.

Zohuriaan-Mehr, M.J. Superabsorbent polymer materials: a review / M.J. Zohuriaan-Mehr, K. Kabiri // Iranian Polymer Journal. – 2008. – 17(3). – P. 451–477.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

МЕТОДОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА ИССЛЕДОВАНИЙ

Таблица 1П.1 – Схема методологических подходов исследований

Элементы системы	Алгоритм системного анализа	Методологический подход	Методология исследований
Использование сортов, линий и гибридов мягкой пшеницы, характеризующихся признаком устойчивости к болезням и повышенной урожайностью. Анализ экспрессии генов устойчивости и выявление динамики развития болезней на сортах, защищенных генами устойчивости.	Фитосанитарный мониторинг мягкой пшеницы по пораженности болезнями и выделение источников устойчивости. Изучение вредоносности развития болезней на сортах мягкой пшеницы различного происхождения Изучение взаимосвязей морфобиологических признаков мягкой пшеницы с продуктивностью и устойчивостью к болезням.	Метод автоматизированной систематизации данных полевых исследований (1995-2022 гг.) с использованием оригинальной базы данных в системе IBM SPSS Статистический подход с использованием оригинальных алгоритмов компьютерной обработки данных опыта и презентации научных исследований Адаптивный подход, основанный на отзывчивости сортов мягкой пшеницы к экологическим условиям возделывания на Северо-Западе РФ.	Методика создания оригинальной электронной базы данных в системе IBM SPSS – по сортам, линиям и гибридам мягкой пшеницы генофонда ВИР (Колесников Л.Е., Павлюшин В.А., Архипов М.В. и др., 2022). Для изучения вредоносности возбудителей болезней в отношении элементов структуры урожая создана отдельная электронная база данных (Колесникова Ю.Р., Колесников Л.Е., 2012). Фитопатологические методы, основанные на использование как общепринятых (развитие болезни, тип реакции), так и расчетных, дополняющих фитопатологических показателей (число пустул, площадь пустулы, число и площадь пятен с налетом, длина полосы с пустулами и т.п. (Колесников Л.Е., 2017) Метод анализа динамики развития болезней пшеницы по данным определения средневременных значений и ошибки фитопатологических показателей на основе использования формулы трапеций (Колесников Л.Е., 2017) Методика многомерного параметрирования 21-го морфометрического показателя продуктивности и комплекса фитопатологических показателей, характеризующих различные типы патогенеза, с разной степенью детализации (Власова Э.А., Колесников Л.Е., 2002; Колесников Л.Е., Зуев Е.В., Колесникова Ю.Р., 2011; Kolesnikov L.E. и др., 2021; Колесников Л.Е. и др., 2022) Выносливость (толерантность) сортов Т определяли согласно выражению (Бабаянц Л., Мештерхази А. и др., 1988) Оценку морозостойкости растений, степени поражения растений возбудителями снежной плесени и тифулеза проводили по 9-ти балльной шкале ВИР (Корнеев В.А., Чадаева Л.Г., 1992, 1993), площадь очага поражения растений выражали в процентах ко всей площади учетной делянки. Данные методы были адаптированы к исследованиям агробиологических особенностей устойчивости пшеницы к возбудителю инфекционного выпревания (Колесников Л.Е., Фунтов К.А., 2004; Власова Э.А., Колесников Л.Е. и др., 2004; Колесников Л.Е., Власова Э.А., 2005; Власова Э.А., Колесников Л.Е., Фунтикова Е.Ю., 2005; Колесников Л.Е., Колесникова Ю.Р., 2010).

Продолжение таблицы 1П.1

Элементы системы	Алгоритм системного анализа	Методологический подход	Методология исследований
Создание моделей сортов мягкой пшеницы, отличающихся устойчивостью к болезням и повышенной урожайностью.	Выявление основных факторов, влияющих на структуру урожайности пшеницы и ее изменчивость в условиях Ленинградской области. Анализ фенотипической изменчивости мягкой пшеницы к болезням. Оценка внутривидовой изменчивости мягкой пшеницы по элементному составу, антиоксидантной активности и их связь с урожайностью и устойчивостью к вредным организмам.	Биохимический подход, основанный на масс-спектральном анализе и определении антиоксидантной активности растений, в том числе линий Thatcher, защищенных Lr-генами. Инструментальный подход, основанный на использовании методов полевой спектрометрии и вегетационных индексов при оценке адаптивного потенциала мягкой пшеницы к условиям возделывания.	Методика расчета длины и ширины пикноспор, коэффициента вытянутости, объема пикноспор (по формуле расчета объема кругового цилиндра и эллипсоида вращения) на сортах пшеницы различного происхождения Parastagonospora nodorum (Berk.) и Zymoseptoria tritici (Desm.) Quaedvlieg & Crous. в за (Колесников Л.Е., Власова Э.А., Колесникова Ю.Р.) Методика оценки вредоносности фитопатогенных микромицетов, в том числе при смешанных инфекциях листьев (Колесников Л.Е., Павлова М.Н., Рыхлова К.В., 2012; Колесникова Ю.Р., Колесников Л.Е., 2012) Методика анализа устойчивости и толерантности сортов мягкой пшеницы, тритикале, полбы, а также изогенных линий пшеницы к особо опасным болезням листьев (Колесников Л.Е., Фунтов К.А., 2001; Kolesnikov L.E., Vlasova E.A., 2003; Власова Э.А., Колесников Л.Е., 2002; Колесников Л.Е., Власова Э.А.,2006; Зуев Е.В., Колесников Л.Е., Колесникова Ю.Р., 2012; Колесников Л.Е., Зуев Е.В., Колесникова Ю.Р., 2013; Колесников Л.Е., Власова Э.А. и др., 2013) Методика создания элементных «портретов» сортов мягкой пшеницы с различной степенью поражения болезнями методом масс-спектрального анализа с индуктивно-связанной плазмой ИСП-МС Колесников Л.Е., Бурова О.И., 2018; Колесников Л.Е., Подгорная Е.Б. и др., 2014) Методика оценки антиоксидантной активности сортов в процентах ингибирования аутоокисления адреналина, а также содержания фотосинтетических пигментов спектрофотометрическим методом: хлорофиллов a, b и каротиноидов (Колесников Л.Е., Шапиро Я.С. и др., 2015) Методика использование стресс-индекса F (обратного вегетационного индекса) и нормированного вегетационного индекса NDVI при проведении фитопатологических оценок посевов (Сурин В.Г., Колесников Л.Е., Саблина Ю.Р., 2005; Сурин В.Г., Колесников Л.Е., Колесникова Ю.Р., 2015; Колесников Л.Е., Сурин В.Г.,2015). Методика анализа фенотипической изменчивости мягкой пшеницы к болезням (Колесников Л.Е., Колесников Е.К., Павлюшин В.А. и др., 2022; Колесников Л.Е., Павлюшин В.А., Архипов М.В. и др., 2022). Методика анализа влияния уровня азотного питания селекционных сортов и линий яровой пшеницы различного географического происхождения, их морфологоагрономических характеристик и экспрессии Lr-генов на развитие бурой ржавчины пшеницы (Колесников Л.Е., Зуев Е.В., Колесникова Ю.Р., 2011)

Продолжение таблицы 1П.1

Элементы системы	Алгоритм системного анализа	Методологический подход	Методология исследований
Разработка системы метеопатологического прогноза развития болезней мягкой пшеницы	Моделирование влияния природно-климатических факторов на продуктивность и интенсивность развития листостебельных болезней. Анализ и прогноз развития инфекционного выпревания на сортах и линиях мягкой пшеницы в Северо-Западном регионе РФ Имитационное моделирование уредостадии бурой ржавчины пшеницы	Системный подход к управлению фитосанитарным состоянием и продуктивностью мягкой пшеницы Метод автоматизированной систематизации данных полевых исследований (1995-2022 гг.) с использованием оригинальной базы данных в системе IBM SPSS Комплексный подход к созданию имитационных и статистических моделей патогенеза, прогнозирования изменения урожайности пшеницы;	При анализе сопряженности фитопатологических показателей с метеорологическими условиями и солнечной активностью было создано и проанализировано множество корреляционных матриц. В дальнейшем коэффициенты корреляции ранжировали, после чего был рассчитан относительный показатель – доля коэффициентов корреляции как отношение числа отрицательных или положительных коэффициентов, характеризующих метеообусловленность патогенеза по месяцам текущего (январь–август) и предшествующего (сентябрь–декабрь) года проведения фитосанитарного мониторинга к числу анализируемых сортов (Колесников Л.Е., Колесников Е.К., Павлюшин В.А. и др., 2022). Метод факторного анализа, позволяющий в упрощенном виде анализировать причинно-следственные связи между перечисленными показателями с использованием гипотетически непосредственно не измеряемых, скрытых (латентных) переменных – факторов, использовали для определения взаимосвязей между 42-мя показателями, характеризующими развитие возбудителей болезней листьев пшеницы, элементы структуры её урожайности, метеорологические условия и солнечную активность (Колесников Л.Е., Колесников Е.К., Павлюшин В.А. и др., 2022). Метод имитационного моделирования развития уредостадии бурой ржавчины пшеницы, основанный на построении системы обыкновенных дифференциальных уравнений и ее численном интегрировании с использованием оригинальной программы, написанной на языке GW Basic на основе метода Рунге-Кутта-Мерсона четвертого порядка с автоматическим выбором шага (Колесников Л.Е., Колесников Е.К. и др., 2008). Метод имитационного моделирования развития уредостадии бурой ржавчины пшеницы, основанный на построении системы нелинейных дифференциальных уравнений первого порядка с двумя запаздывающими аргументами. Создана оригинальная программа численного решения системы нелинейных дифференциальных уравнений с использованием программного комплекса DIFSUBDEL (Колесников Л.Е., Колесников Е.К. и др., 2022).

Продолжение таблицы 1П.1

Элементы системы	Алгоритм системного анализа	Методологический подход	Методология исследований
Разработка системы метеопатологического прогноза развития болезней мягкой пшеницы (продолжение)	Определение биологического загрязнения воздуха уредоспорами бурой ржавчины с использованием разновысотных детекторов. Определение коэффициента оседания уредоспор для практической реализации имитационной модели развития бурой ржавчины.	Комплексные подходы к созданию имитационных и статистических моделей патогенеза.	Методика анализа биологического загрязнения воздуха уредоспорами и экспериментального определения коэффициента их оседания в имитационной модели развития бурой ржавчины (Колесников Л.Е., Власова Э.А., Колесников Е.К., 2001; Власова Э.А., Колесников Е.К., Колесников Л.Е., 2004) Алгоритм сопоставления параметров патогенеза возбудителей желтой и бурой ржавчины пшеницы с помощью теоретических и визуально-лабораторных методов (Власова Э.А., Колесников Л.Е., Саблина Ю.Р., 2007) Методика выявления причинно-следственных связей между показателями продуктивности пшеницы, агроэкологическими условиями ее возделывания, интенсивностью развития возбудителей болезней, содержанием в листьях фотосинтетических пигментов (Колесников Л.Е., Чекурова С.С., Колесникова Ю.Р., 2019). Методика анализа и прогноза развития инфекционного выпревания на сортах и линиях мягкой пшеницы, ППГ в Северо-Западном регионе РФ (Власова Э.А., Колесников Е.К., Колесников Л.Е., 2005; Колесников Л.Е., Колесникова Ю.Р., 2010). Использование графических (технических) методов, а также факторного анализа в анализе многолетней динамики развития болезней (Колесников Л.Е., Колесникова Ю.Р., Кеслина А.А., 2020; (Колесников Л.Е., Колесников Е.К., Павлюшин В.А. и др., 2022).

Продолжение таблицы 1П.1

Элементы системы	Алгоритм системного анализа	Методологический подход	Методология исследований
Прогнозирование продуктивности и интенсивности поражения мягкой пшеницы в зависимости от качества семенного материала. Влияние стимулирующих и защитных обработок вегетирующих растений на интроскопические характеристики зерна.	Идентификация нежизнеспособных и выполненных семян мягкой пшеницы методом газоразрядной визуализации. Идентификация нежизнеспособных и выполненных семян мягкой пшеницы методом микрофокусной мягколучевой рентгенографии. Выявление зависимостей продуктивности и интенсивности развития болезней пшеницы от газоразрядных характеристик семенного материала. Использование методов газоразрядной визуализации и микрофокусной рентгенографии зерна пшеницы для анализа эффективности микробиологических препаратов и полифункциональных комплексов.	Комплексный подход к оценке продуктивности и пораженностью пшеницы болезнями. Инструментальные подходы к определению качества семенного материала, анализу фитометрических и фитопатологических характеристик посевов. Статистический подход по использованию оригинальных алгоритмов компьютерной обработки данных опыта и презентации научных исследований.	Методы определения всхожести семян, энергии прорастания – по ГОСТ 12038-84, масса 1000 семян - ГОСТ 12042-80 (Семена сельскохозяйственных культур. Методы анализа, 2004). При характеристике ботанических особенностей растений (угла наклона флагового листа к стеблю, балл; воскового налета, балл; окраски листа, балл; опушенности листа, балл) использовали методические указания А.Ф. Мережко и др., 1999. При ранжировании образцов пшеницы в порядке возрастания высоты растений была использована классификация, указанная в работе Н.Э. Ионовой и др. (2009). Методы микрофокусной рентгенографии и газоразрядной визуализации, применяемые в наших исследованиях, были подробно описаны в методических указаниях ФГБНУ АФИ и некоторых научных статьях (Архипов М.В. и др., 2016; Прияткин Н.С., Щукина П.А., Колесников Л.Е., 2023) и применены к прогнозированию урожайности и устойчивости мягкой пшеницы к болезням (Архипов М.В., Прияткин Н.С., Колесников Л.Е., 2016; Kolesnikov L.E. и др., 2021), а также к оценке эффективности влияния различных стимулирующих обработок вегетирующих растений на качество семенного материала (Прияткин Н.С., Колесников Л.Е., 2017; Колесников Л.Е. и др., 2017)

Продолжение таблицы 1П.1

Элементы системы	Алгоритм системного анализа	Методологический подход	Методология исследований
Использование при возделывании мягкой пшеницы инновационных биологических средств защиты растений и регуляции роста, почвенных кондиционеров и удобрений. Сравнительная эффективность и особенности защитного и ростостимулирующего действия.	Сравнительная характеристика эффективности при возделывании мягкой пшеницы инновационных биологических средств защиты растений и регуляции роста: «Гамаир, СП», «Витаплан, КЖ» (Колесников Л.Е., Новикова И.И. и др., 2017; Колесников Л.Е., Попова Э.В. и др., 2019), экспериментальных образцов из лаборатории микробиологической защиты ФГБНУ ВИЗР – композиций на основе хитозана: «Хитозан I» и «Хитозан II»; 0,1% салицилат хитозана (Попова Э.В., Домнина Н.С. и др., 2017; Колесников Л.Е., Новикова И.И. и др., 2018; Колесников Л.Е., Попова Э.В. и др., 2022); полифункциональных комплексов «Витаплан, КЖ + Хитозан II» (Колесников Л.Е., Попова Э.В. и др., 2019); «Витаплан, КС и Хитозан II» (Novikova I.I., Popova E.V. и др., 2020); «Витаплан, КЖ + 0,1% Хитозан» (салицилат хитозана); «Витаплан КЖ + коллоидный хитин (0,1%)»; «Витаплан КЖ + коллоидный хитин (0,1%) + 0,1% Хитозан» (салицилат хитозана) (Kolesnikov L.E., Solodyannikov M.D. и др., 2020); «Витаплан, КЖ + 0,1% салицилат хитозана (глубинное культивирование)»; полифункциональный комплекс «Витаплан, КЖ + 0,1% салицилат хитозана (композиция)» (Kolesnikov L.E., Radishevsky D.Yu. и др., 2021); штаммов ассоциативных ризобактерий Bacillus subtilis 124-11 (ингибитор роста фитопатогенных грибов), *Sphingomonas* sp. K1B (гиперпродуцент ауксинов) и *Pseudomonas fluorescens* SPB2137 (продуцент ауксинов, содержит АЦК дезаминазу, ингибиор роста фитопатогенных грибов) из лаборатории ризосферной микрофлоры (Kolesnikov L.E., Belimov A.A. и др., 2021); белковых стимуляторов роста (белковых гидролизатов, Патент РФ № 2662782. 31.07.2018), которые были разработаны по уникальной технологии на мегафакультете пищевых биотехнологий и низкотемпературных систем Университета ИТМО из продуктов переработки убойных животных (Кременевская М.И., Колесников Л.Е., Разумова И.Е.; Kolesnikov L.E., Kremenevskaya M.I. и др., 2020); влагопоглощающей полимерной гидрогелевой композиции на основе акрилата калия и N, N' – метиленбисакриламида, предоставленной для исследования МНЦ БиоИНженерии университета ИТМО (Baidakova M.B. и др., 2019; Колесников Л.Е., Успенская М.В. и др., 2021; Kolesnikov L.E., Orlova A.G. и др., 2021); микроудобрений и органо-минеральных препаратов: «ФлорГумат», «Флора С», «Эдагум», «Фитоп-Флора-С», «Зеребра агро», «БатырMax», «Батыр 40N», «Батыр 40N+Max», «Азофоска» (Колесников Л.Е., Мельников С.П. и др., 2019), экспериментального образца «Органик» находящегося в стадии испытаний и сертификации (Мельников С.П., Колесников Л.Е., Базыкина А.Н., 2016), «Trace Mix» («ZM-Grow», https://www.tracegrow.com) – продукта переработки алкалиновых батареек (ISO 9001:2015; ISO 14001:2015); «Natural Green Карелия» (Прияткин Н.С., Колесников Л.Е. и др., 2020).	Системный подход к оценке биологической и хозяйственной эффективности инновационных биологических средств защиты растений и регуляции их роста. Инструментальный подход к оценке эффективности биопрепаратов в период вегетации и к анализу качества зерна вновь собранного урожая по данным морфометрического и рентгенографического анализов, а также с использованием вегетационного индекса NDVI. Биохимический подход к определению фотосинтетических пигментов в листьях растений. Микробиологический подход по определению количества микроорганизмов в единице объема почвы по вариантам опытов.	Методы анализа фитосанитарного состояния посевов мягкой пшеницы, продуктивности и качества зерна интроскопическим методом при использовании инновационных биологических средств защиты растений и регуляции роста (Колесников Л.Е., Новикова И.И. и др., 2017; Колесников Л.Е., Попова Э.В. и др., 2019 и др.). Методы определения средневременных значений биологической и потенциальной урожайности пшеницы, изменения интенсивности развития болезней при применении штаммов ассоциативных ризобактерий (в печати, «Iraqi journal of Agricultural sciences»). Методика моделирования эффективности штаммов *Bacillus subtilis* в зависимости от природно-климатических факторов при возделывании мягкой пшеницы (в печати, «Российская сельскохозяйственная наука»). Анализ эффективности композиций на основе хитозана (Kolesnikov L.E. и др., 2020; Колесников Л.Е. и др., 2019), белкового стимулятора роста (Колесников Л.Е. и др., 2020) по морфометрическим и рентгенографическим показателям качества зерна. Методика сопоставления фитометрических и фитопатологических показателей посевов при применении полифункциональных комплексов на основе хитозана с данными полевой спектрометрии по определению вегетационного индекса NDVI (Новикова И.И., Попова Э.В., Колесников Л.Е., Прияткин Н.С., 2019). Анализ эффективности композиций на основе хитозана (Kolesnikov L.E. и др., 2020; Колесников Л.Е. и др., 2019), белкового стимулятора роста (Колесников Л.Е. и др., 2020) по морфометрическим и рентгенографическим показателям качества зерна. Методика сопоставления фитометрических и фитопатологических показателей посевов при применении полифункциональных комплексов на основе хитозана с данными полевой спектрометрии по определению вегетационного индекса NDVI (Новикова И.И., Попова Э.В., Колесников Л.Е., Прияткин Н.С., 2019)

Продолжение таблицы 1П.1

Элементы системы	Алгоритм системного анализа	Методологический подход	Методология исследований
Моделирование эффективности микробиологических препаратов, штаммов ассоциативных ризобактерий, органо-минеральных удобрений и микроудобрений в отношении продуктивности и интенсивности развития болезней в зависимости от природно-климатический условий возделывания пшеницы.	Моделирование эффективности штаммов *Bacillus subtilis* в зависимости от природно-климатических факторов при возделывании мягкой пшеницы. Агроэкологическое варьирование продуктивности и пораженности пшеницы болезнями при применении ассоциативных ризобактерий *(Bacillus subtilis 124-11; Sphingomonas sp. K1B, Pseudomonas fluorescens SPB*2137). Влияние метеорологических факторов на эффективность органо-минеральных препаратов и микроудобрений («Зеребра агро», «ФлорГумат», «Фитоп-Флора-С»).	Системный подход к оценке биологической и хозяйственной эффективности инновационных биологических средств защиты растений и регуляции их роста. Метеопатологический подход к оценке варьирования эффективности микробиологических препаратов в отношении продуктивности и пораженности растений болезнями.	Методика интерпретации различий в вариантах опыта по данным определения биологической эффективности бактериальных штаммов (БЭ) по формуле Аббота (Abbott W., 1968). Метод анализа динамики развития болезней пшеницы по данным определения средневременных значений и ошибки фитопатологических показателей на основе использования формулы трапеций (Колесников Л.Е., 2017). Методика определения количества микроорганизмов в единице объема почвы по вариантам опыта определяли согласно В.И. Титовой, А.В. Козловой (2011). Методика построения и анализа корреляционных матриц, характеризующих зависимости относительных изменений фитометрических и фитопатологических характеристик посевов по сравнению с контролем при применении микробиологических препаратов, штаммов ассоциативных ризобактерий, органо-минеральных удобрений и микроудобрений от метеорологических условий и солнечной активности. В дальнейшем коэффициенты корреляции ранжировали, после чего был рассчитан относительный показатель – доля отрицательных и положительных коэффициентов корреляции Спирмена, а также доля достоверных коэффициентов корреляции при $P<0,05$, характеризующих метеообусловленность эффективности изученных средств регуляции роста и защиты растений.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

УСТОЙЧИВОСТЬ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ К ВОЗБУДИТЕЛЯМ ОСОБО ОПАСНЫХ БОЛЕЗНЕЙ ЛИСТЬЕВ

Таблица 2П.1 – Интенсивность поражения мягкой пшеницы возбудителем стеблевой ржавчины в зависимости от селекционного статуса образцов. 2010 г.

Статус	Число образцов	Стат. показатель	Развитие, %	Число пустул на 1 см верхнего колосонесущего междоузлия, шт.	Число пустул на верхнем колосонесущем междоузлии , шт.	Площадь пустулы, мм^2	Тип реакции
Генетическая линия	11	Среднее	16,5	5,1	96,7	0,33491	1,8
		Ст. ошибка	2,9	1,1	19,3	0,03073	0,0
Местный сорт (ландрас)	124	Среднее	29,9	10,1	174,8	0,27622	2,0
		Ст. ошибка	1,6	0,7	12,5	0,01440	0,0
Селекционная линия	47	Среднее	17,3	6,7	108,1	0,24535	2,3
		Ст. ошибка	1,9	0,7	13,4	0,01615	0,2
Селекционный сорт	203	Среднее	17,3	5,1	83,6	0,31397	1,7
		Ст. ошибка	1,1	0,4	6,1	0,00961	0,0
Селекционный сорт (реестр России)	105	Среднее	23,3	8,0	137,2	0,28296	2,0
		Ст. ошибка	2,2	1,0	16,5	0,01313	0,0

Таблица 2П.2 – Динамика развития бурой ржавчины на линиях Thatcher, защищенных Lr-генами (2001-2014 гг.)

Lr-гены	Год	Развитие, %	Число пустул, шт.	Площадь пустулы, мм^2	Тип реакции	Источник
Lr1	2009	13	37,2	0,1176	4	Centenario/6*Thatcher, R.L.6003
	2010	100	992,8	0,1356	4	
	2011	4	15,2	0,0367	3	
	2012	11	45,7	0,0522	3	
	2014	88	1345,4	0,0284	3	
	Всего	17	127,3	0,0755	3	
Lr2c	2009	36	129,0	0,1027	4	Webster/6*Thatcher,R. L.6016
	2010	60	1044,6	0,0534	4	
	2011	19	67,5	0,0161	4	
	2012	56	324,1	0,0996	4	
	2014	70	928,8	0,0352	4	
	Всего	45	301,9	0,0767	4	
Lr2a	2009	7	20,7	0,1303	4	Webster/6*Thatcher,R. L.6016

Продолжение табл. 2П.2

	2010	64	1572,3	0,0607	4	
	2011	8	52,1	0,0274	4	
	2012	23	122,7	0,0839	4	
	Всего	18	155,9	0,0820	4	
	2009	37	130,9	0,0959	4	
	2010	85	1478,3	0,0633	3	Democrat/6*Thatcher, R.L.6002
	2011	6	38,5	0,0183	4	
Lr3	Всего	32	200,8	0,0750	4	
	2009	52	123,5	0,1370	4	
	2010	65	311,6	0,0770	4	
Lr3ka	2011	1	7,0	0,1167	4	Klein Aniversario/6* Thatcher, R.L.6007
	2014	88	2338,4	0,0692	3	
	Всего	51	695	0,1000	4	
	2009	8	9,0	0,0700	4	
	2010	100	1270,5	0,0893	4	
	2011	18	137,0	0,0290	4	
Lr3bg	2012	34	123,6	0,0713	4	Báge/8*Thatcher
	2014	18	284,2	0,0208	4	
	Всего	27	158,7	0,0611	4	
	2009	2	4,9	0,0056	1	
	2010	2	19,0	0,0345	2	
	2011	1	5,0	0,0058	2	
Lr9	2012	1	10,0	0,0432	2	Thatcher*6/Transfer, R.L.6010
	2014	2	11,0	0,0408	2	
	Всего	2	10,0	0,0260	2	
	2009	50	130,8	0,0797	4	
	2010	25	56,5	0,0194	4	
	2011	11	97,4	0,0271	3	
Lr10	2012	2	9,1	0,0075	3	Exchange/6*Thatcher, R.L.6004
	2014	100	1259,4	0,0559	4	
	Всего	26	117,9	0,0399	4	
	2009	18	44,5	0,1050	4	
	2010	18	38,0	0,0077	2	
	2011	6	16,3	0,0099	2	
Lr11	2012	15	94,3	0,0606	3	Thatcher*6/El Gaucho,RL.6048
	2014	100	2684,6	0,0397	4	
	Всего	19	171,3	0,0619	3	
	2009	55	79,8	0,0723	4	
	2010	5	37,5	0,0188	3	
	2011	0	0,0	0,0000	0	
Lr12	2012	21	95,6	0,1057	4	Exchange/6*Thatcher, R.L.6011
	2014	30	930,7	0,0354		
	Всего	22	229	0,0464	4	

Продолжение табл. 2П.2

Lr13	2009	86	743,2	0,1028	4	Thatcher*7/Frontana, R.L.4031
	2010	48	700,0	0,0512	4	
	2011	0	0,0	0,0000	0	
	2012	3	22,1	0,0786	2	
	2013	65	771,4	0,1033	4	
	2014	50	1653,7	0,0255	4	
	Всего	42	648	0,06023	3	
Lr14a	2009	20	53,6	0,0869	4	Selkirk/6*Thatcher, R.L.6013
	2010	100	1351,0	0,0597	4	
	2011	7	17,7	0,0229	2	
	2012	16	108,3	0,1388	3	
	2014	100	3247,3	0,0611	4	
	Всего	21	243,8	0,0902	3	
Lr14b	2009	8	42,4	0,1149	2	Selkirk/6*Thatcher// Maria Escobar/6*Thatcher, R.L.6039
	2010	3	20,5	0,0073	2	
	Всего	6	31,4	0,0611	2	
Lr15	2009	11	66,1	0,1255	4	Thatcher*6/Kenya W1483, R.L.6052
	2010	28	499,5	0,0349	4	
	2011	0	0,0	0,0000	0	
	2012	12	46,4	0,1075	4	
	2013	55	520,0	0,0649	3	
	2014	100	2800,4	0,0618	4	
	Всего	16	214,1	0,0832	3	
Lr16	2009	25	58,3	0,0579	4	Exchange/6*Thatcher, R.L.6005
	2010	50	302,0	0,0547	3	
	2011	2	22,9	0,0408	2	
	2012	36	177,2	0,0905	4	
	2014	22	602,6	0,0302	4	
	Всего	26	134,4	0,0627	4	
Lr17	2009	2	5,4	0,0333	2	Klein Lucero*6/Thatcher, RL. 6008
	2010	5	32,5	0,0338	2	
	2014	10	245,8	0,0950	4	
	Всего	6	95	0,0540	3	
Lr18	2009	8	21,6	0,1084	4	South Africa 43/7*Thatcher
	2010	1	9,0	0,0785	4	
	2011	12	27,4	0,0372	4	
	2012	20	97,4	0,0668	3	
	2014	5	56,7	0,0202		
	Всего	9	42	0,0622	4	

Продолжение табл. 2П.2

Lr19	2009	1	1,0	0,0155	1	Agatha C.I.14048
	2014	1	1,0	0,0792	1	
	Всего	1	1,0	0,0474	1	
Lr20	2009	9	28,2	0,0860	4	Thatcher*6/Timmo, R.L.6092
	2010	88	4917,4	0,1346	4	
	2011	19	100,8	0,0620	3	
	2012	39	178,0	0,0985	4	
	2014	64	1464,4	0,1452	4	
	Всего	31	412,6	0,0999	4	
Lr21	2009	3	6,3	0,0251	2	Thatcher*6/R.L.5406 (Tetra Canthatch/Tritcumtauschii var. meyeri R.L.5289), R.L.6043
	2010	85	269,0	0,4030	4	
	2011	0	0,0	0,0000	0	
	2014	50	1198,7	0,0375	4	
	Всего	11	102,0	0,0564	3	
Lr22a	2009	6	13,8	0,0218	3	Thatcher*6/R.L.5404, R.L.6044
	2010	10	42,0	0,0895	4	
	2011	14	207,1	0,0258	4	
	2012	13	30,5	0,0291	3	
	Всего	11	73,4	0,0416	3	
Lr22b	2001	25	83,9	0,1170	4	
	2002	1	7,8	0,1282	3	
	2003	1	5,1	0,0762	3	
	2004	15	69,0	0,0344	4	
	2005	15	69,0	0,0433	3	
	2006	1	4,4	0,0322	3	
	2010	21	155,6	0,0283	3	
	2011	1	6,1	0,1036	4	
	2012	28	54,8	0,0897	4	
	Всего	21	48,2	0,0862	3	
Lr23	2009	1	3,3	0,0300	1	Lee FL310/6*Thatcher, R.L.6012
	2010	18	65,0	0,0503	3	
	2011	8	35,4	0,0554	3	
	2012	3	12,6	0,0511	3	
	2014	1	7,3	0,0284	2	
	Всего	4	17,0	0,0434	2	
Lr24	2009	1	7,0	0,0983	1	Thatcher*6/Agent, R.L.6064
	2014	0	0,0	0,0000	0	
	Всего	1	7,0	0,0983	1	
Lr25	2009	26	86,6	0,1733	4	Thatcher*7/Transec, R.L.6084
	2010	85	975,1	0,1164	4	
	2011	1	1,5	0,0144	1	

Продолжение табл. 2П.2

	2012	10	32,9	0,0233	2	
	Всего	17	86,2	0,0819	3	
Lr26	2009	7	18,5	0,1045	3	Thatcher*6/ST1.25, R.L.6078
	2010	2	8,0	0,0122	2	
	2014	75	1301,2	0,1144	4	
	Всего	14	168,2	0,0969	3	
Lr27	2009	10	29,3	0,0356	3	CS*6/Hope 3B
	2010	10	27,0	0,0516	3	
	2011	0	0,0	0,0000	0	
	2012	1	3,4	0,0361	2	
	Всего	4	11,9	0,0335	2	
Lr28	2009	6	13,0	0,0581	2	Thatcher*6/C77.1 R.L.6079
	2010	3	7,5	0,1621	2	
	2011	1	4,0	0,1322	2	
	2012	9	52,6	0,0851	3	
	2014	0	0,0	0,0000	0	
	Всего	5	19,3	0,1094	2	
Lr29	2009	1	3,5	0,0151	1	Thatcher*6//CS 7D/Ag#11, R.L.6080
	2014	0	0,0	0,0000	0	
	Всего	1	3,5	0,0151	1	
Lr30	2009	80	208,3	0,0706	3	Thatcher*6/Terenzio, R.L.6049
	Всего	80	208,3	0,0706	3	
Lr32	2009	0	0,0	0,0000	0	Thatcher*7//R.L.5497 - 1/Marquis-K, R.L.6086
	2010	8	60,0	0,0383	3	
	2014	86	1722,8	0,0760	4	
	Всего	23	438,2	0,0395	3	
Lr33	2009	13	62,4	0,0795	3	Thatcher*6/P.I.58548, R.L.6057
	2010	1	3,5	0,0276	1	
	2011	0	0,0	0,0000	0	
	2012	4	22,1	0,0474	3	
	2013	13	138,0	0,1111	4	
	2014	50	629,2	0,0562	4	
	Всего	13	143	0,0536	3	
Lr34	2009	51	143,2	0,0993	4	Thatcher*6/Terenzio
	2010	28	850,0	0,0471	3	
	2011	6	14,9	0,0061	3	
	2012	6	30,7	0,1089	4	
	2014	53	922,5	0,0850	4	
	Всего	21	133,9	0,0859	4	
Lr35	2009	2	2,7	0,0232	1	Thatcher*6/R.L.5711, R.L.6083
	2010	0	0,0	0,0000	0	

Продолжение табл. 2П.2

	2011	0	0,0	0,0000	0	
	2012	0	0,0	0,0000	0	
	2013	1	4,5	0,0455	2	
	2014	6	52,0	0,0340	2	
	Всего	1	10	0,0171	2	
Lr36	2009	3	11,4	0,0338	3	Линия 2-9-2=Neepawa*5/Triticum speltoides 2-9
	2014	8	194,6	0,0285	3	
	Всего	4	48,0	0,0324	3	
Lr37	2009	0	0,0	0,0000	0	Thatcher*8/VPM1, R.L.6081
	2010	40	112,9	0,0377	3	
	2011	3	5,3	0,0322	0	
	2012	3	9,9	0,0298	3	
	Всего	5	18,2	0,0207	3	
Lr38	2009	70	222,5	0,0702	4	Транслокация в хромосомах: -1DL (T lDS.lDL-7Ai#2L): T25; -2AL (T 2AS.2AL-7Ai#2L): W49;T33; -3DS (T 7Ai#2L-3DS.3DL): T4; -5AS (T 7Ai#2L-5AS.5AL): T24. -6DL (T 6DS.6DL-7Ai#2L): T7
	2010	10	47,5	0,0730	3	
	2011	29	110,3	0,1211	4	
	2012	32	245,2	0,0860	4	
	Всего	41	202,9	0,0866	4	
Lr40	2009	1	1,9	0,0014	1	Линия KS89WGRC07
Lr43	2009	2	2,6	0,0129	1	Линия KS91WGRC16=Triumph 64/3/KS8010-71/TA2470//TAM200
	2010	1	7,5	0,1201	3	
	2011	0	0,0	0,0000	0	
	2012	1	3,4	0,0099	1	
	2013	1	4,0	0,0060	1	
	2014	2	24,5	0,0099	2	
	Всего	1	3,7	0,0146	2	
Lr44	2014	5	65,0	0,0342	3	Thatcher*6/T. spelta 7831
Lr45	2009	1	2,1	0,0193	1	Thatcher*7/ST-1,v:ST-1

Продолжение табл. 2П.2

Lr46	2014	13	289,7	0,1057	4	Lalbahadur/(1B)Pavon-76(Lr1)
Lr47	2014	0	0,0	0,0000	0	7A:KS-90-H-450,CI-17882,CI-17884,CI-17885
Lr48	2014	3	47,0	0,0330	3	CSP44 / 5*Lal Bahadur
	2009	61	1005,9	0,8088	4	Morocco
	2010	95	999,5	0,0856	4	
	2011	0	0,0	0,0000	0	
	2012	0	0,0	0,0000	0	
	2013	100	439,0	0,1336	4	
	2014	63	1047,6	0,0581	4	
	Всего	41	597,4	0,3796	2	

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРИРОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ИНТЕНСИВНОСТЬ РАЗВИТИЯ БОЛЕЗНЕЙ ЛИСТЬЕВ

Таблица 3П.1 – Корреляционные взаимосвязи между метеоусловиями периодов фитосанитарного мониторинга и развитием бурой ржавчины на 74-х сортах мягкой пшеницы (1995-2012 гг.)

Коэффициенты корреляции	Данные текущего периода проведения учетов								Данные предшествующего периода проведения учетов			
	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
ТЕМПЕРАТУРА (^{0}C)												
Число пустул на лист, шт.												
Доля положительных коэффициентов корреляции,%	56,8	70,3	54,1	70,3	81,1	29,7	43,2	41,9	78,4	66,2	75,7	83,8
Доля отрицательных коэффициентов корреляции,%	39,2	28,4	43,2	27,0	18,9	70,3	55,4	56,8	21,6	33,8	23,0	12,2
Площадь пустулы, мм^2												
Доля положительных коэффициентов корреляции,%	45,9	48,6	50,0	41,9	67,6	52,7	43,2	58,1	50,0	48,6	36,5	28,4
Доля отрицательных коэффициентов корреляции,%	47,3	43,2	41,9	50,0	27,0	43,2	50,0	36,5	41,9	39,2	59,5	66,2
СУММА ОСАДКОВ (мм)												
Число пустул на лист												
Доля положительных коэффициентов корреляции,%	27,0	79,7	86,5	67,6	16,2	90,5	75,7	58,1	45,9	12,2	98,6	39,2
Доля отрицательных коэффициентов корреляции,%	70,3	20,3	12,2	29,7	81,1	6,8	21,6	41,9	52,7	86,5	1,4	58,1
Площадь пустулы, мм^2												
Доля положительных коэффициентов корреляции,%	51,4	41,9	31,1	44,6	45,9	27,0	27,0	39,2	52,7	36,5	51,4	45,9
Доля отрицательных коэффициентов корреляции,%	43,2	51,4	56,8	48,6	47,3	66,2	64,9	56,8	39,2	56,8	37,8	45,9
ОТНОСИТЕЛЬНАЯ ВЛАЖНОСТЬ (%)												
Число пустул на лист												
Доля положительных коэффициентов корреляции,%	70,3	20,3	77,0	14,9	66,2	32,4	31,1	9,5	10,8	9,5	14,9	58,1
Доля отрицательных коэффициентов корреляции,%	25,7	78,4	21,6	82,4	32,4	63,5	66,2	89,2	87,8	90,5	85,1	39,2
Площадь пустулы, мм^2												
Доля положительных коэффициентов корреляции,%	37,8	52,7	37,8	45,9	47,3	52,7	32,4	37,8	31,1	64,9	55,4	44,6
Доля отрицательных коэффициентов корреляции,%	54,1	40,5	55,4	48,6	43,2	41,9	56,8	55,4	60,8	27,0	37,8	48,6

Таблица 3П.2 – Корреляционные взаимосвязи между метеоусловиями периодов ФСМ и развитием желтой ржавчины на 43-х сортах и линиях пшеницы (1995-2012 гг.)

Коэффициенты корреляции	Данные текущего периода проведения учетов								Данные предшествующего периода проведения учетов			
	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
ТЕМПЕРАТУРА (^{0}C)												
Число пустул на лист												
Доля положительных коэффициентов корреляции,%	60,5	58,1	37,2	44,2	67,4	20,9	23,3	41,9	44,2	60,5	72,1	72,1
Доля отрицательных коэффициентов корреляции,%	30,2	34,9	34,9	48,8	27,9	74,4	76,7	55,8	46,5	30,2	27,9	27,9
Площадь пустулы, мм^2												
Доля положительных коэффициентов корреляции,%	18,6	18,6	0,0	14,0	14,0	27,9	11,6	23,3	7,0	18,6	23,3	20,9
Доля отрицательных коэффициентов корреляции,%	20,9	23,3	2,3	23,3	27,9	14,0	27,9	16,3	23,3	20,9	18,6	20,9
СУММА ОСАДКОВ (мм)												
Число пустул на лист												
Доля положительных коэффициентов корреляции,%	20,9	30,2	72,1	46,5	23,3	74,4	46,5	41,9	20,9	60,5	69,8	20,9

Продолжение табл. 3П.2

Доля отрицательных коэффициентов корреляции,%	76,7	60,5	27,9	51,2	74,4	20,9	41,9	48,8	72,1	30,2	25,6	72,1
Площадь пустулы, мм^2												
Доля положительных коэффициентов корреляции,%	16,3	14,0	20,9	18,6	20,9	14,0	16,3	14,0	14,0	25,6	14,0	14,0
Доля отрицательных коэффициентов корреляции,%	25,6	25,6	20,9	23,3	18,6	27,9	25,6	27,9	27,9	14,0	27,9	27,9
ОТНОСИТЕЛЬНАЯ ВЛАЖНОСТЬ (%)												
Число пустул на лист												
Доля положительных коэффициентов корреляции,%	44,2	41,9	60,5	32,6	41,9	44,2	41,9	41,9	20,9	41,9	55,8	67,4
Доля отрицательных коэффициентов корреляции,%	48,8	37,2	32,6	60,5	53,5	48,8	46,5	37,2	74,4	46,5	25,6	30,2
Площадь пустулы, мм2												
Доля положительных коэффициентов корреляции,%	16,3	27,9	25,6	16,3	16,3	16,3	16,3	27,9	27,9	25,6	27,9	16,3
Доля отрицательных коэффициентов корреляции,%	25,6	14,0	16,3	25,6	25,6	25,6	25,6	14,0	14,0	16,3	14,0	23,3

Таблица 3П.3 – Корреляционные взаимосвязи между метеоусловиями периодов ФСМ и развитием мучнистой росы на 87-ми сортах пшеницы (1995-2012 гг.)

Коэффициенты корреляции	Данные текущего периода проведения учетов								Данные предшествующего периода проведения учетов			
	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
ТЕМПЕРАТУРА (^{0}C)												
Развитие, %												
Доля положительных коэффициентов корреляции,%	59,8	39,1	34,5	40,2	37,9	43,7	31,0	59,8	49,4	44,8	47,1	48,3
Доля отрицательных коэффициентов корреляции,%	39,1	56,3	57,5	57,5	60,9	52,9	67,8	40,2	50,6	49,4	47,1	47,1
Число пятен с налетом, шт.												
Доля положительных коэффициентов корреляции,%	25,0	16,7	0,0	38,1	23,8	36,9	39,3	39,3	38,1	25,0	21,4	21,4
Доля отрицательных коэффициентов корреляции,%	34,5	42,9	15,5	17,9	35,7	23,8	19,0	19,0	21,4	34,5	39,3	39,3
Площадь пятен с налетом, мм^2												
Доля положительных коэффициентов корреляции,%	20,2	33,3	10,7	32,1	23,8	25,0	34,5	34,5	31,0	20,2	22,6	22,6
Доля отрицательных коэффициентов корреляции,%	40,5	26,2	13,1	28,6	33,3	29,8	26,2	26,2	27,4	40,5	36,9	36,9
СУММА ОСАДКОВ (мм)												
Развитие, %												
Доля положительных коэффициентов корреляции,%	55,4	28,4	54,1	64,9	77,0	51,4	44,6	48,6	37,8	77,0	40,5	51,4
Доля отрицательных коэффициентов корреляции,%	59,5	87,8	56,8	50,0	39,2	62,2	67,6	66,2	78,4	36,5	74,3	62,2

Продолжение табл. 3П.3

Число пятен с налетом, шт.												
Доля положительных коэффициентов корреляции,%	36,9	34,5	21,4	38,1	39,3	23,8	21,4	23,8	38,1	25,0	23,8	38,1
Доля отрицательных коэффициентов корреляции,%	22,6	25,0	39,3	17,9	19,0	36,9	38,1	35,7	21,4	34,5	35,7	21,4
Площадь пятен с налетом, мм^2												
Доля положительных коэффициентов корреляции,%	31,0	40,5	22,6	32,1	34,5	29,8	39,3	23,8	21,4	20,2	23,8	21,4
Доля отрицательных коэффициентов корреляции,%	28,6	20,2	36,9	28,6	26,2	25,0	21,4	33,3	39,3	40,5	33,3	39,3
ОТНОСИТЕЛЬНАЯ ВЛАЖНОСТЬ (%)												
Развитие, %												
Доля положительных коэффициентов корреляции,%	47,1	24,1	46,0	55,2	65,5	43,7	37,9	41,4	32,2	65,5	34,5	43,7
Доля отрицательных коэффициентов корреляции,%	50,6	74,7	48,3	42,5	33,3	52,9	57,5	56,3	66,7	31,0	63,2	52,9
Число пятен с налетом, шт.												
Доля положительных коэффициентов корреляции,%	17,9	23,8	16,7	42,9	29,8	17,9	23,8	23,8	36,9	38,1	23,8	19,0
Доля отрицательных коэффициентов корреляции,%	38,1	36,9	42,9	16,7	26,2	38,1	36,9	36,9	23,8	21,4	36,9	39,3
Площадь пятен с налетом, мм^2												
Доля положительных коэффициентов корреляции,%	28,6	27,4	33,3	26,2	42,9	28,6	27,4	27,4	25,0	21,4	27,4	26,2
Доля отрицательных коэффициентов корреляции,%	32,1	32,1	26,2	33,3	15,5	32,1	32,1	32,1	29,8	39,3	32,1	34,5

Таблица 3П.4 – Корреляционные взаимосвязи между метеоусловиями периодов ФСМ и развитием септориоза на 63-х сортах пшеницы (1995-2012 гг.)

Коэффициенты корреляции	Данные текущего периода проведения учетов								Данные предшествующего периода проведения учетов			
	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
ТЕМПЕРАТУРА (^{0}C)												
Доля положительных коэффициентов корреляции,%	47,6	23,8	20,6	41,3	47,6	33,3	54,0	39,7	74,6	36,5	63,5	82,5
Доля отрицательных коэффициентов корреляции,%	52,4	73,0	79,4	55,6	52,4	63,5	46,0	57,1	25,4	58,7	36,5	17,5
СУММА ОСАДКОВ (мм)												
Доля положительных коэффициентов корреляции,%	65,1	65,1	52,4	50,8	65,1	90,5	71,4	58,7	34,9	23,8	73,0	63,5
Доля отрицательных коэффициентов корреляции,%	28,6	31,7	46,0	47,6	33,3	9,5	25,4	36,5	63,5	74,6	25,4	34,9
ОТНОСИТЕЛЬНАЯ ВЛАЖНОСТЬ (%)												
Доля положительных коэффициентов корреляции,%	65,1	22,2	65,1	17,5	76,2	41,3	4,9	22,2	23,8	7,9	9,5	27,0
Доля отрицательных коэффициентов корреляции,%	34,9	76,2	34,9	81,0	23,8	57,1	50,8	77,8	74,6	92,1	88,9	68,3

Таблица 3П.5. Факторный анализ урожайности пшеницы, развития болезней, метеорологических условий и солнечной активности. 2009-2020 гг. (Колесников Л.Е. и др., 2022)

Показатель	Факторные нагрузки				
	F_1	F_2	F_3	F_4	F_5
Высота, см	-0,16	**0,89**	0,05	0,28	0,13
Площадь флагового листа, $см^2$	0,39	0,40	0,13	0,67	-0,01
Длина колоса, см	0,07	0,00	0,14	0,65	0,55
Число колосков в колосе, шт.	0,07	0,11	-0,04	0,39	0,48
Число зерен в колосе, шт.	0,08	-0,41	-0,10	0,00	**0,81**
Масса зерен колоса, шт.	-0,42	-0,59	-0,14	0,11	0,57
Масса 1000 зерен, г	-0,41	-0,64	-0,25	0,07	0,20
Урожайность одного растения, г	0,07	-0,05	0,38	-0,06	**0,84**
Сумма температур выше 10 °С (май, с 11 числа), ^{0}С	**0,70**	0,15	**0,58**	0,05	-0,07
Сумма осадков (май, с 11 числа), ^{0}С	0,02	-0,24	0,22	0,09	**0,86**
Сумма температур (июнь), ^{0}С	0,31	0,13	-0,12	0,06	**0,74**
Сумма осадков (июнь), ^{0}С	-0,06	0,29	**0,73**	-0,53	-0,05
Сумма температур (июль), ^{0}С	0,68	0,24	0,26	0,44	-0,24
Сумма осадков (июль), ^{0}С	-0,08	0,09	0,17	**-0,92**	-0,06
Сумма температур (август), ^{0}С	**0,84**	0,20	0,03	-0,14	0,08
Сумма осадков (август), ^{0}С	0,10	0,24	0,15	**-0,90**	-0,10
Относительная влажность (май), %	0,56	0,48	0,21	0,33	-0,25
Относительная влажность (июнь), %	0,31	**0,71**	-0,06	0,29	-0,36
Относительная влажность (июль), %	0,21	0,68	-0,42	-0,19	-0,15
Относительная влажность (август), %	0,13	**0,90**	-0,08	0,07	-0,05
ГТК (июль)	-0,23	**0,79**	0,01	-0,46	-0,08
ГТК (август)	0,11	**0,79**	0,17	-0,44	0,09
Развитие бурой ржавчины, %	-0,11	-0,05	**0,84**	0,08	-0,04
Число пустул бурой ржавчины, шт.	0,10	-0,06	**0,82**	-0,05	0,30
Площадь пустулы бурой ржавчины, $мм^2$	-0,03	0,14	**0,85**	0,00	0,06
Развитие желтой ржавчины, %	**-0,92**	0,21	-0,06	0,14	0,04
Число пустул желтой ржавчины, шт.	**-0,95**	0,08	-0,01	0,11	0,11
Площадь пустулы желтой ржавчины, $мм^2$	**-0,80**	-0,22	0,31	0,28	-0,08
Число пустул желтой ржавчины в полосе, шт.	**-0,98**	-0,03	-0,04	-0,06	0,04
Число полос желтой ржавчины, шт.	**-0,97**	0,10	-0,05	-0,05	0,07
Длина полосы желтой ржавчины, мм	**-0,96**	0,09	-0,03	-0,17	-0,09
Развитие септориоза, %	0,16	0,16	**-0,51**	0,36	-0,23
Развитие мучнистой росы, %	-0,50	-0,12	**-0,70**	0,21	-0,13
Число пятен мучнистой росы	-0,30	0,08	**-0,72**	0,20	-0,17
Площадь пятен мучнистой росы, $мм^2$	-0,36	0,03	-0,49	0,35	**-0,72**
Число пятен на Солнце (среднее за год), шт.	**0,86**	0,20	0,04	0,25	0,37
Число пятен на Солнце (в июле), шт.	**0,82**	0,23	0,01	0,28	0,37
Число пятен на Солнце (в августе), шт.	**0,88**	0,23	0,09	0,14	0,33
Число Вольфа (июль), балл	**0,81**	0,22	0,03	0,29	0,38
Число Вольфа (август), балл	**0,88**	0,23	0,10	0,16	0,35

Примечание. При построении факторной модели, представленной в работе, было выявлено пять факторов (F_1…F_5), описывающих линейные статистические связи (корреляции) между указанными в таблице показателями. Выявленные факторы включали группы показателей, коррелирующих между собой больше, чем с показателями, входящими в другой фактор. Алгоритм факторного анализа был основан на последовательном выделении факторов, в том числе F1, объясняющего наибольшую долю дисперсии показателей, F2, объясняющего меньшую, вторую после первого латентного фактора часть дисперсии, и так далее. Для отбора минимального числа факторов, вносящих наибольший вклад в дисперсию переменных показателей, использовали метод главных компонент, а для получения более простой структуры факторов и их лучшего разделения путем уменьшения числа показателей, связанных с каждым фактором – метод варимакс нормализированное вращение.

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

РАЗВИТИЕ ИНФЕКЦИОННОГО ВЫПРЕВАНИЯ НА МЯГКОЙ ПШЕНИЦЕ ОЗИМОЙ

Таблица 4П.1 – Корреляционные взаимосвязи между развитием инфекционного выпревания на разновидностях мягкой пшеницы и температурой воздуха. 2002-2006 гг.

Месяцы наблюдений	Разновидности мягкой пшеницы								
	aestivum	*lutesens*	*albidum*	*erythrosperum*	*ferrugi-neum*	*graecum*	*milturum*	*subery-thros permum*	*velutinum*
Январь	-0,68	-0,70	-0,73	-0,83	-0,84	-0,94	-0,69	-0,95	-0,28
Февраль	0,59	0,66	-0,08	0,46	0,46	0,08	-0,73	-0,29	-0,33
Март	0,75	0,98	0,51	0,76	0,77	0,67	-0,16	0,33	0,12
Апрель	-0,44	-0,10	-0,22	-0,54	-0,54	-0,47	-0,75	-0,75	0,11
Сентябрь	-0,92	0,73	0,60	0,57	0,47	0,68	0,68	0,61	0,78
Октябрь	-0,63	0,38	0,25	0,22	0,14	0,30	0,16	0,15	0,40
Ноябрь	-0,73	0,65	0,79	0,53	0,48	0,68	0,69	0,66	0,75
Декабрь	-0,83	0,10	0,23	-0,08	-0,17	0,11	0,24	0,12	0,25

Таблица 4П.2 – Корреляционные взаимосвязи между развитием инфекционного выпревания на разновидностях мягкой пшеницы и суммой осадков. 2002-2006 гг.

Месяцы наблюдений	Разновидности мягкой пшеницы								
	aestivum	*lutescens*	*albidum*	*erythrosperrmum*	*ferrugineum*	*graecum*	*milturum*	*suberythrospermum*	*velutinum*
Январь	-0,70	-0,98	-0,77	-0,79	-0,81	-0,90	-0,21	-0,64	-0,37
Февраль	0,21	0,74	0,64	0,27	0,28	0,53	-0,16	0,16	0,55
Март	-0,24	0,33	0,37	-0,22	-0,21	0,10	-0,38	-0,24	0,55
Апрель	-0,62	-0,93	-0,86	-0,75	-0,76	-0,95	-0,35	-0,73	-0,49
Сентябрь	0,38	-0,74	-0,75	-0,69	-0,66	-0,73	-0,57	-0,63	-0,75
Октябрь	-0,10	-0,45	-0,34	-0,56	-0,58	-0,47	-0,54	-0,54	-0,38
Ноябрь	0,32	-0,02	-0,31	0,02	0,03	-0,11	-0,31	-0,23	-0,15
Декабрь	-0,32	-0,06	0,25	-0,14	-0,15	0,01	0,11	0,07	0,08

Таблица 4П.3 – Корреляционные взаимосвязи между развитием инфекционного выпревания на разновидностях мягкой пшеницы и относительной влажностью воздуха. 2002-2006 гг.

Месяцы наблюдений	Разновидности мягкой пшеницы								
	aestivum	*lutescens*	*albidum*	*erythrosperrmum*	*ferrugineum*	*graecum*	*milturum*	*suberythrosperrmum*	*velutinum*
Январь	-0,03	0,55	0,57	0,02	0,03	0,36	-0,22	0,00	0,62
Февраль	0,97	0,74	0,00	0,89	0,88	0,38	-0,26	0,19	-0,51
Март	0,64	0,97	0,76	0,72	0,73	0,84	0,12	0,55	0,40
Апрель	0,79	0,29	-0,15	0,76	0,75	0,27	0,19	0,39	-0,61
Сентябрь	-0,22	-0,68	-0,75	-0,79	-0,84	-0,71	-0,61	-0,72	-0,62
Октябрь	0,64	-0,91	-0,74	-0,83	-0,77	-0,86	-0,78	-0,77	-0,89
Ноябрь	0,69	-0,84	-0,66	-0,73	-0,65	-0,78	-0,68	-0,67	-0,83
Декабрь	-0,17	-0,77	-0,68	-0,87	-0,91	-0,76	-0,63	-0,74	-0,67

Таблица 4П.4 – Корреляционные взаимосвязи между развитием инфекционного выпревания на мягкой пшенице различного происхождения и температурой воздуха. 2002-2006 гг.

Месяцы наблюдений	Происхождение образцов мягкой пшеницы									
	Россия	Европейская часть бывшего СССР (Украина, Беларусь, Молдова)	Закавказье (Грузия, Азербайджан)	Средняя Азия (Казахстан, Киргизия, Таджикистан Узбекистан)	Прибалтика (Латвия, Литва, Эстония)	Северная Европа (Англия, Норвегия, Финляндия Швеция)	Центральная Европа (Франция, Германия, Нидерланды, Швейцария)	Восточная Европа (Венгрия, Польша, Югославия до 1990 г., Болгария, Чехословакия до 1992 г.	Северная Америка (США, Канада)	Азия (Китай, Япония, Индия)
Январь	-0,92	0,66	-0,68	-0,77	-0,15	0,64	-0,09	0,77	-0,09	0,97
Февраль	-0,40	-0,47	-0,15	-0,09	0,97	-0,73	-0,48	-0,61	-0,48	0,20
Март	0,17	-0,60	0,07	0,20	0,83	-0,88	-0,12	-0,95	-0,12	-0,42
Апрель	-0,88	0,56	-0,93	-0,92	0,25	0,25	0,16	0,21	0,16	0,72
Сентябрь	0,66	0,95	0,72	0,36	-0,69	0,90	0,80	0,84	0,80	0,87
Октябрь	0,20	0,61	0,29	-0,17	-0,08	0,47	0,42	0,43	0,41	0,82
Ноябрь	0,64	0,82	0,58	0,27	-0,59	0,71	0,83	0,65	0,74	0,33
Декабрь	0,12	0,52	0,07	-0,24	-0,77	0,36	0,37	0,21	0,26	0,18

Таблица 4П.5 – Корреляционные взаимосвязи между развитием инфекционного выпревания на мягкой пшенице различного происхождения и суммой осадков. 2002-2006 гг.

Месяцы наблюдений	Происхождение образцов мягкой пшеницы									
	Россия	Европейская часть бывшего СССР (Украина, Беларусь, Молдова)	Закавказье (Грузия, Азербайджан)	Средняя Азия (Казахстан, Киргизия, Таджикистан Узбекистан)	Прибалтика (Латвия, Литва, Эстония)	Северная Европа (Англия, Норвегия, Финляндия Швеция)	Центральная Европа (Франция, Германия, Нидерланды, Швейцария)	Восточная Европа (Венгрия, Польша, Югославия до 1990 г., Болгария, Чехословакия до 1992 г.	Северная Америка (США, Канада)	Азия (Китай, Япония, Индия)
Январь	-0,50	0,56	-0,20	-0,34	-0,58	0,80	-0,13	0,97	-0,13	0,71
Февраль	-0,06	-0,01	-0,48	-0,35	0,51	-0,43	0,39	-0,66	0,39	-0,23
Март	-0,45	0,43	-0,85	-0,76	0,29	0,00	0,49	-0,22	0,49	0,20
Апрель	-0,59	0,49	-0,20	-0,34	-0,44	0,72	-0,26	0,93	-0,25	0,79
Сентябрь	-0,63	-0,70	-0,65	-0,34	0,02	-0,64	-0,74	-0,68	-0,74	-0,56
Октябрь	-0,56	-0,17	-0,56	-0,83	0,28	-0,39	-0,30	-0,45	-0,39	-0,08
Ноябрь	-0,17	-0,18	-0,02	-0,05	0,64	-0,12	-0,26	-0,03	-0,14	0,46
Декабрь	0,00	0,16	-0,13	-0,27	-0,36	0,01	0,20	-0,08	0,06	-0,37

Таблица 4П.6 – Корреляционные взаимосвязи между развитием инфекционного выпревания на мягкой пшенице различного происхождения и относительной влажностью воздуха. 2002-2006 гг.

Месяцы наблюдений	Происхождение образцов мягкой пшеницы									
	Россия	Европейская часть бывшего СССР (Украина, Беларусь, Молдова)	Закавказье (Грузия, Азербайджан)	Средняя Азия (Казахстан, Киргизия, Таджикистан Узбекистан)	Прибалтика (Латвия, Литва, Эстония)	Северная Европа (Англия, Норвегия, Финляндия Швеция)	Центральная Европа (Франция, Германия, Нидерланды, Швейцария)	Восточная Европа (Венгрия, Польша, Югославия до 1990 г., Болгария, Чехословакия до 1992 г.	Северная Америка (США, Канада)	Азия (Китай, Япония, Индия)
Январь	-0,22	0,24	-0,68	-0,57	0,37	-0,20	0,51	-0,45	0,51	-0,05
Февраль	0,19	-0,94	0,56	0,60	0,87	-0,96	-0,71	-0,78	-0,71	-0,27
Март	0,38	-0,48	0,06	0,20	0,61	-0,77	0,16	-0,95	0,16	-0,62
Апрель	0,52	-0,90	0,96	0,94	0,33	-0,63	-0,72	-0,39	-0,72	-0,41
Сентябрь	-0,68	-0,30	-0,64	-0,71	-0,20	-0,40	-0,57	-0,52	-0,60	-0,01
Октябрь	-0,82	-0,91	-0,90	-0,62	0,40	-0,93	-0,86	-0,95	-0,90	-0,89
Ноябрь	-0,72	-0,90	-0,81	-0,47	0,37	-0,89	-0,80	-0,89	-0,84	-0,94
Декабрь	-0,74	-0,38	-0,77	-0,83	-0,18	-0,52	-0,57	-0,65	-0,66	-0,31

Таблица 4П.7 – Корреляционные взаимосвязи между развитием инфекционного выпревания на разновидностях мягкой пшеницы и суммарными индексами погоды. 2002-2006 гг.

Месяц учета	*aestivum*	*lutescens*	*albidum*	*erythrospermum*	*ferrugineum*	*graecum*	*milturum*	*suberythrospermum*	*velutinum*
Январь	-,7331	**-,8923**	-,7960	-,8620	-,8737	**-,9724**	-,4777	-,8459	-,3470
Февраль	,4480	,7829	,3143	,4084	,4139	,3393	-,4965	-,0767	,1264
Март	,2998	,7668	,5147	,3156	,3270	,4492	-,3177	,0479	,3917

ПРИЛОЖЕНИЕ 5

ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОСЕВНОГО МАТЕРИАЛА НА ПРОДУКТИВНОСТЬ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ И УСТОЙЧИВОСТЬ К ЛИСТОВЫМ БОЛЕЗНЯМ

Таблица 5П.1 – Зависимость показателей продуктивности пшеницы и интенсивности поражения растений болезнями от газоразрядных характеристик семян

Показатели	Коэффициент корреляции	Площадь ГРИ, пиксели	Средняя интенсивность, отн. ед.	Коэффициент формы, отн. ед.	Энтропия по изолинии, отн. ед.	Фрактальность по изолинии, отн. ед.	СКО фрактальности, отн. ед.	Средний радиус изолинии, пиксели	Нормализованное СКО радиуса изолинии, пиксели	Изрезанность контура ГРИ, отн. ед.	Длина изолинии, пиксели
Число листьев (всходы), шт.	R>0	40*	40	50	50	30	50	40	80	50	40
	R<0	60	60	50	50	70	50	60	20	50	60
Высота растений, см	R>0	50	50	60	70	50	40	50	40	70	30
	R<0	50	50	40	30	50	60	50	60	30	70
Фаза растений, балл	R>0	50	30	60	60	60	50	50	40	70	50
	R<0	50	70	40	40	40	50	50	60	30	50
Площадь флаг-листа, мм^2	R>0	50	40	50	60	70	60	40	50	60	50
	R<0	50	60	50	40	30	40	60	50	40	50
Продуктивная кустистость, шт.	R>0	50	50	60	70	40	50	40	60	50	40
	R<0	50	50	40	30	60	50	60	40	50	60
Общая кустистость, шт.	R>0	20	50	60	50	20	40	30	60	50	30
	R<0	80	50	40	50	80	60	70	40	50	70
Число колосков в колосе, шт.	R>0	50	80	10	60	40	20	90	10	50	40
	R<0	50	20	90	40	60	80	10	90	50	60
Длина колоса, см	R>0	50	90	20	70	10	60	80	20	50	60
	R<0	50	10	80	30	90	40	20	80	50	40
Масса колоса, г	R>0	30	50	40	60	30	30	40	40	40	30
	R<0	70	50	60	40	70	70	60	60	60	70
Число зерен в колосе, шт.	R>0	30	70	30	50	40	50	60	30	50	20
	R<0	70	30	70	50	60	50	40	70	50	80
Урожайность, г/растение	R>0	40	50	40	40	50	50	50	60	60	30
	R<0	60	50	60	60	50	50	50	40	40	70
Развитие септориоза, %	R>0	40	30	40	70	40	40	50	50	30	40
	R<0	60	70	60	30	60	60	50	50	70	60
Развитие бурой ржавчины, %	R>0	80	60	50	30	60	60	70	20	50	70
	R<0	20	40	50	70	40	40	30	80	50	30
Число пустул бурой ржавчины на лист, шт.	R>0	80	60	40	40	60	60	70	20	60	60
	R<0	20	40	60	60	40	40	30	80	40	40
Развитие мучнистой росы, %	R>0	40	50	60	50	40	30	20	60	30	40
	R<0	60	50	40	50	60	70	80	40	70	60

*долевое распределения положительных и отрицательных коэффициентов корреляции, характеризующих зависимости между показателями продуктивности пшеницы, интенсивностью развития болезней и газоразрядными характеристиками семян у сортов пшеницы, %

Таблица 5П.2 – Зависимость показателей продуктивности и интенсивности поражения растений болезнями от рентгеноскопических характеристик семян пшеницы

Показатели	Коэффициент корреляции	Площадь проекции, мм^2	Периметр проекции, мм	Мин. д.Фере, мм	Макс. д.Фере, мм	Ср. д.Фере, мм	Длина поекции, мм	Ширина проекции, мм	Ср. хорда проекции, мм	Удлиненность проекции, отн. ед.	Ср. размер проекции, мм
Число листьев (всходы), шт.	R>0	60	60	30	50	50	60	60	40	70	70
	R<0	40	40	70	50	50	40	40	60	30	30
Высота растений, см	R>0	40	30	40	30	20	20	40	40	30	30
	R<0	60	70	60	70	80	80	60	60	70	70
Фаза растений, балл	R>0	60	60	50	30	50	20	30	50	50	40
	R<0	40	40	50	70	50	80	70	50	50	60
Площадь флаг-листа, мм^2	R>0	60	60	30	70	60	70	60	20	50	70
	R<0	40	40	70	30	40	30	40	80	50	30
Продуктивная кустистость, шт.	R>0	70	30	60	70	50	60	60	50	30	60
	R<0	30	70	40	30	50	40	40	50	70	40
Общая кустистость, шт.	R>0	60	40	40	70	50	70	70	30	30	70
	R<0	40	60	60	30	50	30	30	70	70	30
Число колосков в колосе, шт.	R>0	50	40	40	50	50	50	50	40	20	60
	R<0	50	60	60	50	50	50	50	60	80	40
Длина колоса, см	R>0	50	40	30	60	50	70	70	30	20	70
	R<0	50	60	70	40	50	30	30	70	80	30
Масса колоса, г	R>0	60	60	50	90	70	70	90	40	50	70
	R<0	40	40	50	10	30	30	10	60	50	30
Число зерен в колосе, шт.	R>0	60	60	70	80	60	50	90	50	50	60
	R<0	40	40	30	20	40	50	10	50	50	40
Урожайность, г/растение	R>0	50	50	50	60	60	50	60	40	30	70
	R<0	50	50	50	40	40	50	40	60	70	30
Развитие септориоза, %	R>0	60	70	80	70	60	70	80	60	60	70
	R<0	40	30	20	30	40	30	20	40	40	30
Развитие бурой ржавчины, %	R>0	30	50	40	40	40	20	50	50	40	60
	R<0	70	50	60	60	60	80	50	50	60	40
Число пустул бурой ржавчины на лист, шт.	R>0	40	40	30	30	30	20	40	40	30	60
	R<0	60	60	70	70	70	80	60	60	70	40
Развитие мучнистой росы, %	R>0	30	30	40	40	40	20	30	40	40	70
	R<0	70	70	60	50	60	80	70	60	60	30

*– долевое распределения положительных и отрицательных коэффициентов корреляции, характеризующих зависимости между показателями продуктивности пшеницы, интенсивностью развития болезней и газоразрядными характеристиками семян у сортов пшеницы, %

Продолжение таблицы 5П.2

Показатели	Коэффициент корреляции	Фактор круга поекции, отн. ед.	Фактор эллипса проекции, отн. ед	Округлость проекции, отн. ед.	Ср. яркость проекции, ед. яркости	Откл. Яркости поекции, ед. яркости	Мин. ярк. проекции, ед. яркости	Макс. ярк.проекции, ед. яркости	Интерв. ярк. проекции, ед. яркости	Интегр. ярк. поекции, ед. яркости	Опт. плотн.семян, отн. ед.	Интегр. о.пл. семян, отн. ед.
Число листьев (всходы), шт.	R>0	30	40	50	50	50	40	30	40	60	50	50
	R<0	70	60	50	50	50	60	70	60	40	50	50
Высота растений, см	R>0	60	30	90	20	30	40	60	40	20	70	30
	R<0	40	70	10	80	70	60	40	60	80	30	70
Фаза растений, балл	R>0	40	40	60	30	60	50	50	40	50	70	60
	R<0	60	60	40	70	40	50	50	60	50	30	40
Площадь флаг-листа, мм^2	R>0	30	60	40	50	60	40	50	40	50	50	60
	R<0	70	40	60	50	40	60	50	60	50	50	40
Продуктивная кустистость, шт.	R>0	50	60	50	50	50	90	50	40	70	50	70
	R<0	50	40	50	50	50	10	50	60	30	50	30
Общая кустистость, шт.	R>0	60	70	30	40	50	90	50	50	60	50	60
	R<0	40	30	70	60	50	10	50	50	40	50	40
Число колосков в колосе, шт.	R>0	50	90	50	40	50	30	30	50	50	80	50
	R<0	50	10	50	60	50	70	70	50	50	20	50
Длина колоса, см	R>0	60	70	50	30	40	60	20	30	50	70	50
	R<0	40	30	50	70	60	40	80	70	50	30	50
Масса колоса, г	R>0	70	70	40	60	60	50	60	40	60	40	60
	R<0	30	30	60	40	40	50	40	60	40	60	40
Число зерен в колосе, шт.	R>0	50	70	40	30	50	40	30	60	50	70	60
	R<0	50	30	60	70	50	60	70	40	50	30	40
Урожайность, г/растение	R>0	70	80	40	30	50	60	40	30	60	70	50
	R<0	30	20	60	70	50	40	60	70	40	30	50
Развитие септориоза, %	R>0	50	50	50	80	70	60	80	80	70	30	70
	R<0	50	50	50	20	30	40	20	20	30	70	30
Развитие бурой ржавчины, %	R>0	50	50	50	50	40	70	50	50	30	50	40
	R<0	50	50	50	50	60	30	50	50	70	50	60
Число пустул бурой ржавчины на лист, шт.	R>0	40	50	50	50	50	50	50	50	30	60	40
	R<0	60	50	50	50	50	50	50	50	70	40	60
Развитие мучнистой росы, %	R>0	70	60	40	80	70	30	40	60	40	20	30
	R<0	30	40	60	20	30	70	60	40	60	80	70

ПРИЛОЖЕНИЕ 6

БИОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ПОЛИФУНКЦИОНАЛЬНЫХ КОМПОЗИЦИЙ И КОМПЛЕКСОВ НА ОСНОВЕ ХИТОЗАНА И ШТАММОВ *BACILLUS SUBTILIS* ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ

Таблица 6П.1 – Изменение продуктивности и структуры урожайности мягкой пшеницы при применении микробиологических препаратов, композиций на основе хитозана, полифункциональных комплексов, 0,1% салицилата хитозана. 2016-2021 гг.

Варианты опыта	Год	Стат. показатель	Фаза растения, балл	Высота растения, см	Число корней (главного зародышевого корня, зародышевых и колеоптильных корней), шт.	Длина корней (главного зародышевого корня, зародышевых и колеоптильных корней), мм	Число узловых корней, шт.	Длина узловых корней, мм	Продуктивная кустистость	Общая кустистость	Площадь флагового листа, см^2
Контроль (вода)	2016	Среднее	58,50	75,80	4,70	55,16	6,50	48,83	1,20	1,20	5,53
		Ст. ошибка	2,93	5,72	0,60	4,40	0,76	4,92	0,20	0,20	0,54
	2017	Среднее	51,44	61,22	6,42	93,21	11,25	73,39	1,39	2,65	5,97
		Ст. ошибка	3,48	5,85	0,71	5,17	1,23	6,98	0,10	0,09	0,64
	2018	Среднее	49,89	40,51	4,44	72,86	9,83	55,56	1,11	2,64	2,77
		Ст. ошибка	1,79	2,95	0,18	3,32	0,70	2,20	0,04	0,19	0,24
	2019	Среднее	57,84	64,07	5,29	59,08	13,46	51,86	1,57	2,83	3,78
		Ст. ошибка	1,85	2,90	0,37	3,60	1,06	2,73	0,14	0,36	0,83
	2020	Среднее	66,15	58,14	6,33	67,66	13,10	46,03	2,14	2,94	4,47
		Ст. ошибка	1,14	2,01	0,34	3,57	1,35	3,15	0,26	0,31	0,18
	2021	Среднее	64,69	53,01	7,69	56,91	15,88	58,34	2,13	6,00	3,79
		Ст. ошибка	1,68	2,80	0,69	5,26	1,48	4,39	0,17	0,64	0,21
	2016-2021	Среднее	56,60	53,85	5,61	67,65	11,83	54,48	1,48	2,86	3,94
		Ст. ошибка	0,99	1,52	0,19	1,78	0,51	1,47	0,06	0,12	0,19
Гамаир, СП	2016	Среднее	60,00	88,40	**6,20***	**79,53**	5,00	**33,04**	1,00	1,10	6,24
		Ст. ошибка	0,67	3,18	0,42	5,25	0,49	4,42	0,00	0,10	0,41
Витаплан, КЖ	2016	Среднее	**67,00***	86,60	6,60	65,04	6,70	52,36	1,00	1,00	5,28
		Ст. ошибка	1,61	4,51	0,95	4,51	0,50	4,80	0,00	0,00	0,38
	2017	Среднее	58,08	70,40	7,50	**126,32**	15,00	70,95	**3,48**	**4,00**	**9,96**
		Ст. ошибка	2,63	4,98	1,21	7,11	1,72	6,91	0,40	0,39	1,29
	2018	Среднее	48,03	38,86	4,72	**82,62**	8,81	58,21	1,04	2,77	2,56
		Ст. ошибка	2,49	3,51	0,21	3,15	0,67	2,04	0,03	0,33	0,21
	2019	Среднее	59,21	65,05	5,67	**74,61**	11,61	51,33	1,41	3,00	3,16
		Ст. ошибка	1,68	3,48	0,33	5,37	1,00	4,16	0,17	0,35	0,21
	2020	Среднее	68,39	**66,51**	6,35	**55,28**	15,67	50,26	2,86	3,58	4,52
		Ст. ошибка	0,88	1,89	0,56	3,05	1,48	3,11	0,35	0,34	0,19
	2021	Среднее	68,08	57,57	9,29	**75,83**	15,79	50,72	2,21	6,75	4,21
		Ст. ошибка	1,19	2,31	0,54	5,07	1,28	3,32	0,13	0,71	0,17
	2016-2021	Среднее	58,34	58,16	**6,23**	**77,91**	11,81	55,27	**2,10**	**3,53**	4,43
		Ст. ошибка	1,17	1,67	0,25	2,12	0,55	1,49	0,14	0,21	0,24
Витаплан, КЖ и Хитозан II	2016	Среднее	**68,10**	**99,30**	5,50	58,14	6,00	41,09	1,00	1,00	5,17
		Ст. ошибка	1,65	4,65	0,69	4,53	0,49	3,49	0,00	0,00	0,32
	2017	Среднее	**64,72**	**81,47**	7,80	104,13	16,20	84,29	**3,24**	**3,59**	**9,52**
		Ст. ошибка	1,86	3,61	0,98	9,11	2,82	8,49	0,15	0,15	1,01
	2018	Среднее	50,21	44,23	4,52	82,70	9,55	56,11	1,19	2,15	2,98

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

Продолжение таблицы 6П.1

		Ст. ошибка	2,62	3,65	0,25	3,96	0,46	2,28	0,05	0,10	0,24
	2016-2018	Среднее	56,17	60,22	5,32	81,20	10,13	58,62	**2,24**	**2,81**	4,96
		Ст. ошибка	1,84	3,20	0,32	3,29	0,74	2,43	0,12	0,12	0,42
Хитозан I	2016	Среднее	**66,70**	86,00	5,60	61,56	7,20	52,31	1,00	1,00	5,28
		Ст. ошибка	1,48	4,28	0,60	4,82	0,65	4,23	0,00	0,00	0,55
Хитозан II	2016	Среднее	52,83	73,00	4,80	58,14	7,60	**65,24**	1,00	1,40	5,70
		Ст. ошибка	4,29	5,39	0,47	3,42	0,92	4,60	0,00	0,27	0,87
	2017	Среднее	**68,71**	**88,90**	6,25	79,74	8,67	61,46	1,44	**1,81**	6,17
		Ст. ошибка	1,89	4,31	1,36	8,96	1,44	6,83	0,11	0,14	0,66
	2016-2017	Среднее	**65,19**	83,77	5,59	68,75	8,18	63,25	1,38	1,75	6,00
		Ст. ошибка	2,15	3,61	0,77	4,91	0,88	4,18	0,09	0,12	0,52
Витаплан, СП	2017	Среднее	**65,11**	**91,48**	5,33	100,23	11,75	83,44	**1,89**	**2,13**	**13,22**
		Ст. ошибка	1,66	4,32	1,02	7,18	1,40	6,09	0,20	0,24	1,20
	2018	Среднее	47,18	38,41	4,76	64,88	9,64	55,71	1,02	2,22	2,21
		Ст. ошибка	2,32	3,61	0,25	2,91	0,56	2,34	0,02	0,18	0,21
	2019	Среднее	58,62	59,88	5,56	**71,81**	**17,50**	55,95	2,07	3,53	4,69
		Ст. ошибка	1,47	2,61	0,38	3,56	1,41	3,68	0,27	0,39	0,43
	2020	Среднее	68,32	59,14	7,50	60,00	12,64	44,83	2,29	2,71	4,09
		Ст. ошибка	0,60	2,23	0,60	3,95	1,46	3,75	0,36	0,36	0,22
	2021	Среднее	66,26	58,36	8,58	60,08	16,84	**39,16**	**2,92**	5,26	3,68
		Ст. ошибка	1,42	2,32	0,31	3,20	1,30	2,22	0,18	0,52	0,14
	2017-2021	Среднее	57,83	56,57	6,15	68,87	13,15	55,38	1,89	2,73	4,73
		Ст. ошибка	1,15	1,92	0,25	1,95	0,59	1,76	0,10	0,16	0,32
Витаплан, КС +Хитозан II	2018	Среднее	48,90	37,64	4,82	67,25	8,87	**47,99**	1,05	2,63	2,25
		Ст. ошибка	2,00	3,19	0,18	3,52	0,41	1,87	0,03	0,16	0,14
Витаплан, КЖ + коллоидный хитин (0,1%) + 0,1% Хитозан	2019	Среднее	57,47	61,29	5,59	**77,31**	**16,82**	**61,51**	**2,07**	**4,93**	4,15
		Ст. ошибка	1,43	2,22	0,44	4,76	1,11	3,08	0,22	0,49	0,31
Витаплан, КЖ+коллоидный хитин (0,1%)	2019	Среднее	58,48	60,30	5,38	**71,97**	**17,25**	61,51	2,00	3,64	4,62
		Ст. ошибка	1,36	2,95	0,46	4,79	1,39	5,20	0,28	0,43	0,39
Витаплан, КЖ + 0,1% Хитозан	2019	Среднее	55,84	58,98	5,54	60,00	17,23	**77,36**	1,92	**4,25**	3,21
		Ст. ошибка	1,55	2,82	0,24	5,68	1,98	4,40	0,31	0,45	0,22
0,1% салицилат хитозана	2020	Среднее	**69,03**	**69,05**	**8,13**	**45,16**	14,25	45,59	3,22	**5,00**	4,70
		Ст. ошибка	0,44	2,27	0,76	3,54	1,41	2,50	0,66	0,71	0,21
	2021	Среднее	65,00	52,67	8,31	52,88	17,75	51,25	1,78	4,76	**4,42**
		Ст. ошибка	2,09	2,78	0,87	4,93	1,90	3,21	0,14	0,70	0,20
	2020-2021	Среднее	67,09	62,42	8,22	49,02	16,00	48,33	2,07	4,82	4,58
		Ст. ошибка	1,06	1,97	0,57	3,05	1,21	2,04	0,19	0,56	0,15
Витаплан, КЖ + 0,1% салицилат хитозана (глубинное культивирование)	2020	Среднее	65,07	57,77	6,13	**56,25**	14,25	49,19	3,40	3,70	4,50
		Ст. ошибка	1,29	2,59	0,44	3,86	1,27	3,80	0,64	0,58	0,25
	2021	Среднее	67,14	58,59	9,20	58,70	18,20	50,00	**2,65**	5,80	4,38
		Ст. ошибка	1,65	2,81	0,78	3,51	1,70	3,31	0,16	0,54	0,32
	2020-202	Среднее	65,96	58,10	7,61	57,44	16,16	49,60	2,83	4,96	4,45
		Ст. ошибка	1,02	1,90	0,51	2,60	1,09	2,50	0,19	0,44	0,20
Витаплан, КЖ + 0,1% салицилат хитозана (композиция)	2020	Среднее	66,79	61,65	6,16	57,10	12,74	46,97	2,80	3,44	4,50
		Ст. ошибка	1,21	2,15	0,38	3,95	0,99	2,27	0,44	0,50	0,22
	2021	Среднее	67,29	57,20	9,53	67,83	**20,33**	55,16	**2,72**	6,60	3,90
		Ст. ошибка	1,16	2,62	0,62	3,69	1,56	2,41	0,14	0,51	0,21
	2020-2021	Среднее	67,04	59,80	7,65	61,77	16,09	50,71	2,74	5,42	4,24
		Ст. ошибка	0,83	1,67	0,45	2,81	1,09	1,71	0,15	0,48	0,16

Продолжение таблицы 6П.1

Варианты опыта	Год	Стат. показатель	Площадь предфлаг-листа , кв. см	Масса корней , г	Масса колоса ,г	Масса вегетативной части ,г	Длина колоса, мм	Число колосков в колосе	Число зерен в колосе	Масса зерен одного колоса	Масса 1000 зерен	Потенциальная урожайность, г/раст.
Контроль (вода)	2016	Среднее	5,82	0,22	0,24	1,25	65,24	15,16	21,28	0,46	21,80	0,93
		Ст. ошибка	0,58	0,06	0,05	0,23	2,18	0,22	1,44	0,03	1,32	0,07
	2017	Среднее	6,67	0,82	1,02	2,27	7,65	13,87	31,33	0,97	30,62	1,46
		Ст. ошибка	0,71	0,12	0,12	0,31	0,14	0,22	1,04	0,04	0,66	0,18
	2018	Среднее	3,20	0,47	0,54	2,40	7,65	14,74	29,22	1,00	34,15	1,12
		Ст. ошибка	0,25	0,05	0,04	0,25	0,11	0,19	0,89	0,03	0,51	0,06
	2019	Среднее	4,09	0,82	0,58	1,84	7,83	14,58	32,65	1,40	42,81	2,15
		Ст. ошибка	0,26	0,11	0,04	0,13	0,15	0,21	1,10	0,05	0,78	0,14
	2020	Среднее	4,77	1,06	0,54	1,30	7,86	14,56	34,29	1,26	37,05	2,86
		Ст. ошибка	0,16	0,15	0,04	0,07	0,12	0,24	1,03	0,04	0,76	0,17
	2021	Среднее	4,43	1,72	0,46	1,50	6,94	12,05	25,68	0,62	23,83	1,30
		Ст. ошибка	0,23	0,25	0,04	0,13	0,17	0,36	1,56	0,05	1,18	0,16
	2016-2021	Среднее	4,38	0,82	0,56	1,77	13,37	14,25	30,16	1,02	33,90	1,77
		Ст. ошибка	0,15	0,06	0,02	0,08	1,11	0,11	0,52	0,03	0,49	0,08
Гамаир, СП	2016	Среднее	6,64	0,17	0,38	**1,90**	61,72	14,56	17,68	**0,35**	19,97	**0,70**
		Ст. ошибка	0,31	0,02	0,06	0,19	1,89	0,27	1,46	0,03	1,30	0,05
Витаплан, КЖ	2016	Среднее	6,42	0,16	0,28	1,36	62,48	14,96	22,28	0,46	20,84	0,93
		Ст. ошибка	0,42	0,02	0,02	0,12	1,72	0,23	1,27	0,03	1,00	0,05
	2017	Среднее	8,58	1,88	0,94	3,19	**8,41**	**15,36**	**37,62**	**1,30**	**34,20**	**4,88**
		Ст. ошибка	0,83	0,67	0,11	0,34	0,15	0,28	1,27	0,06	0,78	0,73
	2018	Среднее	2,75	**0,33**	0,48	2,06	**7,13**	**13,90**	**25,37**	**0,81**	**32,22**	**0,81**
		Ст. ошибка	0,22	0,03	0,03	0,13	0,11	0,33	1,06	0,03	0,62	0,03
	2019	Среднее	4,67	0,68	**0,76**	1,87	**7,20**	**13,28**	29,95	1,27	42,59	1,89
		Ст. ошибка	0,37	0,12	0,07	0,15	0,16	0,32	1,29	0,06	0,98	0,15
	2020	Среднее	**5,45**	1,50	0,63	**1,73**	7,70	14,70	34,58	1,21	35,02	**4,39**
		Ст. ошибка	0,19	0,23	0,04	0,09	0,13	0,27	1,35	0,06	0,77	0,25
	2021	Среднее	4,88	2,12	0,59	1,73	7,35	12,48	29,05	0,64	22,68	1,44
		Ст. ошибка	0,25	0,38	0,05	0,11	0,17	0,36	1,77	0,04	1,57	0,13
	2016-2021	Среднее	**4,90**	0,97	**0,63**	**1,99**	14,35	14,25	30,91	1,03	34,22	**3,01**
		Ст. ошибка	0,19	0,11	0,03	0,07	1,28	0,14	0,66	0,03	0,59	0,23
Витаплан, КЖ и Хитозан II	2016	Среднее	5,73	0,15	0,28	1,35	62,12	14,52	21,24	0,43	20,36	0,86
		Ст. ошибка	0,17	0,02	0,04	0,13	1,89	0,40	1,47	0,03	1,16	0,06
	2017	Среднее	7,00	**1,70**	0,76	2,91	7,83	13,84	31,75	1,00	30,31	**3,31**
		Ст. ошибка	0,63	0,26	0,06	0,25	0,13	0,17	1,08	0,05	0,92	0,26
	2018	Среднее	3,26	0,43	0,51	2,53	7,58	**13,40**	**26,53**	**0,82**	**30,79**	**0,94**
		Ст. ошибка	0,24	0,04	0,03	0,23	0,13	0,27	0,71	0,03	0,50	0,06
	2016-2018	Среднее	4,50	0,61	0,58	2,54	**18,81**	13,87	28,34	0,84	29,97	**2,58**
		Ст. ошибка	0,28	0,09	0,03	0,16	2,02	0,14	0,78	0,04	0,66	0,21
Хитозан I	2016	Среднее	5,32	0,23	**0,40**	1,78	67,00	14,76	21,44	0,55	25,62	1,10
		Ст. ошибка	0,40	0,04	0,06	0,19	1,96	0,25	1,26	0,04	1,67	0,07
Хитозан II	2016	Среднее	5,95	0,46	**0,58**	**2,42**	64,96	**14,40**	21,20	0,45	21,06	0,90

Продолжение таблицы 6П.1

		Ст. ошибка	0,97	0,13	0,12	0,44	1,77	0,24	1,17	0,03	2,31	0,07
	2017	Среднее	5,94	**0,42**	0,92	2,95	**8,13**	**14,59**	**34,56**	1,09	31,17	1,63
		Ст. ошибка	0,37	0,15	0,09	0,25	0,15	0,18	0,98	0,05	0,87	0,16
	2016-2017	Среднее	5,94	0,43	0,84	**2,83**	**25,04**	14,54	**30,58**	**0,90**	**30,38**	1,63
		Ст. ошибка	0,42	0,11	0,08	0,22	2,90	0,15	1,02	0,05	0,89	0,16
Витаплан, СП	2017	Среднее	**10,26**	1,50	1,17	**4,03**	**8,27**	**15,02**	**34,49**	**1,13**	32,21	**1,97**
		Ст. ошибка	1,02	0,63	0,10	0,43	0,15	0,20	1,09	0,05	0,62	0,18
	2018	Среднее	**2,32**	0,37	0,44	1,98	**6,82**	**13,10**	**25,57**	**0,80**	**30,88**	**0,80**
		Ст. ошибка	0,21	0,04	0,04	0,19	0,18	0,32	1,27	0,05	0,83	0,05
	2019	Среднее	4,75	**1,33**	0,66	2,07	7,65	14,17	30,08	1,32	41,57	2,84
		Ст. ошибка	0,34	0,19	0,04	0,14	0,20	0,42	1,81	0,15	3,85	0,48
	2020	Среднее	4,91	1,09	0,65	1,47	7,92	14,55	31,45	**1,08**	**33,40**	**1,97**
		Ст. ошибка	0,19	0,16	0,07	0,11	0,14	0,24	1,13	0,06	1,07	0,20
	2021	Среднее	4,51	1,74	0,49	1,40	7,22	11,90	26,10	0,63	24,24	**2,06**
		Ст. ошибка	0,21	0,24	0,04	0,11	0,19	0,40	1,14	0,05	1,20	0,21
	2017-2021	Среднее	4,71	1,06	0,65	2,11	7,72	14,07	30,59	1,03	32,66	1,90
		Ст. ошибка	0,25	0,12	0,03	0,11	0,08	0,15	0,63	0,04	0,74	0,11
Витаплан, КС +Хитозан II	2018	Среднее	**2,54**	**0,34**	0,47	2,03	7,52	**13,83**	28,40	0,93	32,84	**0,93**
		Ст. ошибка	0,20	0,03	0,03	0,16	0,08	0,16	0,70	0,03	0,49	0,03
Витаплан, КЖ + коллоидный хитин (0,1%) + 0,1% Хитозан	2019	Среднее	**4,89**	1,20	**0,97**	2,11	8,00	13,93	34,38	1,45	41,67	**3,23**
		Ст. ошибка	0,29	0,17	0,10	0,17	0,16	0,25	1,07	0,07	1,31	0,21
Витаплан, КЖ+коллоидный хитин (0,1%)	2019	Среднее	**5,80**	**1,27**	**0,88**	**2,39**	8,06	14,50	34,33	1,43	41,15	2,67
		Ст. ошибка	0,40	0,14	0,12	0,17	0,20	0,27	1,28	0,07	1,13	0,25
Витаплан, КЖ + 0,1% Хитозан	2019	Среднее	3,86	1,29	0,73	1,81	7,87	**13,93**	32,53	1,32	40,97	**2,68**
		Ст. ошибка	0,27	0,24	0,08	0,16	0,17	0,23	0,89	0,05	1,35	0,24
0,1% салицилат хитозана	2020	Среднее	5,23	1,44	0,58	1,49	**8,25**	**15,44**	36,84	1,36	37,08	**5,58**
		Ст. ошибка	0,20	0,25	0,05	0,08	0,13	0,22	0,90	0,04	0,76	0,41
	2021	Среднее	4,58	1,66	0,58	1,52	**7,35**	12,23	**30,45**	0,75	24,84	1,23
		Ст. ошибка	0,25	0,28	0,07	0,14	0,09	0,29	1,56	0,05	1,48	0,14
	2020-2021	Среднее	4,98	1,55	0,58	1,51	**7,95**	**14,35**	**34,68**	**1,16**	32,94	**4,11**
		Ст. ошибка	0,16	0,19	0,04	0,07	0,11	0,26	0,88	0,05	1,01	0,37
Витаплан, КЖ + 0,1% салицилат хитозана (глубинное культивирование)	2020	Среднее	4,60	1,22	**0,69**	1,49	8,00	14,45	35,20	1,34	37,97	**5,22**
		Ст. ошибка	0,21	0,20	0,06	0,09	0,12	0,31	1,38	0,06	0,91	0,39
	2021	Среднее	4,83	2,11	0,45	1,44	**7,43**	12,19	27,38	0,68	24,47	**1,96**
		Ст. ошибка	0,25	0,28	0,04	0,11	0,18	0,27	1,51	0,05	1,33	0,18
	2020-2021	Среднее	4,69	1,65	0,59	1,47	7,82	13,72	32,68	**1,13**	33,61	**4,17**
		Ст. ошибка	0,16	0,19	0,04	0,07	0,11	0,26	1,14	0,06	1,08	0,33
Витаплан, КЖ + 0,1% салицилат хитозана (композиция)	2020	Среднее	4,59	0,75	0,64	1,38	8,22	**15,38**	**39,26**	1,37	35,86	**4,47**
		Ст. ошибка	0,17	0,09	0,05	0,08	0,14	0,17	1,76	0,05	1,13	0,28
	2021	Среднее	4,43	2,25	0,51	1,40	7,19	12,05	26,44	0,68	24,30	1,85
		Ст. ошибка	0,24	0,28	0,04	0,09	0,18	0,31	1,86	0,07	1,57	0,24
	2020-2021	Среднее	4,53	1,46	0,58	1,39	**7,88**	14,29	**35,21**	**1,15**	32,21	**3,61**
		Ст. ошибка	0,14	0,19	0,04	0,06	0,13	0,26	1,55	0,06	1,16	0,26

Таблица 6П.2 – Изменение интенсивности поражения мягкой пшеницы возбудителями болезней при применении микробиологических препаратов, композиций на основе хитозана, полифункциональных комплексов, 0,1% салицилата хитозана. 2016-2021 гг.

Варианты опыта	Год	Стат. показатель	Мучнистая роса			Бурая ржавчина			Развитие септориоза, %	Желтая ржавчина						Развитие корневой гнили, %
			Развитие, %	Число пятен с налетом, шт.	Площадь пятен с налетом, мм^2	Развитие, %	Число пустул шт.	Площадь пустулы, мм^2		Развитие, %	Число полос с пустулами, шт.	Длина полосы с пустулами, мм	Число пустул в полосе, шт.	Число пустул на листе, шт.	Площадь пустулы, мм^2	
Контроль (вода)	2016	Среднее	10,00	12,25	2,06	20,00	156,88	0,10	27,50	2,00	2,00	27,00	17,75			30,00
		Ст. ошибка	2,04	3,01	0,46	10,21	97,19	0,03	2,50	1,00	1,00	2,80	4,66			2,30
	2017	Среднее	1,00	3,00	0,94	20,33	120,50	0,09	30,33	4,13	3,68	35,88	67,50	257,37		40,50
		Ст. ошибка	0,00	1,00	0,48	11,57	56,90	0,01	11,19	1,31	0,79	3,02	8,02	71,03		7,50
	2018	Среднее	2,00	3,00	14,13	6,17	37,08	0,09	36,25	9,50	2,20	40,91	102,73	221,67		42,33
		Ст. ошибка	1,00	2,00	1,57	1,35	9,95	0,01	21,64	3,34	0,49	7,56	26,45	97,76		1,67
	2019	Среднее	27,50	27,33	5,46	29,32	235,22	0,13	44,38	24,18	6,91	49,65	138,37	1200,90	0,12	38,89
		Ст. ошибка	6,83	6,50	0,66	7,23	64,87	0,01	4,10	5,60	1,09	3,78	15,47	373,11	0,01	7,08
	2020	Среднее	52,50	21,00	3,14				81,25	49,29	12,45	74,69	179,45	759,91	0,04	15,28
		Ст. ошибка	2,50	2,00					11,97	8,25	2,25	12,32	39,13	95,40	0,00	6,67
	2021	Среднее	14,33	15,11	1,30	21,43	347,28	0,11	0,00							27,13
		Ст. ошибка	3,09	3,49	0,22	4,58	70,72	0,01	0,00							10,16
	2016-2021	Среднее	19,68	18,29	3,82	21,05	204,00	0,11	36,62	22,10	6,21	46,53	112,92	613,12	0,09	30,63
		Ст. ошибка	3,56	3,07	0,47	3,37	33,78	0,01	5,51	3,80	0,84	2,88	9,91	98,24	0,01	3,76
Гамаир, СП	2016	Среднее	5,33	5,67	**5,97**	30,00	432,90	0,07	**5,00**	**0,00**	**0,00**	**0,00**	**0,00**			**6,67**
		Ст. ошибка	2,60	2,60	1,42	9,08	158,10	0,01	0,00							
Витаплан, КЖ	2016	Среднее	**2,33***	**4,00**	1,25	20,83	412,69	0,05	**7,50**	**0,00**	**0,00**	**0,00**	**0,00**			20,00
		Ст. ошибка	1,33	2,08	0,57	3,52	159,02	0,01	2,50							
	2017	Среднее	1,00	**1,00**	1,53	1,67	15,67	0,08		6,95	**6,00**	37,20	**120,27**	**887,20**		**4,00**
		Ст. ошибка	0,01	0,00	0,04	0,67	12,20	0,02		1,20	0,75	2,04	21,19	285,69		4,00
	2018	Среднее				4,42	63,53	**0,04**		5,67	2,56	31,87	66,03	168,76		**30,00**
		Ст. ошибка				1,57	36,49	0,01		1,43	0,53	2,65	6,01	45,37		3,00
	2019	Среднее	18,18	26,73	**2,51**	21,26	241,22	0,14	**10,50**	19,67	4,44	57,60	147,12	702,51	**0,09**	24,17
		Ст. ошибка	2,05	3,99	0,37	7,51	116,80	0,01	3,85	7,85	0,82	5,75	17,91	195,22	0,01	10,13
	2020	Среднее	**27,50**	**29,50**	1,57				**7,50**	30,44	10,07	64,50	139,45	1112,33	**0,06**	11,11
		Ст. ошибка	1,44	0,96	0,00				2,50	6,87	1,51	10,66	31,73	186,51	0,01	5,56
	2021	Среднее	8,50	12,33	0,97	19,44	400,35	0,09								7,50
		Ст. ошибка	1,69	3,77	0,14	1,93	67,80	0,01								0,83
	2016-2021	Среднее	13,16	18,52	**1,90**	14,89	238,76	**0,09**	**9,50**	16,05	6,11	43,55	115,73	785,21	0,08	**17,53**
		Ст. ошибка	1,71	2,63	0,23	2,48	45,66	0,01	2,58	2,87	0,63	2,35	10,10	131,97	0,01	3,68
Витаплан, КЖ и Хитозан II	2016	Среднее	8,33	10,67	2,77	3,00	29,50	0,09	**2,00**	**0,00**	**0,00**	**0,00**	**0,00**			3,33
		Ст. ошибка	1,67	1,86	0,49	1,15	14,89	0,01	1,00							
	2017	Среднее	1,00	2,40	2,26	4,00	178,00	0,10		6,78	4,94	42,38	88,94	602,33		**0,00**
		Ст. ошибка	0,01	0,68	0,68	3,00	173,51	0,04		1,79	1,07	3,18	13,99	182,59		0,00
	2018	Среднее	**0,00**			5,44	19,86	0,06		2,75	1,38	28,55	58,13	106,57		**28,67**
		Ст. ошибка				1,73	6,76	0,01		1,75	0,26	3,39	6,84	28,50		4,33
	2016-2018	Среднее	3,75	5,50	2,53	4,83	42,17	0,07	**2,00**	5,33	3,70	39,13	74,19	478,39		**14,89**
		Ст. ошибка	1,45	1,68	0,41	1,27	22,59	0,01	1,00	1,35	0,79	2,78	9,31	143,28		6,48
Хитозан I	2016	Среднее	9,00	7,67	1,94	2,60	12,20	0,07	**1,00**	**0,00**	**0,00**	**0,00**	**0,00**			36,67
		Ст. ошибка	8,00	6,17	0,48	0,75	4,12	0,01	0,00							
Хитозан II	2016	Среднее	**1,00**	**2,67**	**0,57**	7,67	54,00	0,04	**4,00**	**0,00**	**0,00**	**0,00**	**0,00**			33,33

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

Продолжение таблицы 6П.2

		Ст. ошибка	0,00	0,88	0,28	2,33	21,20	0,01	1,00							
	2017	Среднее	0,00			5,00	13,25	0,06		7,33	5,62	38,42	83,86	612,00		37,50
		Ст. ошибка	0,00			3,37	5,88	0,01		2,47	1,56	3,06	13,85	256,38		4,50
	2016-2017	Среднее	**1,00**	2,67	0,57	6,14	30,71	0,05	**4,00**	7,00	5,36	37,70	**80,05**	612,00		36,11
		Ст. ошибка	0,00	0,88	0,28	2,08	11,91	0,01	1,00	2,38	1,51	3,09	13,75	256,38		2,95
Витаплан, СП	2017	Среднее	1,67	3,00	2,31	21,83	103,33	0,14		4,00	3,75	35,62	91,24	301,75		**21,00**
		Ст. ошибка	0,67	1,29	0,92	13,26	92,80	0,04		0,69	0,56	2,39	12,39	64,11		4,00
	2018	Среднее	6,50	3,50	**8,01**	3,82	24,33	0,06		7,67	3,33	**18,20**	**41,87**	148,33		42,33
		Ст. ошибка	3,50	1,50	2,56	1,39	12,55	0,01		4,12	1,12	1,69	6,37	77,57		5,49
	2019	Среднее	22,88	26,63	4,19	**12,10**	136,56	0,12	32,27	**2,25**	**2,89**	**35,11**	**66,11**	**178,67**	0,09	**15,83**
		Ст. ошибка	5,04	6,46	0,58	2,85	45,79	0,01	4,64	0,65	0,42	4,70	12,69	44,98	0,01	6,85
	2020	Среднее							**25,00**	36,00	10,00	54,17	158,58	692,27	0,04	12,53
		Ст. ошибка							3,54	7,94	2,22	6,66	28,81	117,76	0,00	7,01
	2021	Среднее	16,71	16,36	2,48	14,79	341,58	0,10								23,81
		Ст. ошибка	4,92	3,21	0,64	1,74	39,85	0,01								9,52
	2017-2021	Среднее	14,67	15,48	3,70	12,43	180,52	0,11	30,33	15,41	5,13	36,23	86,60	384,49	0,07	22,68
		Ст. ошибка	2,96	2,86	0,47	1,90	28,21	0,01	3,57	3,49	0,75	2,10	8,43	54,54	0,01	4,00
Витаплан, КС +Хитозан II	2018	Среднее	1,00	1,00	**5,50**	4,06	15,13	**0,05**	15,89	2,33	1,33	26,25	62,25	83,00		**28,33**
		Ст. ошибка				1,16	4,95	0,01	7,98	1,33	0,33	8,00	32,82	38,59		4,67
Витаплан, КЖ + коллоидный хитин (0,1%) + 0,1% Хитозан	2019	Среднее	34,17	34,96	4,08	23,75	295,85	0,14		**10,79**	**4,50**	47,98	116,32	**536,63**	0,09	16,67
		Ст. ошибка	10,20	8,85	0,93	7,58	113,41	0,01		2,82	0,61	4,80	14,70	134,57	0,01	7,61
Витаплан, КЖ+коллоидный хитин (0,1%)	2019	Среднее	24,00	26,17	**3,01**	**14,38**	144,04	0,13	**20,00**	12,82	**3,82**	46,69	112,78	493,91	0,10	25,00
		Ст. ошибка	4,19	3,47	0,37	2,61	31,43	0,01	5,77	4,55	0,33	6,33	16,46	120,37	0,01	10,76
Витаплан, КЖ + 0,1% Хитозан	2019	Среднее	21,00	23,50	**3,33**	**8,73**	**41,99**	0,13	**8,60**	14,40	**4,30**	63,13	152,83	748,85	0,10	**8,33**
		Ст. ошибка	3,86	4,78	0,49	3,42	14,68	0,01	2,52	6,12	0,70	8,34	23,78	311,52	0,01	8,33
0,1% салицилат хитозана	2020	Среднее								**20,21**	**7,38**	52,42	94,89	738,93	0,04	6,59
		Ст. ошибка								4,63	1,09	5,87	18,42	74,57	0,00	1,03
	2021	Среднее	**1,67**	**3,17**	1,17	**9,63**	**141,90**	0,09								13,33
		Ст. ошибка	0,42	0,60	0,72	1,86	33,22	0,02								
	2020-2021	Среднее	**1,67**	**3,17**	1,17	**9,63**	**141,90**	0,09		**20,21**	**7,38**	52,42	**94,89**	738,93	0,04	8,27
		Ст. ошибка	0,42	0,60	0,72	1,86	33,22	0,02		4,63	1,09	5,87	18,42	74,57	0,00	1,84
Витаплан, КЖ + 0,1% салицилат хитозана (глубинное культивирование)	2020	Среднее							**11,67**	**21,53**	**6,47**	**38,03**	**87,47**	810,65	0,04	18,89
		Ст. ошибка							1,67	5,63	0,86	4,41	13,56	154,94	0,00	1,11
	2021	Среднее	8,27	10,22	**2,53**	**11,22**	**193,38**	**0,07**								12,22
		Ст. ошибка	1,48	1,47	0,45	1,68	36,42	0,01								1,11
	2020-2021	Среднее	**8,27**	**10,22**	**2,53**	**11,22**	**193,38**	**0,07**	**11,67**	**21,53**	**6,47**	**38,03**	**87,47**	810,65	0,04	16,22
		Ст. ошибка	1,48	1,47	0,45	1,68	36,42	0,01	1,67	5,63	0,86	4,41	13,56	154,94	0,00	1,78
Витаплан, КЖ + 0,1% салицилат хитозана (композиция)	2020	Среднее							**17,50**	**9,50**	**5,53**	**32,85**	**48,41**	**484,46**	0,04	22,22
		Ст. ошибка							2,50	1,98	1,04	3,07	7,30	94,09	0,00	5,56
	2021	Среднее	12,63	20,97	**2,84**	22,25	523,99	**0,07**								16,67
		Ст. ошибка	3,06	6,04	0,62	3,95	62,75	0,01								
	2020-2021	Среднее	**12,63**	20,97	2,84	22,25	523,99	**0,07**	**17,50**	**9,50**	**5,53**	**32,85**	**48,41**	**484,46**	0,04	20,83
		Ст. ошибка	3,06	6,04	0,62	3,95	62,75	0,01	2,50	1,98	1,04	3,07	7,30	94,09	0,00	4,17

ПРИЛОЖЕНИЕ 7

АГРОЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ВАРЬИРОВАНИЕ ПРОДУКТИВНОСТИ И ПОРАЖЕННОСТИ ПШЕНИЦЫ БОЛЕЗНЯМИ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ АССОЦИАТИВНЫХ РИЗОБАКТЕРИЙ

Таблица 7П.1 – Корреляционные взаимосвязи между показателями продуктивности пшеницы и метеорологическими условиями периодов вегетации растений (2017–2022 гг.)

Вариант опыта	Коэффициент корреляции	Сумма температур выше 10°С, °С (май, с 11 числа)	Сумма осадков, мм (май, с 11 числа)	Относительная влажность, % (май)	Сумма температур, °С (июнь)	Сумма осадков, мм (июнь)	Относительная влажность, % (июнь)	Сумма температур, °С (июль)	Сумма осадков, мм (июль)	Относительная влажность, % (июль)
Потенциальная урожайность, г/растение	R>0	0	0	67	17	50	50	33	67	67
	R<0	100	100	33	83	50	50	67	33	33
	R>0 (P<0,05)	0	0	0	0	17	0	0	17	0
	R<0 (P<0,05)	0	0	0	17	0	0	0	0	0
Потенциальная урожайность, т/га	R>0	0	0	0	0	50	33	17	50	83
	R<0	100	100	100	100	50	67	83	50	17
	R>0 (P<0,05)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	R<0 (P<0,05)	0	33	0	0	0	0	0	0	0
Всхожесть полевая, %	R>0	33	17	50	50	33	33	83	33	33
	R<0	67	83	50	50	67	67	17	67	67
	R>0 (P<0,05)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	R<0 (P<0,05)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Фаза растения, балл	R>0	83	67	67	50	33	33	67	50	50
	R<0	17	33	33	50	67	67	33	50	50
	R>0 (P<0,05)	0	0	0	0	0	0	17	0	0
	R<0 (P<0,05)	0	0	0	0	17	0	0	17	17
Высота растения, см	R>0	67	67	67	67	50	50	33	33	50
	R<0	33	33	33	33	50	50	67	67	50
	R>0 (P<0,05)	0	0	0	0	17	17	0	0	0
	R<0 (P<0,05)	0	0	0	0	0	0	0	0	17
Число первичных корней, шт.	R>0	67	67	83	67	33	50	67	33	33
	R<0	33	33	17	33	67	50	33	67	67
	R>0 (P<0,05)	0	0	0	0	0	0	50	17	17
	R<0 (P<0,05)	0	0	0	0	0	0	17	0	0
Длина первичных корней, мм	R>0	83	100	50	100	0	0	83	0	0
	R<0	17	0	50	0	100	100	17	100	100
	R>0 (P<0,05)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	R<0 (P<0,05)	0	0	0	0	0	0	0	0	33
Число узловых корней, шт.	R>0	50	17	83	17	83	83	50	83	83
	R<0	50	83	17	83	17	17	50	17	17
	R>0 (P<0,05)	0	0	0	0	33	17	17	33	0
	R<0 (P<0,05)	0	0	0	33	0	0	0	0	0
Длина узловых корней, мм	R>0	83	67	83	67	33	33	67	33	33
	R<0	17	33	17	33	67	67	33	67	67
	R>0 (P<0,05)	0	0	0	0	0	17	33	0	17
	R<0 (P<0,05)	0	0	0	17	0	0	0	0	17
Масса корней, г	R>0	67	33	100	33	83	100	50	83	67
	R<0	33	67	0	67	17	0	50	17	33
	R>0 (P<0,05)	0	0	17	0	33	50	0	33	0

* R>0 – положительные корреляционные связи; R<0 – отрицательные корреляционные связи; R>0 (P<0,05) – достоверные положительные корреляционные связи при P<0,05; R<0 (P<0,05) – достоверные отрицательные корреляционные связи при P<0,05

Продолжение таблицы 7П.1

	R<0 (P<0,05)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Масса вегетативной части, г	R>0	50	50	67	50	50	50	50	50	50
	R<0	50	50	33	50	50	50	50	50	50
	R>0 (P<0,05)	0	0	17	0	0	17	17	17	17
	R<0 (P<0,05)	0	0	0	0	0	0	0	0	17
Площадь предфлагового листа, $см^2$	R>0	83	83	67	67	33	33	67	33	33
	R<0	17	17	33	33	67	67	33	67	67
	R>0 (P<0,05)	0	0	0	0	0	0	17	0	0
	R<0 (P<0,05)	0	0	0	0	0	0	0	0	17
Площадь флагового листа, $см^2$	R>0	83	67	67	83	33	33	100	17	17
	R<0	17	33	33	17	67	67	0	83	83
	R>0 (P<0,05)	0	0	17	0	0	0	17	0	0
	R<0 (P<0,05)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Общая кустистость, шт.	R>0	100	17	100	17	83	83	33	83	83
	R<0	0	83	0	83	17	17	67	17	17
	R>0 (P<0,05)	0	0	0	0	33	67	17	33	0
	R<0 (P<0,05)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Продуктивная кустистость, шт.	R>0	83	33	100	33	67	67	50	67	67
	R<0	17	67	0	67	33	33	50	33	33
	R>0 (P<0,05)	0	0	0	0	50	50	17	50	0
	R<0 (P<0,05)	0	0	0	0	0	0	0	0	33
Длина колоса, мм	R>0	58	42	67	50	50	58	67	42	50
	R<0	42	58	33	50	50	42	33	58	50
	R>0 (P<0,05)	0	0	0	0	0	8	33	0	8
	R<0 (P<0,05)	0	0	0	17	0	0	0	0	0
Число колосков в колосе, шт.	R>0	58	50	67	67	25	33	67	25	25
	R<0	42	50	33	33	75	67	33	75	75
	R>0 (P<0,05)	0	0	0	0	0	0	25	0	0
	R<0 (P<0,05)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Масса колоса, г	R>0	17	17	50	33	50	50	50	50	67
	R<0	83	83	50	67	50	50	50	50	33
	R>0 (P<0,05)	0	17	0	0	17	17	0	17	0
	R<0 (P<0,05)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Число зерен в колосе, шт.	R>0	33	33	33	50	33	0	50	33	50
	R<0	67	67	67	50	67	100	50	67	50
	R>0 (P<0,05)	0	0	0	0	0	0	17	0	0
	R<0 (P<0,05)	33	0	0	0	0	0	0	0	0
Масса 1000 зерен, г	R>0	17	33	17	50	33	50	33	33	50
	R<0	83	67	83	50	67	50	67	67	50
	R>0 (P<0,05)	0	33	0	0	0	0	0	0	0
	R<0 (P<0,05)	0	0	0	17	0	0	0	0	0
Масса зерен одного колоса, г	R>0	17	17	17	33	17	17	50	33	50
	R<0	83	83	83	67	83	83	50	67	50
	R>0 (P<0,05)	0	0	0	0	0	0	17	0	0
	R<0 (P<0,05)	17	0	0	0	0	0	0	0	0

Продолжение таблицы 7П.1

Вариант опыта	Коэффициент корреляции	ГТК (июль)	Число пятен на Солнце (июль)	Число Вольфа (июль)	Сумма температур, °С (август)	Сумма осадков, мм (август)	Относительная влажность, % (август)	ГТК (август)	Число пятен на Солнце (август)	Число Вольфа (август)	Годовое число пятен на Солнце
Потенциальная урожайность, г/растение	R>0	67	100	83	100	83	67	100	100	100	100
	R<0	33	0	17	0	17	33	0	0	0	0
	R>0 (P<0,05)	0	17	17	0	0	0	0	0	17	17
	R<0 (P<0,05)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Потенциальная урожайность, т/га	R>0	33	100	100	100	100	67	100	100	100	100
	R<0	67	0	0	0	0	33	0	0	0	0
	R>0 (P<0,05)	0	33	33	0	0	0	0	17	67	50
	R<0 (P<0,05)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Всхожесть полевая, %	R>0	33	83	83	50	50	83	83	83	83	83
	R<0	67	17	17	50	50	17	17	17	17	17
	R>0 (P<0,05)	0	17	17	0	0	0	33	17	17	17
	R<0 (P<0,05)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Фаза растения, балл	R>0	50	17	17	33	50	50	50	0	0	0
	R<0	50	83	83	67	50	50	50	100	100	100
	R>0 (P<0,05)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	R<0 (P<0,05)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Высота растения, см	R>0	50	33	33	50	50	33	50	0	17	33
	R<0	50	67	67	50	50	67	50	100	83	67
	R>0 (P<0,05)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	R<0 (P<0,05)	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Число первичных корней, шт.	R>0	83	33	17	33	67	67	67	33	17	17
	R<0	17	67	83	67	33	33	33	67	83	83
	R>0 (P<0,05)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	R<0 (P<0,05)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Длина первичных корней, мм	R>0	0	67	67	0	0	100	83	67	67	67
	R<0	100	33	33	100	100	0	17	33	33	33
	R>0 (P<0,05)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	R<0 (P<0,05)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Число узловых корней, шт.	R>0	100	33	17	83	100	50	100	67	50	50
	R<0	0	67	83	17	0	50	0	33	50	50
	R>0 (P<0,05)	33	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	R<0 (P<0,05)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Длина узловых корней, мм	R>0	67	67	67	50	50	83	100	50	50	67
	R<0	33	33	33	50	50	17	0	50	50	33
	R>0 (P<0,05)	0	0	0	0	0	17	0	0	0	0
	R<0 (P<0,05)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Масса корней, г	R>0	100	0	0	100	100	50	100	50	0	0
	R<0	0	100	100	0	0	50	0	50	100	100
	R>0 (P<0,05)	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	R<0 (P<0,05)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Масса вегетативной части, г	R>0	50	50	50	67	67	83	83	50	33	50
	R<0	50	50	50	33	33	17	17	50	67	50
	R>0 (P<0,05)	0	0	0	0	0	0	0	0	17	0
	R<0 (P<0,05)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Площадь предфлагового листа, $см^2$	R>0	33	0	0	17	33	50	50	0	0	0
	R<0	67	100	100	83	67	50	50	100	100	100
	R>0 (P<0,05)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Продолжение таблицы 7П.1

	R<0 (P<0,05)	0	0	0	17	17	17	0	0	0	0
Площадь флагового листа, см^2	R>0	67	50	33	33	67	83	83	33	33	33
	R<0	33	50	67	67	33	17	17	67	67	67
	R>0 (P<0,05)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	R<0 (P<0,05)	0	0	0	17	0	0	0	0	0	0
Общая кустистость, шт.	R>0	100	0	0	83	100	50	100	33	0	0
	R<0	0	100	100	17	0	50	0	67	100	100
	R>0 (P<0,05)	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	R<0 (P<0,05)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Продуктивная кустистость, шт.	R>0	83	0	0	67	67	50	100	0	0	0
	R<0	17	100	100	33	33	50	0	100	100	100
	R>0 (P<0,05)	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	R<0 (P<0,05)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Длина колоса, мм	R>0	83	67	58	58	75	83	100	58	50	58
	R<0	17	33	42	42	25	17	0	42	50	42
	R>0 (P<0,05)	17	0	0	0	0	0	8	0	0	0
	R<0 (P<0,05)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Число колосков в колосе, шт.	R>0	75	92	92	58	50	83	100	67	75	83
	R<0	25	8	8	42	50	17	0	33	25	17
	R>0 (P<0,05)	0	0	0	8	0	25	0	0	0	0
	R<0 (P<0,05)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Масса колоса, г	R>0	50	67	67	83	83	67	83	83	67	67
	R<0	50	33	33	17	17	33	17	17	33	33
	R>0 (P<0,05)	0	17	17	0	0	0	17	33	17	17
	R<0 (P<0,05)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Число зерен в колосе, шт.	R>0	0	100	100	67	67	67	100	83	83	100
	R<0	100	0	0	33	33	33	0	17	17	0
	R>0 (P<0,05)	0	17	17	0	0	0	0	0	17	17
	R<0 (P<0,05)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Масса 1000 зерен, г	R>0	50	100	83	83	50	67	100	83	83	83
	R<0	50	0	17	17	50	33	0	17	17	17
	R>0 (P<0,05)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	R<0 (P<0,05)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Масса зерен одного колоса, г	R>0	17	100	100	83	67	83	100	100	100	100
	R<0	83	0	0	17	33	17	0	0	0	0
	R>0 (P<0,05)	0	17	50	0	0	17	0	17	50	33
	R<0 (P<0,05)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Таблица 7П.2 – Корреляционные взаимосвязи между фитопатологическими показателями развития болезней и метеорологическими условиями периодов вегетации растений (2017–2022 гг.)

Показатели	Коэффициент корреляции	Сумма температур выше 10°С, °С (май, с 11 числа)	Сумма осадков, мм (май, с 11 числа)	Относительная влажность, % (май)	Сумма температур, °С (июнь)	Сумма осадков, мм (июнь)	Относительная влажность, % (июнь)	Сумма температур (июль)	Сумма осадков, °С (июль)	Относительная влажность, % (июль)
Развитие бурой ржавчины, %	R>0	67	50	50	50	50	50	67	50	67
	R<0	33	50	50	50	50	50	33	50	33
	R>0 (P<0,05)	0	0	17	0	0	0	0	0	0
	R<0 (P<0,05)	0	0	0	0	0	0	0	0	17
Число пустул бурой ржавчины, шт.	R>0	83	100	33	100	0	0	83	0	0
	R<0	17	0	67	0	100	100	17	100	100
	R>0 (P<0,05)	0	17	0	17	0	0	0	0	0
	R<0 (P<0,05)	0	0	17	0	17	0	0	0	0
Площадь пустулы бурой ржавчины, мм^2	R>0	100	100	17	100	0	0	100	0	0
	R<0	0	0	83	0	100	100	0	100	100
	R>0 (P<0,05)	0	33	0	0	0	0	17	0	0
	R<0 (P<0,05)	0	0	0	0	0	50	0	17	0
Площадь пятна с налетом мучнистой росы, мм^2	R>0	33	100	0	100	0	0	33	0	67
	R<0	67	0	100	0	100	100	67	100	33
	R>0 (P<0,05)	0	33	0	0	0	0	0	0	0
	R<0 (P<0,05)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Развитие мучнистой росы, %	R>0	17	50	33	17	50	50	17	67	83
	R<0	83	50	67	83	50	50	83	33	17
	R>0 (P<0,05)	0	0	0	0	17	17	0	17	0
	R<0 (P<0,05)	0	17	0	0	0	17	0	0	0
Число пятен с налетом мучнистой росы, шт.	R>0	33	33	67	33	67	67	33	67	67
	R<0	67	67	33	67	33	33	67	33	33
	R>0 (P<0,05)	0	0	0	0	0	0	0	33	0
	R<0 (P<0,05)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Развитие корневой гнили, %	R>0	67	50	50	67	50	50	67	50	33
	R<0	33	50	50	33	50	50	33	50	67
	R>0 (P<0,05)	0	0	0	17	0	17	17	0	0
	R<0 (P<0,05)	0	17	0	0	0	0	0	0	0
Развитие септориоза, %	R>0	100	100	0	100	0	0	60	0	0
	R<0	0	0	100	0	100	100	40	100	100
	R>0 (P<0,05)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	R<0 (P<0,05)	0	0	0	0	20	20	0	40	0
Развитие желтой ржавчины, %	R>0	100	17	83	50	67	67	83	67	0
	R<0	0	83	17	50	33	33	17	33	100
	R>0 (P<0,05)	0	0	17	0	0	0	0	0	0
	R<0 (P<0,05)	0	0	0	0	0	0	0	0	0

* R>0 – положительные корреляционные связи; R<0 – отрицательные корреляционные связи; R>0 (P<0,05) – достоверные положительные корреляционные связи при P<0,05; R<0 (P<0,05) – достоверные отрицательные корреляционные связи при P<0,05

Продолжение таблицы 7П.2

Показатели	Коэффициент корреляции	ГТК (июль)	Число пятен на Солнце (июль)	Число Вольфа (июль)	Сумма температур, °С (август)	Сумма осадков, мм (август)	Относительная влажность, % (август)	ГТК (август)	Число пятен на Солнце (август)	Число Вольфа (август)	Годовое число пятен на Солнце
Развитие бурой ржавчины, %	R>0	50	67	67	50	50	67	67	50	67	67
	R<0	50	33	33	50	50	33	33	50	33	33
	R>0 (P<0,05)	0	0	0	0	0	0	17	17	17	0
	R<0 (P<0,05)	0	0	0	0	0	0	17	0	17	0
Число пустул бурой ржавчины, шт.	R>0	0	67	83	0	0	83	33	17	33	50
	R<0	100	33	17	100	100	17	67	83	67	50
	R>0 (P<0,05)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	R<0 (P<0,05)	0	0	0	0	0	0	0	0	17	0
Площадь пустулы бурой ржавчины, мм^2	R>0	17	67	100	0	17	100	17	17	17	33
	R<0	83	33	0	100	83	0	83	83	83	67
	R>0 (P<0,05)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	R<0 (P<0,05)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Площадь пятна с налетом мучнистой росы, мм^2	R>0	0	0	33	0	0	33	0	0	0	0
	R<0	100	100	67	100	100	67	100	100	100	100
	R>0 (P<0,05)	0	0	0	0	0	0	33	0	0	0
	R<0 (P<0,05)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Развитие мучнистой росы, %	R>0	50	17	17	50	50	17	33	33	33	17
	R<0	50	83	83	50	50	83	67	67	67	83
	R>0 (P<0,05)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	R<0 (P<0,05)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17
Число пятен с налетом мучнистой росы, шт.	R>0	67	33	33	67	67	33	67	67	67	33
	R<0	33	67	67	33	33	67	33	33	33	67
	R>0 (P<0,05)	0	0	33	0	0	33	0	0	0	0
	R<0 (P<0,05)	0	0	33	0	0	33	0	0	0	0
Развитие корневой гнили, %	R>0	50	67	67	33	50	67	50	50	50	83
	R<0	50	33	33	67	50	33	50	50	50	17
	R>0 (P<0,05)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	R<0 (P<0,05)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Развитие септориоза, %	R>0	0	60	60	0	0	60	0	0	0	40
	R<0	100	40	40	100	100	40	100	100	100	60
	R>0 (P<0,05)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	R<0 (P<0,05)	20	0	0	20	20	0	0	0	0	0
Развитие желтой ржавчины, %	R>0	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83
	R<0	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17
	R>0 (P<0,05)	0	17	0	0	0	17	50	0	17	0
	R<0 (P<0,05)	17	0	0	0	17	0	0	0	0	0

ПРИЛОЖЕНИЕ 8

АКТЫ ВНЕДРЕНИЯ И РЕЗУЛЬТАТЫ АПРОБАЦИИ РАБОТЫ

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Северо-Западный Центр междисциплинарных исследований проблем продовольственного обеспечения – обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук» (СЗЦППО – СПб ФИЦ РАН)

ш. Подбельского, д. 7, г. Санкт-Петербург, г. Пушкин, 196608
Тел.: (812) 466-00-55, факс:(812) 466-64-76,
e-mail: n-weirpfm@speras.ru, web: http://www.speras.ru/n-weirpfm
ОКПО 04683303, ОГРН 1027800514411, ИНН/КПП 7801003920/782045001

30.11.2021 № 060/02-10-76

Заведующему кафедрой
защиты и карантина растений
ФГБОУ ВО СПб ГАУ
к.б.н., доценту
Колесникову Л.Е.

АКТ
О внедрении/использовании результатов научно-исследовательской работы в производство

Настоящий акт составлен об использовании результатов научной темы «Моделирование влияния агроэкологический факторов на развитие возбудителей болезней зерновых культур и определение возможности повышения урожайности мягкой пшеницы в изменяющихся условиях Северо-Запада Российской Федерации», выполненной в СПбГАУ за счет средств федерального бюджета.

Описание объекта внедрения:

1. Проведение мониторинга фитосанитарного обследования состояния посевов с целью разработки соответствующих нормативных документов, учитывающих комплексное влияние лимитирующих природно-климатических факторов, в том числе циклов солнечной активности на показатели структуры урожая на примере сортов пшеницы адаптированных к экологическим условиям Северо-Запада. Данная разработка является пионерной как с фундаментальной точки зрения, так и при её практическом использовании в зерновом хозяйстве в условиях потенциально возможных климатических изменениях.
2. Разработаны оригинальные математические модели с использованием цифровой методологии для оценки влияния лимитирующих факторов на элементы продуктивности пшеницы с учетом их изменений под влиянием фитопатогенов, в том числе и на хозяйственно значимые изменения внутренней структуры зерновки.
3. Практическое применение результатов позволит оценить степень фитосанитарных рисков в системах патоген-хозяин в разных экологических условиях выращивания пшеницы (стратегически важной для России зерновой культуры) и предложить модели новых сортов с высокой урожайностью, имеющих при этом наиболее выраженный адаптивный потенциал.

Врио директора, д.в.н.
член-корреспондент РАН К.А.Лайшев

Исп. Архипов М.В., ГНС
тел. (812) 466-00-55

Акт №___

о результатах производственного испытания *(указать предмет испытания)*

ЗАО «Павловская МТС»
(наименование предприятия)

УТВЕРЖДАЮ
Руководитель предприятия
Бондаренко А.Н.
(ФИО)

_____
(подпись)
Дата: 12 / 11 / 2021 г.

Основание: успешно проведенный опыт, увеличение урожайности пшеницы, оптимизация фитосанитарного состояния посевов.

Председатель комиссии — Бондаренко А.Н. (ФИО) — гл. Агроном (должность)

Члены комиссии — Манаков Д.С. (ФИО) — Агроном (должность)

Секачева Л.А (ФИО) — Агроном (должность)

В период с 12.04.2021 по 02.08.2021 на предприятии

проводились производственные испытания разнокачественного семенного материала пшеницы для прогнозирования биологической полноценности вегетирующих растений пшеницы

Цель исследовательской работы – определить зависимость элементов продуктивности и устойчивости мягкой пшеницы к болезням от структурно-функциональных характеристик семян с использованием методов газоразрядной визуализации и магнитоуправляемой рентгенографии

Методика экспериментальной работы:

Растительным материалом исследования являлись 10-ть сортов мягкой пшеницы яровой (*Triticum aestivum* L.) из коллекции отдела генетических ресурсов пшеницы ВИР: Саратовская 18, к-58220; Колхозница, к-30177; Саратовская 29, к-40599; Ленинградка, к-47882; Московская 35; к-48762; НЮ 2329, к-58775; Ленинградская 97, к-62935; Тулунская 12, к-64361; Ростань, к-64391; Эстер, к-64544.

При оценке влияния качества посевного материала на продуктивность пшеницы и устойчивость к болезням все зерна каждого из 10-ти образцов пшеницы, используемых в качестве посевного материала, имели «параметрический паспорт» по более 30 оптическим параметрам, в том числе газоразрядного свечения, морфо- и

денситометрического анализа рентгенограмм). Объем выборки для каждого сорта составил 105 зерен.

Для учета индивидуальных особенностей семян использовали маркировочную сетку. Площадь учетной делянки для одного образца – 1,3 м². Образцы на делянки были высеяны вручную рядовым способом посева с междурядьями 15 см и расстоянием в ряду 1 – 2 см. Глубина заделки семян: 5 – 6 см.

Газоразрядные и рентгеноскопические характеристики семян пшеницы, использованных в качестве посевного материала, были определены на экспериментальном оборудовании сектора биофизики растений ФГБНУ АФИ.

Аппаратно-программное обеспечение метода газоразрядной визуализации (электрофотографии) семян пшеницы представлено серийным аппаратом «ГРВ-Камера» в комплекте с программным обеспечением для анализа цифровых газоразрядных изображений «ГРВ Научная лаборатория». Разработчик и производитель аппаратно-программного комплекса – ООО «Биотехпрогресс». Данный метод позволяет регистрировать и количественно оценивать характеристики коронного разряда, возникающего при помещении семени в электромагнитное поле высокой напряженности.

С использованием метода газоразрядной визуализации семена пшеницы были охарактеризованы следующими показателями: площадь свечения (пиксели), суммарная интенсивность свечения (относительные единицы), коэффициент формы (относительные единицы), средний радиус изолинии (пиксели), нормализованное среднеквадратическое отклонение радиуса изолинии (пиксели), длина изолинии (пиксели), энтропия, рассчитанная по изолинии (относительные единицы), фрактальность, рассчитанная по изолинии (относительные единицы).

Рентгеновские изображения – были получены на серийной передвижной рентгенодиагностической установке ПРДУ-02 (ЗАО «ЭЛТЕХ-Мед»). Анализ цифровых рентгеновских изображений семян пшеницы выполнен с использованием планшетного сканера EPSON Perfection V200 Photo и программного обеспечения «Argus-bio» производства ООО «АргусСофт».

С использованием метода микрофокусной рентгенографии семена пшеницы были охарактеризованы следующими показателями: площадь рентген-проекции зерновки (см²), периметр рентген-проекции зерновки (см), длина рентген-проекции зерновки (см), ширина рентген-проекции зерновки (см), округлость рентген-проекции зерновки (относительные единицы), удлиненность рентген-проекции зерновки (относительные единицы), изрезанность рентген-проекции зерновки (относительные единицы), средняя яркость рентген-проекции зерновки (единицы яркости), среднеквадратическое отклонение яркости рентген-проекции зерновки (единицы яркости), оптическая плотность рентген-проекции зерновки (относительные единицы) и интегральная оптическая плотность рентген-проекции зерновки (относительные единицы).

Продуктивность пшеницы изучали в трехкратной повторности в фазы развития зародышевого побега, колошения-цветения и созревания по комплексу показателей. В фазу развития зародышевого побега осуществляли оценку сортов пшеницы по общепринятому показателю – полевая всхожесть (%). В фазы колошения-цветения исследовали комплекс показателей растений: продуктивную и общую кустистость (шт.), фазу растений (балл, по шкале Задокса (Эукарпия), площадь флагового и предфлагового листа (см²), высоту растений (см), длину колоса (см), число колосков в колосе (шт.), массу колоса (г.). Кроме того, определяли число и длину корней (главного зародышевого корня, зародышевых и колеоптильных корней), отходящих от эпикотиля. Осуществляли учет числа и длины узловых корней пшеницы. Рассчитывали показатели массы корней и вегетативной части растений (Kolesnikov L.E., Kremenevskaya M.I. et al. 2020; Kolesnikov L.E., Novikova I.I. et al. 2020).

В фазу созревания (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. Потенциальную (биологическую) урожайность единичного растения пшеницы рассчитывали в соответствии с данными о продуктивной кустистости и массе зерен колоса одного растения (г/растение). Потенциальную урожайность сортов пшеницы $Y_п$ применительно к площади посева (т/га) определяли по продуктивной кустистости, массе зерен колоса и числу растений, высеянных на 1 м². Оценивание степени поражения растений болезнями было приурочено к основным фазам онтогенеза пшеницы (Kolesnikov L.E., Kremenevskaya N.I. et al, 2020; Kolesnikov L.E., Novikova I.I. et al, 2020).

Размер инфекционных структур возбудителей болезней, формируемых на листьях при патогенезе (пятна, пустулы и т.п.) определяли с помощью окулярного и объективного микрометров. Значения площади пустулы видов ржавчины и пятен с налетом мучнистой росы рассчитывали в предположении об их эллиптической форме.

Статистический анализ полученных результатов проводили в программах SPSS 26.0, Statistica 10.0, Excel 2029. При расчетах использовали методы параметрической статистики (на основе средних M и их стандартных ошибок ±SEM, 95 % доверительных интервалов и t-критерия Стьюдента). Взаимосвязи между показателями анализировали с использованием ранговой корреляции Спирмена. При выявлении наиболее важных факторов, которые влияют на зависимую переменную при построении числовых зависимостей, использовали метод нелинейного регрессионного анализа.

Решение комиссии

По результатам производственного испытания разнокачественного семенного материала пшеницы для прогнозирования биологической полноценности вегетирующих растений мягкой пшеницы проанализированы показатели структурно-функциональной активности зерен, связанные со скрытой неоднородностью посевного материала, выявлены взаимосвязи в изменении основных элементов продуктивности культуры, урожайности зерна и устойчивости к болезням в зависимости от структурно-функциональных характеристик посевного материала. Нежизнеспособные семена пшеницы по сравнению со здоровыми (выполненными) отличались преимущественно меньшей площадью, коэффициентом формы, среднеквадратическим отклонением (СКО) трехмерной фрактальности по изолинии, энтропии по изолинии, большей яркостью и среднеквадратическим отклонением радиуса изолинии газоразрядного изображения (ГРИ). Морфо- и денситометрические показатели нежизнеспособных семян пшеницы отличались преимущественно сниженными значениями фактора круга, округлости, минимальной и максимальной средней яркости, но большей удлиненностью и оптической плотностью проекции рентгенограмм. Интенсивность поражения пшеницы болезнями изменялась в зависимости от структурно-функциональных характеристик семян пшеницы. В частности, отмечено, что развитие бурой ржавчины снижалось с возрастанием энтропии по изолинии, изрезанности контура и среднего радиуса изолинии. Полученные данные свидетельствуют о возможности более эффективного возделывания и защиты мягкой пшеницы от болезней с использованием комплекса интроскопических методов оценки качества семенного материала (микрофокусная рентгенография, газоразрядная визуализация).

Председатель комиссии А.Н. Бондаренко _____ И.О. Фамилия

Член комиссии Д.С. Минаков _____ И.О. Фамилия

Член комиссии Л.А Секачева _____ И.О. Фамилия

«17» 11 2021г.

«УТВЕРЖДАЮ»
Декан факультета
агротехнологий,
почвоведения и экологии
_____ проф. А.Г. Орлова
«24» июня 2019

«УТВЕРЖДАЮ»
Проректор по научной работе
Университета ИТМО
_____ К.С. Никифоров
«26» июня 2019

Акт испытаний

Мы, нижеподписавшиеся, представители федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет» и Университета ИТМО , составили настоящий акт о том, что были проведены разработанные мероприятия по исследованиям влияния белкового гидролизатора спилка гольевого говяжьего (биорегулятора роста и развития сельскохозяйственных культур) на продуктивность мягкой пшеницы 14-ти сортов: ЛП-588-1-06, к-65446; Уралосибирская, к-65244, к-32666; Памяти Юдина, к-65243; Ленинградская 97, к-62935; Амурская красноколоска, к-32095; Ульяновская 100, к-65250; Кампанин, к-65445; Василиса, к-65443; Тюменская 30, к-65248; Красноуфимская 110, к-65478; Тулайковская 108, к-65452; Тулайковская 110, к-65454; Тюменская 29, к-65247.

Работа по исследованию влияния белкового гидролизата спилка гольевого говяжьего (биорегулятора роста и развития сельскохозяйственных культур) на мягкую пшеницу использована при проведении испытаний.

ПЕРЕЧЕНЬ ПРОВЕДЕННЫХ МЕРОПРИЯТИЙ И ДОСТИГНУТЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Проведение полевого, многофакторного опыта осуществлялось на специально выделенном участке опытного поля научно-производственной базы «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР» ФГБНУ "ФИЦ Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова" с хорошо известной историей. Соблюдались обязательные условия для полевого опыта, а именно учитывалась совокупность почвенных, климатических и агротехнических факторов.

Земельный участок обладал следующими свойствами:

1. Типичность
2. Однородность почвенного покрова
3. История опытного участка известна более 3 лет.

В ходе проведения мероприятий установлено положительное взаимодействие всех учитываемых факторов эксперимента.

Анализ продуктивности мягкой пшеницы оценивали по комплексу показателей: высота растения, продуктивная кустистость, общая кустистость, длина колоса, масса вегетативной части, число колосков в колосе, число зерен в колосе, масса 1000 зерен. Биологическую урожайность сортов мягкой пшеницы рассчитывали по продуктивной кустистости и числу растений, высеянных на 1 м^2.

Агротехнические работы по внесению биорегулятора роста и развития сельскохозяйственных культур выполнялись одновременно и высококачественно, вследствие чего было достигнуто снижение стоимости единицы веса продукта и улучшение его свойств.

КОПИЯ ВЕРНА

Директор мегафакультета БТиНС
_____ Баранов И.В.

Приложение №1 к Акту испытаний
от «24» июня 2019г

ПРОТОКОЛ № 4 от «24» июня 2019г

О РЕЗУЛЬТАТАХ ОЦЕНКИ ФАКТИЧЕСКОЙ УРОЖАЙНОСТИ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ, ОБРАБОТАННОЙ БИОРЕГУЛЯТОРОМ РОСТА И РАЗВИТИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

Мы нижеподписавшиеся, представители федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет» и Университета ИТМО, проведя оценку продуктивности, установили объем продукции, полученной дополнительно в результате применения биорегулятора роста и развития сельскохозяйственных культур.

Биорегулятор роста и развития сельскохозяйственных культур представляет собой белковый гидролизатор спилка гольевого говяжьего. В настоящих экспериментальных исследованиях применен водный раствор гидролизата (195 мг/л).

Была проведена оценка фактической урожайности при применении белкового гидролизатора (биорегулятора роста и развития сельскохозяйственных культур).

Методика внесения биорегулятора была следующей. Растительный материал для исследований был предоставлен отделом генетических ресурсов пшеницы ВИР и включал 14-ть сортов: ЛП-588-1-06, к-65446; Уралосибирская, к-65244, к-32666; Памяти Юдина, к-65243; Ленинградская 97, к-62935; Амурская красноколоска, к-32095; Ульяновская 100, к-65250; Кампанин, к-65445; Василиса, к-65443; Тюменская 30, к-65248; Красноуфимская 110, к-65478; Тулайковская 108, к-65452; Тулайковская 110, к-65454; Тюменская 29, к-65247. Четырнадцать сортов мягкой пшеницы были высеяны рядовым способом на учетные делянки с междурядьями 15 см и расстоянием в ряду 1–2 см (общей площадью 14 м^2). Навеску биорегулятора (белкового гидролизатора) растворяли в воде (195 мг/л) и, затем опрыскивали два из пяти рядков учетной делянки каждого сорта (площадью 1,0 м^2) пшеницы белковым гидролизатором в трехкратной повторности. Контрольными являлись три рядка пшеницы – без внесения биорегулятора.

Схема опыта

1.Контроль (без внесения биорегулятора), К.

3.Биорегулятор – 25 кг/га (195 г на делянку), СТР.

Размер делянки 14 м^2, расстояние между рядами 15 см.

Была проведена оценка продуктивности мягкой пшеницы, выращенной с применением биорегулятора. Полученные данные представлены в таблице 1.

КОПИЯ ВЕРНА

Директор мегафакультета БТиНС
Беранов И.В.

Таблица 1. Продуктивность мягкой пшеницы при применении в период вегетации биорегулятора роста и развития сельскохозяйственных культур

Образец	Варианты опыта	Высота растения, см	Пред. кустистость	Общ. кустистость	Длина колоса, мм	Масса вегетативной части, г	Число колосков в колосе, шт.	Число зерен в колосе, шт.	Масса 1000 зерен, г	Урожайность, т/га
Ленинградская 97, к-62935	Контроль	44,0	1,0	1,6	38,0	1,5	12,1	20,1	25,5	1,1
	СТР	43,8	1,1	2,3	40,8	1,9	13,5	22,1	30,4	1,4
к-32666	Контроль	55,9	1,0	1,2	60,0	1,3	12,2	17,9	30,0	1,1
	СТР	51,9	1,1	2,1	45,8	2,4	10,5	23,3	25,6	1,3
Памяти Юдина, к-65243	Контроль	45,7	1,4	2,0	48,8	1,9	10,7	11,1	36,2	1,0
	СТР	54,4	1,3	2,0	55,7	2,1	11,5	18,5	37,2	1,8
Уралосибирская, к-65244	Контроль	41,6	1,0	1,6	53,3	1,5	12,3	23,0	33,7	1,6
	СТР	50,8	1,2	2,0	68,0	2,1	14,0	25,5	41,4	2,4
Тюменская 29, к-65247	Контроль	61,9	2,2	2,4	65,0	2,5	12,7	21,3	36,7	3,1
	СТР	62,6	2,0	2,4	76,5	2,6	15,0	26,0	38,2	3,5
Тюменская 30, к-65248	Контроль	62,3	1,3	2,0	66,3	2,7	11,8	21,3	36,8	2,0
	СТР	65,5	1,4	2,0	73,6	2,7	14,3	24,1	37,4	2,4
Ульяновская 100, к-65250	Контроль	53,6	1,1	1,6	65,0	1,9	12,5	20,3	36,3	1,6
	СТР	57,7	1,1	2,0	71,7	2,5	10,6	16,3	30,3	1,0
Вилитка, к-65443	Контроль	40,5	1,2	2,3	45,0	2,0	13,3	28,3	36,0	2,3
	СТР	48,1	1,2	2,3	65,0	2,4	13,8	26,8	40,5	2,5
Кампания, к-65445	Контроль	45,2	1,0	1,6	71,7	1,5	14,7	31,4	36,5	2,3
	СТР	47,4	1,0	1,8	80,0	1,7	13,3	29,0	35,4	2,1
ЛП-588-1-06, к-65446	Контроль	39,4	1,4	2,0	38,1	1,6	11,5	17,4	34,3	1,8
	СТР	46,9	1,3	2,3	45,7	2,1	13,8	29,0	35,1	2,7
Амурская краснозерная, к-32095	Контроль	42,9	1,3	2,0	40,0	1,4	10,1	16,6	27,2	1,1
	СТР	51,5	1,3	1,8	46,7	1,9	11,7	21,7	22,5	1,2
Тулайковская 108, к-65452	Контроль	49,4	1,2	2,6	60,0	2,6	14,3	21,6	38,2	1,9
	СТР	53,1	1,6	2,6	67,1	2,7	17,1	28,1	44,7	3,9
Тулайковская 110, к-65454	Контроль	60,8	1,2	2,1	61,4	2,3	12,8	24,1	35,6	2,2
	СТР	61,6	1,5	1,8	62,8	2,3	12,3	23,5	36,4	2,1
Краснуфимская 110, к-65478	Контроль	65,7	1,4	1,8	85,6	2,6	11,9	24,7	31,6	2,1
	СТР	69,3	1,5	2,0	83,3	2,8	14,9	29,4	42,0	3,7
Всего	Контроль	50,6	1,3	1,9	57,2	2,0	12,3	21,3	33,8	1,8
	СТР	54,6	1,3	2,1	63,9	2,3	13,4	25,0	35,7	2,3

По отношению к контрольным образцам максимальные значения показателей продуктивности мягкой пшеницы наблюдались для вариантов, выращенных с применением биорегулятора. Необходимо отметить, что для этого же варианта исследований отмечено увеличение биологической урожайности, которая, по отношению к контролю, составила 28,5%.

ВЫВОДЫ:

1. Внесение белкового гидролизата спилка гольевого говяжьего повысило биологическую урожайность пшеницы на 28,5% по сравнению с контролем за счет, в частности, роста длины колоса (на 11,8%), числа зерен в колосе (на 17,3%), массы 1000 зерен (на 5,4%), что доказывает эффективность биорегулятора. Кроме того, в вариантах опыта, где был применен белковый гидролизат, интенсивность развития гельминтоспориозной корневой гнили снизилась на 11,9%, септориоза на 15,6%, бурой ржавчины на 3,6%. Зафиксировано увеличение в среднем на 84,6% содержания в листьях пшеницы общего азота.
2. Эффективность белкового гидролизата спилка гольевого говяжьего в сильной степени зависела от сорта мягкой пшеницы.

Представители:

ФГБОУ ВО СПбГАУ

Колесников Л.Е.

Разумова И.Е.

Университета ИТМО

Кременевская М.И.

Успенская М.В.

Байдакова М.В.

Язева Е.О.

Денисов Т.С.

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

СВИДЕТЕЛЬСТВО

К ЗОЛОТОЙ МЕДАЛИ

НАГРАЖДАЕТСЯ

ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики»

«За достижение в области инноваций АПК»

АГРОРУСЬ

МИНИСТР
СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Д. Н. ПАТРУШЕВ

2019
САНКТ-ПЕТЕРБУРГ

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГРАН-ПРИ

НАГРАЖДАЕТСЯ

За активное участие в 28-й международной агропромышленной выставке «Агрорусь-2019»

Университет ИТМО

Россия, Санкт-Петербург

АГРОРУСЬ

МИНИСТР
СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Д. Н. ПАТРУШЕВ

2019
САНКТ-ПЕТЕРБУРГ

ОПИСАНИЕ ИННОВАЦИОННОЙ РАЗРАБОТКИ,

представляемой на Международную агропромышленную выставку

«АГРОРУСЬ» - 2019

БИОРЕГУЛЯТОР РОСТА И РАЗВИТИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

Научно-исследовательский центр биоинженерии Университета ИТМО

Разработка и выпуск представленной на конкурс инновационной разработки «Биорегулятор роста и развития сельскохозяйственных культур» направлен на решение задач в рамках, определенных в Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации направлений (утвержденных Указом Президента Российской Федерации от 1 декабря 2016 года № 642), которые позволят получить научные и научно-технические результаты и создать технологии, являющиеся основой инновационного развития внутреннего рынка продуктов и услуг, устойчивого положения России на внешнем рынке и обеспечат, в частности, переход к высокопродуктивному и экологически чистому агро- и аквахозяйству, разработку и внедрение систем рационального применения средств химической и биологической защиты сельскохозяйственных растений.

Коллектив:
Кременевская Марианна Игоревна, к.т.н. доцент
Успенская Майя Валерьевна, д.т.н., профессор
Колесников Леонид Евгеньевич, к.б.н., доцент
Байдакова Марина Викторовна, инженер
Денисов Тимур Сергеевич, инженер
Язева Елизавета Олеговна, студент-магистрант
Разумова Ирина Евгеньевна, аспирант

Аннотация

Биорегулятор роста и развития сельскохозяйственных культур – новый сельскохозяйственный препарат, разработанный на основе сильнонабухающего полиакрилового материала с белковым наполнением для повышения урожайности сельскохозяйственных культур и их устойчивости к неблагоприятным факторам внешней среды. В качестве наполнителя был использован белковый гидролизат, полученный при переработке коллагенсодержащих продуктов вторичной переработки животного происхождения, способствующий предотвращению заболеваний, повышению иммунитета растений в момент образования или накопления стрессовых метаболитов.

Таким образом, с использованием такого нового акрилового сорбента в засушливых регионах можно сократить частоту полива, а также снизить затраты на удобрение почвы.

Научная новизна предлагаемой инновационной разработки:

В процессе работы впервые был применен новый подход к созданию почвенных акриловых композиционных гидрогелевых сорбентов, наполненных белковыми частицами, обладающих высокими функционально-технологическими свойствами и эксплуатационными характеристиками. Исследованы и подобраны технологические и рецептурные параметры создания композиционных гидрогелевых сорбентов с прогнозируемыми свойствами.

Зарубежные аналоги:

1. Гидрогель Stockosorb 660 производства компании Evonik Германия.

Производится как в Германии, так и в США по единой технологии. Рекомендован к применению в садах и огородах, в лесопосадках и в фермерских хозяйствах. Имеет в своём составе не менее 21% легко усвояемого растениями калия. Допускается применение как при новых посадках, так и для старых посадок путём внесения в корневую зону путём проколов. В несколько раз повышает выживаемость растений как в диких условиях, так и в питомниках и культурных садах. Гидрогель увеличивает и ускоряет рост растений за счёт сбалансированной оптимальной влажности грунта вокруг корней. Цена -1090 р за 1 кг.

2. Гидрогель Aquasorb производства компании SNF Франция

Гидрогель является суперабсорбентом (SAP), который имеет высокое качество, соответствует всем экологическим нормам и международным требованиям. Имеет большую стабильность при внесении в почву и сохраняет свои качества не менее 5 лет. Поставляется в более чем 50 стран мира на всех континентах. Производится как в Европе, так и в Америке и Азии. Фракция S представляет собой муку размером 0,02-0,2мм. Используется для дражирования семян, гидропосеве и как поливочный для длительного сохранения влажности в поверхностном слое почвы при поливе в случае, когда по каким-то причинам гидрогель не был внесён в почву при полевых работах. В поливочном варианте, гидрогель применяется для сохранения газонной травы и цветников. При этом, не дожидаясь отмирания растений от засухи и пожелтения газонов рекомендуется поливка водой с добавлением гидрогеля. В зависимости от погоды такую обработку надо повторять примерно через 15-30 дней. Цена -990 р за 1 кг

3. Гидрогель Agricultural Grade SAP производства Китай

Имеет в своём составе 18% калия. Имеет большую стабильность при внесении в почву и сохраняет свои качества не менее 5 лет. Поставляется в более чем 20 стран мира на разных континентах, включая европейские страны и США. Фракция Мелкий представляет собой сухие гранулы размером 0,2-0,8мм. Рекомендуется к применению для выращивания практически всех садово-огородных культур и цветоводства, а также в ландшафтном строительстве и укладке газонов. Применяется также в теплицах и парниках, а также в комнатном горшечном цветоводстве и в вазонах на открытом воздухе. Может быть использован для длительного хранения саженцев и при посадке саженцев и рассады в грунт. Во всех указанных случаях в разы сокращает затраты по поливу, а в большинстве случаев позволяет отказаться от полива полностью. Цена -760 р за 1 кг

Директор НИЦ биоинженерии
д.т.н., профессор _____ М.В. Успенская

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Успенской М.В.
02.12.2019

МИНИСТЕРСТВО
СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

СВИДЕТЕЛЬСТВО
К ЗОЛОТОЙ МЕДАЛИ

НАГРАЖДАЕТСЯ

За достижения в области инноваций в производстве продукции растениеводства

ФГБОУ ВО СПб ГАУ

Продукт: Экологически чистые технологии в оптимизации фитосанитарного состояния посевов и повышения продуктивности пшеницы

МИНИСТР
СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Д. Н. ПАТРУШЕВ

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ / 2021

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

УТВЕРЖДАЮ
Ректор ФГБОУ ВО СПбГАУ,
доктор ветеринар. наук
В.Ю. Морозов
«24» августа 2021 г.

ОПИСАНИЕ

К ЗАЯВКЕ НА УЧАСТИЕ В КОНКУРСЕ «ЗОЛОТАЯ МЕДАЛЬ»
XXX международной агропромышленной выставки АГРОРУСЬ - 2021
в номинации:

ЗА ДОСТИЖЕНИЯ В ОБЛАСТИ ИННОВАЦИЙ
В ПРОИЗВОДСТВЕ ПРОДУКЦИИ РАСТЕНИЕВОДСТВА

название экспоната:

«Экологически чистые технологии в оптимизации фитосанитарного состояния посевов и повышения продуктивности пшеницы»

СОГЛАСОВАНО
Проректор по научной,
инновационной и международной
работе, доктор с.-х. наук
Н.А. Цыганова
«24» августа 2021 г.

Декан факультета агротехнологий
почвоведения и экологии,
кандидат с.-х. наук
А.Г. Орлова
«24» августа 2021 г.

Санкт-Петербург, Пушкин
2021

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

1. Заведующий кафедрой Защиты и карантина растений Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет», канд. биол. наук, доцент	Л.Е. Колесников
2. Ведущий научный сотрудник лаборатории микробиологической защиты растений Федерального государственного бюджетного научного учреждения "Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений", доктор биол. Наук	И.И. Новикова
3. Старший научный сотрудник лаборатории микробиологической защиты растений Федерального государственного бюджетного научного учреждения "Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений», канд. биол. Наук	Э.В. Попова
4. Директор международного научного центра Биоинженерии Университета ИТМО, доктор технических наук, профессор	М.В. Успенская
5. Доцент факультета биотехнологий Университета ИТМО, доктор технических наук, доцент	М.И. Кременевская
6. Профессор математико-механического факультета Санкт-Петербургского государственного университета, доктор ф.-м. наук, профессор	Е.К. Колесников
7. Заведующий сектором биофизики растений Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Агрофизический научно-исследовательский институт», кандидат технических наук, ст. научный сотрудник	Н.С. Прияткин
8. Зав. отделом генетических ресурсов пшениц Федерального исследовательского центра «Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова», канд. с.-х. наук	Е.В. Зуев
9. Научный сотрудник отдела интродукции Федерального исследовательского центра «Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова», канд. с.-х. наук	Ю.Р. Колесникова
10. Научный сотрудник отдела генетических ресурсов пшениц Федерального исследовательского центра «Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова»	Е.Ю. Кудрявцева

XV ЮБИЛЕЙНЫЙ МЕЖДУНАРОДНЫЙ БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ФОРУМ-ВЫСТАВКА «РОСБИОТЕХ»

26-28 апреля 2022 г.

Диплом

НАГРАЖДАЕТСЯ

Золотой медалью

Санкт-Петербургский государственный аграрный университет

Ресурсосберегающие системы управления фитосанитарным состоянием агробиоценозов и программирование урожайности пшеницы в изменяющихся условиях Северо-Запада

Колесников Л.Е., Павлюшин В.А., Новикова И.И., Попова Э.В., Кременевская М.И., Колесников Е.К., Белимов А.А., Прияткин Н.С., Зуев Е.В.

Председатель Программного комитета, академик РАН А.Б. Лисицын

Инноватика Экспо

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации

ЗОЛОТАЯ ОСЕНЬ 2023

XXV РОССИЙСКАЯ АГРОПРОМЫШЛЕННАЯ ВЫСТАВКА

ДИПЛОМ

НАГРАЖДАЕТСЯ

БРОНЗОВОЙ МЕДАЛЬЮ

ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский ГАУ,
г. Пушкин

За внедрение экологически безопасных систем управления продукционным процессом и фитосанитарным состоянием агробиоценозов зерновых культур

МИНИСТР СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Д.Н. ПАТРУШЕВ

Министерство сельского хозяйства
Российской Федерации
федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение
высшего образования
**«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО СПбГАУ)**

Петербургское шоссе, д. 2, лит. А
город Пушкин, Санкт-Петербург, 196601
Тел/факс (812) 470-04-22
E-mail: agro@spbgau.ru
ОКПО 00493356 ОГРН 1027808999239
ИНН 7820006490 КПП 782001001

13.10.2023 № 3607

На № _____ от _____

СПРАВКА-ПОДТВЕРЖДЕНИЕ

Дана исполнителям проекта «*Экологически безопасные системы управления продукционным процессом и фитосанитарным состоянием агробиоценозов зерновых культур на Северо-Западе РФ*», удостоенного Бронзовой медали «За успешное внедрение инноваций в сельском хозяйстве» в рамках 25-ой Российской агропромышленной выставки «Золотая осень-2023» в номинации: «Инновационные разработки в области агробиотехнологии»:

- Заведующий кафедрой защиты и карантина растений Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет», канд. биол. наук, доцент *Л.Е. Колесников*
- Главный научный сотрудник, руководитель лаборатории микробиологической защиты растений Федерального государственного бюджетного научного учреждения "Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений", доктор биол. наук, профессор, академик РАН, заслуженный деятель науки Российской Федерации
  В.А. Павлюшин
- Ведущий научный сотрудник лаборатории микробиологической защиты растений Федерального государственного бюджетного научного учреждения "Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений", доктор биол. наук *И.И. Новикова*
- Старший научный сотрудник лаборатории микробиологической защиты растений Федерального государственного бюджетного научного учреждения "Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений», канд. биол. наук *Э.В. Попова*
- Доцент факультета биотехнологий Университета ИТМО, доктор технических наук, доцент *М.И. Кременевская*
- Профессор математико-механического факультета Санкт-Петербургского государственного университета, доктор ф.-м. наук, профессор *Е.К. Колесников*
- Заведующий лабораторией ризосферной микрофлоры Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной микробиологии», доктор биол. наук *А.А. Белимов*

- Заведующий сектором биофизики растений Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Агрофизический научно-исследовательский институт», кандидат технических наук, ст. научный сотрудник *Н.С. Приткин*
- Главный научный сотрудник ФГБНУ «Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук» (СЗЦППО-СПбФИЦ РАН), доктор биол. наук, профессор *М.В. Архипов*
- Зав. отделом генетических ресурсов пшениц Федерального исследовательского центра «Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова», канд. с.-х. наук *Е.В. Зуев*
- Научный сотрудник отдела интродукции растений Федерального исследовательского центра «Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова», канд. с.-х. наук *Ю.Р. Колесникова*
- Ассистент кафедры защиты и карантина растений Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет» *Д.Ю. Радишевский*

Проректор по научной, инновационной
и международной работе _____ Р.О. Колесников

XVII МЕЖДУНАРОДНЫЙ БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ФОРУМ «РОСБИОТЕХ 2024»
17-19 апреля 2024 г., Москва

ФНЦ ПИЩЕВЫХ СИСТЕМ ИМ. В.М. ГОРБАТОВА РАН

РСПП

ФИЦ БИОТЕХНОЛОГИИ РАН

ДИПЛОМ

НАГРАЖДАЕТСЯ ЗОЛОТОЙ МЕДАЛЬЮ

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет»

Модели управления динамикой развития особо опасных болезней зерновых культур на Северо-Западе РФ

Колесников Л.Е., Павлюшин В.А., Новикова И.И., Попова Э.В., Кременевская М.И., Колесников Е.К., Белимов А.А., Прияткин Н.С., Колесникова Ю.Р.

Председатель Оргкомитета Форума, Заместитель академика-секретаря ОНИТ РАН, академик РАН

А.С. Сигов

XVII МЕЖДУНАРОДНЫЙ БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ФОРУМ «РОСБИОТЕХ 2024»
17-19 апреля 2024 г., Москва

ФНЦ ПИЩЕВЫХ СИСТЕМ ИМ. В.М. ГОРБАТОВА РАН

РСПП

ФИЦ БИОТЕХНОЛОГИИ РАН

ДИПЛОМ

НАГРАЖДАЕТСЯ ЗОЛОТОЙ МЕДАЛЬЮ

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет»

Разработка инновационной технологии предпосевной обработки семян зерновых культур в электрическом поле переменного напряжения и с использованием непрерывного полупроводникового лазерного излучения

Радишевский Д.Ю., Солодянников М.Д., Черникова Н.В., Яхъяев Г.Г.Р., Колесников Л.Е., Юдаев И.В., Казакова А.С., Фокина М.И., Зуев Е.В., Колесникова Ю.Р.

Председатель Оргкомитета Форума, Заместитель академика-секретаря ОНИТ РАН, академик РАН

А.С. Сигов

ИННОВАТИКА ЭКСПО

Регистрационная карта научно-исследовательской работы ЕГИСУ НИОКТР по госзаданию Министерства сельского хозяйства РФ

Форма направления сведений о начинаемой научно-исследовательской, опытно-конструкторской и технологической работе гражданского назначения

Номер государственного учета научно-исследовательской, опытно-конструкторской и технологической работы гражданского назначения (далее – НИОКТР)	**Дата направления сведений о начинаемой НИОКТР**
122011300483-3	14.01.2022

Наименование НИОКТР

Моделирование влияния агроэкологических факторов на развитие возбудителей болезней зерновых культур и определение возможности повышения урожайности мягкой пшеницы в изменяющихся условиях Северо-Запада Российской Федерации

Код (шифр) научной темы, присвоенной учредителем (организацией)

139

Приоритетные направления развития науки, технологий и техники Российской Федерации[1], утвержденные Указом Президента Российской Федерации от 7 июля 2011 г. № 899 «Об утверждении приоритетных направлений развития науки, технологий и техники в Российской Федерации и перечня критических технологий Российской Федерации»(Собрание законодательства Российской Федерации, 2011, № 28, ст. 4168; 2015, № 51, ст. 7313) (далее соответственно – Указ Президента Российской Федерации от 7 июля 2011 г. № 899 и перечень)

Нет данных

Критические технологии Российской Федерации[2] согласно перечню, утвержденному Указом Президента Российской Федерации от 7 июля 2011 г. № 899

Нет данных

Приоритетные направления Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации[3], утвержденные Указом Президента Российской Федерации от 1 декабря 2016 г. № 642 «О стратегии научно-технологического развития Российской Федерации» (Собрание законодательства Российской Федерации, 2016, № 49, ст. 6887)

г) переход к высокопродуктивному и экологически чистому агро- и аквахозяйству, разработку и внедрение систем рационального применения средств химической и биологической защиты сельскохозяйственных растений и животных, хранение и эффективную переработку сельскохозяйственной продукции, создание безопасных и качественных, в том числе функциональных, продуктов питания;

Сведения о Заказчике или Фонде

Организация				
Общероссийский классификатор организационно -правовой формы (далее – ОКОПФ)[15]	Наименование организации	Сокращенное наименование организации	Учредитель (ведомственная принадлежность)[16]	Основной государственный регистрационный номер (далее – ОГРН)
75104 : Федеральные государственные казенные учреждения	МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ	МИНСЕЛЬХОЗ РОССИИ	1325000 : Министерство сельского хозяйства Российской Федерации	1067760630684

Сведения об Исполнителе

Организация				
Общероссийский классификатор организационно -правовой формы (далее – ОКОПФ)[15]	Наименование организации	Сокращенное наименование организации	Учредитель (ведомственная принадлежность)[16]	Основной государственный регистрационный номер (далее – ОГРН)
75103 : Федеральные государственные бюджетные учреждения	ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ "САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ"	ФГБОУ ВО СПБГАУ	1325000 : Министерство сельского хозяйства Российской Федерации	1027808999239

Сведения о соисполнителях

Нет данных

Руководитель работы

Фамилия	Имя	Отчество	Должность	Ученая степень	Ученое звание	Подпись
Колесников	Леонид	Евгеньевич	зав.кафедрой	Доктор биологических наук	Доцент	

СНИЛС	ИНН	Гражданство	Дата рождения	WOS Research ID	Scopus Author ID
02423669131	782031232799	РОССИЯ	09.02.1972	ABA-9836-2020	7004700574

Идентификационный номер в системе Российского индекса научного Цитирования (при наличии)	ORCID	Ссылка на web-страницу (при наличии)
76999	Нет данных	

Руководитель организации-исполнителя

Фамилия	Имя	Отчество	Должность	СНИЛС	ИНН	Гражданство	Подпись
Морозов	Виталий	Юрьевич	ректор	06675144282	262571466[illegible]	РОССИЯ	

ФГАНУ «Центр информационных технологий и систем органов исполнительной власти» Зарегистрировано в государственном информационном фонде неопубликованных документов

М.П.