

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ НАУЧНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ «НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР ЗЕРНА
ИМ. П.П.ЛУКЬЯНЕНКО»**

На правах рукописи



ТАРХОВ АЛЕКСАНДР СЕРГЕЕВИЧ

**СЕЛЕКЦИЯ ПШЕНИЦЫ НА УСТОЙЧИВОСТЬ
К БОЛЕЗНЯМ КОЛОСА И ЛИСТЬЕВ
В СЕВЕРО-КАВКАЗСКОМ РЕГИОНЕ РФ**

4.1.2 Селекция, семеноводство и биотехнология растений

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата сельскохозяйственных наук

Научный руководитель -
доктор сельскохозяйственных
наук, член-корреспондент РАН
Аблова Ирина Борисовна

Краснодар-2025 г.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1 ИЗУЧЕНИЕ И СОЗДАНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР, УСТОЙЧИВЫХ К ФУЗАРИОЗУ КОЛОСА (обзор литературы)	10
1.1 Проблема фузариозов (колоса, початков, зерна, листовых пятнистостей, корневых и стеблевых гнилей) у зерновых культур на современном этапе	10
1.2 Видовой состав возбудителей фузариозов зерновых культур	16
1.3 Экоресурсы, особенности патогенеза, вредоносность различных видов рода <i>Fusarium</i>	21
1.4 Устойчивость и селекционно-генетические методы защиты зерновых колосовых культур от фузариоза колоса.....	30
1.5 Технология селекции пшеницы на устойчивость к фузариозу колоса	37
1.5.1 Методы создания искусственных инфекционных фонов	37
1.5.2 Методы оценки устойчивости пшеницы к фузариозу колоса	41
1.5.3 Методы селекции пшеницы на устойчивость к фузариозу колоса ..	43
2 УСЛОВИЯ ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТОВ, МАТЕРИАЛ, МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ	50
2.1 Почвенно-климатические условия проведения исследований	50
2.2 Материал и методика исследований	64
2.2.1 Методика выделения грибов р. <i>Fusarium</i> в чистую культуру	64
2.2.2 Определение видовой принадлежности грибов р. <i>Fusarium</i>	65
2.2.3 Материал исследований	66
3 РАСПРОСТРАНЕНИЕ И РАЗВИТИЕ ФУЗАРИОЗА КОЛОСА ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР В СЕВЕРО-КАВКАЗСКОМ РЕГИОНЕ РФ	72
3.1 Скрининг распространения и развития фузариоза колоса зерновых культур в Краснодарском крае за период 2006-2023 гг.	72
3.2 Видовой состав возбудителей фузариоза колоса зерновых культур в Краснодарском крае	78

3.3	Культурально-морфологические признаки грибов – основных возбудителей фузариоза колоса	91
4 ИСТОЧНИКИ УСТОЙЧИВОСТИ ПШЕНИЦЫ		
К ФУЗАРИОЗУ КОЛОСА.....101		
4.1	Скрининг образцов пшеницы мировой коллекции по степени поражения фузариозом колоса	101
4.2	Сопряженность устойчивости к фузариозу колоса с морфологическими признаками и биологическими свойствами коллекционных образцов пшеницы	115
4.3	Изучение селекционного материала пшеницы по устойчивости к фузариозу колоса.....	126
4.4	Агроэкологическая стабильность устойчивости сортов пшеницы к фузариозу колоса	134
4.5	Влияние транслокации T2AL.2AS-2NvS, переданной от <i>Aegilops ventricosa</i> на устойчивость пшеницы к комплексу болезней	146
5 НАСЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ПШЕНИЦЫ		
К ФУЗАРИОЗУ КОЛОСА		
5.1	Наследование устойчивости пшеницы к фузариозу колоса в F ₁	151
5.2	Применение ДНК-маркеров для идентификации локуса специфической устойчивости к фузариозу колоса <i>Fhb1</i> (QFhs.ndsu-3BS) от Sumai 3 и характеристика новых доноров устойчивости собственной селекции	153
6 РЕЗУЛЬТАТЫ СЕЛЕКЦИИ ПШЕНИЦЫ НА УСТОЙЧИВОСТЬ		
К ФУЗАРИОЗУ КОЛОСА В НЦЗ ИМ. П.П. ЛУКЪЯНЕНКО.....159		
6.1	Характеристика фузариозоустойчивых сортов пшеницы.....	159
6.2	Характеристика новых фузариозоустойчивых сортов пшеницы, соавтором которых является соискатель	184
ЗАКЛЮЧЕНИЕ		
ПРЕДЛОЖЕНИЯ СЕЛЕКЦИИ И ПРОИВОДСТВУ.....		
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....		
ПРИЛОЖЕНИЯ.....		

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность исследований. Фузариоз колоса и зерна, вызываемые грибами рода *Fusarium* – одно из самых вредоносных микозных заболеваний пшеницы и других зерновых культур, способных при эпифитотийном развитии значительно снижать урожайность (до 30-50%) [Соколов М.С., 1992; Мустафина М.А., Таракановский А.Н., 2018], всхожесть семян и ухудшать хлебопекарные качества муки, загрязняя конечную продукцию опасными микотоксинами [Leslie J.F., Summerell B.A., 2006].

Проблема фузариоза колоса и загрязнения зерна микотоксинами признана всем мировым сообществом, по праву считается глобальной и стоит в центре внимания многих международных организаций. Имеются бесспорные доказательства опасности микотоксинов для здоровья человека и животных [Иващенко В.Г., Шипилова Н.П., Назаровская Л.А., 2004]. Массовое загрязнение партий зерна пшеницы, ячменя, овса и кукурузы фиксируется на всех континентах. Наша страна не является исключением. ФГБУ «ЦОК АПК» отмечает большое количество партий, с содержанием фузариозных зерен и микотоксинов выше ПДУ.

В экологическом плане грибы р. *Fusarium* проявляют удивительную гибкость. Их широкий набор адаптаций позволяет им обитать в почве, сохраняться на растительных остатках, образовывать различные микроструктуры и поражать все органы растений зерновых культур [Walter S., Nicholson P., Doohan F.M., 2010].

Фузариозы на зерновых культурах распространены повсеместно, являются всемирно признанной проблемой и все чаще проявляются более остро из-за глобальной нестабильности климата [Molecular tools to study epidemiology..., 2003]. Северо-Кавказский регион РФ является зоной наиболее частых проявлений фузариоза колоса. Широкое распространение зерновых культур (пшеницы, кукурузы, ячменя, овса и др.) и интенсификация сельского хозяйства приводит к еще большему расширению ареала обитания видов р. *Fusarium* в те

регионы, где ранее они не встречались [Major changes in *Fusarium* spp..., 2003].

Изучение вспышек эпифитотий этих фитопатогенов ведется многими учеными в России и во всем мире уже более века.

Впервые в России об этом заболевании, поражающем колосья и зерно пшеницы, известном под названием «пьяный хлеб», сообщал А.А. Ячевский [1904]. Употребление в пищу продуктов переработки такого зерна и его использование в кормах вызывало поражение нервной системы человека и животных токсинами фузариев, вплоть до смертельного исхода [Чрезвычайная ситуация 2019 г...., 2020].

С середины 1980-х годов фузариоз колоса и зерна перерос в масштабную угрозу для агроэкосистем бывшего Советского Союза и современной России. Наиболее катастрофическая эпифитотия заболевания произошла в 1988 и 1992 гг., когда аномально высокая относительная влажность воздуха в период цветение-налив зерна создала идеальные условия для патогена и поражение колосьев на отдельных полях достигало 70–80%, а распространенность болезни — 17–31% (локально — до 100%) [Грушко Г.В., Линченко С.Н., Хан В.В., 2005].

Невысокая эффективность и ограниченный выбор химических препаратов [Карайванов П., 2020], запрос на снижение пестицидной нагрузки на агроэкосистемы и окружающие биомы, делает селекционно-генетический метод борьбы с фузариозом колоса наиболее приоритетным. Научные исследования, направленные на поиск и создание нового исходного материала, устойчивых высокоурожайных и высококачественных сортов, имеющих высокий адаптационный потенциал к биотическим и абиотическим стрессорам для оптимизации фитосанитарной обстановки, являются актуальными.

Степень разработанности темы исследований.

Одной из основных проблем создания устойчивых к фузариозу колоса сортов пшеницы является ограниченное количество доноров с положительными хозяйственно-ценными признаками и с адаптированной к местным условиям зародышевой плазмой [Van T., 2000]. Осложняет селекцию то, что устойчивость к фузариозу колоса реализуется разными механизмами защиты, имеет

полигенную природу и контролируется множественными локусами количественных признаков (QTL) [Molecular mapping of QTL for Fusarium..., 2002].

Цель исследований. Создать новые доноры устойчивости и сорта пшеницы, резистентные к возбудителям фузариоза колоса.

Задачи исследований:

- изучить ареал фузариоза колоса в Северо-Кавказском регионе РФ и актуализировать видовой состав возбудителей заболевания;
- дать иммунологическую оценку сортам, селекционным линиям, коллекционным образцам пшеницы;
- изучить сопряженность устойчивости к фузариозу колоса с биологическими свойствами, морфологическими характеристиками, хозяйственно-ценными признаками;
- определить характер наследования устойчивости пшеницы к фузариозу колоса;
- создать новые доноры фузариозоустойчивости;
- создать новые сорта пшеницы с эффективными системами самозащиты от фузариоза колоса.

Научная новизна исследований:

- проведена детализация видового состава грибов рода *Fusarium* на пшенице в условиях Северо-Кавказского региона РФ, идентифицировано 6 видов (*F. graminearum*, *F. sporotrichioides*, *F. verticillioides*, *F. culmorum*, *F. cerealis*, *F. tricinctum*) с доминированием *F. graminearum*;
- существенно увеличена номенклатура источников и доноров резистентности при тестировании коллекционных образцов и селекционных линий в условиях искусственного инфекционного фона;
- используя комплексную иммунологическую оценку по устойчивости к фузариозу колоса пшеницы охарактеризованы современные районированные и перспективные сорта, селекционных линии селекции НЦЗ им. П.П. Лукьяненко;

– впервые установлена агроэкологическая стабильность фузариозоустойчивых сортов пшеницы мягкой озимой;

– впервые установлено влияние транслокации T2AL.2AS-2NvS от *Aegilops ventricosa* с генами *Lr37Yr17Sr38* на устойчивость пшеницы к болезням в Северо-Кавказском регионе;

– изучен характер наследования устойчивости к фузариозу колоса у гибридов F₁;

– созданы новые доноры устойчивости к фузариозу колоса;

– в соавторстве созданы 11 сортов пшеницы, внесенные в Госреестр РФ.

Практическая ценность работы. В Северо-Кавказском регионе РФ выявлены зоны высоких рисков фузариозоопасности. Созданы фузариозоустойчивые сорта нового поколения: Буран 88, Вызов, Классика, Песня, Стиль 18, Хит и др. Для кукурузного пояса разработаны фитопатологические запреты. В настоящее время доля фузариозоустойчивых сортов в этой зоне составляет более 70%. Для включения в селекционные программы рекомендованы коллекционные образцы (*Litera, MV Vekni, GK Rozi, Midas, Xiao Yan 107* и др.), селекционные линии (4-98к1-4, 99-622a21-1, 08-336a33, 1848к2-1 и др.) и созданные нами новые доноры с генетическими детерминантами фузариозоустойчивости (170-03f1, 199-05f34, 438f16 и др.).

Методология и методы исследований основаны на анализе научных публикаций, определении исследовательских приоритетов, разработке программы исследований, организации лабораторных и полевых экспериментов, наблюдений, учетов, статистическом анализе данных и интерпретации результатов.

Положения, выносимые на защиту:

- распространение и видовой состав возбудителей фузариоза колоса пшеницы в Северо-Кавказском регионе РФ;

- полиморфизм мирового генофонда коллекционных образцов, селекционных линий и сортов пшеницы селекции НЦЗ им. П.П. Лукьяненко по

устойчивости к возбудителям фузариоза колоса на искусственном инфекционном фоне;

- агроэкологическая стабильность устойчивости к фузариозу колоса сортов пшеницы с высокой степенью самозащиты;

- влияние транслокации T2AL.2AS-2NvS от *Ae. ventricosa* с генами *Lr37Yr17Sr38* на устойчивость пшеницы к болезням в Северо-Кавказском регионе;

- наследование устойчивости к фузариозу колоса у гибридов F₁, характеристика новых доноров с генетическими детерминантами;

- прогресс в селекции пшеницы на устойчивость к ФК, новые сорта с эффективными системами самозащиты от болезни.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы доложены на научно-методических советах в ФГБНУ «НЦЗ им.П.П Лукьяненко» в 2006-2023 гг., на Всероссийских (II, III, IV, V, VIII, IX) научно-практических конференциях молодых ученых «Научное обеспечение агропромышленного комплекса» (Краснодар, КубГАУ, 2008-2017 гг.), Международной научной школе-конференции молодых ученых «Генетика и селекция растений, основанная на современных генетических знаниях и технологиях» (Звенигород, 2008 г.), Международной научно-практической конференции посвященной 50-летию ВНИИБЗР «Биологическая защита растений – основа стабилизации агроэкосистем» (Краснодар, ВНИИБЗР, 2010), Всероссийской научно-практической конференции Кубанского отделения ВоГиС «Генетический потенциал и его реализация в селекции, семеноводстве и размножении растений» (Краснодар, КубГАУ, 2018 г.), на II Международной конференции молодых ученых «Наука и молодежь: фундаментальные и прикладные проблемы в области селекции и генетики сельскохозяйственных культур» (Зерноград, ФГБНУ АНЦ «Донской», 2019 г.), на VII съезде Вавиловского общества генетиков и селекционеров, посвященный 100-летию кафедры генетики СПбГУ, и ассоциированные симпозиумы (Санкт-Петербург, 2019 г.), Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 125-летию

академика Н.В. Цицина (Москва, 2023 г.), на V Всероссийском конгрессе по защите растений (Санкт-Петербург, 2024 г.), Международном конгрессе «VIII съезд Вавиловского общества генетиков и селекционеров, посвященный 300-летию российской науки и высшей школы», (Санкт-Петербург, 2024 г.).

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 29 научных статей, в том числе: 4 – в рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК РФ, 1 – в издании, индексируемом в международных базах данных Web of Science и Scopus. Получены 11 патентов на селекционные достижения РФ.

Объем и структура диссертации. Диссертация состоит из введения, 6 глав, заключения, предложений селекционной практике и производству, списка литературы и приложений; содержит 243 страницы компьютерного текста, 70 таблиц и 47 рисунков. Библиографический список включает 346 источников, из них 203 – работы иностранных авторов.

Личный вклад автора отражен в применении методологии селекционно-иммунологической работы: создании искусственных инфекционных фонов, использовании методик выделения грибов в чистую культуру, их идентификации по культурально-морфологическим признакам и свойствам; осуществлении сбора и наработки инфекционного материала, способов его хранения; применении методов инокуляции растений и тестирования устойчивости сортов, селекционных линий, коллекционных образцов, а также использовании техники гибридизации для создания источников и доноров устойчивости к возбудителям фузариоза колоса и получения на их основе устойчивых сортов; применении методов статистики для обработки данных.

1 ИЗУЧЕНИЕ И СОЗДАНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР, УСТОЙЧИВЫХ К ФУЗАРИОЗУ КОЛОСА (обзор литературы)

1.1 Проблема фузариозов (колоса, початков, зерна, листовых пятнистостей, корневых и стеблевых гнилей) у зерновых культур на современном этапе

Фузариозы зерновых культур, вызываемые грибами рода *Fusarium*, в настоящее время являются особо опасными и вредоносными заболеваниями, которые могут вызывать негативные последствия как в форме прямых потерь урожая [Торопова Е.Ю., Стецов Г.Я., Чулкина В.А., 2011], так и косвенных, вследствие ухудшения посевных [Шашко М.Н., Будевич Г.В., Шашко Ю.К., 2002] и хлебопекарных качеств зерна [Оценка хлебопекарных качеств зерна..., 2005] и контаминацию его различными по химической природе фузариотоксинами [Захаренко В.А., 1993; Способность сортов пшеницы, тритикале и ячменя..., 2007]. Токсичные метаболиты фузариев представляют опасность для здоровья человека и теплокровных животных [Marasas W.F.O., 1991; О накоплении зеараленона..., 2015] из-за способности вызывать у них нервные расстройства, подавлять иммунную систему, снижать репродуктивную способность [D’Mello J.P.F., Placinta C.M., Macdonald A.M.C., 1999; Desjardins A.E., 2006].

В результате повсеместного распространения грибов рода *Fusarium* и заражения их пропагулами зерновой продукции, вместе с загрязнением ее микотоксинами, проблема фузариозов приобретает международный характер [Lipps P.E., 1996]. Различными исследователями освещена проблема распространения фузариозов в посевах зерновых культур многих стран мира - Швеции [Deoxynivalenol and other selected *Fusarium*..., 2013], Норвегии [Statistical analysis of agronomical factors..., 2011; Less *Fusarium* infestation and mycotoxin..., 2010], Японии [*Fusarium poae* and *Fusarium crookwellense*..., 1993;

Aoki T., O'Donnell K., Ichikawa K., 2001], США [Ali S., Francl L., 2001]. D.W. Parry и др. [1995] изучали проблему фузариозов в странах Европы (Великобритании, ФРГ, Франции и др.), Китае, Австралии и Бразилии; в Белоруссии данной проблемой занимались С.Ф. Буга и др. [2000] и М.Н. Шашко [2002], в Украине - Е.А. Клечковская, [1999] и Л.О. Крючкова с соавторами [Крючкова Л.О., Райчук Л.В., Михайленко С.В., 2001]. В России фузариозы исследовали М.М. Левитин [2002], В.Г. Иващенко и др. [Иващенко В.Г., Шипилова Н.П., Назаровская Л.А., 2004], Т.Ю. Гагкаева [2009]. М.Р. McMullen с коллегами предполагает, что экономические потери от фузариоза колоса в США могут превысить один миллиард долларов в год [Unified effort to fight an enemy..., 2012].

Фузарии способны принимать активное участие в разложении органических остатков и играют важную роль в почвообразовательном процессе, участвуя в процессах деградации целлюлозы, лигнина и других субстратов [Goyal S., Ramawat K.G., Mérillon J.M., 2016]. Некоторые виды способны поражать млекопитающих животных, человека и насекомых [Methods for evaluating pesticides..., 1986; Mikunthan G., Manjunatha M., 2006].

Грибы р. *Fusarium* могут поражать любой орган растения, вызывая поражение стеблей и початков, ожоги листьев, паршу колоса, если условия для его развития благоприятные и присутствует восприимчивый хозяин. Американские фитопатологи S. Ali и L. Francl [2001] идентифицировали гриб *F. graminearum* в листьях пшеницы с симптомами пятнистостей.

Хорошо известна способность грибов *F. graminearum* и *F. verticillioides* поражать початки кукурузы, поврежденные кукурузным мотыльком [Иващенко В.Г., Шипилова Н.П., Левитин М.М., 2000], либо хлопковой совкой [Munkvold G.P., Desjardins A.E., 1997].

Т.Ю. Гагкаева с соавторами отразили в своей работе примеры коэволюции грибов рода *Fusarium* и насекомых, формирование разнообразных форм взаимоотношений между ними [Биология взаимоотношений..., 2014]. Существует ряд публикаций, рассматривающих вредителей запасов [Сантин, Е., 2006], трипсов (*Limothrips*), тлей (*Sitobion*), клещей (*Siteroptes graminum*, *S.*

avenae) [Pettersson H., Olvang H., 1997] в качестве переносчиков фитопатогенных микромицетов.

Изучая стеблевые гнили кукурузы, вызванные фузариями, исследователи пришли к выводу, что инокуляция грибом *F. verticillioides* может проходить двумя путями: системно – по сосудисто-проводящей системе и локально – через узлы [Murillo-Williams A., Munkvold G.P., 2008; Root Infection and Systematic..., 2011; Иващенко В.Г., 2012].

На территории Республики Беларусь степень поражения пшеницы корневой гнилью фузариозной этиологии достигает 34,5 %. Состав доминирующих видов грибов рода *Fusarium*, вызывающих корневую гниль озимой пшеницы, варьирует в зависимости от вегетационного сезона и региона возделывания культуры [Крупенько Н.А., 2019].

В России эпифитотии корневой гнили пшеницы, вызванные грибами р. *Fusarium*, систематически возникают во всех регионах, где возделывают пшеницу и при поражении корневой системы растений могут приводить к гибели продуктивных стеблей [Гагкаева Т.Ю., Дмитриев А.П., Павлюшин В.А., 2012 б]. Недобор урожая от болезни ежегодно может составлять 10-15 %, в отдельных случаях более 30% [Источники устойчивости..., 2012]. Так, в Поволжском, Уральском, Волго-Вятском, Центральном, Центрально-Черноземном, Западно-Сибирском регионах эпифитотии корневой гнили повторяются с частотой 3-6 раз в 10 лет [Кошелева А.Б., Нижарадзе Т.С., 2008]. В Оренбургской области в 2013-2014 гг. частота встречаемости изолятов *Fusarium spp.*, выделенных из корней пшеницы озимой и яровой, составляла 11,1% [Видовое соотношение возбудителей корневой гнили..., 2017]. Микотоксикологический анализ овса в Северо-Западном регионе России ежегодно выявляет высокую зараженность [Зараженность грибами рода *Fusarium*..., 2009 а]. В Ленинградской области на территории Волосовского государственного сортоучастка ежегодно отмечается относительно высокая зараженность зерна фузариозом [Фузариоз зерновых культур..., 2009 б].

Один из возбудителей фузариоза колоса – гриб *F. graminearum* – рассматривается многими фитопатологами, как преобладающий патоген в агроэкосистемах Северной Америки (США, Канада), Центральной и Восточной Европы (Австрия, Германия, Польша, Венгрия, Румыния), Австралии, а также в южных областях Украины и России (включая Приморье). Данный фитопатоген встречается повсеместно в основных аграрных зонах, кроме зерновых культур может поражать сахарную свеклу [Hanson L.E., 2006], бобы [Reaction of dry bean genotypes..., 2007], картофель [*Fusarium graminearum* as a dry..., 2010], сою [Natural deoxynivalenol occurrence..., 2012]. Используемые в севообороте как предшественники перед зерновыми, эти культуры способны своими пораженными растительными остатками насыщать почву инокулюмом.

На отсутствие узкой специализации грибов р. *Fusarium* указывал и R.R. Burlakoti с соавторами [Genetic relationships among populations..., 2008]. В их опытах изоляты *F. graminearum* выделенные из разных растений (картофеля и пшеницы) поражали колосья пшеницы с одинаковой эффективностью.

Если *F. graminearum* встречается в странах с теплым климатом, то в холодных морских регионах Северо-Западной Европы преобладает *F. culmorum* [Parry D.W., Jenkinson P., McLeod L., 1995]. Из всех видов фузариев они наиболее агрессивны и продуцируют микотоксины дезоксиниваленол и зеараленон, однако *F. graminearum* контаминирует зерно в больших количествах [In vitro and in vivo mycotoxin..., 2008].

В последние десятилетия наблюдается значительное увеличение ареала *F. graminearum* в более северных регионах возделывания зерновых культур - Норвегия, Швеция [An adaptive evolutionary shift in *Fusarium*..., 2008]. Другие исследователи отмечали рост популяции этого гриба в комплексе видов р. *Fusarium* в центральной и восточной Канаде [*Fusarium* species and 8-keto-trichothecene..., 1998; Eastern Canada *Fusarium*..., 2003].

Ранее опубликованные исследования показали, что фузариоз колоса - заболевание, которое ежегодно наносит значительный вред пшенице и ячменю на юге Бразилии [A regional study on trichothecene..., 2016]. В Китае каждый год

происходят вспышки эпифитотий фузариозной этиологии, особенно в средне-нижней долине Янцзы, в долине Хуай и в южной долине Хуан-Хуай – это традиционно «горячая точка» в плане фузариозных эпифитотий, которые приводят к значительным потерям урожая и контаминации его фузариотоксинами [Yang Z., 1994; Chen P., Liu D., Sun W., 1996; Shi J., 2016].

Проводя исследования фузариозов на образцах зерна твердой пшеницы в Северной, Центральной и Южной Италии в 2013-2014 гг. S. Somma с соавторами сообщали о повышенном уровне токсинов Т-2, НТ-2, дезоксиниваленола (ДОН) и зеараленона [Emerging risk of T-2 and HT-2..., 2016]. Наиболее распространенными видами в Южной Италии были *F. graminearum sensu stricto*, продуцирующий дезоксиниваленол, и *F. langsethiae*, продуцирующий Т-2 и НТ-2 токсины.

В России грибы р. *Fusarium*, вызывающие фузариозы, изучают более 120 лет. Впервые вспышки этого опасного заболевания на Дальнем Востоке были отмечены М.В. Ворониным [1890] и Н.А. Пальчевским [1891]. В дальнейшем, изучение и описание многих особенностей биологии грибов, способов снижения их вредоносности, сохранения урожая, было продолжено выдающимися русскими учеными А.А. Ячевским [1933], И.Н. Абрамовым [1938], С.М. Тупеневичем [1936].

Изучая разнообразие грибов рода *Fusarium*, В.Г. Иващенко с соавторами [Иващенко В.Г., Шипилова Н.П., Назаровская Л.А., 2004] выделили в России два основных ареала обитания *F. graminearum*, в которых возможны мощные вспышки эпифитотий фузариоза - Северный Кавказ и Дальний Восток. Потенциально опасными зонами, то есть зонами с высокой скрытой зараженностью семян являются Северо-Западный регион, Алтайский край и, в отдельные годы, Волго-Вятский регион и Свердловская область. При благоприятных для развития патогенов условиях болезнь может наблюдаться в Центральном и Центрально-Черноземном регионах [Иващенко В.Г., Шипилова Н.П., Левитин М.М., 2000].

Первое упоминание о поражении зерновых культур фузариозом в условиях Северо-Кавказского региона отмечено З.С. Чернецкой [1932]. Впоследствии эпифитотии в Краснодарском и Ставропольском краях, части Ростовской области отмечались в 1933 г. и были описаны Л.Л. Проничевой [1935] и Е.С. Квашниной [1938]. Им удалось идентифицировать 14 видов, среди которых доминирующую роль отдавали *F. graminearum*.

Впоследствии, в 1980 гг. А.Г. Леонов с соавторами [Токсигенность изолятов..., 1990] описал обширное распространение и стремительное развитие фузариоза зерновых культур, причиной которого стала интенсификация возделывания сортов с высоким потенциалом продуктивности и крайне благоприятные погодные условия для патогена.

Ряд авторов отмечали нарастание фузариоза колоса в 80 гг. в Ростовской области [Фузариоз колоса на Северном Кавказе, 1990]. В Краснодарском крае отмечали несколько крупных эпифитотий, происходивших в 1988, 1989, 1991 и 1992 г. [Павлова Г.В., Измалкова А.Г., 1995]. Эпифитотийное развитие болезни регистрировалось в большинстве зерносеющих районов Краснодарского края, и в отдельные годы достигало 70%.

Исследования патогенного комплекса, вызывающего фузариоз колоса, проведенные в Национальном центре зерна имени П.П. Лукьяненко (Краснодарский край), выявили лидирующую роль вида *F. graminearum* среди других фитопатогенов [Аблова И.Б., 1998].

В период 2006-2011 гг. проводились обследования посевов озимой пшеницы в разных районах Краснодарского края и фузариоз колоса отмечался повсеместно и ежегодно, за исключением острозасушливого 2007 г. [Тархов А.С., Аблова И.Б., Бойко А.П., 2012].

Анализ на содержание фузариотоксинов в зерне озимой пшеницы, выращенной в 2010 г. в Краснодарском и Ставропольском краях, проведенный при использовании иммуноферментного метода, показал большое поражение зерна инфекцией фузариозной этиологии [Гагкаева Т.Ю., Ганнибал Ф.Б., Гаврилова О.П., 2012 а].

1.2 Видовой состав возбудителей фузариозов зерновых культур

Исследованием таксономии рода *Fusarium* в разные годы занимались Г.В. Волленвебер и О.А. Рейнкинг [Wollenweber H.W., Reinking O.A., 1935], В.К. Снайдер и Г.Н. Хансен [Snyder W.C., Hansen H.N., 1940], Райлло [1950], Билай [1977], К. Бус [Booth C., 1971], В. Герлах и Х. Ниренберг [Gerlach W., Nirenberg H., 1982], П.Е. Нельсон [Nelson P.E., Toussoun T.A., Marasas W.F.O., 1983], Д.Ф. Лэсли и Б.А. Саммерелл [Leslie J.F., Summerell B.A., 2006]. Они предлагали таксономические системы с разным количеством видов, основанные на характеристиках высоко изменчивых морфологических структур грибов этого рода.

Из-за высокой вариативности микроструктур фузариев видовая идентификация рода *Fusarium* в систематическом отношении порой вызывает трудности [Гагкаева Т.Ю., 2011; Генетический полиморфизм..., 2016].

Ранее грибы р. *Fusarium* относили к классу Deuteromycota - несовершенные грибы. Систематическое положение этого рода изменилось и это отражено в международном Кодексе ботанической номенклатуры для водорослей, грибов и растений [The Amsterdam Declaration..., 2011], по которому род *Fusarium* относится к классу *Ascomycetes*, подклассу *Sordariomycetidae*, порядку *Hypocreales*, семейству *Nectriaceae*.

Большой вред зерновым культурам наносят грибы р. *Fusarium*, принадлежащие комплексам видов *F. fujikuroi* и *F. graminearum*. Патогенные виды, составляющие комплекс *F. fujikuroi* (*F. verticillioides* и *F. proliferatum*) оказывают большое негативное влияние на возделывание сельскохозяйственных культур из разных ботанических семейств [Гагкаева Т.Ю., 2011].

Виды комплекса *F. fujikuroi* имеют характерный профиль продуцирования токсических метаболитов, таких как гиббереллиновая и фузариевая кислоты, монилиформин, фузарин С и фумонизины [Fusarium andiyazi so. nov..., 2001; Bottalico A., Perrone G., 2002; Rheeder J.P., Marasas W.F.O., Vismer H.F., 2002; Infection and fumonisin production..., 2004].

Эволюционно родственный вид *F. fujikuroi* (Nirenberg), широко распространенный на рисе, признан ключевым продуцентом фитогормона гиббереллина. Высокая концентрация этого соединения провоцирует аномальное удлинение стеблей, известное в агрономической практике как синдром «баканэ» или «болезнь чрезмерного роста побегов», который наносит значительный ущерб посевам риса [Leslie J.F., 1995].

Гриб *F. globosum*, впервые обнаруженный в 2017 г. в зерне ячменя из Новосибирской области (Гагкаева Т.Ю., Гаврилова О.П., Орина А.С., 2019а), представитель видов комплекса *F. fujikuroi*, которые обладают способностью синтеза фумонизинов – вторичных метаболитов с канцерогенными свойствами [Marasas W.F.O., 1996].

Т.Ю. Гагкаева и Т. Ули-Маттила сообщали о существовании в России двух географически изолированных популяций *F. graminearum* – в Европейской части России (Северный Кавказ, Центрально-Черноземный регион и Северо-запад) и на Дальнем Востоке [Gagkaeva T.Yu., Yli-Mattila T., 2004].

Вид *F. graminearum* с высокой частотой встречаемости во всем мире ранее описывали как единый полиморфный вид. Привлечение молекулярных методов исследований штаммов *F. graminearum* разной географической локализации позволило установить, что этот вид объединяет не менее 16 линий различного филогенеза, получивших ранг видов, составляющих комплекс *F. graminearum* «*F. graminearum* species complex»: *F. meridionale*, *F. brasiliense*, *F. mesoamericanum*, *F. austroamericanum*, *F. boothii*, *F. asiaticum*, *F. graminearum* и другие [Multilocus genotyping and molecular..., 2008; Systematics, phylogeny and trichothecene..., 2012]. Полное секвенирование генома *F. graminearum* было проведено в 2003 г. [Development of a *Fusarium graminearum*..., 2006].

Данные исследователей подтверждают выраженную региональную специфичность эволюционно обособленных видов рода *Fusarium*. Так, *F. graminearum* sensu stricto (филогенетическая линия F.gr.7) преобладает в агроценозах Европы и Северной Америки, тогда как в азиатском регионе (Китай, южная Япония) доминирует *F. asiaticum* (линия F.gr.6) [Population analysis...,

2002; Geographic distribution..., 2007]. В Японии и Венгрии обнаружен вид *F. vorosii*, в США - *F. gerlachii*, в Эфиопии - *F. aethiopicum* [Multilocus genotyping and molecular..., 2008]. В России найден и описан новый для науки вид *F. ussurianum*, относящийся к комплексу *F. graminearum* на территории Дальнего Востока [A novel Asian clade..., 2009].

В пределах видового комплекса *F. graminearum* [O'Donnell K., 2000], *F. culmorum* и *F. cerealis* являются одними из наиболее доминирующих патогенов, вызывающих фузариоз колоса пшеницы и других зерновых культур по всему миру [Moss M.O., Thrane U., 2004; Osborne L.E., Stein J.M., 2007]. На зерновых культурах основную опасность представляют виды *F. graminearum* и *F. culmorum* (образующие дезоксиниваленол и зеараленон), *F. sporotrichioides* (образующий Т-2 токсин), *F. verticillioides* (образующий фумонизины) [Фузариоз зерновых культур, 2011].

Гриб *F. cerealis* выявлен в комплексе патогенов, вызывающих корневую гниль и фузариоз зерна в ряде стран Нового Света (США, Канаде), в азиатском регионе (Китае), в Африке и Океании (Австралии и Новой Зеландии) [Kwaona H., Chelkowski J., 1988; Kriel W.M., Pretorius Z.A., 2005; Šrobárová A., Šliková S., Šudyova V., 2008], а также во многих странах Европы, в том числе и России [Гагкаева Т.Ю., 2009].

На территории России вид *F. graminearum* является основным возбудителем фузариоза злаковых культур, поражающим посевы на Дальнем Востоке, Северном Кавказе и Центрально-Черноземном районе [Н.А. Наумов., 1916; Малиновская Л.С., Пирязева Е.А., Кислякова О.С., 2004; Иващенко В.Г., Шипилова Н.П., Левитин М.М., 2004]. Начиная с 2003 года, ареал данного патогена расширился, он был обнаружен в составе патогенного комплекса, инфицирующего зерновые в северных областях Нечерноземья – Ленинградской, Новгородской, Вологодской и Кировской [Гагкаева Т.Ю., 2009; Зараженность грибами рода *Fusarium*..., 2009a]. Такая динамика распространения свидетельствует о высокой адаптивности вида к разнообразным почвенно-

климатическим условиям, что усиливает его угрозу для растениеводства в ранее незатронутых регионах.

В целом из зерна выделяют около 30 видов грибов р. *Fusarium* (*F. graminearum* Schwabe, *F. culmorum* (W.G. Smith) Sacc., *F. cerealis* (Cooke) Sacc. (син. *F. crookwellense* LW Burgess, PE Nelson & Toussoun), *F. avenaceum* (Fr.) Sacc., *F. acuminatum* Ellis & Everh., *F. tricinctum* (Corda) Sacc., *F. sporotrichioides* Sherb., *F. poae* (Peck) Wollenw. и др.), разных по агрессивности, патогенности и способности продуцировать вторичные метаболиты. В связи с этим во избежание контаминации продукции необходим мониторинг частоты встречаемости наиболее распространенных видов *F. graminearum*, *F. verticillioides*, *F. avenaceum*, *F. poae*, *F. sporotrichioides* [Xu X.M., Nicholson P., 2009; Phylogenetic analyses of ..., 2014]. Виды *F. langsethiae*, *F. sporotrichioides*, *F. avenaceum*, *F. tricinctum* и *F. poae* обладают широкой экологической пластичностью и их ежегодно выделяют из зерна, выращенного в разных областях России [Гагкаева Т.Ю., Гаврилова О.П., 2009].

Н.П. Шипилова [1994] отмечала 10 видов грибов р. *Fusarium* в северо-западной части России на семенах зерновых культур. Доминирующей группой были *F. avenaceum*, *F. poae* и *F. sporotrichioides*.

В агроэкосистемах Северо-Западного федерального округа России доминирующими представителями рода *Fusarium*, ассоциированными с зерновыми культурами, выступают три токсигенных вида: *F. poae*, *F. sporotrichioides* и *F. langsethiae*, синтезирующие трихотеценовые микотоксины. Второстепенная роль в фитопатогенном комплексе отмечена для *F. anguioides*, *F. avenaceum*, *F. graminearum*, *F. incarnatum*, *F. subglutinans*, *F. tricinctum*, выявляемых эпизодически. Вид *F. langsethiae* впервые идентифицирован в Архангельской области, что обозначает крайнюю северную границу его распространения в Российской Федерации [Гагкаева Т.Ю., Гаврилова О.П., 2009].

Спектр фитопатогенов ячменя на Северо-Запада, изученный Т.Ю. Гагкаевой и О.П. Гавриловой, включает 9 видов р. *Fusarium*, из которых

доминирующими являются *F. avenaceum* (26,0%), продуцирующий монилиформин и *F. poae* (15,4%), синтезирующий ниваленол (НИВ). Субдоминантные позиции заняли виды *F. tricinctum* (18,8%), *F. culmorum* (17,2%), *F. incarnatum* (9,6%), *F. sporotrichioides* (4,8%), *F. equiseti* (4,3%), *F. graminearum* (2,9%) и *F. anguioides* (1%) [Гагкаева Т.Ю., Гаврилова О.П., 2017].

Климатические изменения и широкое использование в севооборотах кукурузы способствуют активизации вида *F. verticillioides* в зерновых агроценозах. Это повышает риски контаминации урожая фумонизинами — микотоксинами с доказанным канцерогенным потенциалом [Характеристика сортов..., 2018].

Из проанализированных образцов зерна урожая 2017-2018 гг. (пшеницы, ячменя и овса), собранных в различных регионах России выявлено не менее 15 видов р. *Fusarium*. Например, в Уральском и Сибирском регионах в зерне встречались *F. graminearum*, до 10%, и *F. sporotrichioides*, продуцент Т-2 и НТ-2 токсинов [Т.Ю. Гагкаева, О.П. Гаврилова, А.С. Орина, 2019 б].

На дальневосточной территории России и в Сибири были выявлены изоляты грибов, по своим свойствам близкие к *F. poae* и *F. langsethiae* [Буркин А.А., Соболева Н.А., Кононенко Г.П., 2008]. Т. Ули-Маттила в ходе разностороннего анализа этой группы штаммов описала новый вид — *F. sibiricum* [*Fusarium sibiricum* sp..., 2011].

В Краснодарском крае в патогенном комплексе виды *F. graminearum*, *F. verticillioides*, *F. sporotrichioides* встречаются чаще других [Иващенко В.Г., Назаровская Л.А., 1998]. Н.В. Лактионова [1999] при изучении видового состава фузариев в Ростовской области отмечала высокую встречаемость *F. verticillioides* и *F. oxysporum*. В Ставропольском крае встречаются виды *F. graminearum*, *F. poae*, *F. sporotrichioides* [Гагкаева Т.Ю., Гаврилова О.П., 2014].

Исследуя проблему фузариозов в регионах Северного Кавказа, В.Г. Иващенко с соавторами [2004] идентифицировали 16 видов грибов рода *Fusarium*. Наиболее часто встречаются виды *F. graminearum*, *F. poae*, *F. sporotrichioides* и *F. verticillioides*.

В 2004-2006 гг. в Краснодарском крае отмечена невысокая частота встречаемости вида *F. graminearum*. Доминирующими были виды *F. poae* и *F. sporotrichioides*. Встречаемость их в комплексе патогенов составляла 65,5%, но зараженность была незначительной. В Северной Осетии выявлены *F. graminearum* (36%), *F. poae* (23%), а также *F. avenaceum* (7%), *F. sporotrichioides* и *F. tricinctum*. В последние годы *F. graminearum* превалирует в Северной Осетии [Зараженность зерна..., 2009].

В Краснодарском крае в период 2010-2012 гг. доля *F. sporotrichioides* в видовом составе грибов р. *Fusarium* выделенных из растений озимой пшеницы достигала 23%. В 2010 г. впервые в Краснодарском крае вид *F. langsethiae* был выделен у 8 % образцов [Гагкаева Т.Ю., Гаврилова О.П., 2014].

По данным И. Б. Абловой [2008], вид *F. graminearum* является основным возбудителем, вызывающим фузариоз колоса в Краснодарском крае.

Анализируя данные наших исследований, при изучении динамики видового состава грибов р. *Fusarium* в Краснодарском крае за период 2006-2010 гг., мы отмечали значительное выявление таких видов, как *F. sporotrichioides* и *F. cerealis*, *F. verticillioides* и *F. culmorum*. На протяжении ряда лет лидирующие позиции в популяции занимал *F. graminearum*, с долей в комплексе видов 60-81% [Тархов А.С., Аблова И.Б., Бойко А.П., 2012].

1.3 Экоресурсы, особенности патогенеза, вредоносность различных видов рода *Fusarium*

Представители рода *Fusarium* проявляют экологическую пластичность, существуя в виде мицелия в живых тканях как корневой системы, так и надземных органов растений. Помимо этого, они формируют специализированные структуры: спородохии и хламидоспоры в почвенной среде, перитеции на разлагающихся растительных остатках, а также аскоспоры и конидии, в виде аэрогенной инфекции [Snyder W.C., Hansen H.N., 1940]. Грибные изоляты, полученные из листьев с некрозами и при выделении из

визуально здоровых тканей, в течение вегетационного периода способны функционировать и как патогенные организмы и переходить к сапротрофному типу питания [Ali S., Francl L., 2001; FHB inoculum distribution..., 2002].

Первичное инфицирование колосьев пшеницы *F. graminearum* происходит аскоспорами, созревающими на пожнивных остатках кукурузы или пшеницы [Gilbert J., Fernando W.G.D., 2004]. Одноклеточные или двухклеточные микроконидии, обладающие способностью к быстрому формированию, служат ключевым фактором распространения инфекции в течение вегетационного периода. Их перенос осуществляется воздушными потоками, капельной влагой и насекомыми-переносчиками. Согласно исследованиям, зерновые культуры проявляют максимальную уязвимость к патогенам на стадиях цветения и начального формирования зерновки [Effects of chemical..., 2011]. Временной интервал восприимчивости растений охватывает период от раскрытия цветков до фазы налива зерна, достигая пика в фазе полного цветения [Соколов М.С., Коломбет Л.В., 2007].

Морфологические особенности растений, включая колосковые чешуи, выступающие пыльники и открытые цветковые полости, создают оптимальные условия для прорастания спор фитопатогенов при повышенной влажности [Соколова Г.Д., Глинушкин А.П., 2016]. Стимулирующее воздействие пыльцы на развитие патогенов, отмеченное в исследованиях R.N. Strange [1978], объясняет повышенную восприимчивость зерновых культур в фазе цветения. Этот эффект связан с содержанием холина в пыльце, активирующего рост *F. graminearum*, *F. culmorum* и *F. avenaceum*. Показано, что остатки сахарной свеклы как предшественника усиливают развитие фузариоза благодаря высоким концентрациям бетаина в растительных тканях [Гагкаева Т.Ю., 1994].

Эпифитотийному развитию заболевания способствуют температурные показатели выше 15°C в сочетании с относительной влажностью воздуха свыше 71% в период цветения-созревания. Критическим фактором выступает выпадение осадков объемом более 10 мм в течение декады на фоне массового цветения восприимчивых растений [Павлова Г.В., Измалкова А.Г., 1995].

Оптимальными условиями для инфицирования считаются: продолжительная влажность (от 8 до 60 часов) при слабых осадках; образование росы или влажность воздуха не менее 70% с температурным режимом 10-30°C [Gilchrist L. Dubin H.J., 2002; Fusarium Head Blight, 2003].

Возбудители фузариоза колоса сохраняют жизнеспособность в агроценозах благодаря наличию послеуборочных остатков зерновых культур (кукуруза, пшеница, ячмень), дикорастущих злаков (овсюг, костер) и двудольных сорных растений. Дополнительными резервуарами инфекции выступают контаминированные семена и грунт [Иващенко В.Г., Назаровская Л.А., 1998; Фитосанитарная экспертиза..., 2002].

Послеуборочные остатки пшеницы и кукурузы сохраняют жизнеспособность *F. graminearum* и *F. verticillioides* до трех лет и становятся накопителями инокулюма [Khonga E.B., Sutton J.C., 1988; Inch S.A., Gilbert J., 2003]. На растительных остатках кукурузы происходит развитие сапротрофной сумчатой стадии гриба, чья телеоморфная форма обеспечивает длительную сохранность патогена и его инфекционный потенциал [Соколов М.С., Коломбет Л.В., 2007].

В качестве источника первичного заражения могут служить конидиальное спороношение, фрагменты мицелия и аскоспоры грибов. Аскоспоры, формирующиеся в перитециях *Gibberella zeae*, способны инфицировать соседние растения или перемещаться воздушными потоками на обширные территории [Gilbert J., Fernando W.G.D., 2004]. Исследования подтверждают, что данные споры могут достигать высоты до 180 метров, включая зоны над водоемами и территориями, не используемыми в сельском хозяйстве [Del Ponte E.M., Shah D.A., Bergstrom G.C., 2002].

В течение вегетационного периода вторичное заражение происходит за счет конидий и фрагментов гиф, образующихся на колосковых чешуях инфицированных растений. В условиях воздушных потоков конидии преодолевают сотни километров. Например, жизнеспособные споры *F. verticillioides* были идентифицированы в атмосфере на удалении 300–400 км от

сельскохозяйственных полей [Ooka J.J., Kommedahl T., 1977]. Стоит отметить, что у ряда возбудителей фузариоза колоса (*F. poae*, *F. langsethiae*, *F. sporotrichioides*, *F. tricinctum*, *F. verticillioides* и др.) образование микроконидий значительно преобладает над формированием макроконидий [Фузариоз колоса..., 1990; Павлова Г.В., Измалкова А.Г., 1995; Фузариоз зерновых культур, 2011].

Исследования демонстрируют, что макроконидии *F. culmorum*, распространяющиеся с поверхности почвенных остатков соломы, способны перемещаться на расстояние до 60 см по вертикали и 100 см по горизонтали. Однако около 50% спор не преодолевают дистанцию более 12–14 см [Jenkinson P., Parry D.W., 1994]. Для *F. avenaceum*, чьи конидии чаще обнаруживаются группами по несколько штук, максимальная дальность распространения составила 90 см в горизонтальном направлении и 45 см в вертикальном, при этом большинство из них локализовалось в пределах 17 см и 4,5 см соответственно. Экспериментальные данные также подтверждают, что конидии *F. culmorum* и *F. poae* с поверхности почвы переносятся на расстояния, не превышающие 60 см в длину и 70 см в высоту [Horberg H.M., 2001]. Поэтому, что лишь малая доля патогенного материала с растительных остатков в почве способна напрямую достигать колосьев растений.

Однако, отдельные виды рода *Fusarium*, такие как *F. graminearum* Schwabe, могут преодолевать огромные расстояния, перемещаясь между континентами с воздушными потоками [Isolates of *Fusarium graminearum*..., 2012].

Распространение патогенов в новые регионы обитания по данным американских ученых может происходить с инфицированным зерном, завезенным в другие регионы для приготовления корма [Gilbert J., Fernando W.G.D., 2004]. В расширении ареала значительную роль играют птицы и членистоногие [Gordon W.L., 1959; Sutton J.C., 1982]. Различными исследователями показана связь между заражением початков фузариозом и повреждениями насекомыми, которые способствуют проникновению и развитию гриба в тканях растения [Munkwold G.P., 2003; Иващенко В.Г.,

Сотченко Е.Ф., Сотченко Ю.В., 2006; Mesterhasy A., Lemmens M., Reid L.M., 2012].

Не до конца выяснена вероятность эндофитного распространения мицелия фузариев от семян к колосу или початку. Некоторые исследователи полагают, что системное распространение патогена вносит менее значительный вклад в развитие заболевания по сравнению с воздушным путем заражения [Munkvold G.P., Desjardins A.E., 1997]. Кроме того, существует предположение, что использование семян, инфицированных фузариозом, не приводит к поражению генеративных органов растений [Role of spring wheat seed..., 2003]. Тем не менее, опубликованные данные указывают на возможность системной инфекции у кукурузы: патоген способен мигрировать от зараженных семян через ткани ксилемы к формирующимся початкам [Seed transmission of *Fusarium*..., 2007]. В работе J.A. Duthie и R. Hall [1987] указано, что в осенний период возможно поражение проростков и стеблей пшеницы из инфицированных семян.

Описаны случаи скрытого эндофитного заселения кукурузы грибом *F. verticillioides*, при котором гифы патогена локализуются в межклеточных пространствах, не инфицируя клеточные структуры [Bacon C.W., Hinton D.M., 1996]. Подобная бессимптомная форма колонизации представляет серьёзный риск, так как гриб сохраняет способность продуцировать токсины в формирующихся зерновках початков, даже при отсутствии визуальных проявлений заболевания [Иващенко В.Г., 2012].

Виды р. *Fusarium* различаются по агрессивности и патогенности. В процессе инокуляции и колонизации растительного организма патогенные грибы рода *Fusarium* преодолевают его иммунитет, выделяя разнообразные гидролитические ферменты [Brown N.A., Antoniow J., Hammond-Kosack K.E., 2012]. Кроме того, они синтезируют токсичные для растений соединения, включая трихотеценовые микотоксины, такие как дезоксиниваленол (ДОН). Данное вещество блокирует процесс образования белков в клетках растения, что способствует подавлению его защитных функций [Miller J.D., Ewen M.A., 1997; Expression of a truncated..., 2010]. Таким образом, комбинация ферментативной

активности и продукции токсинов позволяет грибам эффективно адаптироваться к сопротивлению хозяина.

Синтезируемые грибом *F. graminearum* трихотеценовые соединения, проявляют выраженную фитотоксическую активность. От уровня и вида продуцируемых микотоксинов зависит патогенный потенциал грибных изолятов (Effect of *Fusarium graminearum*..., 1999). На характер воздействия данных метаболитов на растительный организм влияет ботаническая принадлежность и сортовые характеристики культуры-хозяина [Langevin F., Eudes F., Comeau A., 2004; Involvement of trichothecenes..., 2006].

По данным А. Мештерхази [Mesterhazy A., 2002], существует прямая зависимость между способностью изолятов *F. graminearum* синтезировать дезоксиниваленол (ДОН) и их агрессивностью: корреляция между этими параметрами обычно превышает 0,9, что подтверждает роль ДОН как одного из ключевых факторов патогенности. Ряд научных работ указывает на то, что продукция фитотоксичного ДОН усиливает вирулентность грибов рода *Fusarium*, увеличивая повреждение проростков [Hestbjerg H., Felding G., Elmholt S., 2002] и облегчая проникновение в ткани колоса.

Выявлено, что штаммы, продуцирующие ДОН, более агрессивны при инфицировании пшеничных колосьев по сравнению с изолятами, синтезирующими ниваленол (НИВ) и аккумулируют значительные концентрации токсинов в зараженных тканях [Deletion and complementation..., 2004; Nivalenol-type populations..., 2011]. Работы других исследователей говорят о корреляции уровня агрессивности изолятов с количеством производимых трихотеценов, а не с их химическим типом. Как показали наблюдения, высоко агрессивные штаммы продуцируют трихотеценовые соединения в повышенных концентрациях независимо от хемотипической принадлежности [Goswami R.S., Kistler H.C., 2005].

Установлено [Оценка агрессивности видов грибов..., 2013], что среди выделенных из пораженной ткани корня грибов виды *Fusarium oxysporum* Schlecht.: Fr, *F. solani* (Mart.) Sacc, *F. culmorum* (W.GSm.) Sacc. существенно

различаются по агрессивности. *F. culmorum* поражал больше растений. Однако по сравнению с ними *F. oxysporum* и *F. solani* показывали более существенное отрицательное влияние на развитие корневой и надземной частей растений.

Возбудители фузариозов зерновых культур отличаются отсутствием строгой приуроченности к конкретным органам растений, обладают выраженной экологической пластичностью, что обеспечивает грибам адаптацию к разнообразным условиям среды. Так, виды *F. sporotrichioides* Sherb. и *F. poae* (Peck.) Wollenw. демонстрируют повсеместное распространение в России во всех агроклиматических зонах выращивания зерновых [Фузариоз зерновых культур..., 2009 б], но *F. sporotrichioides* способен поражать широкий круг растений, в отличие от *F. poae*, который чаще всего выделяется из зерна овса [Pettersen H., Olvang H. 1997].

Анализ исследований из Норвегии выявил повышенную уязвимость овса к поражению грибами р. *Fusarium* в сравнении с пшеницей. При этом токсиногенные виды *F. poae* (Peck) Wollenw. и *F. langsethiae* Torpet Nirenberg, способные синтезировать трихотеценовые микотоксины, демонстрировали значительное преобладание на овсе, тогда как их распространенность на пшенице и ячмене была существенно ниже [Less *Fusarium* infestation..., 2010].

Известна способность некоторых видов р. *Fusarium* синтезировать фумонизины, действие которых может приводить к дефектам нервной трубки у новорожденных детей [Exposure to fumonisins..., 2006]. Гриб *F. solani* в настоящее время наиболее известен своей способностью вызывать кератит (воспаление роговицы глаза), при этом происходит образование биопленки на поверхности мягких контактных линз, что приводит к возрастанию резистентности ко многим антифунгальным препаратами [Bullock J.D., Khamis H.J., 2010]. Такие грибы как *F. solani* и *F. oxysporum* часто бывают связаны с дерматофитными инфекциями, инфекциями ногтей и копыт [Leslie J.F., Summerell B.A., 2006].

На пшенице развитие фузариоза колоса связано с поражением завязей и зерновок в процессе их формирования и налива. В результате фузариозной

инфекции наблюдаются значительные нарушения физико-химических и технологических характеристик пшеничного зерна [Лалев Ц., 1985; Электрофоретические исследования..., 1990]. Это приводит к критическому снижению качества муки, которая теряет пригодность для использования в хлебопекарной промышленности [Аблова И.Б., Беспалова Л.А., Тараненко С.А., 2002; Фузариоз колоса и качество зерна..., 2017]. Хлеб, изготовленный из такого сырья, отличается темным цветом мякиша, сниженной упругостью и неравномерной пористостью структуры. Дополнительную сложность создает контаминация пораженного фузариозом зерна микотоксинами, которые синтезируются патогеном в процессе заселения эндосперма [Variation in deoxynivalenol..., 1989]. Данные токсины не только ухудшают потребительские свойства продукции, но и представляют риск для пищевой безопасности.

Синтезируемые грибами р. *Fusarium* микотоксины способны угнетать всхожесть семян ячменя, а также провоцировать изменение окраски суслу и органолептических свойств продукта пивоварения [Fundamental study..., 2012]. Исследования подтверждают, что инфицирование ячменя видами *F. langsethiae* и *F. roae* снижает экстрактивность солода, что критично для технологических параметров производства [The prevalence and impact of *Fusarium*..., 2014]. Кроме того, присутствие в сырье дезоксиниваленола (ДОН) и Т-2 токсина нарушает амилолитическую активность ферментов α - и β -амилаз на этапе солодования, ухудшая биохимические процессы преобразования крахмала [Garda-Buffon J., Varaj E., Vadiale-Furlong E., 2010].

Фузариотоксины способны аккумулироваться не только в зерновой массе, но и в структурных элементах колоса (чешуи, стержни), а также в вегетативных органах злаков (солома) [Леонов А.Г., Кононенко Т.П., Соболева Н.А., 1989; Левитин М.М., Гагкаева Т.Ю., 1991; Особенности образования дезоксиниваленола..., 1997]. Это приводит к утрате кормовой ценности не только зерна и побочной продукции (полова, солома), но и сена, которое становится непригодным для использования в животноводстве из-за риска токсикозов. Так, L.E. Taffarel с соавторами показали, что в сене, в процессе провяливания и

просушивания, фиксировалось присутствие зearаленона - фузариотоксина с эстрогенным действием [Dehydration curve..., 2013]. Хроническое поступление дезоксиниваленола (ДОН) с кормами провоцирует у сельскохозяйственных животных ослабление иммунитета, нарушение белкового синтеза, деструкцию клеточных мембран и патологические изменения в печени и почках. При этом следовые количества токсинов обнаруживаются в продуктах животного происхождения, включая мясо, молоко и яйца [Gilchrist L., Dubin H.J., 2002].

В Российской Федерации ветеринарными службами регулярно фиксируются случаи интоксикации свиней и крупного рогатого скота, связанные с использованием фузариозного зерна в кормовых смесях. Анализ микологического состояния зерна злаков, проведенный в 39 регионах страны за период с 1987 по 2002 гг., выявил контаминацию фузариотоксинами в 36–79% образцов. При этом инфекционный процесс часто протекает в латентной форме без визуальных симптомов. Для большинства штаммов *F. graminearum*, выделенных в Центрально-Черноземном регионе наблюдалось сочетание продуцирования двух видов токсинов: ДОН и зearаленона [Рекомендации по микотоксикологическому контролю ..., 2005].

Грибы рода *Fusarium* мало требовательны к условиям окружающей среды, чрезвычайно экологически пластичны. Они имеют в своем арсенале мощный ферментативный аппарат, позволяющий утилизировать различные субстраты. Большое многообразие инфекционных структур обеспечивает этим грибам колонизацию широкого круга хозяев, а наличие парасексуального и полового процессов позволяет существенно расширить генетическое разнообразие и адаптационный потенциал.

Таким образом, обладая изменчивостью и высокой адаптивностью, фузариевые грибы являются весьма опасными и трудноискоренимыми объектами, несмотря на применение химических средств борьбы с ними.

1.4 Устойчивость и селекционно-генетические методы защиты зерновых колосовых культур от фузариоза колоса

Известно, что абсолютно устойчивых к инфицированию грибами рода *Fusarium* сортов зерновых культур не существует [Лалев Ц., 1978; Balaz F., 1990], однако есть отличия по степени устойчивости к данным патогенам.

Установлено, что резистентность к фузариозу колоса формируется под влиянием множества генетических факторов, экспрессия которых зависит от внешних условий. Это позволяет классифицировать устойчивость как относительный показатель [Аблова И.Б., Грицай Т.И., 2001].

В современной классификации выделяют пять типов устойчивости к фузариозу колоса:

- а) I тип — резистентность к заражению патогенами;
- б) II тип — сопротивление распространению инфекции по тканям колоса;
- в) III тип — устойчивость семян к колонизации грибом;
- г) IV тип — толерантность (способность растений сохранять продуктивность при заражении);
- д) V тип — метаболическая активность, направленная на нейтрализацию или разрушение микотоксинов [Miller J.D., Young J.C., Sampson D.R., 1985; Snijders C.H.A., 1990 b; Mesterhazy A., 1995, 2002; Boutigny A-L., Richard-Forget F., Barreau C., 2008].

Резистентность к фузариозу колоса не ограничена видовой принадлежностью патогена [Balkandzhieva Yu., Karadzhova Y., 1994; Mesterhazy A., 1997]. Например, устойчивость к одному виду рода *Fusarium*, вызывающему заболевание, часто распространяется на другие виды этого рода [Гагкаева Т.Ю., Левитин М.М., 2003]. Отбор на устойчивость к высокопатогенным изолятам *F. graminearum* и *F. culmorum* обеспечивает устойчивость к другим видам *Fusarium* [Mesterhazy A., 2002; Šíp V., Chrprová J., Sýkorová S., 2008].

Известно, что в наибольшей степени поражаются фузариозом колоса пшеница, ячмень, рожь и тритикале. Овес поражается слабее [Гагкаева Т.Ю., Гаврилова О.П., 2011]. М.Я. Иванченко [1960], Т.Ю. Гагкаева с соавторами отмечали о наличии источников фузариоустойчивости среди таких видов рода

Triticum, как *spelta*, *timopheevii*, *monococcum*, *dicoccum*, *milutiniae*, *persicum*. Было выявлено, что ploидность не влияет на уровень устойчивости [Оценка устойчивости..., 1993]. В целом, сорта мягкой пшеницы более устойчивы к фузариозу колоса по сравнению с сортами твердой пшеницы, большинство которых являются высоковосприимчивыми к фузариозу колоса [Аблова И.Б., 2008], что вероятно, связано со склонностью твердой пшеницы к открытому цветению [Шалыгин А.Ф., 1986]. Впоследствии было показано, что виды, склонные к открытому и растянутому по времени цветению, будут более восприимчивы к фузариозу колоса [Оценка устойчивости..., 1993]. Остистые сорта мягкой пшеницы более восприимчивы, чем безостые [Гагкаева Т.Ю., Левитин М.М., 2003].

Большую роль в устойчивости к фузариозу колоса играют биологические, морфологические, физиологические признаки и свойства, выступающие в роли механизмов защиты, такие как высота растений, продолжительность вегетационного периода, интенсивность аттракции и др. В ходе исследований И.Б. Абловой и А.Н. Слюсаренко [Ablova I.B., Slusarenko A.N., 1996] была выявлена взаимосвязь устойчивости пшеницы к фузариозу колоса с высотой растений и скоростью созревания. Эти параметры, согласно их данным, при определенных агроэкологических условиях формируют защитный механизм культуры.

Первичному заражению противодействуют ряд факторов, связанных с компонентом устойчивости I типа [Иващенко В.Г., Шипилова Н.П., Назаровская Л.А., 2004]: высота растений (более 100 см), рыхлая или среднеплотная структура колоса, наличие остей, возвышение колоса над флаг-листом на 20-30 см, поникание колоса при наливе и созревании зерна, сокращенная фаза цветения, минимальное раскрытие колосковых чешуй, низкое содержание холина в пыльниках, и интенсивная склерификация тканей, ограничивающая проникновение мицелия патогена при устойчивости II типа [Иващенко В.Г., Шипилова Н.П., Назаровская Л.А., 2004; Иващенко В.Г., 2005].

Международные исследования генетических ресурсов устойчивости к фузариозам, позволили выделить три основных генофонда: озимые пшеницы из Восточной Европы; яровые пшеницы из Китая и Японии; яровые пшеницы из Бразилии и Италии [Van T., 2000].

Серьезным препятствием в селекционной работе на устойчивость к фузариозу колоса остается узкий спектр донорских генотипов. Наиболее востребованы китайский сорт *Sumai 3* и его производные, японский *Nobeoka Bozu Komugi*, бразильский *Frontana*, а также венгерский *RingoStar* и шведский *Arina* [Аблова И.Б., Грицай Т.И., 2001]. Однако эти образцы демонстрируют либо низкую адаптацию к европейским условиям, либо недостаточную урожайность, оставаясь преимущественно источниками генов устойчивости [Соколова Г.Д., 2005]. Максимальные показатели вертикальной устойчивости зафиксированы у яровых сортов *Sumai 3*, *Frontana* и *Nobeoka Bozu* [Mesterhazy A., 2002; Гагкаева Т.Ю., Левитин М.М., 2003].

Известно, что устойчивость пшеницы к фузариозу колоса контролируется большим числом генов [Development of gene..., 1987]. На примере сорта *Sumai 3*, слабо поражающегося фузариозом, было выявлено, что гены, контролирующие устойчивость, локализованы в хромосомах 1B, 2A, 5A, 6D и 7D [Наумова Н.А., 1970]. Н.W. Schroeder и J.J. Christensen [1963] показывали, что устойчивость к фузариозу колоса полигенна. В других работах было выявлено, что она является количественным признаком с низкой наследуемостью и аддитивным эффектом [Development of gene..., 1987].

Наряду с традиционными методами селекции, использующими фенотипические оценки, применяются молекулярно-генетические маркеры, которые позволяют выявлять локусы количественных признаков (QTL) фузариозорезистентности [Anderson J. A., Stack R. W., Liu S., 2001].

Генетический контроль устойчивости к фузариозу колоса имеет полигенную природу. Как установлено Н. Buerstmaug и коллегами [Buerstmaug H., Van T., Anderson J.A., 2009], за этот количественный признак отвечают множественные *QTL* (локусы количественных признаков), идентифицированные

во всех хромосомах пшеницы. При этом доноры *Sumai 3*, *Frontana* и *Nobeoka Bozu*, несмотря на общую эффективность против патогена, обладают разной генетической архитектурой устойчивости.

При исследовании европейских образцов пшеницы, устойчивых к фузариозу колоса, в своих работах чешские селекционеры сообщают о более 100 локусах количественных признаков (QTL), детерминирующих сопротивляемость болезни [Löffler M., Schön C.-C., Miedaner T., 2009].

Обладающие специфической устойчивостью к фузариозу колоса сорта яровой пшеницы *Frontana*, *Sumai 3* и *Nobeoka Bozu* имеют различную генетическую основу. Сорта *Frontana* и *Sumai 3* имеют по два различных гена устойчивости, *Nobeoka Bozu* имеет три, и один из них сходный с геном *Sumai 3* [Mesterhazy A., 2002]. Сорт *Sumai 3 aut* признан основным генетическим ресурсом благодаря специфической резистентности к фузариозу колоса II типа, когда инфекция локализуется в первично пораженных тканях, не затрагивая соседние колоски, что блокирует межколосковое распространение возбудителя [Радченко Е. Е., 2008].

Изучение китайской мягкой пшеницы сорта *Sumai 3 (Triticum aestivumL.)* и интерпретация экспериментальных данных продемонстрировали, что резистентность к фузариозу колоса определяется взаимодействием нескольких ключевых количественных локусов — *Fhb1* (известного как *Fusarium head blight1* или *Qfhs.ndsu-3BS*) и *Qfhs.ifa-5A*. Их функциональная активность, модулируется дополнительными генами-регуляторами, усиливающими защитный эффект [Gilchrist L., Dubin H.J., 2002].

Локус *Fhb1* имеет точную локализацию в районе короткого плеча 3В-хромосомы [Buerstmayr M., Buerstmayr H., 2015]. Внедрение этого генетического элемента в генотип пшеницы обеспечивает повышенную устойчивость к распространению инфекции в тканях колоса, что соответствует II типу резистентности.

На этом же участке хромосомы расположены локусы, детерминирующие устойчивость к заражению зерна и накоплению дезоксиниваленола у сорта пшеницы *Sumai 3* [Buerstmayr H., Lemmens M., Ruckebauer P., 1997].

В. Waldron с соавторами проанализировали картирующую популяцию, полученную от скрещивания между устойчивым сортом *Sumai 3* и умеренно восприимчивым *Stoa* и выявили пять *QTLs*, связанных с устойчивостью к ФК [RFLP mapping of QTL..., 1999]. Позднее те же авторы сообщили об обнаружении двух микросателлитных маркеров *Xgwm493* и *Xgwm533*, фланкирующих локус *QFhs.ndsu-3BS* [DNA markers for *Fusarium...*, 2001]. Китайскими исследователями было показано, что данный локус в большой степени ответственен за устойчивость в сортах *Sumai 3* и *Ning 894037*. Кроме того, из литературных данных известны SSR маркеры *Xgwm415d* (5A), *Xgwm350a* (7A), *Xgwm276* (7A), и *Xgwm350b* (7D), тесно сцепленные с устойчивостью [Molecular markers for *Fusarium...*, 2002].

Отмечено влияние локуса *Fhb1* на устойчивость к фузариозу колоса, варьирующее в зависимости от генетического фона растения-реципиента. Помимо повышения резистентности к патогену, этот локус может оказывать воздействие на иные агрономические признаки. Например, его успешное внедрение позволило создать среднеустойчивые сорта яровой пшеницы в США, но при этом наблюдались негативные эффекты, включая снижение продуктивности и повышенную восприимчивость к бурой ржавчине (*P. triticina*), желтой ржавчине (*P. striiformis*) и септориозу (*Stagonospora nodorum*) [McMullen M.P., Jones R., Gallenberg D., 2012].

Локус *Qfhs.ifa-5A*, локализованный на хромосоме 5A, согласно исследованиям Н. Buerstmayr с соавторами [Molecular mapping of QTLs..., 2003] и В. Steiner и коллег [QTL mapping and validation..., 2004], преимущественно ассоциирован с устойчивостью I типа (защита от первичного заражения), тогда как его вклад в устойчивость II типа (торможение распространения инфекции) менее выражен. Интересно, что бразильский сорт яровой пшеницы *Frontana*, наряду с китайским *Sumai 3*, демонстрирует наличие нескольких *QTL* полевой

устойчивости I типа, что делает его ценным ресурсом для селекционных программ [Differential influence of QTL..., 2014].

Хотя большинство исследований сфокусировано на мягкой пшенице (*Triticum aestivum* L.) — доминирующем виде культурной пшеницы, подверженном фузариозу колоса, — научный интерес распространяется и на другие таксоны. Например, изучаются сорта твердой пшеницы (*T. durum*) [Current knowledge on resistance..., 2014], тритикале [Kalih R., Maurer H.P., Miedaner T., 2015], а также дикие родственники культурных форм — *T. dicocum* и *T. dicoccoides* [Chromosome engineering..., 2015]. Современные стратегии селекции включают пирамидирование *QTL* — комбинирование нескольких локусов устойчивости, таких как *Fhb1* и *Qfhs.ifa-5A*, для усиления защитных свойств. Поскольку *QTL* преимущественно проявляют аддитивный эффект, теоретически возможно создание генотипов с 3-4 ключевыми локусами, что способно обеспечить более высокую резистентность, чем у существующих доноров [Combining different resistance..., 2010; Native *Fusarium* head blight..., 2015]. Как подчеркивают Т.Ю. Гагкаева и М.М. Левитин (2003), подобные генетические конструкции открывают перспективы для разработки сортов с беспрецедентным уровнем устойчивости к фузариозу.

Результаты J. Chrpová et al. подтвердили, что маркерная интрогрессия *QTL* устойчивости к фузариозу колоса на хромосомах 3В и 5А в традиционных селекционных материалах может обогащать популяции разными типами устойчивости. Подобный эффект, вероятно, может быть достигнут путем косвенного отбора для некоторых признаков, связанных с фузариозом колоса [Effectiveness of marker-based selection..., 2011].

Молекулярные методы открывают новые возможности повышения резистентности за счёт пирамидирования генов и локусов устойчивости. Однако из многих исследований следует, что наиболее описанные гены устойчивости (локусы *QTL*) оказывают только ограниченное и переменное (часто недолговечное) влияние на полевую устойчивость [Results of the Czech national ring..., 2012], а также анализируются побочные эффекты разных *QTL* и их

сочетаний на агрономические характеристики растений и влияния на них условий выращивания [Suzuki T., Sato M., Takeuchi T. 2012; Characterization of Chinese wheat..., 2014].

Тем не менее, наиболее выгодной стратегией по-прежнему является обнаружение зародышевой плазмы, обладающей приемлемой устойчивостью к фузариозу колоса (в лучшем случае в сочетании с высокой продуктивностью, качеством зерна, устойчивостью к абиотическим стрессам и т.д.), для улучшения отдельных признаков с использованием соответствующих схем скрещивания или преднамеренный перенос генов (обратное скрещивание), для которого применимы молекулярные маркеры. Несмотря на доступность передовых молекулярных методов, целесообразно интегрировать маркерный подход с дополнительным фенотипическим отбором [Comparison of phenotypic..., 2007]. Стратегической задачей селекционных программ остается разработка высокоурожайных сортов пшеницы, сочетающих устойчивость к патогенам с минимальными симптомами проявления заболевания и значительным снижением уровня токсической контаминации зерна.

Культивирование устойчивых к патогенам сортов - наиболее рентабельный и экологически безопасный подход для минимизации ущерба от фузариоза колоса. Исследователями отмечено, что несмотря на комплексный характер резистентности злаковых культур к данному заболеванию, генотипы с повышенной устойчивостью обеспечивают снижение количества инфицированных зерен и концентрации микотоксинов по сравнению с восприимчивыми формами [Загрязнение фузариотоксинами..., 1996; Stack R.W., Frogberg R.C., Casper H., 1997; Susceptibility of kenyan wheat..., 2002]. Высокорезистентные доноры, такие как *Sumai 3*, *Wuhan 37E-OY-OFC*, *Wuhan ЮВ-OY-OFC* и *Nobeoka Bozu*, даже в условиях эпифитотий сохраняют минимальный уровень дезоксиниваленола (ДОН) в зерне, что подчеркивает их селекционную ценность [Nature of wheat resistance..., 1999].

Применение химических средств защиты не обеспечивает полного решения проблемы. Как отмечают В.Г. Иващенко и др. [Иващенко В.Г.,

Шипилова Н.П., Назаровская Л.А., 2004], методы детоксикации зерна имеют ограниченную результативность, а эффективность фунгицидных обработок редко превышает 50-60%. В связи с этим ключевая роль в борьбе с фузариозом колоса отводится интеграции генетических и агротехнологических подходов. Селекция устойчивых сортов является стратегически важным направлением для повышения резистентности пшеничных агроценозов к возбудителям фузариоза.

1.5 Технология селекции пшеницы на устойчивость к фузариозу колоса

1.5.1 Методы создания искусственных инфекционных фонов

При создании устойчивых к фузариозу колоса сортов озимой пшеницы, для эффективного скрининга и отбора устойчивых генотипов необходимо проводить работу по изучению и совершенствованию постоянно действующих в полевых условиях искусственных инфекционных фонов. Методы создания инфекционных фонов многообразны и объединяют наработку инокулюма, способы заражения растений, сроков нанесения инокулюма, форм инфекционного начала и инфекционных нагрузок.

В практике селекции на иммунитет используются аскоспоровая, конидиальная суспензия или их смеси. В зависимости от цели опыта, технических возможностей и объемов оцениваемого материала, чистые культуры грибов выращивают на агаризованных синтетических средах, в аэрируемой жидкой культуре или органических субстратах (зерно злаков, стебли кукурузы). Например, в Мексике (СИММУТ) патоген выращивают на агаризованной среде с использованием кукурузного агара [Bekele G.T., 1984]. В США исследователи синтезируют инокулюм на картофельном агаре с пониженным рН [Armitage C.R., Hill J.P., 1983]. Бразильские специалисты разработали альтернативный подход: культивирование гриба проводят на автоклавированных стеблях кукурузы, создавая условия с температурой 25°C и непрерывным люминесцентным освещением, что стимулирует обильное

образование конидий и аскоспор [Lussardi G.-C., 1984; Wheat spike inoculation methodology..., 2016; Megier E.J., Lima M.I.P.M., Marafon D.L., 2016].

В Венгрии и Австрии для размножения патогена используют аэрируемую среду Чапека по протоколу А. Mesterhazy [1978]. В Румынии чистые культуры грибов рода *Fusarium* получают, инкубируя грибок на стерилизованных зернах пшеницы или кукурузы, что обеспечивает стабильный рост мицелия [Munteanu I., Mystea D., Nagy E., 1978]. По данным М.Т. Galich [1996] в Аргентине для получения инокулюма используют отвар пшеничных отрубей с агаром.

Важным фактором при оценке устойчивости пшеницы к фузариозу колоса остается необходимость применения инфекционной нагрузки, значительно превышающей оптимальные значения. Это требуется по двум ключевым причинам: позволяет четко дифференцировать образцы по степени их восприимчивости к заболеванию и учитывает риск возникновения засушливых условий, которые могут ограничить проникновение патогена в ткани растения, снижая эффективность искусственного заражения [Аблова И.Б., 2008]. Как отмечает Э.Э. Гешеле [1978], для достижения достоверного инфицирования пшеницы фузариозом концентрация спор патогена должна достигать нескольких тысяч на одно растение.

Применяемый исследователями инокулюм содержит от 10^4 до 10^7 инфекционных структур на мл суспензии [Mesterhazy A., 1978; Hani F., 1981]. При массовой оценке селекционного материала используется преимущественно плотность инокулюма 10^6 колониеобразующих единиц (конидий, фрагментов мицелия, аскоспор) в 1 мл суспензии.

Ключевым фактором при искусственном заражении пшеницы фузариозом колоса выступает состав и концентрация инфекционного материала. В исследованиях УСГИ [Гонтаренко О.В., Бабаянц Л.Т., 1992] оценка устойчивости сортов проводилась в условиях смешанной инфекции, где доминировали виды *F. graminearum* (75%) и *F. culmorum* (25%), что отражает типичный патогенный комплекс для юга Украины. Аналогично, Zh. Atanassov и соавторы [Effect mycotoxins on wheat..., 1993] использовали суспензию спор,

объединяющую три штамма *F. graminearum*, два штамма *F. culmorum* и один штамм *F. acuminatum*. Результаты многолетних экспериментов А. Mesterhaszy [1977] подтвердили корреляцию устойчивости к *F. graminearum* с резистентностью к *F. culmorum* и *F. avenaceum*. В исследованиях румынских ученых [Moldovan M., Botezan V., Moldovan V., 1987] максимальная дифференциация сортов достигалась при применении среднеагрессивных изолятов *F. graminearum*, причем комбинация 3-4 штаммов демонстрировала большую эффективность, чем использование единственного высоковирулентного штамма.

Концентрация спор патогена напрямую влияет на интенсивность поражения. Опыты F. Hani [1981] и M.J. Iretta [1996] выявили линейную зависимость между увеличением концентрации конидий рода *Fusarium* и уровнем инфицирования всходов и колосьев. При высоких дозах патогена симптомы проявлялись уже в фазе цветения, тогда как низкие концентрации приводили к видимым признакам болезни лишь в молочной спелости зерна. Другие авторы [Jakabne M., Bekesi R., 1992] сообщали о концентрации, вызывающей сопоставимую степень поражения и различавшийся более чем в пять раз (35 и 180 тыс. пропагул на 1 мл), что указывает на наличие порогового эффекта.

Для развития заболевания критическим параметром являются сроки инокуляции. Исследовательские данные о динамике восприимчивости злаковых к фузариозу колоса имеют расхождения в определении критических фаз патогенеза. Работы ряда авторов [Sutton J.C., 1981; Wang Y.Z., 1996; Гагкаева Т.Ю., 1994] указывают на максимальную уязвимость пшеницы в фазе цветения, тогда как R.N. Strange [1978] отмечал пик инфицирования в поздние стадии онтогенеза, к завершению молочной спелости зерна. Анализ G.T. Bekele [1984] подтвердил, что оптимальным моментом для внедрения патогена служит период экстрезии 5-10 пыльников в колосе.

Эксперименты M. Jakabne и R. Bekesi [1992] выявили возможность успешной инокуляции озимой пшеницы начиная с фазы выход в трубку до

восковой спелости, однако максимальная экспрессия симптомов наблюдалась при заражении в фазе полного цветения. Противоположная картина отмечена у ржи. По данным И.Б. Абловой, С.А. Тараненко [2004], инокуляция до колошения провоцировала массовый некроз колосьев, тогда как обработка после цветения не оказывала значимого влияния на иммунный статус растений.

Для равномерного распределения патогенной нагрузки и повышения достоверности скрининга устойчивых форм, связанных с генотипической вариабельностью сортов, С.Н. Snijders [1990 b] предложил первичную инокуляцию проводить при 30% цветении и обработки повторять 2-4 раза.

Для тестирования устойчивости изучаемых образцов используется несколько способов инокуляции растений, наиболее полно раскрывающих уровень и тип устойчивости. Для выявления источников устойчивости к проникновению (I тип) и распространению (II тип) китайские исследователи помещали между колосками ватный тампон, смоченный в суспензии гриба – cotton-метод [Liu Z., 1984]. Наименьшее варьирование между показателями пораженности дает укол шприцем в цветок центрального колоска, но при этом преодолевается 1 тип устойчивости и выявляется 2 тип [Saur L., 1984].

Наиболее производительным способом инокуляции, позволяющим оценить устойчивость к проникновению гриба и глубине колонизации колосков, в том числе зерновки (I и II тип устойчивости), является способ инокуляции растений путем распыления суспензии [Breeding strategies against FHB..., 2008]. Данный подход к оценке устойчивости пшеницы к фузариозу колоса получил широкое распространение в международной селекции, что подтверждается работами Т. Miedaner [1997], М. Lemmens с соавторами [The ability to detoxify 2005], а также А. Mesterhazy и коллегами [An improved strategy..., 2007]. В СИММУТ (Мексика) применяют инокулят из смеси 5-10 различных изолятов *F. graminearum*, используя наиболее агрессивные штаммы. Для обеспечения однородности условий влажности для благоприятного развития фузариоза на участке инфекционного фона размещают программируемую систему туманообразования [Global *Fusarium* networking, 2008].

В Мексике, наряду с классическим методом полевого опрыскивания [Bekele G.T., 1984], используется модифицированный «cotton-метод», при котором центральную часть колоса оборачивают стерильным ватным диском, пропитанным суспензией спор рода *Fusarium*, после чего изолируют бумажным изолятором. На этапе созревания проводится подсчёт инфицированных колосков в каждом колосе [*Fusarium scab screening...*, 1996; Iretta M.J., Gilchrist L.S., 1994].

Более всего приближенным к естественному является традиционное в фитопатологической практике разбрасывание пораженных зерен в период от появления флагового листа до колошения, включая 2-3х недельное орошение после создания инфекционного фона [Xu Y.G., Fan Z.D., 1982].

1.5.2 Методы оценки устойчивости пшеницы к фузариозу колоса

Оценка устойчивости пшеницы к фузариозу колоса базируется на разнообразных подходах. К прямым относят методы, фиксирующие распространение и степень развития через подсчет инфицированных колосьев и зерен. Косвенные методы включают анализ снижения всхожести семян и поражения проростков после естественного или искусственного заражения [Mesterhazy A., 1995, 2002; Snijder C.H.A., 2004].

В селекционных программах для массового анализа генетического материала активно применяется визуальная диагностика, основанная на стандартизированных оценочных системах. В Бразилии [Lussardi G.-C., 1984], Мексике [Bekele G.T., 1984] и Китае [Liu Z., 1984] внедрена модифицированная японская пятиуровневая шкала (0–5 баллов), которая учитывает два показателя: первый - соотношение зараженных колосьев к общей площади посева; второй - долю инфицированных колосков в пределах отдельного колоса, что отражает как распространение, так и интенсивность заболевания.

Точность оценки резистентности варьирует в зависимости от метода. Th. Miedaner и H. Walther [1987] достигли высокой достоверности, измеряя массу 12 зараженных колосьев каждой линии и сравнивая её с тяжестью симптомов.

Другие исследователи анализировали толерантность через снижение массы 1000 зерен относительно контроля [Koczowska I., 1983; Diehl T., Fehrmann H., 1989; Младенов М., Караджова Й., Павлов П., 1990]. Н. Walther [1982] рекомендует учитывать потерю урожая с одного колоса, тогда как С.Н. Snijders [1990 b] предлагает подсчитывать процент пораженных колосьев и колосков в колосе.

Использование различных методов диагностики степени поражения семян зерновых культур и контаминации микотоксинами значительно расширяет инструментарий по идентификации возбудителей фузариоза и существенно сокращает время анализа. Инфракрасная спектроскопия [Способ определения степени поражения..., 1989], иммуноферментный анализ (ИФА) [Кононенко Г.П., Буркин А.А., 2003] и количественная ПЦР [Edwards S.G., O'Callaghan J., Dobson D.W., 2002; PCR detection of *Fusarium*..., 2011; Фузариоз зерновых культур, 2011] все больше внедряется в селекционную практику.

Содержание ингибитора трипсина в зерне в качестве биохимического маркера предложено использовать как показатель устойчивости [Адамовская В.Г., Клечковская Е.А., Литвиненко Н.А., 1992]. Важным аспектом, отмеченным в работе Н.А. Литвиненко и соавторов [Генетическая устойчивость пшеницы..., 2002], является не исходная концентрация трипсинового ингибитора в зерновых тканях, а его динамическое накопление в процессе взаимодействия с патогеном *F. graminearum*.

При инфицировании грибами *Fusarium* активируются защитные механизмы, включающие синтез фенольных соединений и белков с антигрибной активностью [Тарчевский И.А., Чернов В.М., 2000]. Исследования И.А. Сидорова с соавторами [Образование растениями озимой пшеницы..., 1996] выявили, что устойчивые сорта наращивают концентрацию фунгистатических фенолов при заражении. Позднее Т.М. Сидорова и И.А. Сидоров [2000] связали резистентность с активностью гликолитических ферментов и фенилаланинаммиаклиазы, которые сильнее активируются у устойчивых генотипов. McKeehen и соавторы [McKeehen J.D., Busch R.H., Fulcher R.G., 1999]

подтвердили, что феруловая и паракумаровая кислоты подавляют рост *Fusarium spp.*, а их содержание коррелирует с устойчивостью.

У сорта *Frontana*, обладающего резистентностью к фузариозу, в местах проникновения грибов рода *Fusarium* наблюдается повышенное содержание фенолов в цветковых чешуях по сравнению с восприимчивыми формами (цит. по Г.Д. Соколовой, 2005), что подчеркивает роль биохимических барьеров в защите растений.

Как считает И.А. Тарчевский [2001], разную роль в реализации защитных механизмов растений выполняют патогениндуцируемые белки (pathogenesis-related proteins, PR- белки). Эти соединения, включая глюканазы и хитиназы, способны разрушать клеточные стенки грибов, подавляя их развитие. Их разнообразие и функциональная активность, как отмечает С.Р. Selitrennikoff [2001], охватывают сотни вариантов с разной молекулярной массой, что подчеркивает их роль в резистентности.

Важным диагностическим критерием устойчивости к фузариозу колоса служит реакция проростков на инфицирование. А. Mesterhazy [1985, 1987] выявил статистически значимую корреляцию между устойчивостью проростков и колосьев, что подтверждает системный характер защитных механизмов пшеницы.

1.5.3 Методы селекции пшеницы на устойчивость к фузариозу колоса

Основной стратегией формирования генетического разнообразия в селекции пшеницы остается внутривидовая гибридизация, которая предполагает скрещивание эколого-географически отдаленных форм [Mapping of quantitative trait loci..., 2003] и интеграцию генов от доноров устойчивости [Подходы в селекции на устойчивость..., 2001]. Этот подход позволил разработать резистентные сорта и линии в различных регионах, включая Россию, Китай, Венгрию, Мексику, Австрию, Аргентину, США, Югославию и Румынию. Как

отмечал П.П. Лукьяненко [1966], внутривидовая гибридизация обеспечивает создание новых сортов с минимальными временными и финансовыми затратами.

Современные сорта, устойчивые к фузариозу колоса, получены преимущественно двумя путями: скрещивание родителей со средней восприимчивостью и комбинация устойчивого генотипа с восприимчивым, но обладающим ценными агрономическими признаками.

Ключевым примером является китайский донор *Sumai 3*, выведенный из гибридной популяции умеренно восприимчивых сортов *Taiwanmai* и *Funo* [Development of gene pool..., 1987]. Несмотря на низкие показатели качества зерна и уязвимость к ржавчине и мучнистой росе, *Sumai 3* демонстрирует исключительную комбинационную способность, что сделало его основой селекционных программ в глобальном масштабе [Gilchrist L., Dubin H.J., 2002]. Его производные, такие как *Ning 7840*, *Ning8026* и *Wungshuibai*, унаследовали устойчивость, однако *Wungshuibai* отличается слабой комбинационной ценностью по другим признакам [Bai G.-H., Shaner G., 1994].

Венгерские исследователи продемонстрировали возможность объединения озимых доноров (*Ringo Star*, *Arina*) с яровыми (*Sumai 3*, *Nobeoka Vozu*), что привело к успешному созданию озимых форм с повышенной резистентностью к фузариозу колоса, превосходящей родительские линии [Mesterhazy A., 1997].

При изучении в Европейских испытаниях чешских линий наименьшее содержание дезоксиниваленола (DON), а также наименьшая симптоматическая реакция были обнаружены в образцах *A 17-15-1-2*, *20817-3*, *Fg 437*, *98710 A* (линии, полученные от скрещивания с *Sumai 3*), *F01302GP3-1* и *HUS 692*. Линии чешских селекционеров *SG-U3018 F-A*, *Cimrmanovaraná*, *SG-S930-08*, *SG-U6014 B*, *SG-U3007 B*, *Dagmar*, *SG-U 641A-B* показывают повышенный уровень сопротивления к фузариозу колоса [Results of the Czech national ring..., 2012].

В Аргентине селекционные программы [Galich M.T., 1996] базируются на использовании высокоустойчивых генотипов из Японии, Китая, СИММУТ и

стран Южной Америки, а также местных сортов, включая исторические и современные линии.

Расширение генетического разнообразия пшеницы остается ключевой задачей. Из-за дефицита надежных доноров устойчивости у мягкой пшеницы исследователи в России и других странах активно применяют межвидовую и межродовую гибридизацию [Wide crosses to improve *Fusarium*..., 1997; Lianfa S., Song Q., Qi S., 2000].

Н.И. Вавилов [1964] подчеркивал потенциал редких видов пшеницы и их диких сородичей как источников резистентности. Однако он отмечал, что передача иммунитета от диких форм к культурным сортам сопряжена с значительными трудностями, особенно в комбинации с хозяйственно-ценными признаками.

В CIMMYT разработаны синтетические гибриды *Triticum turgidum/Aegilops squarrosa* ($2n=6x=42$, AABBDD) и их производные линии, обладающие устойчивостью I и II типов. Активно исследуется возможность комбинирования разных типов резистентности в одном генотипе. Особый интерес представляет идентификация форм с биохимическим типом устойчивости (III тип), направленным на подавление синтеза микотоксинов [Fusarium scab screening..., 1996].

В Канаде от скрещивания мягкой пшеницы *Tr. aestivum* с *Hordeum*, *Thinopyrum*, *Dasyphyrum* получены линии с высоким уровнем резистентности к болезни [Strategies for breeding..., 1996; Wide crosses to improve *Fusarium*..., 1997].

Китайские исследователи [Yang Z., 1994; Lianfa S., Song Q., Qi S., 2000] провели исследования по интрогрессии генов устойчивости к фузариозу колоса из диких видов *Aegilops* spp. и *Agropyron* spp. в геном мягкой пшеницы. У гибридов первого поколения F_1 , полученных в результате отдаленной межродовой гибридизации, выявили выраженную резистентность к патогену в условиях искусственного заражения. Для закрепления целевых признаков гибриды F_1 подверглись беккроссам с мягкой пшеницей.

В Бразилии [Strategies for breeding..., 1996] и Китае [Chen P., Liu D., Sun W., 1996] в селекционные программы включены местные линии ржи (*Secale cereale*), обладающие умеренной устойчивостью к фузариозу колоса. Эти генотипы стали основой для разработки новых резистентных форм пшеницы.

Исследования Y.-N. Wang и коллег [Studies on transfer of *E. giganteus*..., 1991] привели к созданию трёх линий *Tr. aestivum*/*L. racemosus* и двух линий *Tr. aestivum*/*Roegneria ciliaris*, которые превзошли по устойчивости не только родительскую форму *Chinese Spring*, но и сорт Sumai 3. Дальнейшая работа по интеграции генов диких злаков в пшеницу подтвердила высокую устойчивость к фузариозу колоса у вида *Elymus giganteus* (синоним *Leymus racemosus*). Его гибридизация с *Triticum aestivum* позволила получить потомство с повышенной резистентностью к заболеванию [Relationships between resistance..., 2004].

В Китае значительный прогресс в увеличении резистентности к фузариозу колоса пшеницы был достигнут за счет переноса генов устойчивости (*QTL*) из родственных видов пшеницы, таких как *Leymus racemosus*, *Rogneri akamoji* и *Elytrigia elongata*, в обычную пшеницу [Chen P., 2016]. Новые генетические ресурсы с высокой устойчивостью к фузариозу колоса и высоким выходом были получены в результате отбора с использованием соматональных вариаций в культуре ткани в сочетании с добавлением микотоксинов в среду.

В процессе переноса чужеродных генов создаются новые источники устойчивости. При этом существует вероятность утраты ценного признака устойчивости при повторных беккроссах, используемых для преодоления стерильности гибридов и других нежелательных признаков дикого растения.

Австрийские исследователи H. Buerstmaug с соавторами [Novel findings in breeding..., 2016] выявили несколько *QTL* резистентности к фузариозу колоса, связанных с фенологическими признаками (высотой растений и степенью сохранности пыльников после цветения). Они проанализировали влияние аллелей полукарликов *Rht-B1b* и *Rht-D1b* на устойчивость к фузариозу колоса и удержание пыльников. Как правило, уменьшение высоты растения было связано с повышенным поражением фузариозом колоса и большим количеством

оставшихся пыльников. Эти признаки у образцов с аллелем *Rht-D1b* были более выражены, чем у образцов с *Rht-B1b*. По мнению авторов, для повышения устойчивости к фузариозу колоса аллель *Rht-B1b* предпочтительнее аллели *Rht-D1b*. В нескольких местных адаптивных источниках устойчивости, например, в европейской озимой пшенице *Arina*, устойчивость к фузариозу колоса определяется множественными *QTL* и выявлен эффект частичного перекрытия между *QTL* устойчивости к фузариозу колоса и *QTL* экстрезии пыльников. К тому же авторы часто наблюдали связь устойчивости к фузариозу колоса и экстрезии пыльников в современном селекционном материале [Novel findings in breeding..., 2016].

Чтобы ускорить темпы развития устойчивых к фузариозу колоса сортов, другие китайские исследователи G. Feng et al. [Development of wheat varieties..., 2016] в программе селекции использовали метод обратного скрещивания с отбором молекулярных маркеров (MAS) и двойное гаплоидное разведение. По данным авторов, обратное скрещивание MAS является эффективным способом переноса генов-мишеней из зародышевой плазмы в адаптивный сорт пшеницы [Development of wheat varieties..., 2016].

В крупнейшем регионе Китая по производству пшеницы, в долине Хуай, по данным W.Z. Lu с соавторами [Lu W.Z., Luo M., Shen T.M., 2016], интрогрессия генов устойчивости к фузариозу колоса в новые сорта производится путем скрещивания генотипов, обладающих хорошим качеством и высокой урожайностью в качестве материнской формы с озимой пшеницей, имеющей высокую или умеренную резистентность к болезни в качестве отцовской формы. Повышение устойчивости к фузариозу колоса местных адаптированных линий ведется путем повторных обратных скрещиваний. Быстрое получения гомозиготных линий способствует ускорению размножения [Lu W.Z., Luo M., Shen T.M., 2016].

Оптимальной стратегией выведения сортов с повышенной устойчивостью к поражению фузариозом колоса признана многоступенчатое пирамидирование, предполагающее последовательное комбинирование генетических факторов,

детерминирующих как узкоспециализированную, так и широкую форму резистентности к патогену [Принципы и методы селекции..., 2016]. Существенным элементом селекционного процесса выступает систематический отбор образцов в гибридных поколениях, инициируемый уже на этапе F_2 . О повторяющемся отборе, как эффективном способе повышения устойчивости, позволяющим накапливать в растениях гены устойчивости утверждал S. Tomasovic [1981]. Им была реализована серия беккроссов для разработки новых устойчивых форм к фузариозу колоса на базе известных генетических источников резистентности и коммерческих сортов. Методология включала применение диаллельных и полудиаллельных схем, дополненных стратегией циклического отбора.

В Бразилии была доказана эффективность метода возвратных скрещиваний для интеграции хозяйственно-важных признаков с устойчивостью к фузариозу колоса [Lussardi G.-C., 1984]. Алгоритм предполагает первичный отбор резистентных экземпляров в поколении F_2 с последующей многоступенчатой оценкой их реакции на инокуляцию в фазах F_3 и F_{4-5} . Тестирование выполняется при искусственном заражении агроценозов или в контролируемых тепличных условиях.

Среди разных авторов имеются расхождения во взглядах относительно оптимальных сроков начала селекционного отбора. Так, голландские специалисты [Snijders C.H.A., 1990 a] рекомендуют инициировать селекционный отбор в начальных гибридных поколениях (F_2 - F_4). В противоположность этому, исследования Y. Lin с соавторами [1992] обосновывают необходимость проводить селекционную выбраковку до этапов F_3 - F_4 в условиях контролируемого инфекционного фона, что способствует повышению доли гомозиготных генотипов.

Обзор научных публикаций выявил, что прогресс в создании устойчивых к фузариозу колоса сортов пшеницы носит локальный характер и ограничен отдельными регионами. Ключевыми препятствиями остаются дефицит эффективных доноров резистентности, недостаточно разработанные методы

инокуляции, а также сложности в объективной оценке и отборе перспективных форм.

Таким образом, основными задачами исследования выступают:

- анализ полиморфизма отечественных и иностранных сортов пшеницы с целью выявления генетических ресурсов устойчивости к фузариозу колоса и создания селекционных линий с комплексной устойчивостью, объединяющей несколько механизмов защиты;

- изучение молекулярных механизмов резистентности у сортов из различных генетических пулов в условиях Северо-Кавказского региона, включая оценку влияния региональных почвенно-климатических факторов на экспрессию защитных генов и анализ генетических основ устойчивости к патогену у сортов из различных генных пулов;

- определение взаимосвязей между устойчивостью к фузариозу колоса и резистентностью к болезням листьев и хозяйственно-ценными признаками (продуктивность, качество зерна, адаптивность к стрессам).

2 УСЛОВИЯ ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТОВ, МАТЕРИАЛ, МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

2.1 Почвенно-климатические условия проведения исследований

Исследования проведены с 2006 по 2023 гг. на базе опытных полей отдела селекции и семеноводства пшеницы и тритикале Национального центра зерна им. П.П. Лукьяненко (г. Краснодар). Почвы селекционного севооборота – сверхмощные слабовыщелоченные малогумусные черноземы с тяжелосуглинистым составом (60–70% глины), низкой водопроницаемостью и высокой капиллярной скважностью [Кириченко К.С., 1952]. Гумусовый горизонт достигает 2 м при содержании гумуса 3,5% в поверхностном слое. Карбонаты локализованы с глубины 180 см; рН верхних горизонтов нейтральный, нижних – слабощелочной. Концентрация элементов питания в верхних горизонтах чернозема: 0,15–0,18% фосфора, 1,82–1,91% калия, 0,26–0,35% азота [Комарова С.В., 1973].

Климат региона умеренно-континентальный: среднегодовая температура +11,5°C (максимум в июле: +23,2°C; минимум в январе: –1,8°C), осадки – 713 мм/год (варьирует в пределах 540–737 мм). Для зоны проведения экспериментов характерны мягкие зимы с нестабильным снежным покровом, резкий весенний температурный подъем (с возможными возвратами холодов), жаркое лето с чередованием засух и дождей, продолжительная сухая осень. В годы исследований отмечались экстремумы: засухи (2007, 2013), переувлажнение (2006, 2010, 2011), эпифитотии фузариоза колоса (2012, 2014, 2016, 2017, 2023).

Для характеристики погодных условий в рамках многолетних исследований, использовалась информация метеорологического поста НЦЗ им. П.П. Лукьяненко, расположенного в непосредственной близости от экспериментальных участков (примерно в 100-500 м). Параметры метеорологических условий в период проведения исследований демонстрировали существенные межгодовые различия.

Заражение фузариозом колоса наиболее критично в период колошение – созревание, поэтому в большей степени нас интересуют метеоданные мая–июля (таблица 2.1).

Таблица 2.1 - Метеорологические показатели весенне-летних периодов

Годы	Май			Июнь			Июль		
	t°C	осадки, мм	ОВВ*, %	t°C	осадки, мм	ОВВ, %	t°C	осадки, мм	ОВВ, %
2006	16,9	39,2	67	23,1	119,0	67	22,8	90,1	60
2007	20,3	16,8	56	23,4	52,4	60	26,5	4,3	50
2008	16,2	68,4	68	21,5	53,0	64	24,4	33,9	62
2009	16,1	56,7	70	23,9	39,1	61	25,6	69,2	61
2010	19,2	11,7	63	24,6	102,3	65	26,8	33,5	66
2011	17,1	65,9	72	22,6	56,8	64	27,0	2,2	61
2012	21,5	63,0	62	24,7	37,7	58	25,7	53,4	58
2013	20,9	35,8	51	23,0	75,6	53	24,0	98,1	47
2014	19,9	46,2	54	21,9	102,1	61	25,4	125,0	59
2015	18,1	67,9	54	22,5	139,5	61	24,7	42,3	54
2016	17,1	83,1	67	22,9	117,1	59	25,4	13,5	51
2017	16,9	132,3	62	21,5	71,6	65	25,3	71,1	51
2018	19,8	79,8	58	24,2	14,3	45	26,4	111,8	50
2019	19,7	56,6	57	25,7	39,5	59	23,5	117,3	52
2020	16,0	44,9	62	23,5	26,1	48	26,7	102,6	51
2021	18,1	55,3	58	27,1	82,2	53	26,9	14,7	55
2022	15,1	45,7	58	22,5	64,0	51	24,1	70,9	51
2023	16,2	93,6	67	21,8	104,9	62	24,8	35,1	53
средняя многолетняя	18,0	59,0	61,4	23,3	72,0	58,6	25,3	60,5	55,1

ОВВ* – относительная влажность воздуха

Погодные условия 2006 - 2023гг. были типичными для зоны. Наиболее благоприятными для распространения и развития болезни были 2006, 2009, 2010, 2011, 2012, 2014, 2016, 2017, 2023 гг.

Продуцирование микотоксинов грибами рода *Fusarium* возможно в широком температурном диапазоне, но критичен дефицит влаги [Фузариоз

зерновых культур, 2011]. Развитие возбудителей фузариоза колоса лимитируется в большей степени влажностью, чем температурой. При наличии инфекционных структур, сохраняющихся на растительных остатках, положительной температуре около 15°C, влажности воздуха свыше 70% (включая осадки, росы, туманы) и выпадении более 10 мм осадков за 10 суток в период цветения, риск эпифитотий возрастает [Пато- и токсиногенез фузариоза колоса., 2000; McMullen M.P., Jones R., Gallenberg D., 1997].

Агроценозы озимой пшеницы и ее патогены в 2006 г. оказались в аномальных погодных условиях. В январе в Краснодаре зафиксированы температуры до -27,7°C, а февральские, стабильно низкие, температуры отодвинули возобновление весенней вегетации. Высокий плотный снежный покров предотвратил вымерзание посевов и способствовал сохранению патогенной микрофлоры. Массовое колошение пшеницы пришлось на вторую декаду мая, цветение – на третью. В этот период температура превышала норму, а осадки составили 78% от среднемноголетних значений. Июнь отличался экстремальным увлажнением: сумма осадков достигла двух норм, с пиками в первой и третьей декадах на фоне высоких температур. В первой половине июля продолжились интенсивные дожди. Распространению фузариоза колоса способствовал циклонический характер погоды после цветения – в период образования, налива и созревания зерна. Такие условия создали оптимальный микроклимат для развития фузариев. Многие посевы оказались пораженными вирусными болезнями, вызывающими стерильность колосьев, у которых наблюдали открытое цветение. Это послужило воротами для проникновения инокулюма *F. graminearum*.

В 2007 г. в первой декаде мая температура воздуха была довольно низкой (14,2°C): на 0,8°C меньше среднемноголетних значений. Зато во второй и третьей декадах температура превысила среднемноголетние данные на +3,6°C и +7,7°C соответственно. Абсолютный максимум достигал 35°C, значения относительной влажности воздуха не поднимались выше 30% и в среднем за месяц составили 27,2%. Осадков выпало всего лишь 16,8 мм, что меньше нормы в 3,5 раза.

Показатели температуры воздуха в июне зафиксированы выше среднемноголетних. Абсолютный максимум достигал 36°C. Влажность воздуха оставалась на прежнем уровне, и в среднем за месяц составила 27,5%. Осадков выпало ниже нормы – 52,4 мм.

Как отмечают Т.В. Павлова и А.Г. Измалкова [1995], эпифитотийное развитие фузариоза колоса вероятно при выпадении около 40 мм осадков в течение 10-суточного периода колошение–цветение. В мае 2008 г. метеоусловия не соответствовали этим параметрам, что ограничило естественное распространение болезни. Первая и вторая декады мая (фазы появления флагового листа и начало колошения) характеризовались умеренным увлажнением при температурном дефиците (среднедекадные показатели ниже нормы). В третьей декаде наблюдались ливневые дожди, создавшие риски для распространения фузариоза колоса. Первая декада июня отличалась большим количеством осадков на фоне пониженных температур, тогда как в последующий период температурный режим нормализовался, а количество осадков оставалось в пределах или превышало среднемноголетние значения.

В хозяйствах разных районов (Тихорецкий, Тбилисский, Кавказский, Курганинский, Усть-Лабинский, Лабинский, Отрадненский, Кореновский, Белореченский) на восприимчивых сортах озимой пшеницы отмечали признаки поражения фузариозом колоса (*Fusarium spp.*). Лимитирующим фактором для формирования эпифитотийной ситуации по фузариозу колоса явился пониженный температурный режим на фоне циклонических дождей и высокой относительной влажности (около 70%) в период колошение – цветение – образование зерна. Избежать эпифитотии удалось и благодаря разработанным и внедренным нами фитозапретам, согласно которым исключается посев восприимчивых сортов по предшественнику кукуруза на зерно.

В зимний период 2009 г. температурные показатели превышали среднемноголетние нормы, что препятствовало переходу озимой пшеницы в состояние глубокого покоя и стимулировало раннее возобновление весенней вегетации. В марте высокие температуры воздуха (до +22°C) сочетались с

избыточным увлажнением, ускоряя физиологическую активность растений. Начиная со второй декады апреля и почти до конца месяца, в ночные и утренние часы температура воздуха опускалась ниже 0°C, в отдельные дни достигала минус 7-12°C. Осадков выпадало меньше многолетней нормы. Относительная влажность воздуха варьировала от 49 до 67%. Фузариоз колоса проявлялся локально. Вспышки болезни отмечали в Лабинском, Отрадненском, Новокубанском районах Краснодарского края, Кочубеевском районе Ставропольского края.

В Краснодарском крае температурный режим в зимний период 2010 г. был выше средних многолетних значений, способствовавший сохранению и развитию инфекционного начала, а также раннему возобновлению весенней вегетации. Погодная ситуация в марте сопровождалась высокими температурами воздуха (до 20,9°C) на фоне избытка влаги. В апреле теплая погода на фоне выпадения большого количества осадков (почти в 2 раза больше среднемноголетних значений). Май характеризовался сухой и жаркой погодой. За месяц выпало 11,7 мм, отмечено 9 дней с осадками. Выпадающие осадки соответствовали росе, которая долго сохранялась в ценозе и благоприятствовала распространению болезней. В первой декаде июня прошли дожди ливневого характера, которые способствовали массовым вспышкам болезней листьев и фузариоза колоса. Третья декада июня была дождливой, выпало 10,3 мм осадков, что в 1,5 раза больше нормы. Симптомы фузариоза колоса отмечали даже в традиционно нефузариозных районах северной и анапо-таманской зон. Инфекционную картину в агрофитоценозах существенно дополняли пиренофороз, ожог листьев грибами р. *Microdochium*. В условиях искусственного заражения проявление болезни на высоко восприимчивых формах отмечали через 12-14 дней после инокуляции. Раннее появление признаков заражения позволило провести 3, а на позднеспелых генотипах - 4 учета, причем 1-й учет датируется 24 мая; 12 июня большинство сортов и линий имели 100% поражение колосьев на делянке при 100% распространении. Тестирование по

интенсивности поражения зерна показало, что индикаторные сорта поражены на 85-90%, что соответствует 9 баллам.

Повышенный температурный режим в зимний период 2011 г. способствовал сохранению и развитию инфекционного начала. В мае зафиксированы высокие влажность (в среднем 72%) и температура при общем количестве осадков 65,9 мм, которые вместе с продолжительной росой создавали в посевах озимой пшеницы оптимальные условия для распространения фузариоза колоса. В первой декаде июня осадки отсутствовали, а во второй и третьей декадах их количество соответствовало норме. При этом сочетание повышенной влажности воздуха и температурного режима спровоцировало массовые вспышки фузариоза колоса и болезней листового аппарата. Наибольшее распространение фузариоза колоса наблюдалось в Южно-предгорной, Центральной и Западной дельтовой зонах Краснодарского края (в этих зонах много рисосеющих хозяйств, большая поверхность зеркала воды в рисовых чеках создает повышенную влажность воздуха).

Пониженный температурный режим воздуха и почвы в третьей декаде октября – ноябре 2011 г. замедлил процесс прорастания семян и появления всходов растений, способствовал развитию вредной микрофлоры в почве и на растительных остатках. Растянутый период атаки патогенов, мелкоклеточность растений обусловили повышенную их уязвимость к инфекции различной этиологии. Обследование селекционных и производственных посевов озимой пшеницы в декабре-январе выявило массовое инфицирование растений. Микологический анализ показал, что основным возбудителем являлся *Microdochium nivale*, который вызывает снежную плесень и активно развивается при низких положительных температурах 3-5°C. Воздействие критически низких температур спровоцировало повреждения узла кущения и корневой системы озимой пшеницы, нарушив онтогенез растений и подавляя их иммунную систему. В агроценозе идентифицированы растения с симптомами поражения фузариозной корневой гнилью.

Весенняя вегетация озимых культур в 2012 г. стартовала с задержкой. Апрель характеризовался повышенными температурами: среднемесячный показатель превысил многолетнюю норму на 6°C, с пиковыми значениями до 28–31°C. Относительная влажность воздуха варьировала от экстремальных 28% до среднемесячных 55%, при дефиците осадков (последние зафиксированы 22 апреля). Майские температурные максимумы (более 32°C) и долгое (30 дней) отсутствие осадков вызвали почвенно-воздушную засуху. Это ускорило фенологическое развитие озимых, но привело к снижению высоты растений и разреженности стеблестоя. Интенсификация циклонической активности в третьей декаде мая (свыше 50 мм осадков) создала условия для эпифитотийного распространения и развития грибов р. *Fusarium* spp., что проявилось в поражении колоса, зерна и листьев в виде ожогов. Непрерывающиеся осадки в период налива и созревания зерна (в третьей декаде июня – первой декаде июля в Краснодаре выпало более 80 мм осадков) стимулировали распространение фузариоза колоса и зерна. Искусственный инфекционный фон по фузариозу колоса получился очень жесткий. В этих условиях слабую степень поражения имели только высокоустойчивые образцы, большинство сортов и линий были восприимчивы и высоко восприимчивы к возбудителям фузариоза колоса.

В 2013 г. в результате мягкой зимы наблюдалось раннее возобновление весенней вегетации. В третьей декаде марта озимая пшеница находилась в фазе выхода в трубку. В конце марта возвратные морозы вызвали повреждения посевов озимой пшеницы. Озимые колосовые культуры в этот период находились уже в генеративной стадии развития, когда морозостойкость резко падает. В конце мая отмечали проявление белостебельности, белоколосости, вызванное поражением стеблей прикорневыми гнилями – офиоблезом, церкоспореллезом, ризоктониозом, фузариозом. Возможно, массовое поражение прикорневыми и корневыми гнилями вызвано повреждением растений мартовскими морозами. В апреле-мае на фоне низких запасов продуктивной влаги в почве наблюдалось существенное снижение среднемноголетних значений осадков. Низкая относительная влажность воздуха,

три ранних суховейных периода в критические фазы онтогенеза озимой пшеницы (в апреле, мае, июне) и ускоренное прохождение периодов колошение – цветение – формирование зерна при высоких температурах, не давали развиваться фузариозу колоса.

В 2014 г. в Краснодарском крае (преимущественно в центральной и южно-предгорной агроклиматических зонах) распространение и развитие фузариоза колоса пшеницы достигли масштабов эпифитотии. Мы прогнозировали такую ситуацию ещё осенью 2013 г., связывая её с запаздыванием уборки зерновой кукурузы. Нерегулируемое расширение площадей под кукурузой на зерно, а также накопление на поверхности почвы значительного объёма её растительных остатков, заселенных грибами р. *Fusarium*, спровоцировали массовое инфицирование посевов и доминирование в патогенезе вида *F. graminearum*. Активно способствовали этому обильные осадки и экстремально высокая влажность в критические фазы развития растений (колошение–цветение–формирование зерна). На искусственном фоне первые признаки болезни отмечали через 10 дней после первой инокуляции. До полного обесцвечивания колосьев удалось провести 3 учета, последний учет датируется 11 июня. Большая часть материала поразила на 100% или 9 баллов (высший балл учетной шкалы) как по колосу, так и по зерну.

Продолжительное отсутствие осадков в период сева озимой пшеницы под урожай 2015 г., а также низкие запасы продуктивной влаги в почве и низкие температуры воздуха в октябре-ноябре во время всходов и роста озимой пшеницы не способствовали формированию мощной биомассы растений, развитию и распространению инфекционного начала различной этиологии в осенний период. Кроме того, для возбудителей фузариоза колоса формирование и существование летних генераций было проблематичным из-за чрезмерно высоких температур и длительного (около 3-х месяцев) отсутствия осадков, что вызвало «депрессию» дальнейшего развития этих фитопатогенов. В марте, апреле и первой декаде мая 2015 г. температурный режим, условия влагообеспеченности были благоприятными для распространения возбудителей

грибных болезней. Сдерживали появление симптомов недостаточно хорошее развитие растений и сравнительно небольшая биомасса; невысокая плотность агрофитоценозов, способствующая их проветриванию и освещению. С 14 мая доминировал режим засухи с интенсивными восточными ветрами. Средняя относительная влажность воздуха во второй и третьей декадах месяца составила 48% и 50%, а в пиковые периоды снижалась до 28–32%, создавая экстремально засушливые условия, препятствующие инокуляции и прогрессирование фитопатогенов. В фазе формирования и налива зерна (первая декада июня) суховеи дополнительно угнетали активность фузариев в агроценозах озимой пшеницы и условий для эпифитотии фузариоза колоса не возникло. Локальные очаги поражения отмечены лишь на тех полях, где осадки в период созревания и начала уборочной кампании реактивировали остаточную инфекцию.

В 2016 г. в Краснодарском крае фузариоз колоса получил широкое распространение и развитие на зерновых колосовых культурах. Эпифитотийная ситуация была обусловлена сверхоптимальными погодными условиями для возбудителей болезни в весенне-летний период: обильные осадки (700–850 мм) за последние 6 месяцев текущего года (в отдельных местах в июне только в один прием за 2–3 часа выпадало более 100 мм) на фоне температурного оптимума для развития патогена. Следует отметить, что критическим условием для успешной инвазии возбудителей фузариоза колоса служит сочетание увлажнения (небольшой дождь, роса или влажность воздуха более 70%) длительностью 40–60 часов (не менее 8 часов) с температурным режимом 10–30°C. Для южных регионов России осадконакопление 15–25 мм в фазу цветения (пик уязвимости к грибам рода *Fusarium*) пшеницы и тритикале детерминирует эпифитотийное распространение фузариоза колоса. Кроме условий внешней среды, определяющими факторами для формирования эпифитотии болезни послужило наличие большого количества инфицированных растительных остатков кукурузы, сахарной свеклы и других культур на поверхности почвы, инфицированность поверхностного слоя почвы грибами рода *Fusarium* и снижение ее супрессивных свойств, а также большие площади под кукурузой на

зерно и возделывание восприимчивых к фузариозу гибридов кукурузы. Маршрутные обследования, проведенные нами, свидетельствовали о том, что на территории Краснодарского края распространение фузариоза колоса было неодинаковым. В максимальной степени он был представлен в южно-предгорной зоне (Курганинский, Лабинский, Отрадненский, Новокубанский районы), центральной зоне (Усть-Лабинский, Динской, Тимашевский, Кореновский, Выселковский районы, г.Краснодар), северной зоне (Тихорецкий, Павловский (отдельные хозяйства)). Единично, при слабом распространении и развитии, фузариоз колоса обнаруживался в Западной дельтовой зоне (Калининский, Славянский, Красноармейский районы), где практически не возделывают кукурузу на зерно, сахарную свеклу, которые являются основными накопителями фузариозной инфекции. При искусственном заражении первые признаки болезни отмечали через 10 дней после первой инокуляции. До полного обесцвечивания колосьев удалось провести 5 учетов, первый учет датируется 18 мая, последний - 15 июня.

Погодные условия весенне-летнего периода в 2017 г. сложились благоприятно для восстановления посевов озимой пшеницы, накопления биомассы растений, а также для проявления и распространения болезней листьев и колоса различной этиологии (умеренные комфортные температуры воздуха, достаточное и избыточное увлажнение). Погода циклонического характера в мае способствовала массовому заражению посевов фузариозом колоса и дальнейшему его эпифитотийному развитию. Усугубляли ситуацию поздние сроки сева осенью, которые традиционно в большей степени уязвимы для заражения, чем посева оптимальных сроков. На высоко восприимчивых формах в условиях искусственного инфекционного фона проявление болезни отмечали через 10-12 дней после инокуляции. Раннее появление признаков заражения позволило провести 4, а на позднеспелых генотипах - 5 учетов.

Апрель 2018 г. отличался выраженным повышенным температурным режимом (+2,3°C к среднемноголетним значениям) на фоне дефицита осадков (32,4 мм при климатической норме 55 мм). Фаза трубкования озимой пшеницы

массово отмечалась уже в первой декаде. Резкий температурный скачок в середине месяца создал стрессовые условия для агроценозов. Температуры воздуха мая в целом были выше средней многолетней на $2,8^{\circ}\text{C}$, что ускорило наступление фазы колошения озимой пшеницы. Относительная влажность воздуха низкая – от 31 до 44%, что являлось неблагоприятным фактором для развития фузариевых грибов. Выпало умеренное количество осадков – почти на уровне нормы. Это существенно оптимизировало фитосанитарную ситуацию по фузариозу колоса озимой пшеницы. Хотя в отдельных районах (Новокубанский, Гулькевичский, Курганинский, Лабинский, Отрадненский, Тихорецкий и др.) отмечали проявление болезни по предшественнику кукуруза на зерно. Налив и созревание зерна протекали при жаркой и засушливой погоде с суховейными явлениями. Июнь 2018 г. характеризовался высокими температурами ($+3,2^{\circ}\text{C}$ к среднемноголетним значениям) с дневными пиками на уровне 35°C и наблюдался критический дефицит осадков (14,3 мм, 17% от нормы). Полное отсутствие дождей в первой–второй декадах ингибировало эпифитотийное развитие фузариоза колоса. В июле доминировала жаркая погода ($+3^{\circ}\text{C}$ к климатической норме) с негативными атмосферными явлениями (ливнями, градом, шквалами ветра). Средний температурный максимум составил $33,5^{\circ}\text{C}$, абсолютный – превысил 38°C , усиливая стрессовую нагрузку на агроценозы.

Маршрутные обследования селекционных и производственных посевов озимой пшеницы во всех агроклиматических зонах края в январе и феврале 2019 г. показали, что фитосанитарная обстановка в большинстве случаев была оптимальной. На отдельных полях по колосовому предшественнику наблюдалось поражение растений (корневая система, прикорневая подземная часть, листья), вызываемое грибами *Fusarium* и *Microdochium*. Температура воздуха в марте выше средней многолетней на $2,7^{\circ}\text{C}$. В течении месяца температура воздуха повышалась до $+19,3^{\circ}\text{C}$, что благоприятствовало активной весенней вегетации и интенсивным ростовым процессам пшеничного растения. Количество выпавших осадков превысило среднемноголетнюю норму на 14,5 мм. Средняя относительная влажность воздуха составила 68%, во второй декаде

фиксировалась на отметке 82%. Температурный режим апреля оставался в рамках среднеголетних значений (50,7 мм при норме 55 мм), что обусловило формирование высокопродуктивных колосьев, уплотненных агроценозов и повышение продуктивности побегов весеннего кущения. Гигрометрические условия характеризовались пониженной влажностью (среднемесячный показатель – 57%). В мае зафиксировано превышение температурной нормы на 2,7°C. Активная фаза колошения озимой пшеницы у посевов оптимальных сроков пришлась на первую–вторую декады. Ограниченное выпадение осадков (дефицит 12,4 мм) создало умеренно-засушливые условия. Это существенно улучшило фитосанитарную ситуацию в производственных условиях по особо опасному заболеванию озимой пшеницы – фузариозу колоса. При искусственном заражении фузариозом колоса первые признаки заражения отмечали 22 мая, т.е. инкубационный период возбудителя болезни был коротким, около 10 дней. В июне 2019 г. отмечали жаркую и сухую погоду с низкой влажностью воздуха, что не способствовало значительному распространению фузариоза колоса. В среднем температура воздуха за месяц превысила среднеголетнюю на 4,7°C, в течение месяца днем она составляла 35°C и более. Осадков выпало мало – 39,5мм (48,2% от нормы). Такая ситуация способствовала преждевременному созреванию озимой пшеницы.

Весной 2020 г. из-за острого лимита влагообеспеченности, низкой относительной влажности воздуха, морозобойных явлений, ветреной погоды распространение фитопатогенов различной этиологии приостановилось. В мае средняя температура воздуха оказалась на 1,0°C ниже многолетних значений. Массовое колошение посевов озимой пшеницы оптимальных сроков сева наблюдалось в течение первой и второй декад месяца. Количество осадков составило на 24,1 мм меньше климатической нормы, при этом почти 50% от общего месячного объема выпало в третьей декаде. Во второй декаде осадки отсутствовали полностью, а в первую декаду зафиксировано 10,7 мм осадков, что соответствует 50,0% от нормы для этого периода. Это существенно отразилось на фитосанитарной ситуации в естественных условиях. Лимит осадков, низкие

значения относительной влажности воздуха, сильные ветры осложняли создание искусственных инфекционных фонов в полевых условиях. Массовые инокуляции фузариозом колоса проводили в первой декаде мая, частично – во второй. Во второй декаде для полноценного заражения и дальнейшего развития болезней использовали полив дождеванием в вечернее время. При искусственном заражении фузариозом колоса первые признаки заражения отмечали 25 мая, т.е. инкубационный период возбудителя болезни был длительным, около 18 дней. Полноценный учет по степени поражения фузариозом колоса провели 13-15 июня, причем учет 15.06 был эффективным только для позднеспелых генотипов. Налив и созревание зерна в июне протекали при жаркой и сухой погоде с суховейными явлениями. В среднем температура воздуха за месяц превысила среднемноголетнюю на 2,5⁰С. Количество осадков оказалось ниже нормы — 26,1 мм (31,8% от нормы). Такие условия сдерживали активное распространение фузариоза колоса и спровоцировали преждевременное созревание озимой пшеницы.

Температура воздуха в мае 2021 г. превысила средние многолетние значения на 1,1⁰С. Осадки составили 55,3 мм, что на 13,7 мм меньше нормы, при этом более половины месячного объема выпало во вторую декаду. Умеренные температуры воздуха вызвали позднее колошение, а в последствии и цветение. Массовое колошение посевов оптимальных сроков проходило во второй–третьей декадах месяца. Погодная ситуация отразилась на формировании фитосанитарной обстановки в производственных условиях. Средняя температура воздуха в июне превысила среднемноголетние значения на 0,7⁰С, однако в отдельные дни снижалась до 11,6⁰С. Количество осадков соответствовало норме — 82,2 мм (100% от нормы). На территории Краснодарского края погода носила циклонический характер, сопровождаясь частыми ливневыми дождями: за 1–2 часа выпадала месячная норма осадков и более. Существовала угроза вспышки фузариоза колоса, признаки поражения колосьев встречались на отдельных полях в разных районах Краснодарского края. При искусственном заражении фузариозом колоса первые признаки

заражения отмечали 8 июня, т.е. инкубационный период возбудителя болезни был длительным, более 20 дней.

Средняя температура воздуха в мае 2022 г. была ниже среднемноголетних значений на 1,9°C. Количество осадков составило 45,7 мм — на 23,3 мм меньше климатической нормы. Пониженные температуры воздуха вызвали позднее колошение, а в последствии и цветение. Массовое колошение посевов оптимальных сроков проходило во второй – третьей декадах месяца. Погодная ситуация отразилась на формировании фитосанитарной обстановки на естественном фоне. Следует отметить, что инокуляция инфекцией теплолюбивого гриба *F. graminearum* и внедрение патогенна в ткани растения-хозяина проходили в условиях за пределами оптимальных. В ночные часы второй декады мая температура воздуха опускалась до 4,8°C, а в третьей декаде — до 7,5°C. Осадков в этот период выпало крайне мало. Относительная влажность воздуха варьировала в пределах 50–53%. При искусственном заражении фузариозом колоса первые признаки заражения отмечали 2 июня, т.е. инкубационный период возбудителя болезни был длительным, около 20 дней из-за отсутствия температурного оптимума и лимита влаги, низкой относительной влажности воздуха. Учеты по степени поражения фузариозом колоса для большей части изучаемого материала провели 14-20 июня. В среднем, температура воздуха за месяц превысила среднемноголетнюю на 1,5°C, но в отдельные дни она понижалась до 13,5°C, что существенно сдерживало развитие и распространение фузариозной инфекции, как в естественных условиях, так и при искусственном заражении. Количество осадков оказалось ниже нормы — 64,0 мм (78% от нормы).

В 2023 г. с весны осадков выпадало сверх нормы на 23-58%. Проходили затяжные дожди, часто ливневого характера, что обострило фитосанитарную обстановку по фузариозу колоса, ожогу листьев верхнего яруса, возбудителями которого являются грибы рода *Microdochium*, офиоболезной корневой гнили, черни колоса. Массовое распространение и высокая вредоносность ожога листьев были обусловлены пониженными температурами на фоне избытка

осадков в мае. Среднемесячная температура мая была ниже среднемноголетней на $0,8^{\circ}\text{C}$ и составила $16,2^{\circ}\text{C}$. Снижение температуры воздуха в мае до $3,9-5,4^{\circ}\text{C}$ существенно ограничивало развитие и распространение фитопатогенов, увеличивало инкубационный период как в естественных условиях, так и при искусственной инокуляции.

2.2 Материал и методика исследований

2.2.1 Методика выделения грибов р. *Fusarium* в чистую культуру

Инфекционный материал получали из пораженных частей растений озимой пшеницы, собранных в агроценозах. Для анализа видового разнообразия грибов рода *Fusarium* и оценки их доминирования из каждого образца выделяли в чистую культуру 10–20 изолятов (рисунок 2.1).



Рисунок 2.1 - Чистые культуры грибов р. *Fusarium* (ориг.)

Для этого мелкие фрагменты колосьев и зерна с симптомами инфицирования последовательно промывали водопроводной водой с

применением ПАВ (поверхностно-активное вещество), затем без него. Далее дезинфицировали в 70% этаноле в течении 2–3 минут или в 0,5% растворе KMnO_4 (экспозиция 3–5 мин). После 3 раза промывали стерильной дистиллированной водой для удаления остатков дезинфицирующих растворов.

Для первичной изоляции р. *Fusarium* использовали картофельно-сахарозный агар (КСА), рекомендованный С. Booth [1971] для изучения морфологических признаков. Для этого 250 г очищенного и нарезанного кубиками картофеля с белой окраской клубней заливали 1 л литром воды и после закипания варили 30 мин. Объем отфильтрованного через марлю отвара доводили дистиллированной водой до 1 л. Затем в отвар добавляли 20 г агара и 20 г сахарозы, автоклавировали при 121°C и 1 атмосфере [Шипилова Н.П., Иващенко В.Г., 2008]. Перед посевом среду охлаждали до 55°C и вносили стрептомицин для ингибирования роста бактерий. Стерилизованные образцы помещали на поверхность КСА в чашках Петри. Инкубацию проводили в термостате при 23–25°C в течение 7 суток. Колонии, грибов рода *Fusarium*, пересевали на агаровые косячки в пробирках и выдерживали 15–20 дней при 24°C. Из полученных в пробирках отдельных колоний выделяли штаммы гриба. Подготавливали стерильные чашки Петри и стерильные пробирки с агаризованной средой (15–20 мл в каждой). Разведения накопительной культуры проводили в стерильной водопроводной воде. Оптимизировали разведения так, чтобы внесение 0,5–10 мл обеспечило рост изолированных колоний. Посев выполняли из трех–четырех последних разведений. Для этого в пробирки с расплавленным и остуженным агаром (48–50°C) вносили 0,5–1,0 мл суспензии одного из разведений накопительной культуры, перемешивали вращением между ладонями и выливали в чашки Петри. После 48–72 ч инкубации появившиеся колонии пересевали в пробирки с КСА. Чистые культуры использовали для таксономической идентификации (морфометрии, микроскопии), тестов на патогенность и накопления инокулюма для создания инфекционного фона.

2.2.2 Определение видовой принадлежности грибов р. *Fusarium*

Чтобы идентифицировать виды р. *Fusarium*, добивались получения типичного спороношения. Для этого использовали среду CLA (carnation-leafagar, гвоздично-листовой агар) - свежие нарезанные кусочки листьев гвоздики (размер кусочка приблизительно 5x5 мм), взятые у необработанных фунгицидами растений, тщательно промывали под струей водопроводной воды, выдерживали 3 минуты в 70 % спирте; промывали от спирта в стерильной водопроводной воде и помещали между слоями стерильной фильтровальной бумаги для просушивания [Шипилова Н.П., Иващенко В.Г., 2008]. Затем по несколько штук раскладывали в чашки Петри на поверхность 2% голодного агара.

Чашки Петри с культурой гриба, посеянного на среду CLA, инкубировали в течение 7-10 дней при освещенности люминесцентными лампами дневного света (ЛБ-40) с 12ти часовым (свет-темнота) циклом. При определении фузариевых грибов до вида использовали таксономическую систему немецких исследователей W. Gerlach и H.I. Nirenberg [1982] «The Genus *Fusarium* – a Pictorial Atlas», и определитель К. Буса [Booth C., 1971], учитывая современные изменения [Фузариоз зерновых культур, 2011].

2.2.3 Материал исследований

В качестве фитопатогенов использовали патогенные изоляты грибов рода *Fusarium*, выделенные из тканей пшеницы с симптомами фузариоза. Видовую идентификацию проводили на основе морфометрических признаков колоний, выращенных на искусственных питательных средах (картофельно-сахарозный агар).

Для приготовления инокулюма использовали чистые культуры, наработку инфекции производили в лабораторных условиях на стерильном зерне пшеницы в колбах объемом 500 мл (рисунок 2.2).



Рисунок 2.2 –Инокулюм *F. graminearum* на стерильном субстрате (зерне пшеницы) (ориг.)

В колбы Эрленмейера (500 мл) помещали 200 г зерна пшеницы, добавляли 200 мл дистиллированной воды и выдерживали 24 ч для набухания. После сливания избыточной жидкости субстрат стерилизовали в автоклаве (121°C, 1,5 атм, 60 мин). Для предотвращения агглютинации зерна колбы встряхивали сразу после стерилизации. Охлажденный до комнатной температуры субстрат засеивали чистыми культурами *F. graminearum* и *F. culmorum*. Колбы с инокулированным субстратом инкубировали в термостате при 22–24°C в течение 20–25 суток с периодическим встряхиванием (каждые 48–72 ч) для обеспечения аэрации и равномерного распределения мицелия. Субстрат, пронизанный мицелием, рассыпали тонким слоем (2–3 см) на стерильную бумагу и высушивали в условиях вентилируемого помещения без прямого УФ-излучения. Полученный воздушно-сухой инокулюм фасовали в бумажные мешки и хранили при +4°C для сохранения жизнеспособности патогена.

Для инокуляции суспензию инфекционных структур готовили за несколько часов перед заражением растений. Концентрацию доводили до 3–5×10⁶ спор/гиф в 1 мл. Методика адаптирована для моделирования

эпифитотийных условий в контролируемой среде. Все этапы выполнялись в ламинарном боксе для исключения контаминации [Аблова И.Б., Тараненко С.А., 2004].

В фазу цветения создавали искусственный инфекционный фон при помощи ранцевого опрыскивателя с батарейным питанием. Колосья пшеницы равномерно инокулировали суспензией спор *F. graminearum* в вечернее время, в безветренную погоду в момент выпадения росы, либо после дождя.

В качестве основного растительного объекта для исследования использовались сорта мягкой и твердой пшениц: Сила, Уруп, Адель, Велена, Васса, Табор, Краснодарская 99, Лео, Синьора; селекционные линии 4783к2, 2940к8-7-3, 99-747а677, 661sv-98, 609-09я66, 3902h134, гибридные популяции и гибриды, созданные в отделе селекции и семеноводства пшеницы и тритикале «НЦЗ им. П.П. Лукьяненко». В качестве устойчивых генотипов использовались доноры фузариорезистентности из разных генных пулов: Sumai 3, Ning7840, Frontana, Ringo Star, XiaoYan 107, Buck Palenque; коллекционные образцы пшеницы отечественной и иностранной селекции Mirlena, Золотоколоса, Litera, Liman, Mirella, GK Gonsol, GK Rozi, Безенчукская 380, Черноземка 121 и др.

Исследуемый материал высевали деланками в 2-3 рядка с использованием селекционной кассетной сеялки Wintersteiger (длина рядка – 70 см, ширина междурядий – 30 см. Индикаторы восприимчивости - сорта с разными сроками созревания (Васса – среднеранний; Ваня, Краснодарская 99 – среднеспелые; Фортуна – среднепоздний), как накопители инфекции, высевались по периметру участка.

В качестве системы удобрений использовали повышенный азотный фон минерального питания. Под основную обработку вносили 2 ц/ на 1 га аммиачной селитры. При возобновлении весенней вегетации в первую подкормку вносили 1 ц/ на 1 га, вторую - в фазу выхода в трубку (1,5 ц/ на 1 га). Для накопления видов рода *Fusarium* в почве применяли основную обработку почвы по типу полупара с предшественником сидеральный рапс.

В течение вегетационного периода неоднократно проводили визуальный учет степени поражения фузариозом колоса. Оценка включала определение пораженности колосьев по соотношению количества пораженных колосков к их общему числу на колосе (в процентах). Учитывали как поражение отдельных колосьев, так и делянки в целом.

Для оценки степени поражения колосьев применяли 9-ти балльную шкалу, разработанную А. Мештерхази [Методика селекции и оценки устойчивости пшеницы..., 1988]. Для учета степени поражения зерна использовали шкалу, разработанную в НЦЗ им. П.П. Лукьяненко и оптимизированную для конкретных агроэкологических условий [Аблова И.Б., 1998]:

- 1 балл – здоровый колос, тип реакции R;
- 2 балл – поражены единичные колоски, тип реакции R;
- 3 балл – поражена 1/3 колосков в колосе; тип реакции MR;
- 4 балл – поражено 40% колосков в колосе; тип реакции MR;
- 5 балл – поражено 1/2 колоса, тип реакции MS;
- 6 балл – поражено от половины до 2/3 колоса, тип реакции MS;
- 7 балл – поражено 75% колосков в колосе, тип реакции S;
- 8 балл – поражен почти весь (90%) колос; тип реакции S;
- 9 балл – поражен весь колос; тип реакции S.

Оценку степени поражения делянки в целом, как правило, проводили также по 9-ти балльной шкале, где:

- 1 балл – 0% пораженных колосьев на делянке;
- 2 балл – 12,5% пораженных колосьев на делянке;
- 3 балл – 25% пораженных колосьев на делянке;
- 4 балл – 37,5% пораженных колосьев на делянке;
- 5 балл – 50%; пораженных колосьев на делянке
- 6 балл – 62,5% пораженных колосьев на делянке;
- 7 балл – 75% пораженных колосьев на делянке;
- 8 балл – 87,5% пораженных колосьев на делянке;
- 9 балл – 100% пораженных колосьев на делянке.

Критерии визуального определения пораженности зерна фузариозом по внешним признакам:

- белесая, меловидная, матовая поверхность с отсутствием блеска;
- полная утрата стекловидности;
- рыхлая структура эндосперма, хрупкость;
- деформация зерновок: морщинистость, щуплость, вдавленная бороздка, заостренные бока;
- наличие паутинистого налета гриба в бороздке или на зародышевой части;
- потемнение зародыша, его нежизнеспособность, паутинистый налет розоватого оттенка покрывает всю зерновку при сильном поражении.

Для учета степени устойчивости сорта, линии по пораженности зерна в НЦЗ им. П.П. Лукьяненко была разработана шкала (таблица 2.2).

Таблица 2.2 – Шкала учета поражения фузариозом колоса, Краснодар

Балл	Процент пораженных зерен	Тип реакции
1	0	Устойчивость R
2	1 - 4	Устойчивость R
3	5 - 10	Средняя устойчивость MR
4	11 - 20	Средняя восприимчивость MS
5	21 - 30	Средняя восприимчивость MS
6	31 - 40	Средняя восприимчивость MS
7	41 - 50	Восприимчивость S
8	51 - 75	Восприимчивость S
9	76 - 100	Восприимчивость S

На делянках сплошного сева в агротехнологическом опыте или при маршрутных обследованиях посевов пшеницы и тритикале определяли распространение болезни по формуле (2.1):

$$P=100П/N, \quad (2.1)$$

где P – распространение болезни, %;

$П$ – количество пораженных колосьев в пробе, шт.;

N – общее количество учтенных колосьев, шт.;

Для оценки развития болезни учитывали степень поражения каждого колоса по общепринятой шкале. Развитие болезни в % определяли по формуле (2.2):

$$R = \frac{\sum(ab)}{NK} \cdot 100, \quad (2.2)$$

где R – индекс развития болезни,

$\sum(ab)$ – сумма произведений числа колосьев на соответствующий балл поражения,

N – количество учтенных колосьев (здоровых и больных),

K – высший балл шкалы учета [Методика селекции и оценки устойчивости..., 1988].

Оценка качества зерна выполнена в отделе технологии и биохимии зерна НЦЗ им. П.П. Лукьяненко. Идентификацию локусов количественных признаков *QTL*, детерминирующих устойчивость к фузариозу колоса, генов редукции высоты растений *Rht*, транслокации *Lr37Yr17Sr38* осуществляли в отделе биотехнологии Центра с использованием ПЦР.

Обработку экспериментальных данных проводили различными методами биометрической статистики в изложении Б.А. Доспехова [1985] с использованием компьютерных программ.

3 РАСПРОСТРАНЕНИЕ И РАЗВИТИЕ ФУЗАРИОЗА КОЛОСА ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР В СЕВЕРО-КАВКАЗСКОМ РЕГИОНЕ РФ

3.1 Скрининг распространения и развития фузариоза колоса зерновых культур в Краснодарском крае за период 2006-2023 гг.

В период исследований 2006-2023 гг. ежегодно проводился мониторинг посевов озимой пшеницы по всей территории Краснодарского края, в различных почвенно-климатических условиях. Грибы р. *Fusarium* присутствовали во всех локациях, но особенно широко его распространение наблюдалось в центральной (II), южно-предгорной (III) и западно-дельтовой (IV) зонах [Аблова И.Б., 2008] (рисунок 3.1).



Рисунок 3.1 – Зоны с наибольшей угрозой возникновения эпифитотий фузариоза колоса в Краснодарском крае

Широкое распространение фузариоз колоса часто получает в республиках Северного Кавказа (КБР, Северная Осетия-Алания), на Ставрополье - ряд районов, относящихся к 3-4 зонам: Кочубеевский, Красногвардейский, Новоалександровский, Предгорный, Андроповский, Кировский и др. В Ростовской области посевы пшеницы подвержены заражению фузариозом колоса в отдельных районах приазовской и южной зон: Целинский, Азовский, Аксайский, Октябрьский, Кагальницкий и др. В

этих районах грибы р. *Fusarium* широко представлены в патогенном комплексе возбудителей фузариоза колоса, доминирующим видом является *F. graminearum* [Иващенко В.Г., 2004].

Определяющее влияние на возникновение очагов заболевания в этих зонах играет наличие благоприятных для патогенов погодных условий, предшественников-накопителей инфекции и иммунный статус возделываемых сортов.

В 2006 г. в большинстве районов Краснодарского края в период цветения и налива зерна озимой пшеницы проходили дожди (1-2,5 нормы), что и вызвало поражение колосьев различными видами фузариев. Распространение болезни было на уровне 1,6% и поражалось около 40% обследованной площади. Более интенсивное поражение фузариозом (до 15-32%) было на полях по предшественникам полупар, кукуруза в хозяйствах Тбилисского, Белореченского, Курганинского, Гулькевичского, Славянского и других районов. Во второй половине июня, когда прошли ливневые дожди, практически на всех посевах озимых на колосе проявился комплекс сапрофитных грибов – альтернариоз, гетероспориум, эпиккокум, кладоспориум, вызывающих чернь колоса. По данным фитоэкспертизы фузариозом поражалось 80% партий, количество фузариозных зерен в среднем колебалось в пределах 3,8-4,2% с максимумом до 10% в отдельных партиях с превышением МДУ по дезоксинивленолу [Обзор..., 2006].

Из-за сухой погоды в 2007 г. в фазу цветения пшеницы фузариоз колоса встречался реже, чем в 2006 г. – 0,2% и лишь на 3,5 тыс. га. В период созревания озимых после прошедших осадков и обильных рос на посевах повсеместно интенсивно проявилась чернь колоса, комплекс сапрофитных грибов р. *Alternaria*, *Heterosporium*, *Cladosporium*. При анализе зерна выявлено 60-65% пораженных фузариозом партий со средним количеством больных зерен 1,5%-2%. Более интенсивное развитие болезни на зерне наблюдалось в хозяйствах Тбилисского, Кореновского, Тихорецкого, Новокубанского, Славянского, Выселковского районов. Максимально заражены сорта озимой пшеницы – Нота

(21%), Память, Таня, Москвич (12%), Дока, Фортуна, Зимородок, Батько (10%), Ласточка (9%), Кума (8%) [Обзор..., 2007].

В 2008 г. кратковременные осадки в период цветения пшеницы вызвали проявление фузариоза колоса в хозяйствах северной, центральной и предгорной зонах края по предшественникам зерновые, горох, кукуруза на зерно и многолетние травы. Однако, дальнейшего распространения болезнь не получила из-за очень низких температур воздуха в период налива зерна. Всего было заражено 13,4 тыс. га, распространение фузариоза было не высоким 0,2-0,5%, что на уровне прошлого года. Максимально поразились сорт Краснодарская 99 (10%) в СПСК «Растениевод» Отрадненского района на площади 15 га [Обзор..., 2008]. Поражалось около 70% партий зерна со средним количеством больных зерен 0,8-1,5%. Более сильное поражение зерна фиксировалось в хозяйствах Тбилисского, Кореновского, Тимашевского, Калининского, Отрадненского, Успенского, Гулькевичского районов. Максимально поразились сорта пшеницы Нота (7-21%), Память, Таня, Москвич (9-32%), Коллега (7%), Батько (31%), Фортуна (17%), Юнона (25%)

В период налива зерна в 2009 г. пониженные температуры воздуха ограничили начавшееся распространение фузариоза колоса, частота встречаемости варьировала от 0,2% на площади 13,5 тыс. га до 8% (по предшественнику кукуруза на зерно, Кореновский район) на площади 32 га [Обзор..., 2009]. Во многих партиях семян озимой пшеницы отмечено поражение фузариозной инфекцией в среднем 2,5 % в 88% партий. Максимальное поражение зерна фузариозом (10%) отмечено на сортах Юнона и Коллега в Ейском районе.

В 2010 г., ввиду очень благоприятных для возбудителей фузариоза колоса погодных условий, поражение посевов фузариозом колоса регистрировали в Староминском, Приморско-Ахтарском, Ленинградском, Крымском и Славянском районах. Причиной столь бурному расширению вредоносности фузариев послужили обильные осадки, продолжительные росы и благоприятная температура в период от цветения до восковой спелости.

2011 г. характеризовался сложной фитосанитарной обстановкой, обусловленной погодной ситуацией. В большинстве районов края за этот период выпало свыше полугодовой нормы осадков (300 мм и более) при циклоническом характере погоды, что вызвало существенное поражение колоса и зерна фузариозом. Максимальное распространение болезни отмечали на территории Тимашевского, Динского, Кореновского, Усть-Лабинского, Лабинского, Мостовского районов. Из обследованных 70,3 тыс. га было заражено 8,48 тыс. га с распространением 0,4%, что на уровне среднесноголетних данных. В июне, после ливневых осадков на полегших посевах наблюдалось максимальное поражение фузариозом (до 10%). Такая ситуация регистрировалась в хозяйствах Успенского, Гулькевичского, Тбилисского, Белоглинского, Калининского и др. районов [Обзор..., 2011].

В 2012 г. осадки и повышенная температура воздуха в период формирования и налива зерна были благоприятны для заражения и дальнейшего распространения болезни на посевах озимой пшеницы. Процент пораженных фузариозом колосьев (2,1%) оказался выше, чем в 2011 году (0,4%). Болезнь отмечалась повсеместно, наиболее интенсивно на посевах по фузариозоопасным предшественникам. В 99% партий семян озимых отмечено поражение фузариозной инфекцией со средней степенью поражения семян 3,5%. Максимальная степень поражения 16,2% достигала в Успенском районе [Обзор..., 2012].

В период цветения и налива зерна в 2013 г. в большинстве районов края отмечалась сухая и жаркая погода. В связи с этим, процент пораженных фузариозом колосьев (0,02%) по сравнению с прошлым годом оказался ниже.

В 2014 г. активному распространению и развитию фузариоза в период цветения и налива зерна озимой пшеницы способствовало превышение лимита по осадкам (в сравнении со среднесноголетними данными) и высокая относительная влажность воздуха. Эпифитотия фузариозом колоса затронула обширные территории и отмечалась на 45% посевной площади в южно-предгорной, центральной и западной зонах края, наибольшее поражение

пшеницы наблюдалось по предшественникам колосовые и кукуруза на зерно – 40-53%, по другим предшественникам распространение составило 3-5%. По данным фитоэкспертизы семян озимой пшеницы в среднем процент зараженных семян составил 6,32%, максимальное поражение 20% наблюдалось в Тихорецком районе. В 99% партий семян отмечено поражение возбудителями фузариоза, [Обзор..., 2014].

В 2015 г. в период цветения и налива зерна погода была сухая и жаркая, поэтому заражение колосьев было незначительным. Из обследованных 725,85 тыс. га было поражено 91,12 тыс. га с распространением на озимой пшенице 1,2%. Максимальное распространение 35% отмечено по предшественнику кукуруза на зерно в Ленинградском районе на 20 га. В большинстве районов Краснодарском крае проведена фитоэкспертиза семенного зерна озимой пшеницы и проанализировано 105,13 тыс. тонн. В 82% партий семян озимых отмечено поражение фузариозами, в среднем поражалось 6,76% семян, максимально 50% в Тихорецком районе, 240 тонн [Обзор..., 2015].

Результаты мониторинга селекционных и производственных посевов озимой пшеницы весной и летом 2016 г. в Краснодарском крае выявили распространение фузариоза колоса в пшеничном агрофитоценозе. В максимальной степени он был представлен в южно-предгорной зоне (Курганинский, Лабинский, Отрадненский,), центральной зоне (Усть-Лабинский, Динской, Новокубанский районы, Тимашевский, Кореновский, Выселковский районы, г. Краснодар), северной зоне (Тихорецкий, Павловский - отдельные хозяйства). Единично, при слабом распространении и развитии, фузариоз колоса обнаруживался в Западной дельтовой зоне (Калининский, Славянский, Красноармейский районы), где практически не возделывают кукурузу на зерно, сахарную свеклу, которые являются основными накопителями фузариозной инфекции. Распространение фузариозов в июне в посевах варьировало от 7,8 до 18,5 %, развитие составляло 0,2 – 5 %. Максимальное распространение – 59 % было зафиксировано в Усть-Лабинском районе Краснодарского края на 54 га [Обзор..., 2016].

На посевах озимой пшеницы в 2017 г. сложилась эпифитотийная ситуация по фузариозу. Во всех районах края наблюдалось сильное поражение пшеницы фузариозом колоса (рисунок 3.2).



Рисунок 3.2 - Интенсивность распространения фузариоза колоса в Краснодарском крае, 2017 г.

На отдельных полях распространение фузариоза колоса достигало 100% при развитии болезни свыше 70%. Урожайность при таком поражении снижалась на 60% и более. В партиях зерна пшеницы с таких полей содержание фузариозных зерен превышало 50% (предельно допустимым уровнем считается 10%).

После эпифитотий 2014 -2017 гг., 2018 был не эпифитотийным. Если весной в Краснодарском крае процент распространенности составлял 0,06 с развитием 0,002%, то в летний период в Краснодарском крае распространение и развитие не превышало 0,4% и 0,05% соответственно [Обзор..., 2018].

В весенний период 2019 г. в Краснодарском крае фузариозы встречались с единичной распространенностью. В летний период в Краснодарском крае фузариоз колоса был распространен на 0,2 – 0,4% площадей с развитием 0,002 – 0,03%. Максимальное распространение 10% наблюдалось в Славянском районе Краснодарского края на 10 га. [Обзор..., 2019].

Первая половина месяца мая 2020 г. характеризовалась недостаточным увлажнением. Во многих районах Краснодарского края осадки выпадали только со второй половины и поразились фузариозом колоса лишь ослабленные посевы. Дальнейшее повышение температурного режима лимитировала дальнейшее

распространение патогенов. Перед самой уборкой фузариоз колоса в Краснодарском крае получил максимальное распространение 15% в Мостовском районе на площади 60 га [Обзор..., 2020].

Погода циклонического характера в мае 2021 г. способствовала развитию грибов р. *Fusarium* на колосе. Похолодание в июне замедлило колонизацию колоса фузариями, что не остановило распространение патогенов в ряде районов. Если в весенний период возбудители фузариоза колоса в Краснодарском крае заселяли 0,2% (максимум 1% - в Славянском районе на 64,5 га.) посевов с развитием 0,02%, то в летний период поражались до 15 % посевов с развитием 5% [Обзор..., 2021].

Первые признаки поражения колоса фузариозом в 2022 г. фиксировались в последней декаде мая. В этот период регистрировались умеренные температуры и большое количество влаги, с мощными зарядами осадков. Впоследствии нарастание болезней фузариозной этиологии ослабло по причине сухой и жаркой погоде в начале июня. Выпавшие в конце месяца осадки не позволили фузариям широко распространиться. Перед уборкой озимой пшеницы в Краснодарском крае фузариоз колоса на полях встречался в среднем от 0,65 до 1,88 % с развитием 0,25 – 0,84 % [Обзор..., 2022].

В 2023 г. по данным филиала ФГБУ «Россельхозцентр» по Краснодарскому краю, максимальное поражение фузариозом колоса наблюдалось в центральной части края, где ее распространение доходило до 30%. Пораженность фузариозом колоса была выше уровня 2022 года и составляла в среднем по краю 0,2-1,1%, а по фузариозоопасным предшественникам – 15-40% [Обзор..., 2023].

3.2 Видовой состав возбудителей фузариоза колоса зерновых культур в Краснодарском крае

Ежегодное изучение фитосанитарной обстановки в посевах озимой пшеницы в различных агроклиматических зонах Краснодарского края выявило,

что за последние 17 лет (2006-2023гг.) фузариоз колоса проявлялся практически повсеместно и ежегодно, за исключением остро засушливых 2007, 2013 и 2022 гг.

За исследуемый период проведен анализ свыше 2330 образцов озимой пшеницы с симптомами поражения фузариозом колоса и выделено 3600 изолятов рода *Fusarium* в чистую культуру. Идентифицировано 6 видов в выявленном комплексе грибов р. *Fusarium* и р. *Microdochium*, вызывающих поражение колоса в Краснодарском крае.

Изменение патокомплекса возбудителей, вызывающих фузариоз колоса, варьировало по годам, районам Краснодарского края и зависело от предшествующей культуры.

В зонах с сильным развитием болезни преобладали *F. graminearum* (62,5%), *F. verticillioides* (6,3%), *F. sporotrichioides* (12,2%), *F. culmorum* (5,7%), *F. cerealis* (5,6%). Значительно реже встречался вид *F. tricinctum* (1,1%). Не идентифицированно 1,9% *Fusarium spp.* (рисунок 3.3)

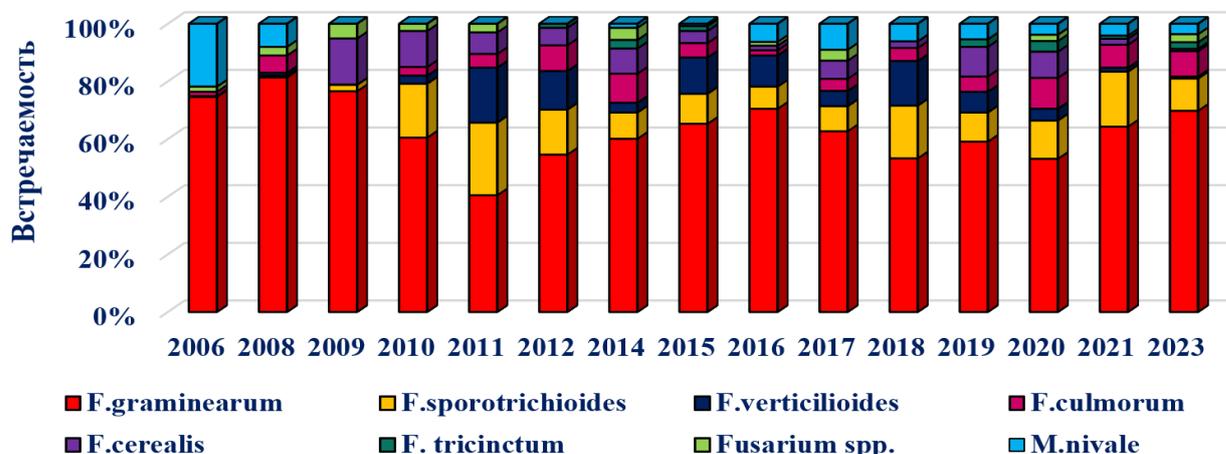


Рисунок 3.3 - Динамика видового состава возбудителей фузариоза колоса озимой пшеницы в Краснодарском крае

Также из пораженных колосьев выделяли сапрофитную микрофлору: *Alternaria spp.*, *Penicilium spp.*, *Aspergillus spp.* и др.

В 2006 г. в большинстве районов края в период цветения и налива зерна озимой пшеницы проходили дожди (1-2,5 нормы), что и вызвало поражение

колосьев и зерна различными видами грибов р. *Fusarium* в комплексе с грибами р. *Microdochium*, которые обладают высокой вредоносностью.

Из патогенного комплекса микромицетов, паразитирующих на колосьях и зерне, были выделены в чистую культуру и идентифицированы виды *F. graminearum*, *F. culmorum*, и *M. nivale*. Вид *F. graminearum* встречался у 74,6% образцов (рисунок 3.4).



Рисунок 3.4 – Поражение колосьев грибами р. *Fusarium* в Краснодарском крае, 2006 г. (ориг.)

На втором месте в комплексе находился *M. nivale* - 21,8%, инфекционные запасы которого в агрофитоценозах были достаточно велики благодаря его биологической пластичности [Горьковенко В.С., Оберюхтина Л.А., Куркина Е.А., 2009]. Грибы рода *Fusarium* и вид *M. nivale* в качестве сапротрофов способны активно разлагать растительные остатки, а в период вегетации паразитировать на растениях [Горьковенко В.С., Бондаренко И.И., Соловьева А.Ю., 2017]. Кроме того, накоплению в агроценозе *M. nivale* способствовало наличие зимы с высоким снежным покровом и оттепелями, частые возвраты низких температур весной. Вид *F. culmorum* встречался значительно реже, с долей в популяции 1,8%.

В 2007 г. в период колошения озимой пшеницы симптомы поражения фузариозом не встречались. Условия для развития и распространения гемибиотрофов из рода *Fusarium* были неблагоприятными, наблюдалось отсутствие осадков более месяца и низкая относительная влажность воздуха. Признаки поражения фузариозом колоса отмечались на отдельных полях и только на восприимчивых сортах озимой пшеницы в хозяйствах Тихорецкого, Тбилисского, Курганинского, Усть-Лабинского, Лабинский, Белореченский районы). Из пораженных колосьев и зерна выделялись *F. graminearum*, *F. culmorum*, *M. nivale*.

В 2008 г. пониженный температурный режим на фоне циклонических дождей и высокой относительной влажности воздуха (выше 70%) в период колошение – цветение – образование зерна в отличие от вида *M. nivale* не позволил большинству видов рода *Fusarium* активно развиваться. Лишь в отдельных хозяйствах на восприимчивых сортах озимой пшеницы (Тихорецкий, Тбилисский, Кавказский, Курганинский, Усть-Лабинский, Лабинский, Отрадненский, Кореновский, Белореченский районы) отмечались признаки поражения фузариозом колоса. В результате маршрутных исследований в 2008 г. были отобраны и проанализированы колосья пшеницы, пораженные фузариозом из разных районов Краснодарского края, и из Кочубеевского района Ставропольского края (СПК КП «Казьминский»). Возбудители фузариоза колоса были выделены в чистую культуру и в ходе микологического анализа пораженных колосьев был подтвержден комплексный характер инфицирования несколькими видами р. *Fusarium* в Краснодарском крае (*F. graminearum*, *F. culmorum*, *F. verticillioides*, и *M. nivale*) с явным доминированием вида *F. graminearum* (66,4%).

В 2009 г., благоприятном для развития и распространения фузариоза колоса, наблюдалось его локальное распространение. Вспышки болезни отмечали в Лабинском, Отрадненском, Новокубанском и других районах Краснодарского края. По нашим данным и по данным других исследователей в фитопатогенном комплексе преобладал *F. graminearum* – 78,6 %. В чистую

культуру был выделен вид *F. verticillioides*, а также нам удалось выделить и определить при помощи Т.Ю. Гагкаевой (Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений) вид *F. cerealis* с частотой встречаемости 6,1 %, который ранее в регионе и в целом в России не встречался, и его выявление фузариозном патоконплексе зерновых культур было описано только в зарубежных источниках [Гагкаева Т.Ю., 2009].

В 2010 г., ввиду очень благоприятных для возбудителей болезни погодных условий, симптомы фузариоза колоса обнаруживали даже в традиционно не фузариозных районах северной и анапо-таманской агроклиматических зон. Обильные осадки, продолжительные росы и благоприятная температура в этот год способствовали активному развитию таких видов фузариев, как *F. graminearum*, *F. sporotrichioides*, *F. verticillioides*, *F. culmorum* и *F. cerealis*. В Краснодарском крае по предшественникам кукуруза на зерно, горох и сахарная свекла лидирующие позиции занимал вид *F. graminearum* с частотой встречаемости 60,5 %, по предшественнику рапс мы наблюдали доминирование вида *F. sporotrichioides* (14,2 %). Доля вида *F. cerealis* в общем комплексе составляла 14,5 %, остальные виды встречались значительно реже.

В 2011 г. при проведении микологического анализа образцов, отобранных в ходе маршрутных обследований, проведенных в Краснодарском крае, в чистую культуру были выделены такие виды, как *F. graminearum*, *F. sporotrichioides*, *F. verticillioides*, *F. culmorum*, *F. cerealis*. На первые позиции в доминирующей группе видов, вызывающих фузариоз колоса в Краснодарском крае, вышел вид *F. graminearum* – его доля в комплексе составила 40,5 %. На втором месте находился *F. verticillioides* – 19,7 %, *F. sporotrichioides* занял третье место – 17,1 %, виды *F. cerealis* и *F. culmorum* в общем комплексе занимали 14,8 %. Был подтвержден комплексный характер инфицирования колосьев несколькими видами р. *Fusarium*. За ряд лет наблюдается уменьшения доли вида *F. graminearum* и увеличение доли видов *F. sporotrichioides* и *F. verticillioides*.

Традиционно в комплексе грибов рода *Fusarium*, вызывающих фузариоз колоса вид *F. graminearum* доминировал не только у нас в крае, но и во всем мире

в южных его территориях [Шпилова Н.П., 1994]. При значительном видовом разнообразии микромицетов, вызывающих поражение колоса, В.С. Горьковенко с соавторами [2017] отмечали ведущую роль *M. nivale* и *F. graminearum*.

В 2012 г. доминирующее положение в популяции возбудителя болезни в Краснодарском крае занял вид *F. graminearum* – с долей в 54,6%. Увеличилась частота встречаемости *F. sporotrichioides*–15,6% от общего количества; виды *F. verticillioides*, *F. culmorum* и *F. cerealis* встречались реже – 9,3; 8,9 и 7,1 %, соответственно. Доля остальных видов в комплексе возбудителей фузариоза колоса составляла 4,5 %.

Широкое распространение получил вид *F. tricinctum*, вызывающий нетипичные симптомы фузариоза на колосковых чешуях – глазковую пятнистость (рисунок 3.5).



Рисунок 3.5 – Нетипичные симптомы проявления фузариоза, вызванного *F. tricinctum*, Краснодарский край 2012 г. (ориг.)

Поражение зерна *F. tricinctum* – бессимптомно. Частота встречаемости этого вида составила 0,4 %. Гриб *F. tricinctum* - токсинопродуцирующий, обладающий широкой экологической пластичностью, рассматривается как относительно слабый патоген по сравнению с *F. graminearum*. Распространен повсеместно. Как правило, частота встречаемости этого вида была низкой, но в

последние годы нарастает. *F. tricinctum* образует кардиотоксин монилиформин, который обладает значительным фитотоксичным эффектом [Engelhardt J.A., Carlton W.W., Tuite J.F., 1989].

В 2013 г. в период цветения и налива озимых в большинстве районов края отмечалась сухая и жаркая погода, поэтому средневзвешенный процент пораженных фузариозом колосьев оказался низким (0,02%). Сложилась благоприятная погодная ситуация для развития грибов р. *Fusarium* на растениях и растительных остатках кукурузы. Произошло заражение початков, стеблей кукурузы грибами р. *Fusarium*. Сформировались перитеции. Нами был проведен микологический анализ растительных остатков кукурузы. На початках и стеблях, в прикорневой части были обнаружены перитеции *G. zeae* (половая стадия) и конидии *F. graminearum*. На стеблях обнаруживали еще один вид - *F. verticillioides* (рисунок 3.6).



F. graminearum

F. verticillioides

Рисунок 3.6 - Фузариоз стеблей и початков кукурузы, НЦЗ им Лукьяненко, 2013 г. (ориг.)

На территории Краснодарского края в 2014 г. наблюдалось эпифитотийное распространение фузариоза колоса пшеницы (рисунок 3.7).



Рисунок 3.7 - Колосья пшеницы, пораженные *F. graminearum*, 2014 г.
(ориг.)

В максимальной степени фузариоз колоса был представлен в Южно-Предгорной, Западной Дельтовой и Центральной агроклиматических зонах Краснодарского края. В Северной зоне он также присутствовал, но распространение фузариозных колосьев было единичным. В чистую культуру были выделены такие виды, как *F. graminearum*, *F. culmorum*, *F. sporotrichioides*, *F. cerealis*, *F. verticillioides*. В годы с недостатками влаги грибы секции *Sporotrichiella* встречались гораздо чаще. Наблюдалась тенденция снижения частоты встречаемости *F. graminearum* и *F. culmorum*. Но интенсивные осадки, высокая влажность воздуха в период колошение – цветение – зернообразование в 2014 г. снова позволило виду занять лидирующие позиции (60,1%). На втором месте находился *F. culmorum*, с частотой встречаемости 10%, виды *F. sporotrichioides* и *F. cerealis* в общем комплексе занимали по 17,6%, остальные виды встречались значительно реже.

Анализ данных ежегодного мониторинга изменения видового состава показывает, что по сравнению с другими видами в 2015 г. доминировал *F. graminearum*, причем существенно. В этом благоприятном для возбудителей фузариоза колоса в чистую культуру были выделены такие виды, как *F. graminearum*, *F. sporotrichioides*, *F. cerealis*, *F. verticillioides*, *F. tricinctum*. Первое место в популяции в Краснодарском крае занял вид *F. graminearum* - частота встречаемости составила 70%. На втором месте находились виды *F. sporotrichioides* и *F. cerealis*, с частотой встречаемости 9 и 8%, остальные виды встречались значительно реже.

В 2016 г. в Краснодарском крае для развития многих возбудителей фузариоза колоса сложились благоприятное сочетание температуры и влажности (рисунок 3.8).



1)

2)

Рисунок 3.8 - Колосья пшеницы, пораженные 1) *F. graminearum* и 2) *F. tricinctum*, 2016 г. (ориг.)

В этом году из колосьев и зерна пшеницы в чистую культуру были выделены 6 видов со следующей частотой встречаемости: *F. graminearum* - 70,5%, *F. verticillioides* - 10,8%, *F. sporotrichioides* - 6%; *F. culmorum* и *F. cerealis* - 1,8 и 1,6%, соответственно. Из пораженных колосьев был выделен гриб *M. nivale* (6,3%).

В 2017 г. из зерна в чистую культуру были выделены такие виды, как *F. graminearum*, *F. verticillioides*, *F. sporotrichioides*, *F. culmorum*, *F. cerealis*. В патогенном комплексе преобладал *F. graminearum* с долей 71%, он был выделен из 63% образцов; *F. sporotrichioides* выделяли из 21% образцов; *M. Nivale*, не продуцирующий микотоксины [Гагкаева Т.Ю., Гаврилова О.П., Орина А.С., 2017а], встречался в 26% образцов. Основными накопителями фузариозной инфекции служили растительные остатки кукурузы, выращенной на зерно.

В связи с более засушливыми условиями в 2018 г., более тепло- и влаголюбивый вид *F. graminearum*, продуцирующий ДОН и ЗЕН, немного сдал свои позиции (53,3 %) в пользу более засухолюбивого *F. sporotrichioides*, который продуцирует Т-2 токсин. Последние годы на зерновых колосовых культурах увеличивается частота встречаемости грибов *F. verticillioides*, который ранее создавал проблему загрязнения зерна микотоксинами только на кукурузе. Этот вид грибов продуцируют фумонизины (ФУМ) [Возможности биodeградации микотоксинов..., 2016]. Действие этих микотоксинов связано с разрушением клеточных мембран, подавлением иммунной системы организма, проявлением канцерогенных свойств [Genetic analysis of fumonisin..., 1995]. Виды *F. cerealis*, *F. culmorum* в общем комплексе занимали почти 7 %.

В 2019 г. для патогенов, вызывающих фузариоз колоса, сложились неблагоприятные условия и год был неэпифитотийными. Из образцов пораженных элементов колоса в результате лабораторного исследования в чистую культуру были выделены такие виды, как *F. graminearum* (59,1%), *F. sporotrichioides* (10,1%), *F. verticillioides* (7,2%), *F. culmorum* (5,3%), *F. cerealis* (10,3%) и вид *M. nivale* (5,4%) который дополнял инфекционную картину.

В период колошения посевов озимой пшеницы в 2020 г., (в первой – второй декадах мая) погодные условия не способствовали активному распространению и развитию фузариев, наблюдался большой дефицит осадков – в первой декаде выпала половина от нормы, во второй декаде осадков не было вовсе. Относительная влажность воздуха имела низкие значения. Это привело к снижению фитосанитарных угроз в агрофитоценозах. В чистую культуру выделены такие виды возбудителей фузариоза колоса как *F. graminearum*, *F. sporotrihioides*, *F. culmorum*, *F. cerealis*, которые в патогенном комплексе встречались каждый год, и виды *F. tricinctum*, *F. verticillioides*, а также вид *M. nivale*. Как видно, состав популяции грибов р. *Fusarium* меняется с постоянным лидерством вида *F. graminearum* (рисунок 3.9).



Рисунок 3.9 - Колосья пшеницы, пораженные *F. graminearum*, Краснодарский край, 2020 г. (ориг.)

Умеренные температуры воздуха в мае 2021 г. вызвали позднее колошение, а в последствии и цветение. Осадков выпало меньше нормы, что отразилось на формировании фитосанитарной обстановки в агрофитоценозах и в комплексе видов, вызывающих фузариоз колоса, встречались следующие виды

р. *Fusarium*: *F. graminearum* (64,3%), *F. sporotrihioides* (19,1%), *F. verticillioides* (1,4%), *F. culmorum* (7,9%), *F. cerealis* (2,1%), *F. tricinctum* (1,1%), *M. nivale* (4,1%).

Сложившиеся неблагоприятные погодные условия 2022 г. сильно лимитировали распространение и развитие возбудителей фузариоза колоса в Краснодарском крае. В результате проведенного микологического анализа выявили снижение роли в возникновении фузариоза колоса до 54,1% у тепло- и влаголюбивого вида *F. graminearum* и увеличении частоты встречаемости более засухолюбивого *F. sporotrihioides* (24,3%). Доля других видов варьировала от 1,5(*F. cerealis*) до 9,2% (*F. culmorum*).

Большое количество осадков и умеренные температуры в начале лета 2023 г. вызвали мощный всплеск развития фузариевых грибов (рисунок 3.10).



Рисунок 3.10 – Поражение колосьев озимой пшеницы грибами р. *Fusarium* в Краснодарском крае, 2023 г. (ориг.)

В этот эпифитотийный год из пораженных колосьев и зерна пшеницы выделяли виды *F. sporotrihioides*, *F. culmorum*, *F. cerealis*, *F. tricinctum*, *F. verticillioides*. Однако, в патогенном комплексе доминировал *F. graminearum* - 69,8%, частота встречаемости которого за последние годы выросла. Гриб *M. nivale*

обнаруживался нами и в виде ожога листьев, и на пораженных элементах колоса (рисунок 3.11).

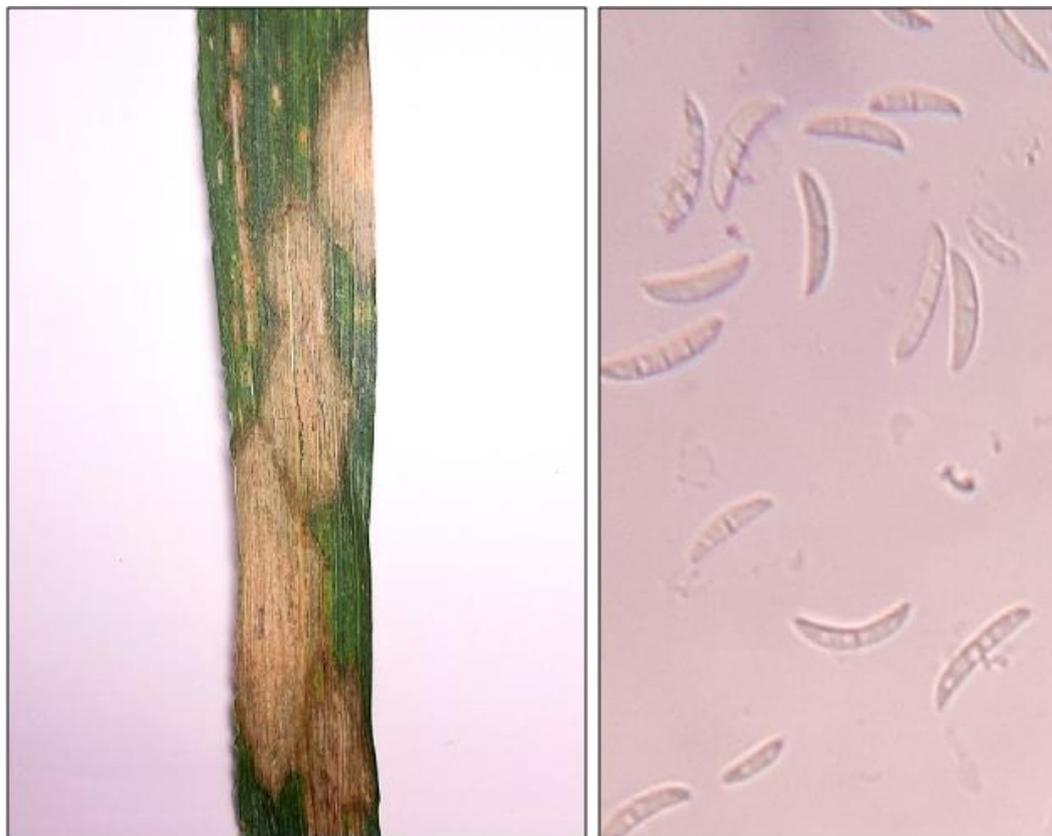


Рисунок 3.11 – Ожог листа озимой пшеницы, вызванный *M. nivale* в Краснодарском крае, 2023 г. (ориг.)

Таким образом, в НЦЗ им. П.П. Лукьяненко проведено уточнение видового состава грибов-возбудителей, вызывающих поражение колоса в Краснодарском крае. Полученные данные подтверждают наличие комплекса видов р. *Fusarium*, способных вызывать эпифитотии фузариоза колоса и зерна озимой пшеницы. В зависимости от агроклиматической зоны, наличия восприимчивых хозяев соотношение видов в популяции динамично и изменяется циклически, следуя за погодно-климатическими колебаниями.

В условиях Краснодарского края в популяции превалирует вид *F. graminearum*. За последние семнадцать лет частота встречаемости этого вида

в среднем составила 62,5%. Зафиксирована периодичность изменения частоты встречаемости более засухоустойчивого вида *F. sporotrichioides*.

В годы с влажной и прохладной весной возбудитель «снежной плесени» *M. nivale* довольно часто выделяется из колосковых чешуй и зерна с симптомами, похожими на поражение грибами р. *Fusarium*.

Применение новых методик, включающих молекулярно-генетические исследования, позволило более точно идентифицировать вид *F. cerealis* и установить расширение его ареала в Краснодарском крае [Гагкаева Т.Ю., 2009].

3.3 Культурально-морфологические признаки грибов – основных возбудителей фузариоза колоса

В условиях Краснодарского края экономически значимыми являются виды возбудителей фузариоза колоса, которые относятся к секциям *Discolor* (*F. graminearum* Schwabe, *F. culmorum* (W.G.Sm.) Sacc., *F. cerealis* (Cooke) Sacc.) и *Sporotrichiella* (*F. sporotrichioides* Sherb., *F. tricinctum* (Corda) Sacc.) [Gerlach W., Nirenberg H., 1982].

Для определения видовой принадлежности грибов рода *Fusarium* учитывались следующие критерии:

1) макроскопические особенности - морфология воздушного мицелия (пушистый, войлочный, хлопьевидный, высокий или стелющийся), его густота и скорость роста колонии, окраска лицевой и обратной стороны, цвет споровой массы, а также присутствие/отсутствие склероциев с указанием их оттенка;

2) микроскопические особенности – форма и структура конидий, организация конидиеносцев, наличие или отсутствие хламидоспор) [Шипилова Н.П., Иващенко В.Г., 2008].

Для описания культурально-морфологических особенностей возбудителей фузариозов использовали характеристику К. Буса [Booth C., 1971], В. Герлаха и Х. Ниренберга [Gerlach W., Nirenberg H., 1982], с дополнениями Н.П. Шипиловой

и В.Г. Иващенко [2008] и Т.Ю. Гагкаевой с соавторами [Фузариоз зерновых культур, 2011].

Колонии вида *F. graminearum* Schwabe, изолированные из различных частей растений озимой пшеницы, обладали быстрым ростом, с хорошо развитым пушистым воздушным мицелием, в основном бело-розового и розового цвета (рисунок 3.12).



Рисунок 3.12 – Культура гриба *F. graminearum* Schwabe (ориг.)

С возрастом в центре колонии наблюдалось пожелтение гиф мицелия. Цвет реверса чаще розовый, иногда малиново-красный, с более темными оттенками в центре. Макроконидии веретеновидно-серповидные, эллиптически изогнутые, с почти прямой вентральной стороной и равномерно изогнуты дорсивентрально, количество перегородок колеблется от 3 до 6, но чаще всего 5, размеры $4-7 \times 40-60$ мкм. Апикальная клетка с небольшим изгибом, плавно сужающаяся, конической формы. Базальная клетка с четкой ножкой.

Макроконидии формируются на обильно ветвящихся конидиеносцах воздушного мицелия и в спородохиях, которые образуются с возрастом. (рисунок 3.13).

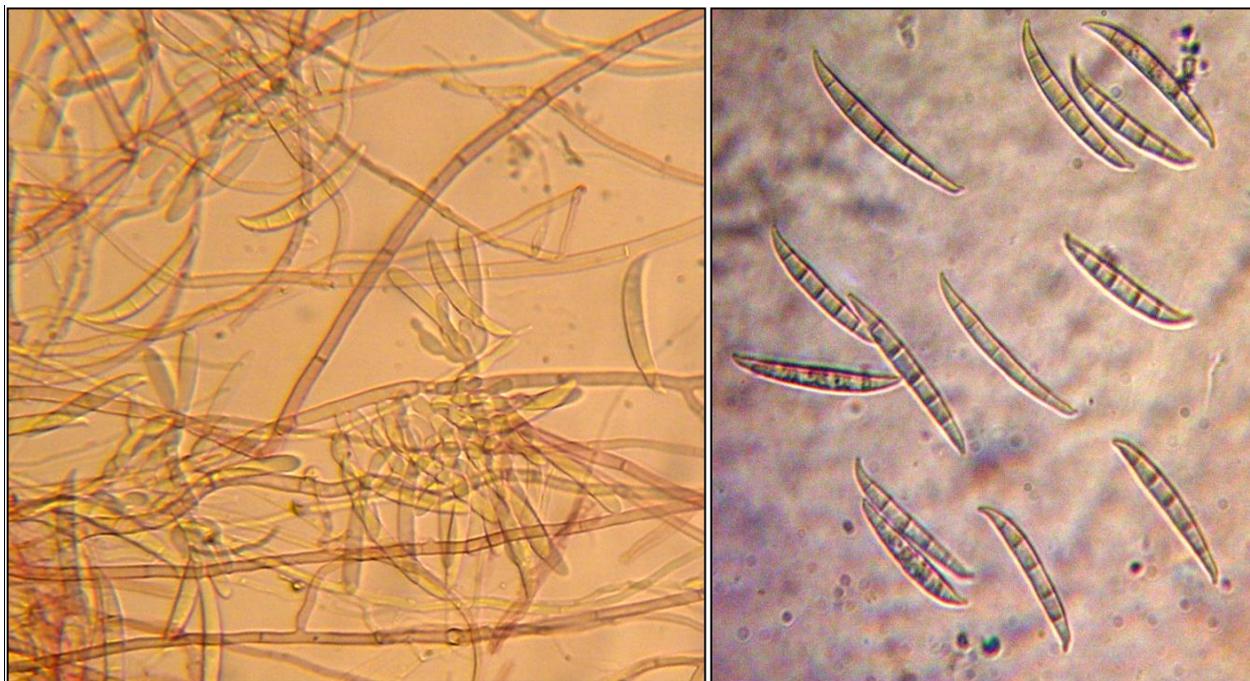


Рисунок 3.13 – Мицелий и конидиальное спороношение гриба *F. graminearum* Schwabe (ориг.)

Хламидоспоры формируются в гифах, макроконидиях, бывают одиночные, в коротких цепочках, с увеличением возраста культуры часто отсутствуют. Микроконидий нет. Округлые перитеции сумчатой стадии (*G. Zeae* (Schwein.) Petch) обнаруживали на растительных остатках кукурузы. Размер варьирует от 150 до 300 мкм в диаметре. В каждой сумке перитеция по 8 аскоспор с 3 перегородками (3–6 × 15–30 мкм).

Культуры вида *F. culmorum* (W. G. Smith) Sacc. (1895) с высокой скоростью роста. Формирует хлопьевидный воздушный мицелий, с рыхло пушистой, бархатистой массой гиф. Окраска мицелия в основном насыщенная, с темно-красным и желтовато-охряным оттенком (рисунок 3.14).



Рисунок 3.14 – Вид *F. culmorum* (W. G. Smith) Sacc. (1895) (ориг.)

Окраска реверса, как правило, красно-бурая, интенсивная и с возрастом имеет охряные оттенки. На гифах воздушного мицелия формируются обильно ветвящиеся конидиеносцы с монофиалидами. Колонии на поверхности мицелия быстро образуют спородохии кирпично-красного цвета. Микроконидий не образует. Макроконидии веретеновидно-серповидные, толстостенные, более изогнуты дорсивентрально, в средней части вентрально почти прямые, имеют более широкие клетки в центре, с наибольшим диаметром посередине, в основном с 3–5 перегородками. Размеры макроконидий 5–8x30–45 мкм. Апикальная клетка короткая, резко сужается к концу, тупая. Базальная клетка имеет ножку или только сосочек (рисунок 3.15).

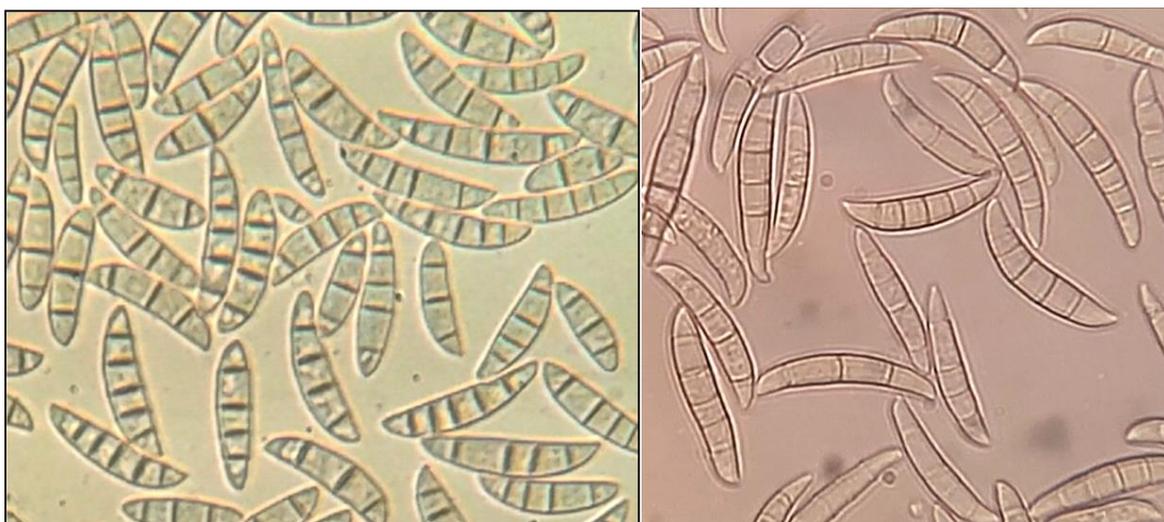


Рисунок 3.15 – Макроконидии гриба *F. culmorum* (W. G. Smith) Sacc. (1895) (ориг.)

Телеоморфа не обнаружена. Способен быстро формировать одиночные либо в цепочках хламидоспоры в гифах мицелия и макроконидиях.

Культуры гриба *F. cerealis* Burgess, Nelson, Toussoun (1982) быстро растут и формируют колонии с хлопьевидный воздушным мицелием, плотно-пушистой структуры с интенсивной пигментацией от темно-красной до желтовато-охряной. Окраска реверса красно-коричневая (рисунок 3.16).



Рисунок 3.16 – Культура гриба *F. cerealis* Burgess, Nelson, Toussoun (1982) (ориг.)

Ветвящиеся конидиеносцы с монофалидами образуются на гифах воздушного мицелия. Макроконидии веретеновидно-серповидные, эллиптически изогнутые, с более изогнутой внешней, чем внутренней стороной, чаще с 5 перегородками (иногда с 3–6), размер 5–7х30–60 мкм. Могут образовываться в спородохиях, которые формируются быстро, в виде кирпично-красной массы конидий. Апикальная клетка немного изгибается, в форме конуса, имеет небольшую кривизну. Ножка у базальной клетки имеет четкую детализацию. Отсутствуют микроконидии (рисунок 3.17).



Рисунок 3.17 – Макроконидии гриба *F. cerealis* Burgess, Nelson, Toussoun (1982) (ориг.)

В виде цепочек быстро образует окрашенные хламидоспоры в гифах или макроконидиях. Телеморфа неизвестна.

У вида *F. sporotrichioides* Sherb. (1915) культуры обладают высокой скоростью роста, с обильным воздушным мицелием, пушистой редко порошистой структурой, белого или бело-розового оттенков (рисунок 3.18).



Рисунок 3.18 – Культура гриба *F. sporotrichioides* Sherb. (1915) (ориг.)

У молодых культур реверс сначала бледно-розовый, впоследствии приобретает вино-красные, иногда охряно-коричневые оттенки. Конидиеносцы способны формировать монофиалидные, полифиалидные и полибластические конидиогенные клетки. Спороношение колонии начинается быстро, с образованием микроконидий разных форм (шаровидных, шаровидных с заостренной верхушкой, грушевидных, веретеновидных), часто одноклеточных, реже с 1–3 перегородками. Макроконидии веретеновидно-серповидные, чаще с 3–5 перегородками (26–40x3–5 мкм), образуются в воздушном мицелии. Апикальная клетка короткая и суженна к концу. Базальная клетка с нечеткой ножкой (рисунок 3.19).

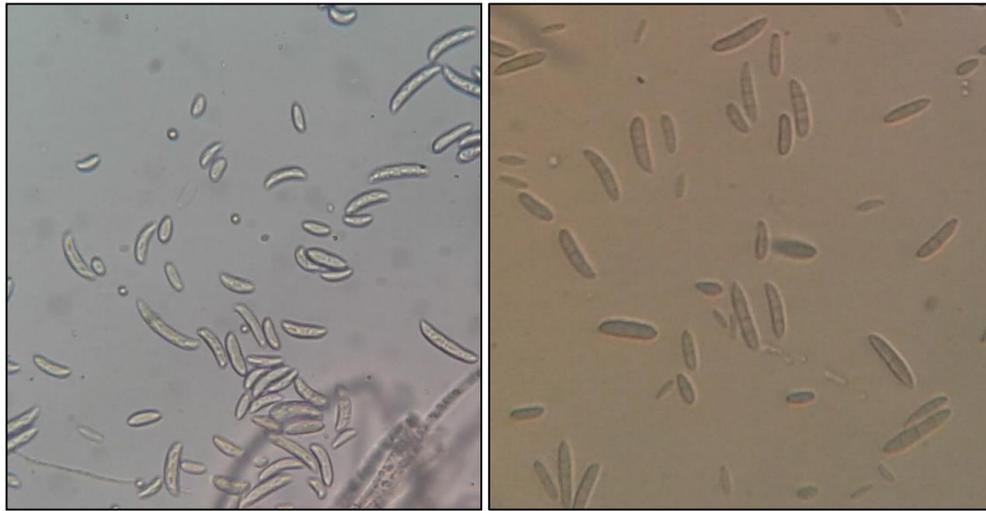


Рисунок 3.19 – Макро- и микроконидии вида *F. sporotrichioides* Sherb. (1915) (ориг.)

Окрашенные хламидоспоры обильные, образуются в гифах, сгруппированы в цепочки. Телеоморфа неизвестна.

Культуры *F. tricinatum* CordaSacc. (1886) медленно растущие. Воздушный мицелий колонии обильный, по структуре - плотно бархатистый, карминового оттенка. Реверс имеет насыщенную окраску от карминового до винно-красного оттенка (рисунок 3.20).

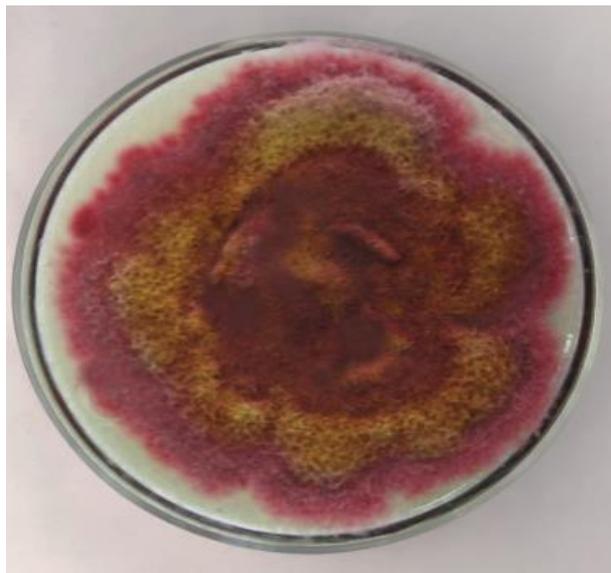


Рисунок 3.20 – Культура гриба *F. tricinatum* CordaSacc. (1886) (ориг.)

Конидиеносцы с монофиалидными конидиогенными клетками, вначале не разветвленные, позже ветвятся. Появление микроконидий и спородохий наблюдается более зрелых культурах. Форма микроконидий лимоновидная, грушевидная и иногда продолговато-изогнутая (4–8x8–11 мкм). Они одноклеточные или с 1 перегородкой, собраны в ложные головки (Гагкаева и др., 2011).

Как правило, макроконидии грацильные, имеют серповидно-изогнутую форму, с 3–5 перегородками, чаще образуются в спородохиях и редко в воздушном мицелии. Апикальная и базальные клетки почти одинаковые по размеру, равномерно суженные, вытянутые (рисунок 3.21).

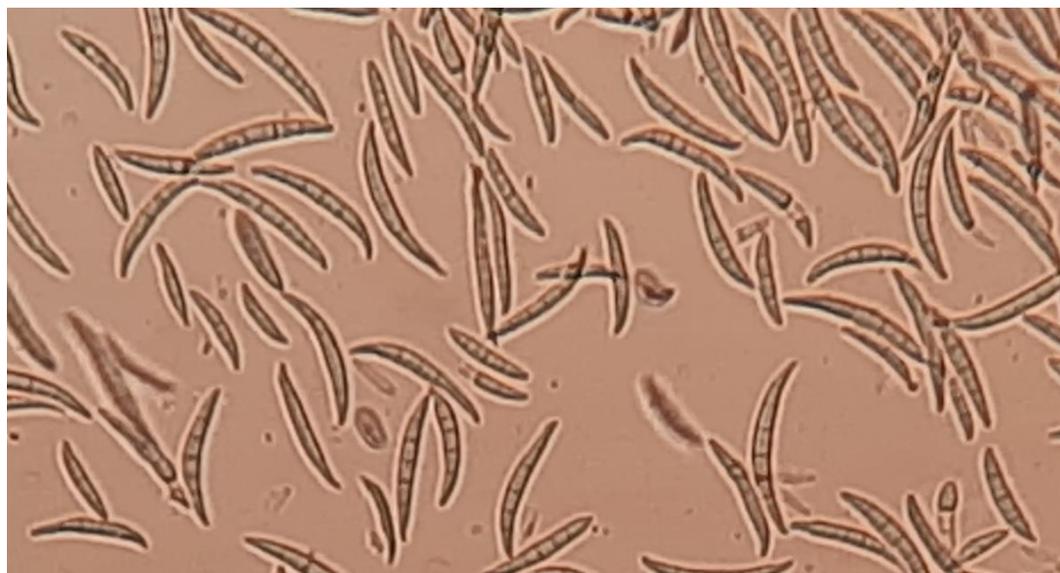


Рисунок 3.21 – Макроконидии *F. tricinctum* CordaSacc. (1886) (ориг.)

Образование хламидоспор наблюдалось редко, происходило это в основном в гифах мицелия, в цепочках или кластерах. Телеоморфа – *G. tricincta* El Gholl, McRitchie, Schoult, Ridings (1978) нами не обнаруживалась.

Многолетние исследования выявили, что причиной поражения колоса пшеницы озимой в Краснодарском крае, являются виды грибов: *F. graminearum*, *F. verticillioides*, *F. culmorum*, *F. cerealis*, *F. sporotrichioides*, *F. tricinctum*. и *M. nivale*. Однако в последние годы доминирующей группой стали *F. graminearum*.

F. culmorum, и *F. sporotrichioides*. Формирование высокого инфекционного потенциала этих патогенов зависит от сохранения жизнеспособности гриба на растительных остатках в зимний период, от частых осадков, обильных рос и положительных умеренных температур в период колошение-зернообразование озимой пшеницы. Эти факторы, а также возделывание восприимчивых сортов нередко приводит к вспышкам эпифитотийного развития фузариоза колоса.

4 ИСТОЧНИКИ УСТОЙЧИВОСТИ ПШЕНИЦЫ К ФУЗАРИОЗУ КОЛОСА

4.1 Скрининг образцов пшеницы мировой коллекции по степени поражения фузариозом колоса

В селекции пшеницы на устойчивость к фузариозу колоса используется малое количество доноров и актуальность постоянного поиска новых источников резистентности не снижается. Для создания сортов с длительной устойчивостью необходимо использовать доноры неспецифической устойчивости и пирамидирование генов специфической устойчивости [Афанасенко О.С., Новожилов К.В., 2009].

С целью поиска и отбора генотипически вариабельных источников устойчивости к возбудителям фузариоза колоса, в период с 2006 по 2023 гг. на фоне искусственного заражения мы провели скрининг 5877 образцов коллекции пшеницы отечественной и зарубежной селекции по устойчивости к фузариозу колоса и изучили комплекс хозяйственных и биологических признаков.

В число изученных вошли сорта российской селекции, а также образцы озимой пшеницы стран СНГ, Центральной и Западной Европы, США, Аргентины, Канады, Китая и др. Каждый год в коллекции происходила ротация образцов за счет поступления нового материала, высоко восприимчивые образцы выбраковывались. Большинство из них изучаются 2-3 года и имеют высокий уровень фузариозоустойчивости.

В изучаемом питомнике большинство сортов представлено российской селекцией (2529), большое количество материала зарубежной селекции - из Украины (719), Германии (526), Венгрии (430), Чехии (419), Франции (282), Болгарии (175), Австрии (146), Сербии (136), Румынии (115), США (107), Польши (60), Китая (56), Канада (25), Япония (15) и из других стран (135) (таблица 4.1).

Таблица 4.1 – Дифференциация образцов коллекции пшеницы мягкой озимой по степени поражения фузариозом колоса, искусственный инфекционный фон, % (2006-2023 гг.)

Страна происхождения	Всего, шт.	Группа устойчивости, %			
		R*	MR	MS	S
Россия	2529	5,7	11,6	25,5	57,2
Украина	719	5,7	11,4	19,7	63,1
Германия	526	4,8	12,0	19,6	63,7
Венгрия	430	7,0	10,2	23,3	59,5
Чехия	419	6,9	12,4	30,5	50,1
Франция	282	3,9	6,0	15,2	74,8
Болгария	175	9,7	14,9	26,9	48,6
Австрия	148	18,9	20,9	25,7	34,5
Сербия	136	5,1	15,4	25,7	53,7
Румыния	115	7,8	21,7	38,3	32,2
США	107	25,2	19,6	32,7	22,4
Польша	60	1,7	5,0	21,7	71,7
Китай	56	25,0	21,4	19,6	33,9
Канада	25	8,0	16,0	20,0	56,0
Япония	15	26,7	20,0	20,0	33,3
Другие страны (15)	135	16,0	11,8	38,7	33,5
Всего/среднее	5877	10,5	13,5	25,2	50,8

*R – устойчивые; MR – среднеустойчивые; MS – средневосприимчивые; S – восприимчивые.

Кроме указанных в таблице, в коллекции пшеницы озимой изучались образцы из таких стран, как: Казахстан (14), Словакия (14), Аргентина (13), Австралия (13), р. Беларусь (11), Люксембург (11), Дания (7), Перу (7), Турция (7), Хорватия (6), Швеция (6), Швейцария (5), Англия (3), Киргизия (2), Мексика (1).

Встречаемость устойчивых и среднеустойчивых форм в сумме составила 24,0%, средневосприимчивых – 25,2% и восприимчивых – 50,8%.

Проведенный анализ показал, что количество устойчивых образцов коллекции зависит от состояния проблемы селекции на устойчивость к фузариозу колоса в стране-оригинаторе.

В Японии, в регионах выращивания пшеницы с влажным климатом и муссонными дождями, часто отмечаются сильные эпифитотии. Для купирования

этой проблемы ведутся многолетние детальные исследования токсикозов и селекция на устойчивость к фузариозу колоса пшеницы и ячменя. Благодаря этому 46,7% образцов из Японии обладают высокой устойчивостью к фузариозу колоса.

В Китае эпифитотии фузариоза колоса наносят огромный урон урожаю озимой пшеницы в южных и юго-западных провинциях и яровой пшенице в северо-восточных провинциях. В повышении устойчивости пшеницы к фузариозу колоса селекционерами Китая был достигнут значительный прогресс путем исследования и пирамидирования локусов устойчивости (*QTL*) [Chen P., 2016; Development of wheat varieties....., 2016]. Почти половина изученного нами селекционного материала из Китая (46,4%) обладает высокой устойчивостью к фузариозу колоса.

США остаются ведущими производителями кукурузы и большую проблему в годы эпифитотий в отдельных штатах «кукурузного» пояса представляет фузариоз колоса пшеницы. Сохранность этих патогенных микромицетов обеспечивают пожнивные остатки кукурузы, которые в значительной степени накапливают инокулюм гриба и на которых формируется телеоморфная стадия – источник заражения восприимчивых растений кукурузы, ячменя и пшеницы весной [Иващенко В.Г., Шипилова Н.П., 2005]. В связи с этим в США активно ведется работа по повышению устойчивости к фузариозу колоса пшеницы и среди образцов их селекции весомая часть (44,8%) обладает высоким уровнем самозащиты от болезни. Сорт американской селекции KS92WGRS22 в разные годы поражается слабо. Как при средней, так и при очень высокой инфекционной нагрузке он показывает высокое сопротивление фузариозу колоса.

В Австрии интенсивно ведется работа по выведению сортов, устойчивых к фузариозу. Весомая часть изучаемых образцов (39,8%) - устойчивые и среднеустойчивые формы (Urbanus, Phillip, Turanus, Sikstus, Bitop, Saturnus, Sibirius и др.), существенно уступающие по морозостойкости сортам селекции НЦЗ им. П.П. Лукьяненко.

Треть изученных сортов (29,5%) румынской селекции имеют высокий уровень сопротивления фузариозу колоса. Среди образцов венгерской селекции выявлено 17,2% устойчивых и среднеустойчивых форм.

В течение ряда лет на искусственном инфекционном фоне мы изучаем группу сортов с высокой устойчивостью из Сербии. Многие из них относятся к устойчивым.

Изучение коллекции мы условно разделили на три этапа. Из всех иностранных и инорайонных образцов, изученных за период с 2006 по 2010 гг., выявлены наиболее устойчивые к фузариозу колоса (таблица 4.2).

Таблица 4.2 – Степень поражения фузариозом колоса и зерна коллекционных образцов пшеницы мягкой озимой иностранной и инорайонной селекции, искусственный инфекционный фон

Образец	Страна происхождения	Степень поражения фузариозом колоса/зерна, балл					Среднее за 2006-2010 гг.
		2006	2007	2008	2009	2010	
Енола	Болгария	4/3	5/3	2/2	4/3	4/2	3,8/ 2,6
Ning7840	Китай	4/4	2/2	3/3	4/3	4/2	3,4/2,8
Лавина	Россия	5/4	4/2	3/2	4/3	2/2	3,6/2,6
Сплав	Россия	3/3	2/2	4/3	5/4	7/3	4,2/3,0
Безенчукская 380	Россия	5/3	5/3	3/3	4/3	3/3	3,9/3,1
Драгана	Сербия	4/4	5/3	6/5	3/1	2/2	4,0/3,0
Агараһое	США	3/3	4/3	3/3	3/2	2/2	3,0/2,6
KS92WGRS15	США	7/4	7/3	7/4	7/3	6/4	6,8/3,6
ТАМ 108	США	7/4	6/5	3/3	5/3	5/4	5,2/3,8
Золотоколоса	Украина	7/6	4/4	5/4	6/4	5/6	5,4/4,8
Мирлебен	Украина	5/5	7/4	4/3	6/4	5/3	5,4/3,8
Таборца	Украина	5/3	6/2	3/2	6/2	5/4	5,0/2,6
Смуглянка	Украина	6/4	7/6	4/2	4/3	4/4	5,0/3,8
Память, ст. R ¹	Россия	4/5	4/3	5/5	4/2	7/4	4,8/3,8
Купава, ст. S ²	Россия	9/9	9/9	9/9	9/9	9/9	9/9
Среднее, балл	-	5,5/4,5	5,0/3,8	4,2/3,9	5,0/3,2	4,7/3,5	-
Коэффициент вариации, %	-	32,9/ 37,3	40,4/ 57,9	44,4/ /53,3	32,5/ 62,7	43,5/ 53,4	-

ст. R¹ – стандарт устойчивости; ст. S² – индикатор (стандарт) восприимчивости

Среди большого разнообразия изученного материала наиболее высокую устойчивость к возбудителям фузариоза колоса и зерна проявили образцы Енола,

Таборца, Драгана, Сплав, Лавина, Арапное, Ning7840. Поражение зерна у образцов KS 92WGRS 15, Мирлебен, Смуглянка, ТАМ 108 соответствует уровню устойчивого стандартного сорта Память.

При изучении степени поражения коллекционных образцов из разных стран с большим разнообразием механизмов защиты от возбудителей фузариоза колоса и зерна выявили, что коэффициент вариации степени поражения колоса и зерна в период 2006-2010 гг. был высоким и колебался от 32,5 до 44,4 %, и от 37,3 до 62,7% соответственно, что свидетельствует о высокой вариативности коллекционного материала по этим признакам и позволяет выделить лучшие по искомым параметрам.

В селекционных программах особый интерес вызывают генотипы растений, проявляющие групповую резистентность к доминирующим и экономически значимым болезням пшеницы. Для выявления перспективных образцов мы проводим скрининг мирового генофонда в условиях искусственного инфицирования разными патогенами. Тестирование защитных реакций образцов обеспечивает детализацию их иммунного ответа, что важно для полноценной характеристики устойчивости. Данный подход не только позволяет идентифицировать источники полигенной резистентности, но и способствует созданию сортов с долговременной защитой против динамично эволюционирующих фитопатогенов (таблица 4.3).

Таблица 4.3 - Иммунологическая характеристика коллекционных образцов пшеницы мягкой озимой иностранной и инорайонной селекции, искусственный инфекционный фон, 2006-2010 гг.

Образец	Страна происхождения	Степень поражения, %		
		бурой ржавчиной	желтой ржавчиной	твердой головней
1	2	3	4	5
<i>Enola</i>	Болгария	80 S	1 R	9,8
<i>Ning7840</i>	Китай	1 R	60 MS	56,8
Лавина	Россия	1 R	10 R	62,0
Сплав	Россия	1 R	10 R	71,3

Продолжение таблицы 4.3

1	2	3	4	5
Безенчукская 380	Россия	80 S	20 MR	12,7
<i>Dragana</i>	Сербия	50 MS	1 R	75,1
<i>Arapahoe</i>	США	1 R	40 MS	57,4
<i>KS92WGRS15</i>	США	1 R	70 S	56,8
<i>TAM 108</i>	США	80 S	40 MS	64,2
Золотоколоса	Украина	30 MS	50 MS	7,5
Мирлебен	Украина	50 MS	40 MS	43,5
Таборца	Украина	1 R	1 R	68,1
Смуглянка	Украина	30 MS	30 MS	5,9
Память, ст. R	Россия	60 MS	80 S	86,4
Купава, ст. S	Россия	10 R	70 S	83,1

Образцы *Enola* и Безенчукская 380 обладают высоким иммунным статусом к фузариозу колоса, желтой ржавчине и твердой головне. Сорты Лавина, Сплав и Таборца обладают групповой устойчивостью к поражению фузариозом колоса и листовыми ржавчинами (бурой и желтой). Сорты украинской селекции Золотоколоса и Смуглянка среднеустойчивы к фузариозу колоса и высоко устойчивы к твердой головне.

Наиболее устойчивые к фузариозу колоса иностранные образцы протестированы на зимоморозостойкость, проведена оценка качества зерна на приборе INFRATEK 1241. В таблице 4.4 приводим характеристику фузариозоустойчивых коллекционных образцов.

Таблица 4.4 - Характеристика коллекционных образцов пшеницы мягкой озимой иностранной и инорайонной селекции по хозяйственно-ценным признакам, искусственный инфекционный фон (2006-2010 гг.)

Образец	Страна происхождения	Морозостойкость	Дата колошения, май	Высота, см	Содержание в зерне, %		Урожайность, кг/м ²
					белка	клейковины	
1	2	5	3	4	6	5	2
<i>Enola</i>	Болгария	низкая	7	97	13,9	23,7	1,04
<i>Ning7840</i>	Китай	низкая	16	77	13,1	22,8	0,36
Лавина	Россия	высокая	20	122	15,7	29,5	0,84

Продолжение таблицы 4.4

1	2	3	4	5	6	7	8
Сплав	Россия	высокая	22	110	13,7	24,1	0,78
Безенчукская 380	Россия	средняя	15	136	15,3	28,7	0,73
<i>Dragana</i>	Сербия	средняя	9	109	13,4	24,4	1,04
<i>Arapachoe</i>	США	низкая	16	100	13,0	22,7	0,78
<i>KS92WGRS15</i>	США	средняя	13	105	13,3	22,0	0,91
<i>TAM 108</i>	США	средняя	14	93	14,1	23,5	0,96
Золотоколоса	Украина	средняя	18	108	14,2	25,5	1,07
Мирлебен	Украина	средняя	10	106	14,7	22,0	1,22
Таборца	Украина	средняя	5	103	13,9	24,7	1,18
Смуглянка	Украина	высокая	10	106	12,7	22,1	1,16
Память, ст. R	Россия	средняя	13	108	13,4	23,7	1,07
Купава, ст. S	Россия	средняя	14	103	13,0	20,8	0,93
НСР ₀₅				1,79	0,87	0,99	0,10

Важным фактором, влияющим на устойчивость к фузариозу колоса, является скороспелость и высота растения [Аблова И.Б., 1998]. Коллекционные образцы, проявившие устойчивость, являются в основном короткостебельными (*Enola*, *Arapachoe*, *TAM 108*, Таборца) и среднерослыми (Лавина, Сплав, *Dragana*, *KS92WGRS15*, Мирлебен, Золотоколоса, Смуглянка), есть как скороспелые (*Enola*, *Dragana*, Таборца), так и позднеспелые (Лавина, Сплав, Мирлебен). Большинство образцов обладают средней морозостойкостью, у сортов Лавина, Сплав, Смуглянка морозостойкость высокая. Часто применяемый в гибридизации высокорослый позднеспелый сорт Лавина (122 см) - донор хозяйственно ценных признаков и устойчивости к основным болезням, с хорошей сортообразующей комбинационной способностью.

Как правило, образцы с устойчивостью к фузариозу колоса характеризуются негативным агротипом, комплексом отрицательных признаков, например, сорта *Enola*, *Ning7840* и *Arapachoe* имеют низкую морозостойкость.

Урожайность, содержание белка и клейковины в зерне сортов Лавина, *Enola*, *Dragana*, *KS92WGRS15*, Таборца, Золотоколоса, Мирлебен находятся на уровне стандарта Память или превышает его.

Во втором этапе исследований (2011-2015 гг.) нам удалось выявить группу устойчивых сортов из большего количества стран (таблица 4.5).

Таблица 4.5 - Степень поражения коллекционных образцов пшеницы мягкой озимой иностранной селекции, искусственный инфекционный фон

Образец	Страна происхождения	Степень поражения фузариозом колоса/зерна, балл					Среднее за 2011-2015 гг.
		2011	2012	2013	2014	2015	
<i>Bitop</i>	Австрия	3/2	5/2	3/2	7/5	3/2	4,2/2,6
<i>Midas</i>	Австрия	3/3	3/2	3/2	7/5	7/7	4,6/3,8
<i>Lukas</i>	Австрия	7/6	3/2	7/5	7/6	3/4	5,4/4,6
<i>Buck Palengue</i>	Аргентина	3/2	4/5	2/2	6/4	2/2	3,4/3,0
<i>MV TALLER</i>	Венгрия	3/3	4/4	2/2	7/4	3/2	3,8/3,0
<i>GK ROZI</i>	Венгрия	3/2	5/4	3/3	6/3	3/2	5,0/2,6
<i>GK Goncol</i>	Венгрия	3/3	6/4	3/2	6/3	3/3	4,2/3,0
<i>XIAO YAN107</i>	Китай	3/2	6/4	2/2	5/3	2/2	3,6/2,6
<i>Litera</i>	Румыния	5/3	6/5	3/2	6/4	2/2	4,4/3,2
<i>Liman</i>	Румыния	4/4	6/5	3/2	6/3	3/3	4,4/3,4
<i>Mirella</i>	Румыния	4/3	4/5	4/3	7/3	2/3	4,6/3,4
<i>KS92WGRS22</i>	США	4/3	6/5	2/2	7/3	4/2	4,6/3,0
Солоха	Украина	3/2	4/4	2/2	6/4	4/3	3,8/3,0
Экспромт	Украина	3/3	5/6	5/2	7/6	3/3	4,6/4,2
<i>U 3007</i>	Чехия	2/2	7/5	5/3	7/5	3/2	5,2/3,7
<i>Hokkai252</i>	Япония	3/3	4/5	3/5	7/5	2/3	3,8/4,0
Память, ст. R	Россия	6/5	7/5	4/2	6/5	5/5	5,6/4,4
Васса, ст. S	Россия	9/9	9/9	9/9	9/9	9/9	9/9
Среднее, балл	-	4,4/3,7	5,6/5,1	3,9/2,9	7,1/4,9	3,9/3,4	-
Коэффициент вариации, %	-	45,9/ 55,7	28,5/ 31,5	44,0/ 56,9	17,4/ 32,3	47,3/ 53,2	-

В 2011, 2013 и 2015 гг. коэффициенты вариации по степени поражения колоса и зерна были высокими и колебались от 44,0 до 47,3 %, и от 53,2 до 56,9% соответственно, что свидетельствует о высокой дифференциации образцов коллекции по целевому признаку.

В годы жестких искусственно созданных эпифитотий (2012 и 2014 гг.) среди образцов коллекции наблюдалось большое разнообразие по устойчивости, коэффициенты вариации по степени поражения колоса и зерна были высокими и составляли от 17,4 до 28,5% и от 31,5 до 32,3% соответственно.

Анализ поражения фузариозом колоса сортов коллекции показал, что сорта *Lukas*, Экспромт по устойчивости к фузариозу колоса находятся на уровне устойчивого стандартного сорта Память. Наиболее высокую устойчивость к фузариевым грибам проявили сорта *Bitop*, *MV TALLER*, *GK ROZI*, *GK Goncol*, *Buck Palengue*, Солоха, *Litera*, *Liman*, *XIAO YAN 107*, они имеют неоспоримые преимущества по устойчивости перед стандартным сортом Память. Изученные образцы обладают групповой устойчивостью к разным болезням (таблица 4.6).

Таблица 4.6 - Иммунологическая характеристика коллекционных образцов пшеницы мягкой озимой иностранной и инорайонной селекции, искусственный инфекционный фон (2011-2015 гг.)

Образец	Страна происхождения	Степень поражения, %		
		бурой ржавчиной	желтой ржавчиной	твердой головней
<i>Bitop</i>	Австрия	60 S	1 R	92,7
<i>Midas</i>	Австрия	10 R	5 R	70,0
<i>Lukas</i>	Австрия	60 MS	5 R	46,8
<i>Buck Palengue</i>	Аргентина	1 R	30 MR	70,3
<i>MV TALLER</i>	Венгрия	80 S	90 S	99,3
<i>GK ROZI</i>	Венгрия	40 MS	80 S	40,2
<i>GK Goncol</i>	Венгрия	60 MS	90 S	82,0
<i>XIAO YAN107</i>	Китай	1 R	30 MR	61,0
<i>Litera</i>	Румыния	30 MR	20 MR	6,1
<i>Liman</i>	Румыния	10 R	40 MS	63,2
<i>Mirella</i>	Румыния	20 MR	60 MS	50,1
<i>KS92WGRS22</i>	США	1 R	30 MR	82,0
Солоха	Украина	50 S	30 MR	81,1
Экспромт	Украина	1 R	50 MS	4,4
<i>U 3007</i>	Чехия	70 MS	40 MS	67,1
<i>Ноккаi252</i>	Япония	40 MS	80 S	21,7
Память, ст. R	Россия	60 MS	80 S	86,4
Васса, ст. S	Россия	20 MR	60 MS	53,3

Образцы австрийской селекции *Bitop*, *Midas* и *Lukas* за годы изучения были среднеустойчивы к фузариозу колоса и практически не поражались желтой ржавчиной. Образцы *Buck Palengue*, *XIAO YAN107*, *Liman*, *KS92WGRS22* со средним уровнем резистентности к фузариозу колоса обладают высокой

устойчивостью к бурой ржавчине. Сорт Экспромт среднюю устойчивость к фузариозу колоса сочетает с высокой устойчивостью к бурой ржавчине и твердой головне.

У изученных фузариозоустойчивых образцов коллекции выявлены различия по биологическим свойствам, морфологическим и хозяйственно-полезным признакам (таблица 4.7).

Таблица 4.7 - Характеристика коллекционных образцов пшеницы мягкой озимой иностранной селекции, по морфологическим, биологическим свойствам и хозяйственно-ценным признакам, искусственный инфекционный фон (2011-2015 гг.)

Образец, сорт	Страна происхождения	Морозостойкость	Дата колошения, май	Высота, см	Содержание в зерне, %		Урожайность, кг/м ²
					белка	клейковины	
<i>Bitop</i>	Австрия	низкая	13	94	17,3	32,4	0,47
<i>Midas</i>	Австрия	низкая	18	106	16,1	30,5	0,69
<i>Lukas</i>	Австрия	низкая	20	119	16,2	30,7	0,71
<i>Buck Palengue</i>	Аргентина	низкая	12	108	16,5	30,8	0,69
<i>MV TALLER</i>	Венгрия	низкая	6	92	14,0	24,6	0,60
<i>GK ROZI</i>	Венгрия	низкая	10	90	16,0	29,8	0,71
<i>GK Goncol</i>	Венгрия	низкая	9	85	16,0	29,3	0,58
<i>XIAO YAN107</i>	Китай	средняя	10	95	14,4	24,6	0,62
<i>Litera</i>	Румыния	средняя	9	96	15,1	26,8	0,67
<i>Liman</i>	Румыния	средняя	13	87	16,3	30,3	0,51
<i>Mirella</i>	Румыния	средняя	6	79	16,4	29,8	0,58
<i>KS 92WGRS22</i>	США	средняя	12	93	14,9	25,8	0,53
Солоха	Украина	средняя	8	107	13,8	25,1	1,04
Экспромт	Украина	средняя	10	100	14,0	23,7	0,82
<i>U 3007</i>	Чехия	средняя	15	107	14,3	26,1	0,84
<i>Hokkai252</i>	Япония	средняя	12	92	15,8	25,3	0,56
Память, ст. R	Россия	средняя	13	104	13,8	24,5	0,96
Васса, ст. S	Россия	низкая	10	102	13,6	22,4	0,91
НСР ₀₅				1,82	0,88	0,95	0,09

Сорта из Австрии, Венгрии, Аргентины и Болгарии по сравнению со стандартом имеют низкую продуктивность и морозостойкость.

Образцы украинской Солоха, Экспромт и чешской селекции *U 3007* имеют средний уровень морозостойкости, с показателями качества зерна и урожайности на уровне устойчивого стандартного сорта Память.

Данные генотипы рекомендованы для введения в программы гибридизации, направленные на создание сортов с комбинированной устойчивостью. В схемах скрещивания активно используют сорта *Buck Palengue*, Экспромт, *GK ROZI*, *XIAO YAN 107* и другие.

В период исследований с 2016 по 2023 гг. выявлена группа коллекционных образцов, наиболее устойчивых к фузариозу колоса (таблица 4.8).

Таблица 4.8 - Степень поражения коллекционных образцов пшеницы мягкой озимой иностранной и инорайонной селекции, искусственный инфекционный фон

Образец	Степень поражения фузариозом колоса/зерна, балл								Среднее за 2016-2023 гг.
	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	
<i>Turanus</i>	3/2	5/6	5/3	5/6	1/3	4/4	3/2	7/6	4,1/4,0
<i>Sibirius</i>	6/3	9/7	9/6	7/5	3/3	5/3	4/3	9/6	6,5/4,5
<i>MV VEKNI</i>	9/5	4/7	3/4	6/5	5/4	6/4	5/3	8/6	5,7/4,7
<i>MV KOKARDA</i>	2/2	5/4	5/6	5/5	5/3	4/3	3/2	6/6	4,3/3,8
<i>Zhong Pin 1586</i>	1/3	5/3	3/3	4/2	4/3	3/2	2/2	5/3	3,4/2,8
Черноземка 121	4/2	2/3	5/4	3/3	3/2	4/2	2/2	5/5	3,4/2,8
<i>KS 96WGRS 40</i>	4/3	3/2	9/3	7/3	2/2	5/3	4/2	7/5	5,1/2,8
<i>Dagmar</i>	3/2	8/6	9/7	8/7	4/4	7/4	4/3	8/5	6,4/5,2
Память, ст. R	6/5	7/5	6/4	5/3	4/2	6/5	4/3	7/6	5,6/4,1
Васса, ст. S	9/9	8/9	9/9	9/9	8/7	9/9	8/8	9/9	8,6/8,6
Среднее, балл	5,2/3,9	5,5/3,9	6,4/5,5	5,7/5,0	4,1/3,3	5,0/3,9	3,9/3,1	7,4/5,6	5,4/4,2
Коэффициент вариации, %	45,8/ 51,1	32,3/ 40,9	27,7/ 42,8	30,3/ 38,4	43,3/ 42,2	34,6/ 44,9	33,1/ 44,3	22,7/ 31,2	33,7/ 36,5

Разнообразие образцов коллекции по устойчивости в период 2016-2023 гг. было высоким. Коэффициент вариации степени поражения колоса и зерна колебался от 22,7 до 45,8% и от 31,2 до 51,1% соответственно. За изученный период устойчивость к фузариозу колоса, превышающую устойчивость стандартного сорта Память проявили сорта *KS 96WGRS 40*, *Turanus*, *MV*

KOKARDA, *Zhong Pin 1586*, Черноземка 121, Безенчукская 380. Также были выявлены образцы с групповой устойчивостью к болезням (таблица 4.9).

Таблица 4.9 - Иммунологическая характеристика коллекционных образцов пшеницы мягкой озимой иностранной и инорайонной селекции, искусственный инфекционный фон (2016-2023 гг.)

Образец	Страна происхождения	Степень поражения, %		
		бурой ржавчиной	желтой ржавчиной	твердой головней
<i>Turanus</i>	Австрия	40 MS	1 R	45,9
<i>Sibirius</i>	Австрия	20 MR	50 MS	48,1
<i>MV VEKNI</i>	Венгрия	20 MR	5 R	49,6
<i>MV KOKARDA</i>	Венгрия	30 MR	80S	74,6
<i>Zhong Pin 1586</i>	Китай	30 MR	20 MR	48,3
Черноземка 121	Россия	70 S	10 R	52,3
<i>KS 96WGRS 40</i>	США	1 R	20 MR	56,8
<i>Dagmar</i>	Чехия	40 MS	10 R	4,1
Память, ст. R	Россия	60 MS	80 S	86,4
Васса, ст. S	Россия	20 MR	60 MS	53,3

Образцы *Turanus*, *MV VEKNI* и Черноземка 121 обладают средней устойчивостью к фузариозу колоса и устойчивы к желтой ржавчине. *KS 96WGRS* среднеустойчив к фузариозу колоса и обладает высокой устойчивостью к ржавчинам (бурой и желтой). *Dagmar* свой высокий иммунный статус к фузариозу колоса сочетает с высокой устойчивостью к желтой ржавчине и твердой головне.

Протестированные фузариозоустойчивые образцы коллекции имеют различия по биологическим свойствам, морфологическим и хозяйственно-полезным признакам (таблица 4.10).

Таблица 4.10 – Характеристика хозяйственно-ценных признаков образцов коллекции пшеницы мягкой озимой (2016-2023 гг.)

Образец, сорт	Страна-оригинатор	Морозостойкость	Дата колошения, май	Высота, см	Содержание в зерне, %		Урожайность, кг/м ²
					белка	клейковины	
<i>Turanus</i>	Австрия	низкая	14	105	15,4	28,2	0,62
<i>Sibirius</i>	Австрия	низкая	8	100	14,7	27,4	0,69
<i>MV VEKNI</i>	Венгрия	низкая	10	110	13,8	24,1	0,87
<i>MV KOKARDA</i>	Венгрия	низкая	8	105	13,6	23,6	0,91
<i>Zhong Pin 1586</i>	Китай	средняя	9	113	14,2	28,1	0,67
Черноземка121	Россия	средняя	4	120	14,5	27,1	0,67
<i>KS 96WGRS 40</i>	США	средняя	4	110	15,5	27,2	0,64
<i>Dagmar</i>	Чехия	средняя	10	103	14,5	26,7	0,98
Память, ст. R	Россия	средняя	7	105	13,8	24,7	0,89
Васса, ст. S	Россия	средняя	5	101	13,5	23,2	0,98
НСП ₀₅				1,80	0,83	0,97	0,09

По высоте образцы, проявившие устойчивость, являются в основном среднерослыми, высота растений являлась одним из определяющих факторов устойчивости к фузариозу колоса. В этот исследуемый период изучались как скороспелые (Черноземка121, *KS 96WGRS40*) так и среднеспелые образцы. Преимущественно со средней морозостойкостью, кроме австрийских и венгерских образцов с низкой морозостойкостью.

Различные зерновые культуры имеют разный уровень сопротивления заражению грибами рода *Fusarium*. Твердая пшеница (*Triticum durum Desf*) наиболее подвержена поражению фузариозом колоса [Аблова И.Б., 1998]. Плотный колос с остями, открытый тип цветения, отсутствие покровных оболочек на семенах (голосемянность) и более поздние сроки созревания способствуют активному накоплению конидий гриба из окружающей среды и создают благоприятные условия для успешной инокуляции. Дополнительно стимулирует развитие гриба высокое содержание белка в зерне твердой пшеницы и его биохимический состав. Существенно снижает способность твердой пшеницы препятствовать инокуляции грибами рода *Fusarium*

отсутствие генома D, который у мягкой пшеницы содержит генетические системы, формирующие иммунный ответ на поражение фузариозом [Прогресс в селекции..., 2024].

В период с 2006 по 2023 гг. в условиях контролируемой инфекционной нагрузки протестировано 575 образцов коллекции твердых пшениц инорайонной и иностранной селекции из различных генетических пулов. Высокоустойчивых форм обнаружить не удалось, подавляющее большинство оказалось высоковосприимчивыми. Однако, были выявлены коллекционные образцы пшеницы твердой озимой со средним уровнем поражения, доля которых составила 10,3% (рисунок 4.1).

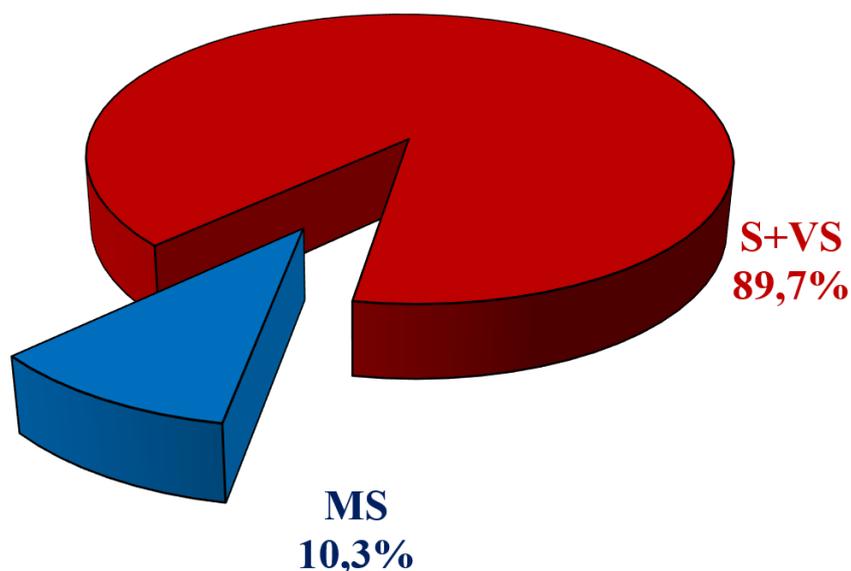


Рисунок 4.1 - Распределение образцов коллекции пшеницы твердой озимой ($n=575$) по степени поражения фузариозом колоса, 2006-2023 гг.

Умеренную восприимчивость показали коллекционные образцы из Италии: FLORIDOU, CORE, SV-376, REALE, SORRENTO, OROBEL, ISILDUR, ACHILLE. Наиболее устойчивыми к фузариозу колоса показали себя сорта отечественной селекции: Кристелла, Амазонка, Терра, Эйрена (АНЦ «Донской»), Кристалл 2 и новый сорт пшеницы твердой озимой Синьора («НЦЗ им. П.П. Лукьяненко»), устойчивые к фузариозу колоса (таблица 4.11).

Таблица 4.11 – Характеристика образцов коллекции пшеницы твердой озимой, по устойчивости к болезням, искусственный инфекционный фон (2006-2023 гг.)

Сорт	Страна происхождения, оригинатор	Поражение болезнями		Дата колошения, май	Высота, см
		фузариозом колоса/зерна, балл	желтой ржавчиной, %		
<i>FLORIDOU</i>	Италия	5,2/4,1	0	14	75
<i>CORE</i>	Италия	6,1/5,3	10	13	80
<i>REALE</i>	Италия	5,3/5,2	10	14	80
<i>OROBEL</i>	Италия	6,3/4,6	60	11	75
<i>SORRENTO</i>	Италия	5,0/4,5	5	10	80
<i>SV-376</i>	Италия	5,5/4,0	40	12	85
<i>ACHILLE</i>	Италия	5,5/4,5	20	11	80
<i>ISILDUR</i>	Италия	5,0/4,5	60	12	75
Кристалла	АНЦ «Донской»	4,5/5,5	10	10	85
Амазонка	АНЦ «Донской»	5,6/4,8	0	14	70
Терра	АНЦ «Донской»	4,5/5,0	0	12	95
Эйрена	АНЦ «Донской»	4,8/5,4	20	15	90
Кристалл 2	НЦЗ им. П.П. Лукьяненко	5,4/5,2	5	12	110
Синьора, стандарт устойчивости	НЦЗ им. П.П. Лукьяненко	4,1/3,3	30	12	90
Крупинка, стандарт восприимчивости	НЦЗ им. П.П. Лукьяненко	9,0/8,7	70	15	85

Образцы итальянской селекции *FLORIDOU*, *CORE*, *REALE*, *SORRENTO* сочетают слабое для твердой пшеницы поражение фузариозом колоса с устойчивостью к желтой ржавчине. Сорты пшеницы твердой озимой Кристалл 2, Амазонка, Кристалла, и Эйрена имеют современную архитектуру и в течении многих лет слабо поражаются фузариозом колоса и желтой ржавчиной.

4.2 Сопряженность устойчивости к фузариозу колоса с морфологическими признаками и биологическими свойствами коллекционных образцов пшеницы

Важными механизмами защиты от поражения фузариозом колоса являются высота растений и дата колошения [Ablova I.B., Slusarenko A.N., 1996;

Аблова И.Б. 1998; Buerstmayr M., Buerstmayr H., 2015]. Степень поражения коррелирует с высотой растений в отрицательной слабой или средней степени. Корреляционная зависимость степени поражения с датой колошения зачастую разнонаправлена. Например, в условиях 2017 года связи между поражением колоса и датой колошения практически не было, а между поражением зерна и датой колошения наблюдалась лишь слабая тенденция из-за сильного поражения изучаемого материала (таблица 4.12).

Таблица 4.12 - Сопряженность (r) степени поражения фузариозом колоса с некоторыми признаками пшеницы мягкой озимой, искусственный инфекционный фон (n=276-428)

Пары признаков	Год									
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Поражение колоса – поражение зерна	0,64	0,38	0,84	0,72	0,8	0,74	0,65	0,6	0,57	0,57
Дата колошения – поражение колоса	-0,31	0,01	0,33	0,35	-0,36	0,09	-0,5	0,19	0,1	0,15
Дата колошения – поражение зерна	-0,6	0,36	0,17	0,38	-0,55	0,22	-0,63	0,61	0,46	0,27
Высота растений – поражение колоса	-0,14	0,02	-0,19	-0,07	-0,44	-0,31	-0,24	-0,39	-0,48	-0,37
Высота растений – поражение зерна	0,02	-0,28	-0,13	-0,08	-0,55	-0,34	-0,27	-0,43	-0,51	-0,42

Во все годы исследований существовала высокая сопряженность поражения колоса и зерна фузариозом, кроме 2013 г., когда погодные условия для развития патогена были неблагоприятны.

Зависимость поражения колоса и зерна от даты колошения была в большей степени средней и менялась по годам. Как правило, позднеспелые формы сильно поражаются как по колосу, так и по зерну, а скороспелые сорта и сортообразцы часто «уходят» от поражения даже при искусственной инокуляции.

Изучение на фоне искусственного заражения в разные по погодным условиям годы взаимосвязи между наступлением даты колошения и степенью поражения зерна позволило выявить среднюю отрицательную зависимость в

2012 ($r = - 0,60$), 2016 ($r = - 0,55$) и 2018 ($r = - 0,63$) годах. В эти годы механизм конституционного иммунитета «уход от болезни» не работал и среди позднеспелых сортов устойчивых к фузариозу колоса форм было больше.

В 2013, 2015, 2017, 2020 и 2021 гг. связь между датой колошения и степенью поражения зерна была низкой положительной. В период с 2012 по 2021 гг. изучено 3226 образцов коллекции пшеницы мягкой из разных групп спелости (таблица 4.13).

Таблица 4.13 - Распределение по группам устойчивости образцов коллекции пшеницы мягкой озимой в зависимости от даты колошения, 2012-2021 гг.

Группа спелости	Количество образцов, шт.	Тип реакции, %			
		R	MR	MS	S
Скороспелые	219	7,5	19,3	21,7	51,5
Среднеранние	856	13,8	11,6	30,2	44,4
Среднеспелые	932	3,1	8,6	26,5	61,8
Среднепоздние	388	2,0	6,3	28,9	62,8
Позднеспелые	831	2,1	3,4	27,1	67,4

Из общего числа изученных образцов на долю устойчивых и умеренно устойчивых скороспелых образцов приходится 7,5 %, среднеранних образцов с типом реакции R выявлено 13,8%, на долю среднеспелых устойчивых образцов приходится 3,1%. Среди среднепоздних и позднеспелых образцов устойчивость к фузариозу колоса выявили у 2,0 и 2,1% соответственно.

Скороспелость, как важный механизм защиты был эффективен в 2013, 2015, 2019 и 2020 гг., скороспелые и среднеранние сортообразцы поразились значительно слабее среднепоздних и позднеспелых (рисунок 4.2, 4.3, 4.4 и 4.5).

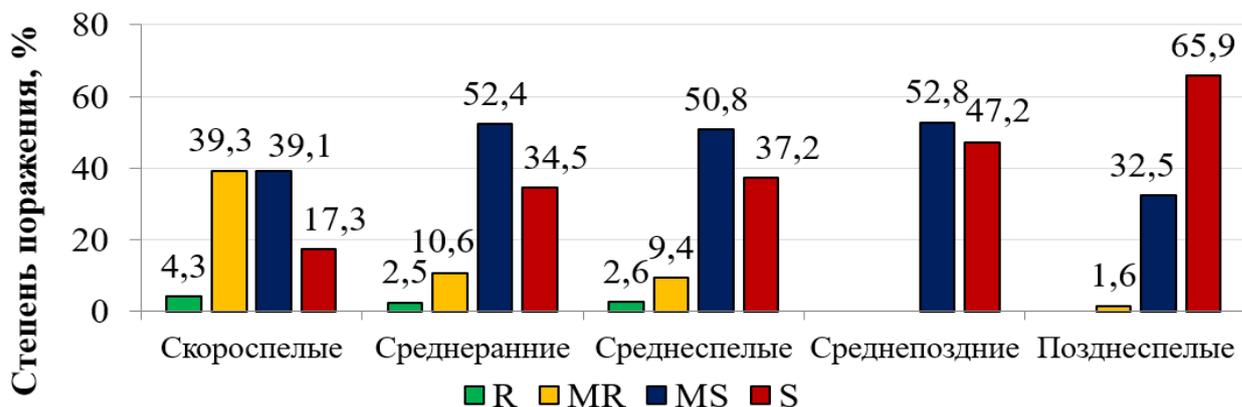


Рисунок 4.2 – Распределение коллекционных образцов пшеницы мягкой озимой по дате колошения и степени поражения фузариозом колоса, % (2013 г.)

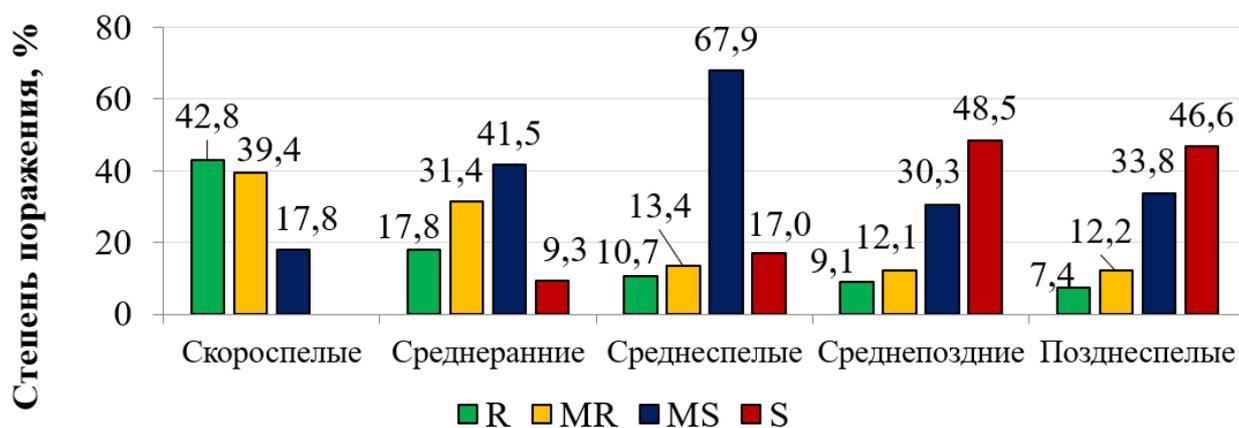


Рисунок 4.3 - Распределение коллекционных образцов пшеницы мягкой озимой по дате колошения и степени поражения фузариозом колоса, % (2015 г.)

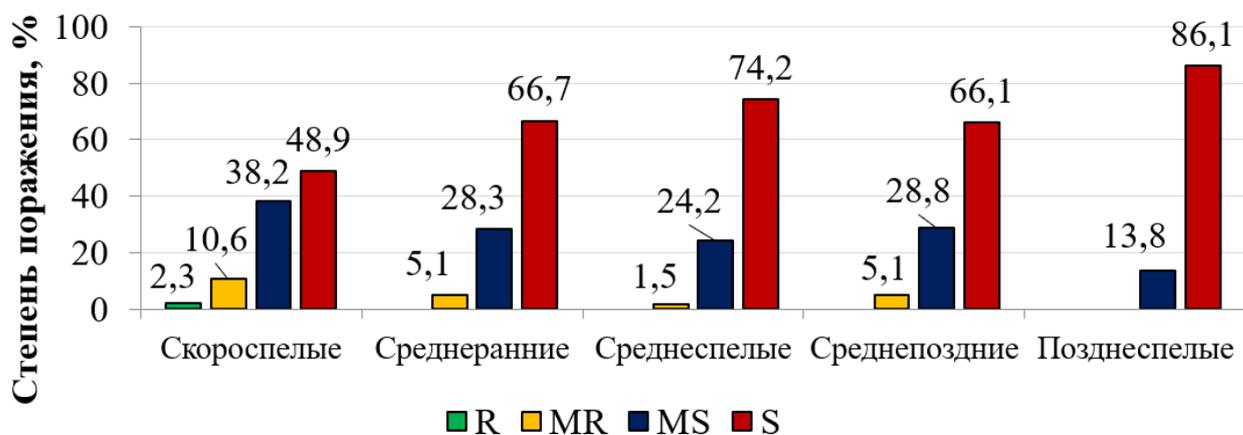


Рисунок 4.4 - Распределение коллекционных образцов пшеницы мягкой озимой по дате колошения и степени поражения фузариозом колоса, % (2019 г.)

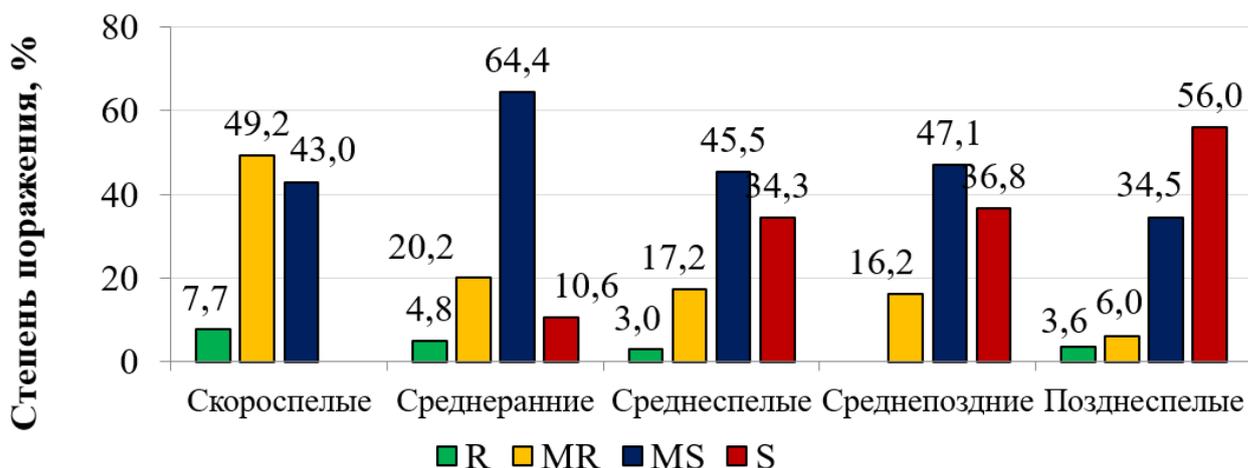


Рисунок 4.5 - Распределение коллекционных образцов пшеницы мягкой озимой по дате колошения и степени поражения фузариозом колоса, % (2020 г.)

В 2014 и 2017 году сортообразцы из всех групп спелости поразились в сильной степени, устойчивые генотипы были в минимуме (рисунок 4.6 и 4.7).

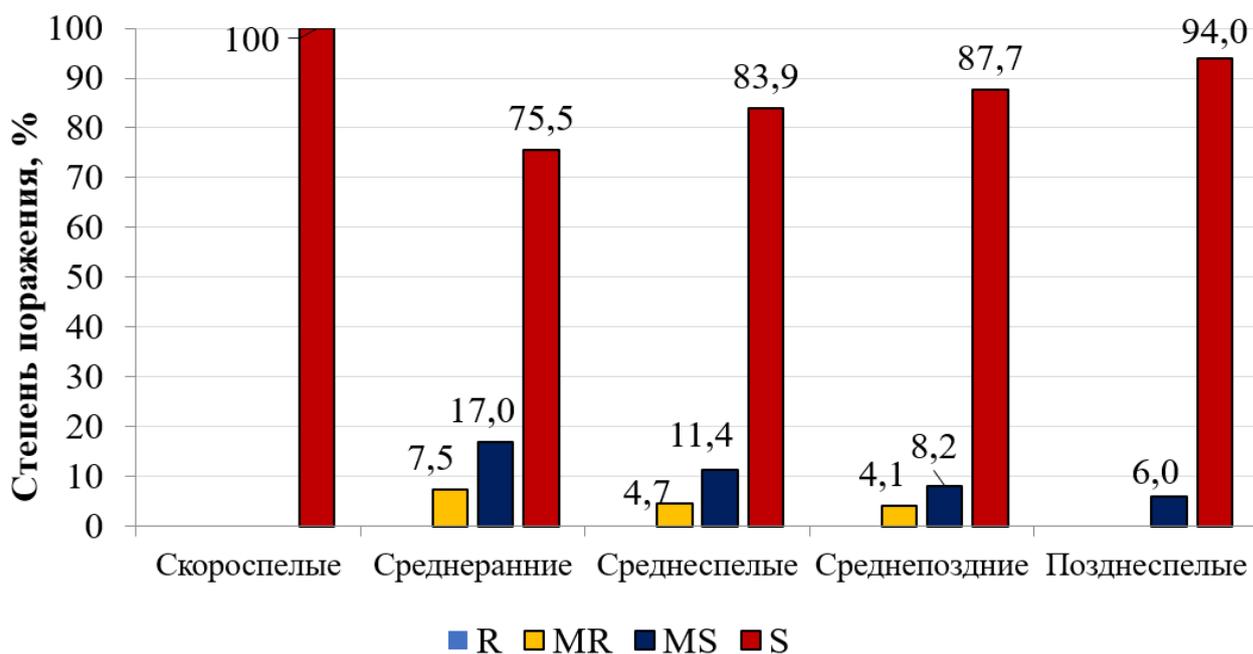


Рисунок 4.6 - Распределение коллекционных образцов пшеницы мягкой озимой по дате колошения и степени поражения фузариозом колоса, % (2014 г.)

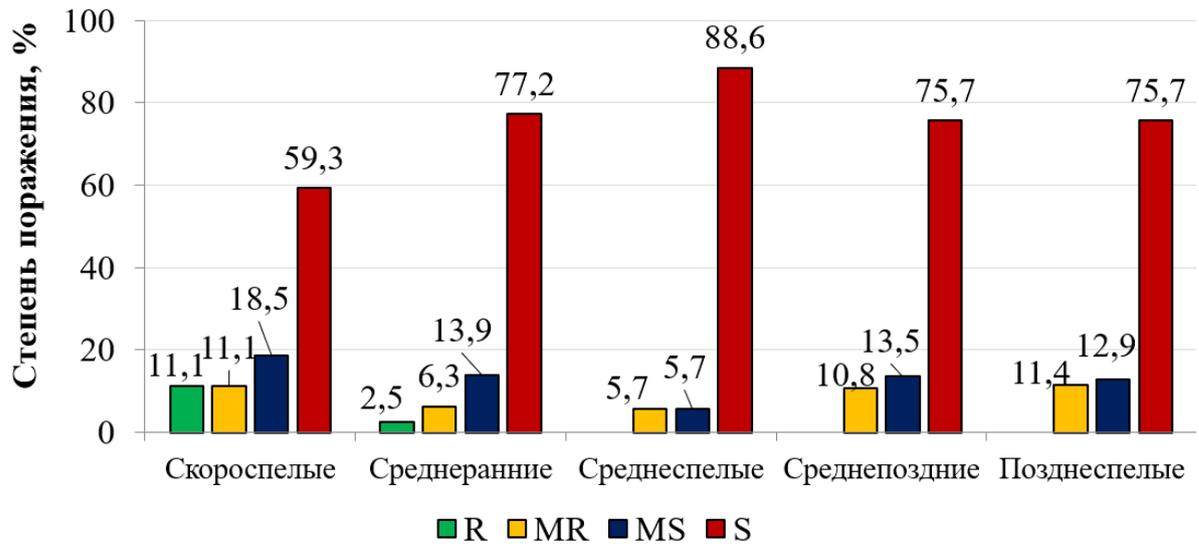


Рисунок 4.7 - Распределение коллекционных образцов пшеницы мягкой озимой по дате колошения и степени поражения фузариозом колоса, % (2017 г.)

В условиях 2014 и 2017 гг. связи между датой колошения и поражением колоса практически не было, а между поражением зерна и датой колошения наблюдалась лишь тенденция.

В условиях 2012, 2016, 2018 гг. позднеспелые образцы поражались значительно слабее скороспелых (рисунок 4.8, 4.9, 4.10).

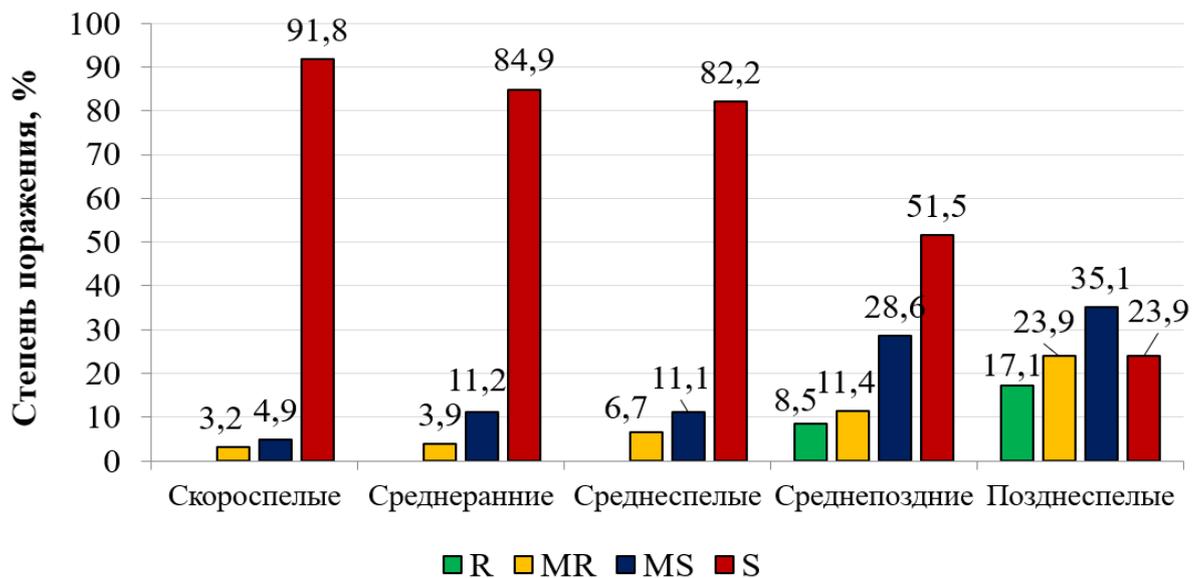


Рисунок 4.8 - Распределение коллекционных образцов пшеницы мягкой озимой по дате колошения и степени поражения фузариозом колоса, % (2012 г.)

По результатам исследований в 2012 г. среднепоздние и позднеспелые образцы коллекции поразились значительно меньше. В условиях 2012 г. признак скороспелости как механизм защиты от фузариоза колоса не работал и преимущество по устойчивости имели средне- и позднеспелые формы. Такую же картину мы наблюдали в 2016 и 2018 гг.

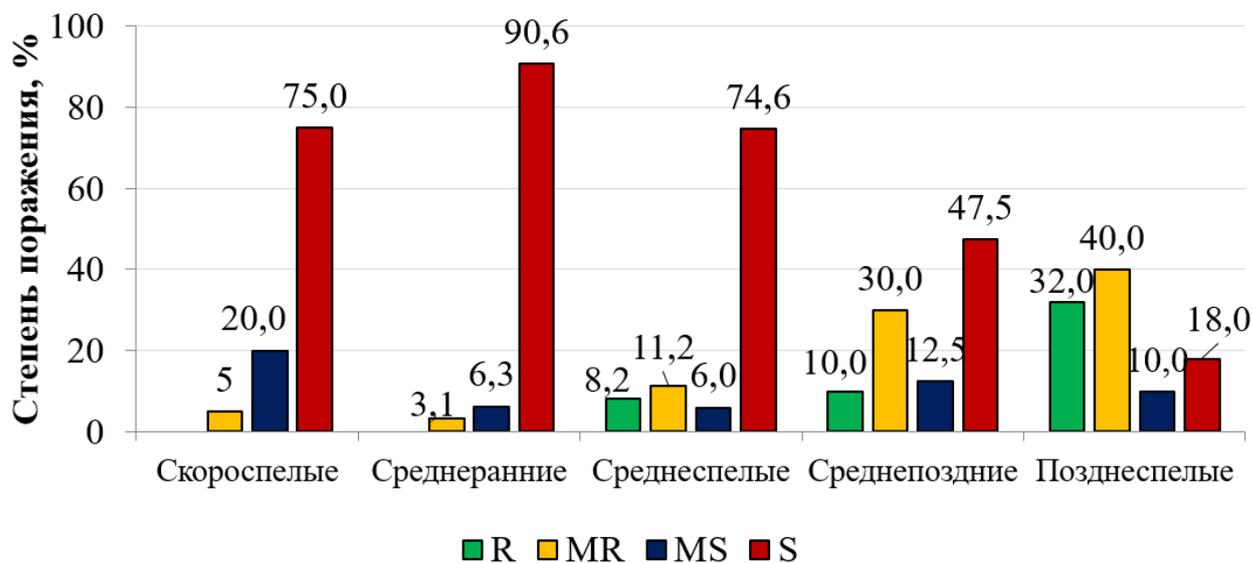


Рисунок 4.9 - Распределение коллекционных образцов пшеницы мягкой озимой по дате колошения и степени поражения фузариозом колоса, % (2016 г.)

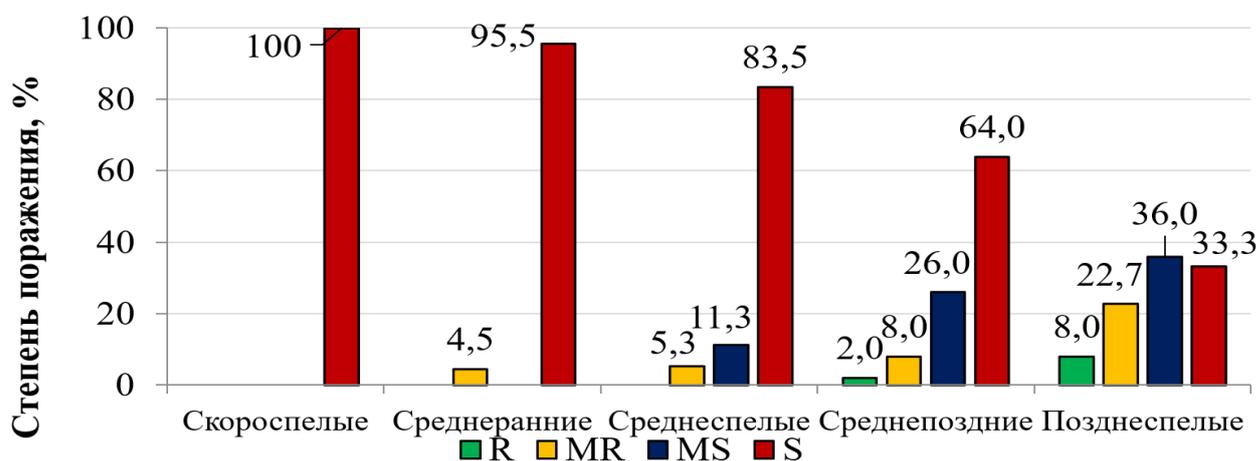


Рисунок 4.10 - Распределение коллекционных образцов пшеницы мягкой озимой по дате колошения и степени поражения фузариозом колоса, % (2018 г.)

Проведенные исследования подтверждают, что фенофаза колошения не может рассматриваться как универсальный фактор защиты от фузариоза колоса.

Её эффективность ограничена спецификой погодных условий, что согласуется с предыдущими работами [Аблова И.Б., 2008]. Резистентные генотипы выявлены во всех группах спелости, включая средне- и позднеспелые формы, поэтому необходимо взвешенно подходить к использованию скороспелости в селекции на устойчивость к фузариозу колоса.

Проведенный статистический анализ позволил установить наличие обратной корреляционной связи между высотой растений и уровнем поражения фузариозом колоса и зерна. Коэффициент корреляции (r), отражающий взаимосвязь между высотой растений и степенью поражения зерна фузариозом, в 2016 году составил $-0,55$, что указывает на умеренную отрицательную зависимость - с увеличением высоты растений интенсивность поражения снижалась. В 2017 году сила этой связи несколько уменьшилась, о чем свидетельствует коэффициент $r = -0,34$. В 2019 году показатель корреляции составил $-0,43$, а в 2020 году он достиг значения $-0,51$, что подтверждает сохранение тенденции, хотя и с некоторыми изменениями.

Эти данные свидетельствуют о том, что высота растений является более надежным механизмом, влияющим на устойчивость к фузариозу: более высокорослые формы демонстрируют меньшую подверженность заболеванию. Однако степень этой зависимости варьируется в зависимости от года, что может быть связано с изменением внешних условий или особенностями исследуемых образцов.

Согласно классификации академика Л.А. Беспаловой [Подходы и достижения в селекции..., 2005], сорта пшеницы по высоте растений разделены на четыре группы: полукарликовые (70–90 см), короткостебельные (91–100 см), среднерослые (101–115 см), высокорослые (>115 см).

В ходе мониторинга (2012–2021 гг.) инорайонных и зарубежных генотипов установлена вариативность степени поражения в зависимости от высоты и произведена их группировка (таблица 4.14)

Таблица 4.14 – Распределение образцов коллекции пшеницы мягкой озимой по устойчивости к фузариозу колоса в зависимости от высоты растений, 2012-2021 гг.

Группа образцов по высоте	Количество образцов, шт.	Тип реакции, %			
		R	MR	MS	S
Полукарликовые	614	2,5	5,4	25,0	67,1
Короткостебельные	1643	3,6	10,4	24,9	61,1
Среднерослые	786	6,8	13,1	25,5	54,6
Высокорослые	183	11,4	21,3	31,7	35,6

За период исследования среди полукарликовых образцов выявлено 2,5% устойчивых и 5,4% среднеустойчивых. Среди короткостебельных отмечено 3,6% устойчивых и 10,4% среднеустойчивых образцов. Среди среднерослых выявлено 6,8 и 13,1% устойчивых и среднеустойчивых образцов соответственно. Наибольшее количество устойчивых и среднеустойчивых выявлено среди высокорослых сортообразцов - 11,4 и 21,3% соответственно.

В 2012 году по устойчивости к фузариозу колоса преобладали короткостебельные (5,9%), среди полукарликовых образцов обнаружено 2,6% устойчивых и 10,5% среднеустойчивых. В группе высокорослых устойчивых образцов не выявлено (рисунок 4.11).

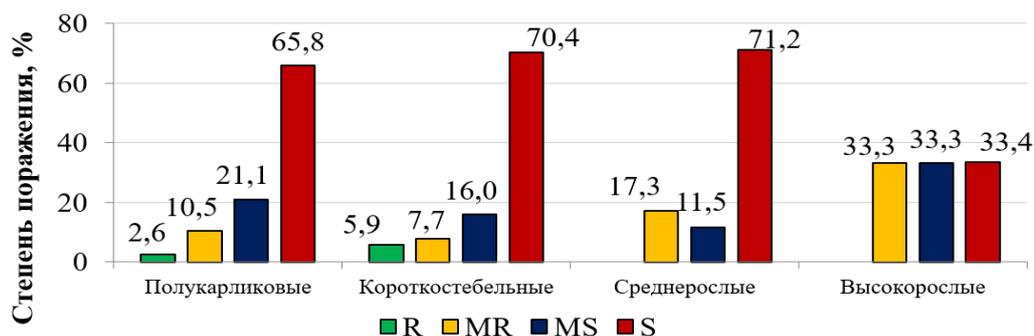


Рисунок 4.11 - Поражение коллекционных образцов пшеницы мягкой озимой фузариозом колоса в зависимости от высоты растений, % (2012 г.)

В условиях 2013 года во всех группах высоты устойчивые и среднеустойчивые образцы были в минимуме, в основном преобладали средневосприимчивые и восприимчивые. Из всех изученных полукарликовых

образцов нам удалось выделить 7,6% среднеустойчивых. В группе короткостебельных выделено 2,7 и 9,8% устойчивых и среднеустойчивых образцов соответственно. В группе среднерослых устойчивых и среднеустойчивых выявлено 1,9 и 5,8% образцов соответственно (рисунок 4.12).

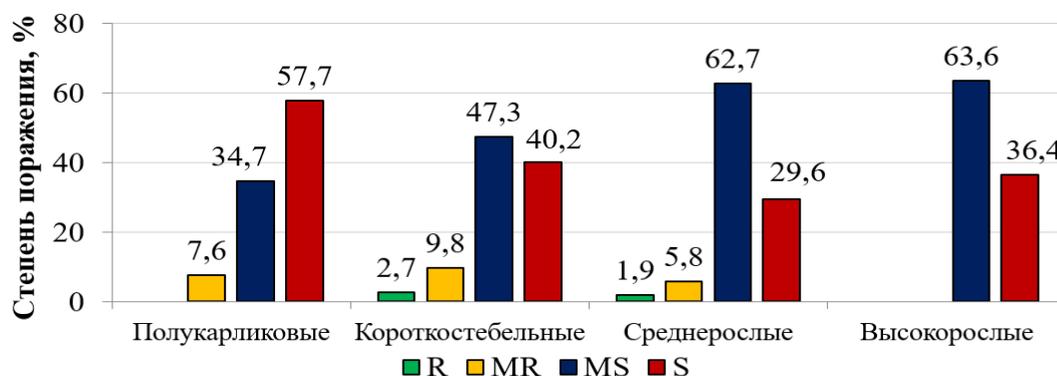


Рисунок 4.12 - Поражение коллекционных образцов пшеницы мягкой озимой фузариозом колоса в зависимости от высоты растений, % (2013 г.)

В 2014 году образцы из всех групп высоты поразились фузариозом колоса в значительной степени, дифференциация по устойчивости была слабой, преобладали восприимчивые во всех группах по высоте (рисунок 4.13).

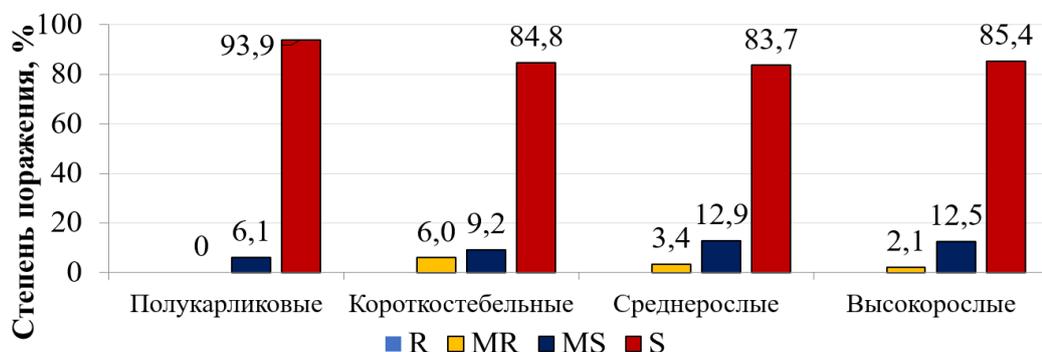


Рисунок 4.13 - Поражение коллекционных образцов пшеницы мягкой озимой фузариозом колоса в зависимости от высоты растений, % (2014 г.)

В период 2015-2017 гг. изучения коллекционных образцов больше всего устойчивых выявлено среди высокорослых образцов (27,7%). В группе среднерослых этот показатель составлял от 13,3%. Устойчивых короткостебельных форм обнаружено 7,4%. Количество устойчивых форм в группе полукарликовые достигало 3,3 % (рисунок 4.14).

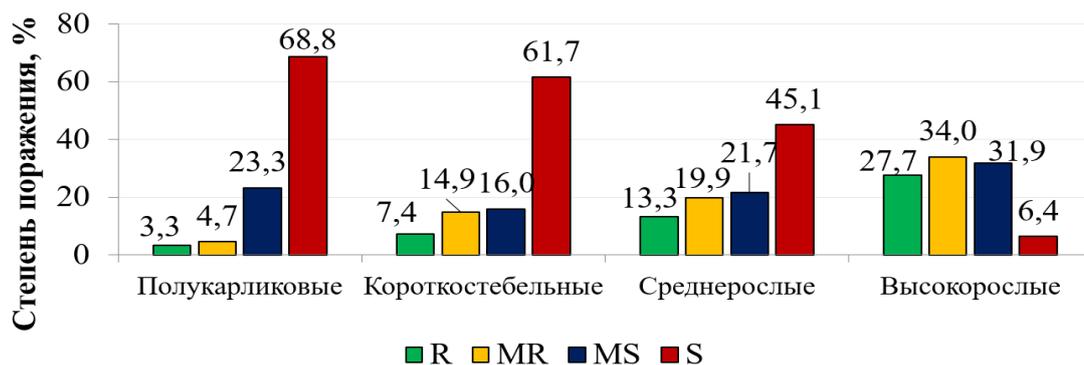


Рисунок 4.14 - Поражение коллекционных образцов пшеницы мягкой озимой фузариозом колоса в зависимости от высоты растений, % (2015-2017 гг.)

За период изучения 2018-2021 гг. наибольшее количество устойчивых образцов обнаружено среди высокорослых и среднерослых форм. Устойчивые полукарликовые формы не выявлены (рисунок 4.15).

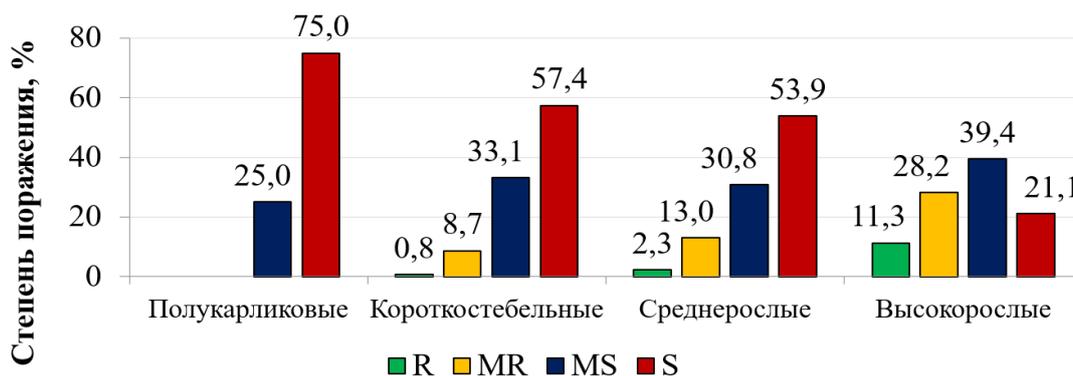


Рисунок 4.15 - Поражение коллекционных образцов пшеницы мягкой озимой фузариозом колоса в зависимости от высоты растений, % (2018-2021 гг.)

Анализ многолетних данных, собранных как в условиях естественного заражения, так и при искусственной инокуляции, выявил устойчивую закономерность: увеличение высоты растений коррелирует со снижением степени поражения фузариозом колоса и зерна. Изучение образцов мировой коллекции, проводившееся в период с 2012 по 2021 год, показало, что среди полукарликовых форм устойчивыми к фузариозу колоса были 1,5% изученных сортообразцов. При этом вероятность обнаружения устойчивых форм была выше среди короткостебельных (7,1%) и среднерослых (4,2%) растений. Среди

высокорослых образцов доля устойчивых к заболеванию составила в среднем 11,4%.

4.3 Изучение селекционного материала пшеницы по устойчивости к фузариозу колоса

Непосредственное внедрение в гибридизацию генетического материала иностранных источников и доноров устойчивости зачастую не приводит к желаемому результату по причине низкой адаптивности таких родительских форм к местным агроэкологическим условиям и неудовлетворительных хозяйственно-ценных признаков.

В целях повышения результативности селекции на устойчивость к фузариозу колоса необходимо создание адаптированных к местным абиотическим стрессовым факторам среды источников и генетических доноров, комбинирующих групповую устойчивость к нескольким возбудителям, сочетающих в себе высокую урожайность и технологические качества зерна.

В ходе работы (2006-2023 гг.) в условиях искусственного инфекционного фона проведена комплексная оценка резистентности более 22 тысяч селекционных линий пшеницы НЦЗ им. Лукьяненко разных этапов конкурсных сортоиспытаний. Всего изучено 22233 образцов (рисунок 4.16).

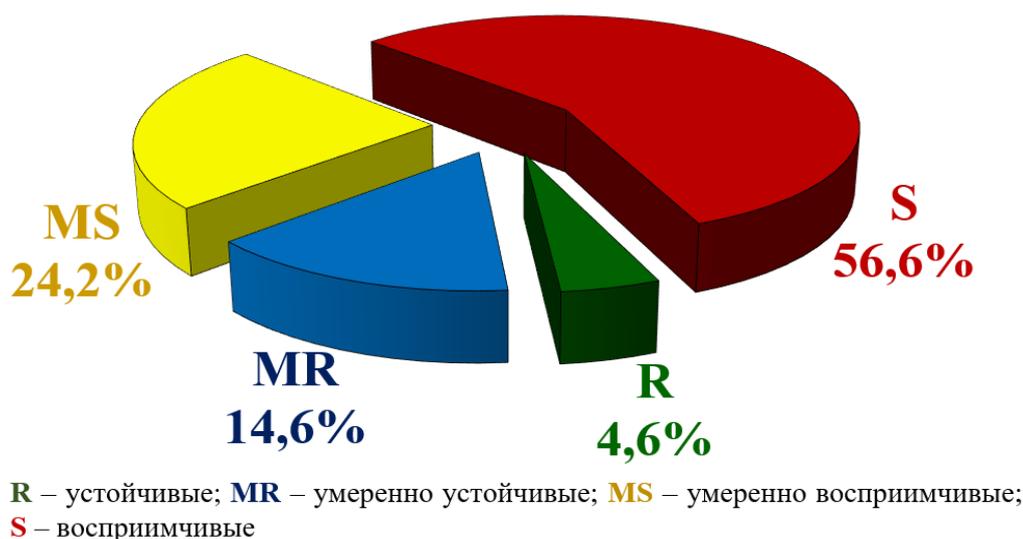


Рисунок 4.16 – Дифференциация селекционного материала по устойчивости к фузариозу колоса в условиях искусственной инокуляции, % (2006-2023 гг.)

По внешне видимым признакам поражения колосьев и зерна 4,6 % генотипов мы характеризовали как устойчивые, доля среднеустойчивых линий составила 14,6%, к средневосприимчивым отнесены 24,2% генотипов, большинство изученных линий (56,6 %) отнесены к группе восприимчивых (таблица 4.15).

Таблица 4.15 – Дифференциация селекционного материала пшеницы мягкой озимой по устойчивости к фузариозу колоса, искусственный инфекционный фон

Год	Изучено линий, шт.	В том числе по типу устойчивости, %			
		R	MR	MS	S
2006	1021	3,0	13,3	23,8	59,9
2007	957	6,4	19,0	27,4	47,2
2008	1251	7,5	24,5	27,8	40,2
2009	1249	9,4	22,8	19,9	47,9
2010	1122	6,3	10,3	12,9	70,5
2011	1305	4,0	20,7	32,3	43,0
2012	1256	0	4,2	19,2	76,6
2013	1519	1,1	20,9	33,6	44,4
2014	1218	0	0,4	8,5	91,1
2015	1294	8,5	28,5	31,7	31,3
2016	1254	1,9	9,0	17,5	71,6
2017	1375	0,8	7,9	24,7	66,6
2018	1295	0,7	9,7	29,7	59,9
2019	1234	0,7	4,8	21,9	72,6
2020	1097	5,0	17,1	34,9	43,0
2021	1222	4,4	24,5	34,3	36,8
2022	1202	23,8	25,8	28,6	21,8
2023	1362	0,1	1,5	7,0	91,4
2006-2023	22233	4,6	14,6	24,2	56,6

Наименьшее количество устойчивых генотипов зарегистрировано в периоды с благоприятными погодными условиями для развития патогена (2006, 2010, 2012, 2014, 2016, 2017, 2018, 2019, 2023 гг.).

Помимо влияния погодных факторов, значительное воздействие на распределение линий по степени их поражения на протяжении нескольких лет оказывала динамика изучаемого материала в процессе селекции. При этом была

выявлена выраженная нестабильность генотипов. Многие линии, показавшие низкий уровень поражения в один год, в последующем теряли эту способность, что приводило к их браковке. Для формирования достоверного представления об устойчивости конкретной линии или сорта требуется проведение многолетнего цикла (3-4 года) контролируемой инокуляции, что позволяет оценить стабильность их характеристик в различных условиях.

При анализе поражения фузариозом колоса в результате тестирования селекционных линий выявлены лучшие. Некоторые из них стали сортами (таблица 4.16).

Таблица 4.16 - Иммунологическая характеристика линий пшеницы мягкой озимой, искусственный инфекционный фон (2006-2010 гг.)

Линия	Происхождение	Поражение болезнями		Дата колошения, май	Высота растений, см
		фузариозом колоса/зерна, балл	желтой ржавчиной, %		
2935к1-23	Л.666h631/ карлик Истока узколистного	3/1	10	15	100
252-91к11-2Г8	Градо/Скифянка// Скифянка	2/1	1	15	95
4-98к1-4	Frontana/Юна// Юна	2/1	5	12	95
99-622a21-1	Л.91183a1259/ Дея	3/2	10	12	105
99-511aГ13	Дея/Ли́ра	4/2	10	16	110
Память, стандарт по устойчивости	-	3/3	20	12	85
Купава, стандарт восприимчивости	-	9/9	30	13	105

Изученные линии созданы от скрещивания линий и сортов селекции НЦЗ им. П.П. Лукьяненко и образцов коллекции: Лавина, Смуглянка, Сила, Истра, Память, Дельта, Таня, Таборца, Афина и др. Слабое поражение в течение пяти лет изучения данных линий фузариозом колоса детерминировано наличием генетической информации от устойчивых родительских форм и сортов, таких как

карлик Истока узколистного, Лира и Дея селекции НЦЗ им. П.П. Лукьяненко, а также донора устойчивости бразильской селекции *Frontana*.

Короткостебельные среднеспелые линии 2935к1-23, 252-91к11-2 Г8 и 4-98к1-4 и среднерослые линии 99-622а21-1 и 99-511аГ13 высокоустойчивы к фузариозу колоса и желтой ржавчине, по уровню резистентности к представленным заболеваниям превосходят стандартный сорт Память.

Изученные линии выделяются не только отличными показателями иммунитета, но и формируют высокую продуктивность и технологические качества зерна, обладая при этом повышенным уровнем зимостойкости (таблица 4.17).

Таблица 4.17 - Характеристика линий пшеницы мягкой озимой по хозяйственно-ценным признакам, искусственный инфекционный фон (2006-2010 гг.)

Линия	Морозостойкость	Содержание в зерне, %		Урожайность, кг/м ²
		белка	клейковины	
2935к1-23	выше средней	13,5	24,1	1,00
252-91к11-2 Г8	выше средней	14,0	26,1	1,10
4-98к1-4	выше средней	13,6	28,2	0,94
99-622а21-1	выше средней	14,5	27,3	0,96
99-511 аГ 13	выше средней	14,2	26,5	0,95
Стиль 18, ст.	выше средней	14,5	28,1	1,02
Купава - индикатор восприимчивости	средняя	13,5	23,2	0,98
НСР ₀₅		0,85	1,01	0,09

За период 2011-2015 гг. в условиях искусственной инокуляции протестировали 8518 линий пшеницы озимой. Из большого разнообразия селекционных линий выявлены высокоустойчивые к фузариозу колоса линии с генетическим материалом родителей, обладающих повышенным сопротивлением к комплексу патогенов. Это сорта селекции НЦЗ им. П.П. Лукьяненко - Таня, Сила, Дея и сорт бразильской селекции *Frontana* (таблица 4.18).

Таблица 4.18 – Иммунологическая характеристика линий пшеницы мягкой озимой, искусственный инфекционный фон (2011 -2015 гг.)

Линия	Родительские формы	Поражение болезнями		Дата колошения, май	Высота растений, см
		фузариозом колоса/зерна, балл	бурой ржавчиной, %		
2809к26-1	Грация, Сила	3/3	5	12	90
1848к2-1	Таня, <i>Frontana</i>	3/2	1	11	90
2140к64-3	Сила, Л.241-96к2-6	3/3	5	10	90
2168к19-2	Сила, Фортуна	4/3	1	9	80
02-446а29	Зерноградка 6, Леда, КНИИСХ60, Веда,	3/2	1	9	100
08-336а33	Дея, Московская 39, Руфа	2/2	5	13	90
Память, ст.	-	3/3	20	10	85
Купава	-	9/9	30	10	105

Представленные линии короткостебельные, среднеспелые высокоустойчивые к фузариозу колоса и бурой ржавчине.

Зимоморозостойкость выше средней, у линий 1848к2-1 и 2140к64-3 - высокая. Продуктивность и параметры технологических показателей у всех линий высокие (таблица 4.19).

Таблица 4.19 - Характеристика линий пшеницы мягкой озимой по хозяйственно-ценным признакам, искусственный инфекционный фон (2011-2015 гг.)

Линия	Морозостойкость	Содержание в зерне, %		Урожайность, кг/м ²
		белка	клейковины	
2809к26-1	выше средней	14,6	24,9	1,08
1848к2-1	высокая	14,8	28,1	0,98
2140к64-3	высокая	15,8	30,6	0,92
2168к19-2	выше средней	14,6	27,9	0,93
02-446а29	выше средней	16,1	31,3	0,91
08-336а33	выше средней	15,4	30,1	0,97
Стиль 18, ст.	выше средней	14,8	26,4	1,09
Купава - индикатор восприимчивости	средняя	13,1	23,4	1,04
НСР ₀₅		0,89	0,97	0,10

Наибольшее содержание белка и клейковины отмечено у линий 2140к64-3, 02-446а29 и 08-336а33 (15,8 и 30,6%; 16,1 и 31,3%; 15,4 и 30,1% соответственно).

За период 2016-2023 гг. на искусственном инфекционном фоне по комплексу болезней был изучен иммунологический статус 11425 линий. Выявлены линии пшеницы озимой с устойчивостью к фузариозу колоса, унаследованную от источников с эффективными системами самозащиты и доноров устойчивости – Смуглянка, Безенчукская 380, Афина, Buck Palenque, Xiao Yan107, Сила, Дея, Дельта, Таня, Экспромт, KSWGRS21, Лавина, Sum3aut и ряд др. Некоторые линии высокоустойчивы и к ржавчинным болезням (таблица 4.20).

Таблица 4.20 - Результаты тестирования линий пшеницы мягкой озимой к болезням, при искусственном заражении в НЦЗ им. П.П. Лукьяненко, 2016 -2023 гг.

Линия	Родительские формы	Поражение болезнями			Дата колошения, май	Высота растения, см
		фузариозом колоса/зерна, балл	ржавчинами, %			
			бурой	желтой		
2940к8	Гром/Смуглянка	4/2	0	1	3	95
010-106а629	Память /(Дельта/Sum3aut) //Таня	4/3	20	20	16	90
06-413а51-6	Южанка/Сила	3/3	5	5	5	95
05-59ан69-3	Дея/Дельта	2/2	20	10	6	105
99-747а677	Дея/Истра	3/3	30	20	11	105
748-05яв1-59	Безенчукская 380/Афина//Buck Palenque	3/2	0	5	17	100
472-06я16	Ласточка/XiaoYan107//Афина	4/3	20	20	3	110
661sv-30	Экспромт, KSWGRS21	3/3	20	20	11	85
2293к3-11 (Стиль 18)	-	3/2	10	10	10	85
Васса, ст S	-	9/9	20	40	11	105

Необходимо отметить короткостебельные линии 2940к8, 06-413а51-6 и 748-05яв1-59 с высоким иммунным статусом к фузариозу колоса и ржавчинам (бурой и желтой). Линия 2940к8 получена от скрещивания с резистентной родительской формы украинской селекции Смуглянка, которая в течении многих лет изучалась в коллекционном питомнике и характеризовалась стабильной устойчивостью к фузариозу колоса. Высокая устойчивость к фузариозу колоса линии 06-413а51-6 детерминирована генетической информацией устойчивого сорта Сила. Высокий иммунологический статус к фузариозу колоса линии 748-05яв1-59 унаследован от устойчивых генотипов Афины, Безенчукской 380 и Buck Palenque.

В ходе исследований (2006-2023 гг.) изучено 3222 линий твердых пшениц селекции НЦЗ им. П.П. Лукьяненко конкурсных сортоиспытаний различных планов, из них 87,3% генотипов были восприимчивыми; умеренно восприимчивых выявлено 10,4% и 2,3% со средним уровнем устойчивости (рисунок 4.17).

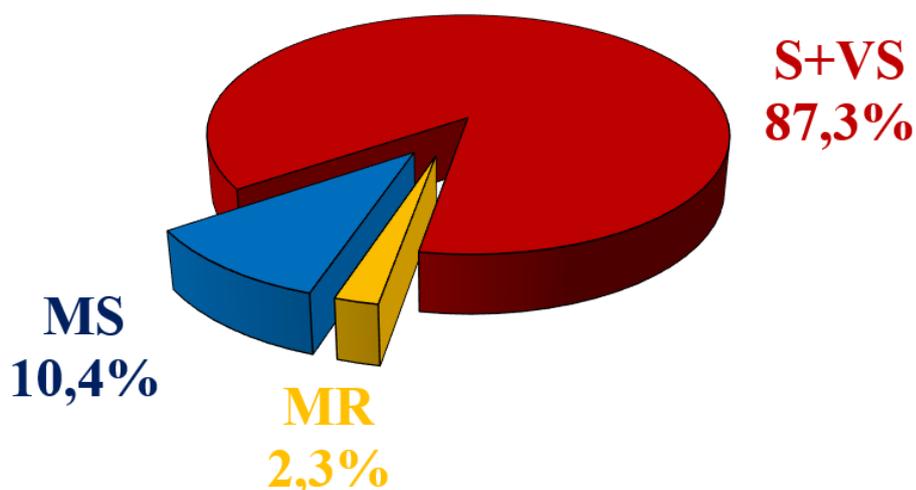


Рисунок 4.17 - Распределение селекционного материала пшеницы твердой озимой по степени поражения фузариозом колоса, (2006-2023 гг.)

Линии пшеницы твердой озимой, отмеченные по устойчивости к фузариозу колоса, созданы на основе источников с высоким сопротивлением к болезни: пшеницы тургидной Терра, пшеницы твердой озимой Асксинит и Амазонка, Кристелла, которые слабо поражаются и при введении в селекционную

программу передают свою устойчивость потомству. По уровню резистентности к грибам рода *Fusarium* линии пшеницы твердой озимой приближаются к стандарту устойчивости сорту Память. Некоторые линии превосходят по этому показателю сорт Синьора (таблица 4.21).

Таблица 4.21 – Характеристика лучших по устойчивости к фузариозу колоса линий пшеницы твердой озимой, искусственный инфекционный фон (2006-2023 гг.)

Линия	Происхождение	Поражение болезнями		Дата колошения, май	Высота растений, см
		фузариоз колоса/зерна, балл	бурая ржавчина (%)		
4089h94	Лазурит/Крупинка	3,1/3,3	5	6	95
4337h3	(Лазурит/Крупинка) х Лазурит//Лазурит	4,0/3,5	10	6	100
4191h95-20-11	Крупинка х 2524-07	3,3/2,4	10	8	90
4135h7	Zhong Pin 1583/Агат.д.//Алена	3,6/3,2	30	16	85
3336h43-17-128	Лют.369-93к4-41-2/Алена	4,0/4,1	5	10	90
3902h3-18-31	Восторг/Аксинит//Амазонка	5,0/3,3	40	14	95
4320h38	Алексеич/Кристалла	4,2/3,6	20	12	95
4383h72	Кристалла/2692h17-12-8	3,5/3,2	5	15	90
4428h110	Крупинка/Кристалла //2695h98	3,4/3,1	5	15	100
3551h10-14-1	Терра / Крупинка	5,0/3,4	5	13	100
3978h54	2427-07 / 0270т16-6	5,1/3,2	20	15	85
Крупинка, ст.	-	9,0/8,7	50	11	90
Синьора, ст.	-	4,1/3,3	20	12	90
Память, ст.	-	3,0/2,1	50	8	105

Выявлены наиболее устойчивые, перспективные линии с устойчивостью к фузариозу колоса и бурой ржавчиной: 4089h94, 4191h95-20-11, 3336h43-17-128, 4383h72, 4428h110, 3551h10-14-1.

4.4 Агроекологическая стабильность устойчивости сортов пшеницы к фузариозу колоса

Абсолютной устойчивости к фузариозу колоса у пшеницы не существует [Mesterhazy A., 2002]. Устойчивость пшеницы к фузариозу колоса представляет собой сложный количественный признак, который может варьироваться от полной восприимчивости до выраженной устойчивости [Gilbert J., Haber S., 2013]. Этот признак формируется в результате сложного взаимодействия множества генов, как со стороны растения, так и со стороны патогена, каждый из которых выполняет специфические функции. Кроме того, важную роль играет точная и согласованная регуляция экспрессии этих генов, что определяет способность растения противостоять инфекции. Таким образом, устойчивость к фузариозу колоса является результатом комплексного влияния генетических факторов и их регуляторных механизмов, что делает этот признак особенно сложным для изучения и селекции.

При создании искусственного инфекционного фона мы всегда добиваемся высокой инфекционной нагрузки. Для эпифитотийного развития фузариоза колоса важную роль играет непостоянный средовой фактор – количество осадков, росы, туманы, температура в период инокуляции. Степень поражения гемибiotрофами сильно зависит от условий среды и сорта по реакции на заражение в разные годы могут попадать в разные кластеры.

Уровень устойчивости может быть измерен фенотипическими различиями в проявлении симптомов заболевания. В связи с этим мы провели анализ динамики изменения степени поражения фузариозом колоса сортов селекции НЦЗ им. П.П. Лукьяненко за несколько лет (таблица 4.22).

Таблица 4.22 - Генотип-средовое взаимодействие по устойчивости к фузариозу колоса, лет

Сорт	Период изучения	Тип реакции			
		R	MR	MS	S
1	2	3	4	5	6
Афина	2006-2023	5	12	1	0
Дея	2001-2023	8	13	2	0
Дельта	2001-2023	10	11	2	0
Уруп	2007-2023	9	4	3	1
Сила	2006-2023	8	7	2	1
Песня	2014-2023	6	3	1	0
Хит	2014-2023	5	4	1	0
Лео	2015-2023	5	4	0	0
Адель	2008-2023	3	7	6	0
Классика	2014-2023	2	3	4	1
Стиль 18	2014-2023	2	3	5	0
Память	2001-2023	2	14	6	1
Таня	2001-2023	2	12	6	3
Безостая 100	2011-2023	2	4	4	3
Алексеич	2011-2023	0	4	8	1
Тимирязевка 150	2014-2023	0	1	7	2
Ахмат	2014-2023	0	4	6	0
Таврида	2018-2023	0	4	2	0
Анка	2009-2023	0	3	12	0
Изабель	2018-2023	0	1	5	0
Школа	2016-2023	0	3	3	2
Велена	2011-2023	0	3	8	2
Вызов	2017-2023	0	1	3	3
Гурт	2010-2023	0	3	8	5
Ольхон	2008-2023	0	2	13	4
Сварог	2011-2023	0	2	11	4
Федор	2014-2023	0	1	5	4
Юка	2006-2023	0	3	10	5
Бумба	2015-2023	0	1	2	6
Победа 75	2017-2023	0	0	3	4
Антонина	2010-2023	0	0	9	5

Продолжение таблицы 4.22

1	2	3	4	5	6
Веха	2011-2023	0	0	9	4
Бригада	2006-2023	0	0	5	13
Видея	2014-2023	0	0	4	6
Гром	2006-2023	0	0	6	12
Россыпь	2015-2023	0	0	2	7
Табор	2011-2023	0	0	3	10
Утриш	2006-2023	0	0	3	15
Шарм	2015-2023	0	0	2	7
Дуплет	2014-2023	0	0	2	8
Ваня	2015-2023	0	0	1	8
Агрофак 100	2015-2023	0	0	0	9
Васса	2006-2023	0	0	0	18
Гомер	2014-2023	0	0	0	10

К устойчивым относим сорта, которые чаще всего попадали в кластеры устойчивых и среднеустойчивых. Так, устойчивый к фузариозу колоса сорт Уруп, созданный с участием фузариозоустойчивого сорта Дея, за 17 лет 9 раз был включен в кластер устойчивых и 4 раза в кластер среднеустойчивых. Устойчивый сорт Сила за 18 лет изучения 8 раз был включен в кластер устойчивых и 7 раз в кластер среднеустойчивых. Устойчивые к фузариозу колоса сорта Песня и Хит, для которых характерно позднее проявление симптомов и активное сопротивление эффективными системами защиты от болезни 9 лет относились к группе устойчивых и среднеустойчивых. Сорт Лео во все годы изучений входил в кластер устойчивых-среднеустойчивых.

За шесть лет изучения сорт Таврида 4 года входил в группу среднеустойчивых. Для этого сорта характерны ксероморфность растений, мелкоклеточность тканей, дружное созревание, интенсивная аттракция. Сорт Таврида относится к степному экотипу, является эфемероидом, и в полной мере соответствует модели фузариозоустойчивого сорта.

Сорт Память 14 лет из 23 относился к среднеустойчивым. Сорт Таня – 14 лет из 23 – входил в группу устойчивых и среднеустойчивых, в отдельные годы

входил в группу восприимчивых. В производстве сорт Таня показывает стабильно слабое поражение.

Сорт Алексеич мы характеризуем как умеренно-восприимчивый, за 13 лет он 4 года входит в кластер умеренно устойчивых, 8 лет - в кластер умеренно-восприимчивых.

Сорта ГРОМ, Бригада, Утриш, Васса, Гомер, Табор, Агрофак 100 и др. - представляют группу восприимчивых, стабильно сильно поражаются во все годы.

По продолжительности вегетационного периода сорта селекции НЦЗ им. П.П. Лукьяненко делятся на пять групп, наибольшее количество сортов относятся к среднеспелым (48,7%) (таблица 4.23).

Таблица 4.23 - Продолжительность вегетационного периода и устойчивость сортов пшеницы мягкой к фузариозу колоса

Группа спелости	Сорта
Ультра скороспелые	Есаул (MR), Изабель (MS), Кубань (S), Юбилейная 100 (S), Юмпа (S)
Скороспелые	Арена (MR), Еланчик (MS), Караван (MR), Нота (S), Стан (S), Дюна (MR)
Среднеранние	Адель (R), Баграт (MR), Безостая 100 (MR), Бумба (S), Васса (S), Дмитрий (MR), Ордынка (S), Песня (R), Россыпь (S), Степь (MR), Таврида (MR), Таня (MR), Уруп (R), Утриш (S), Школа (MR), Нонна (R), Цаца (R)
Среднеспелые	Алексеич (MS), Анка (MR), Афина (R), Ахмат (MS), Бригада (S), Ваня (S), Век (MS), Велена (MR), Веха (MR), Вид (S), Видея (MS), Вызов (MR), Герда (S), Гром (MS), Еремеевна (S), Жива (S), Кавалерка (MR), Калым (S), Классика (MR), Кольчуга (S), Курс (MR), Курьер (MS), Лауреат (S), Лебедь (MR), Лига 1 (S), Монэ (S), Морозко (MR), Победа 75 (S), Прайм (S), Прасковья (S), Самбек (S), Сварог (MS), Сила (R), Собербаш (MS), Стиль 18 (MR), Тая (MS), Трио (MR), Хит (R), Этнос (MR)
Среднепоздние	Агрофак 100 (S), Антонина (MS), Гомер (S), Граф (S), Гурт (MS), Дулет (S), Иллиада (S), Лео (R), Маркиз (MR), Миг (S), Табор (S), Тимирязевка 150 (MR), Фёдор (MS), Шарм (S), Эмма (S), Юка (MS)

Анализ устойчивости сортов НЦЗ им. П.П. Лукьяненко к фузариозу колоса показал, устойчивых в группах ультраскороспелые и скороспелые не обнаружено. Максимальное количество восприимчивых сортов в группе ультраскороспелые (60%) и среднепоздние (56,2%); минимальное количество восприимчивых – 29,4% в группе среднеранние. Максимальное количество устойчивых сортов 29,4% в группе среднеранние; минимальное количество устойчивых 6,3% в группе среднепоздних (рисунок 4.18).

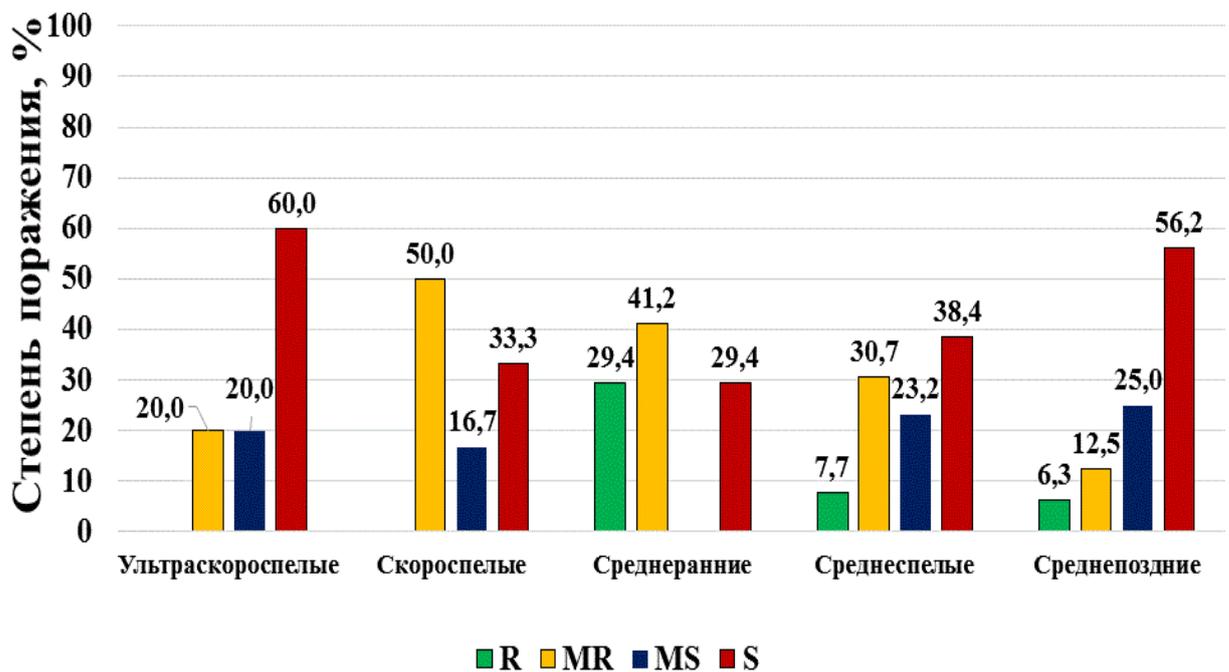


Рисунок 4.18 - Распределение сортов НЦЗ им. П.П. Лукьяненко ($n=79$) дате колошения и степени поражения фузариозом колоса, % (2012-2023 гг.)

Среди большого сортимента сортов ($n=83$) НЦЗ им. П.П. Лукьяненко более половины (25,2 и 34,3% соответственно) - полужерновковые и короткостебельные формы. Среди них на долю устойчивых и среднеустойчивых приходится 14,8%, что превышает такой показатель в коллекции (8,5%) (таблица 4.24).

Таблица 4.24 - Высота растений и устойчивость сортов пшеницы мягкой к фузариозу колоса

Группа	Сорта
Полукарликовые, до 90 см	Агрофак 100 (S), Ахмат (MS), Герда (S), Гомер (S), Гром (MS), Калым (S), Кубань (S), Кольчуга (S), Лига 1 (S), Монэ (S), Ордынка (S), Песня (R), Победа 75 (S), Россыпь (S), Самбек (S), Табор (S), Таврида (MR), Таня (MR), Флэш (S), Школа (MR), Дюна (MR)
Короткостебельные, до 105 см	Алексеич (MS), Антонина (MS), Арена (MR), Бумба (S), Ваня (S), Век (MS), Велена (MR), Вызов (MR), Граф (S), Гурт (MS), Еланчик (MS), Есаул (MR), Жива (S), Изабель (MS), Лео (R), Мадам (R), Миг (S), Нота (S), Прайм (S), Сила (R), Стан (S), Стиль 18 (MR), Утриш (S), Федор (MS), Хит (R), Эмма (S), Юбилейная 100 (S), Юмпа (S) Нонна (MR) Цаца (R)
Среднерослые, до 120 см + высокорослые, свыше 120 см	Афина (R), Адель (R), Баграт (MR), Безостая 100 (MR), Бригада (MS), Васса (S), Веха (MR), Вид (MS), Видея (MS), Дмитрий (MR), Дуплет (S), Иллиада (S), Кавалерка (MR), Караван (MR), Классика (R), Курс (MR), Лауреат (MS), Лебедь (MR), Маркиз (MR), Морозко (MR), Прасковья (S), Сварог (MS), Собербаш (MS), Степь (MR), Тимирязевка 150 (MR), Трио (MR), Уруп (R), Шарм (S), Этнос (MR), Юка (MS) Анка (MR), Еремеевна (S)

Максимальное количество устойчивых сортов в группах среднерослые+высокорослые (28,1%) и короткостебельные (22,7%). Минимальное количество устойчивых в группе полукарликовые 4,5%. Максимальное количество восприимчивых сортов 63,6% в группе полукарликовые; минимальное количество восприимчивых в группе среднерослые + высококорослые – 18,7% (рисунок 4.19).

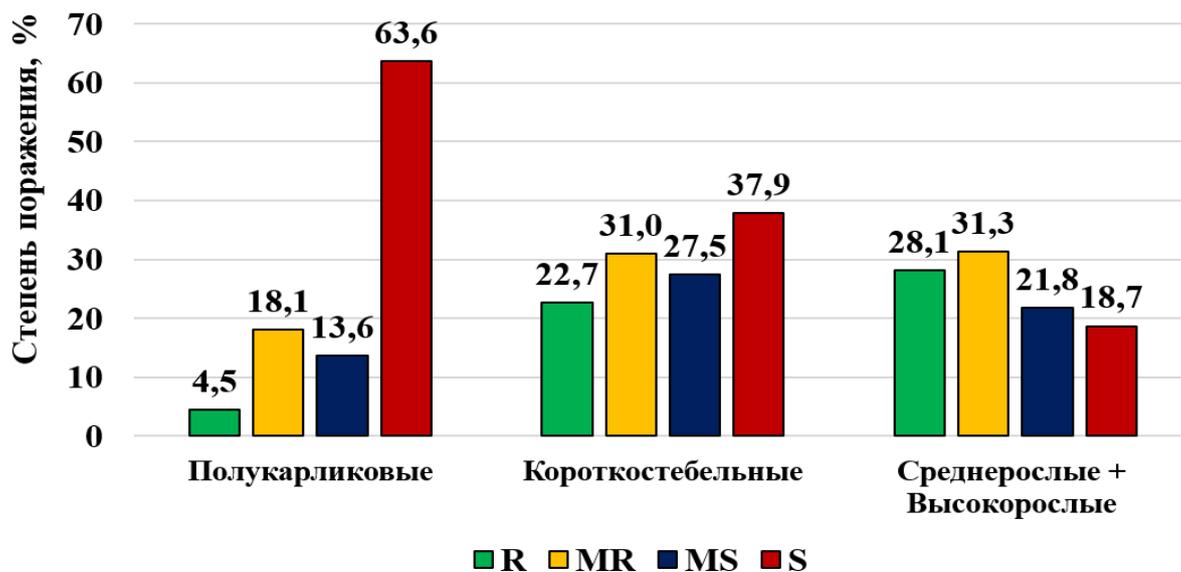


Рисунок 4.19 - Распределение сортов НЦЗ им. П.П. Лукьяненко по высоте и степени поражения фузариозом колоса, % (2012-2023 гг.)

В результате целенаправленной селекции на устойчивость сортов НЦЗ им. П.П. Лукьяненко к фузариозу колоса, наметился прогресс по снижению поражаемости низкорослых сортов. (рисунок 4.20).

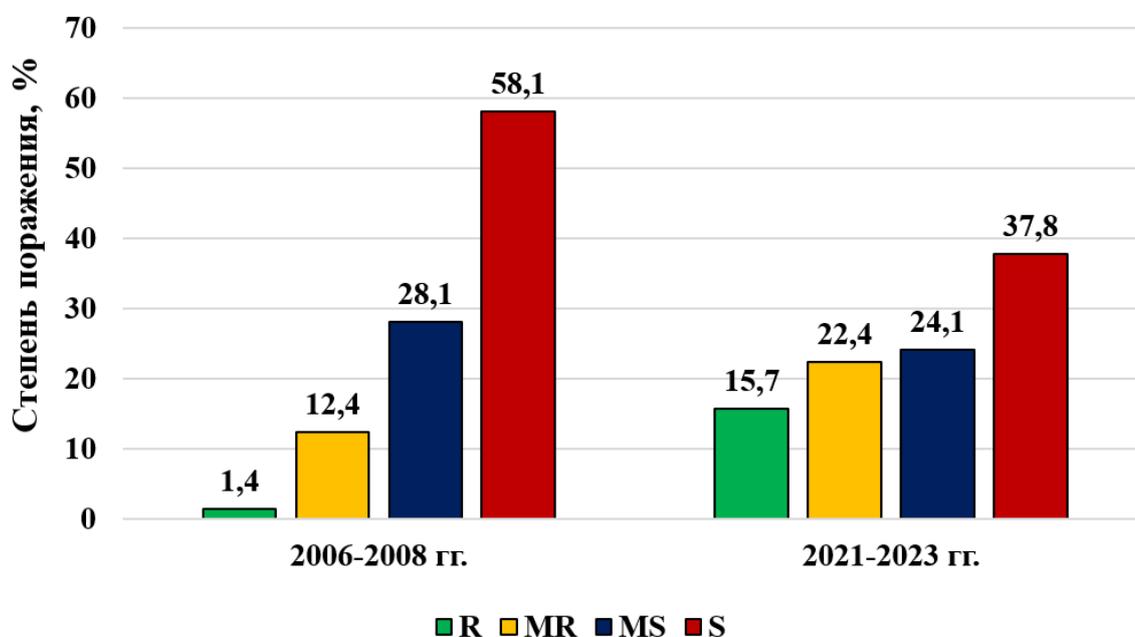


Рисунок 4.20 – Прогресс в селекции полукарликовых сортов НЦЗ им. П.П. Лукьяненко по устойчивости к фузариозу колоса, %

Так, анализ степени поражения фузариозом колоса полукарликовых сортов за периоды изучения, показал, что в 2006-2008 гг. количество устойчивых среди ПК сортов было чуть более 1%, среднеустойчивых 12 %. А уже в 2021-2023 гг. количество устойчивых среди полукарликовых сортов значительно возросло, достигнув 15,7%. Количество среднеустойчивых сортов также увеличилось и составило 22,4%.

Значительное повышение устойчивости короткостебельных сортов стало возможным благодаря интродукции в генофон пшеницы генов устойчивости от резистентных доноров и источников как собственной, так и инорайонной селекции (Афина, Сила, Дея, Дельта, Таня, Лавина, Смуглянка, Безенчукская 380, Экспромт, *Sum3aut*, *Buck Palenque*, *Xiao Yan107*, *KSWGRS21* и др.).

Устойчивость растений пшеницы к проникновению возбудителей фузариоза колоса (резистентность I типа) находится в корреляции с фенотипическими и биологическими параметрами, включая фазу колошения, высоту растения, остистость, компактность колоса и экстрюзию пыльников (Lu et al., 2013). Прослеживается связь аллеля *Rht-D1b* в генотипах европейской пшеницы с повышенной уязвимостью к данной форме заболевания. Генетические изыскания подтвердили эту взаимосвязь, обнаружив локусы количественных признаков (QTL) и аллели генов *Rht-B1*, *Rht-D1* и *Rht8*, которые ассоциированы как с интенсивностью поражения фузариозом колоса, так и с высотой растения [Semi-dwarfing *Rht-B1* and *Rht-D1*..., 2009].

Идентифицировано 27 генетических детерминант карликовости у пшеницы (*Rht-B1b*, *Rht-D1b*, *Rht-B1e*, *Rht8c* и др.) [Черноок А., 2023]. Их широкое использование в селекции позволяет оптимизировать регуляцию высоты растений и мультифункционально воздействовать на агрономически значимые свойства, что в совокупности повышает продуктивность агроценозов.

Экспериментальные исследования в условиях искусственного инфекционного фона включали анализ сортов, разработанных в НЦЗ им. П.П. Лукьяненко, с верифицированными генами карликовости и их пирамидами.

Выявлено плейотропное влияние генов редукции высоты растений на восприимчивость к фузариозу колоса (таблица 4.25).

Таблица 4.25 - Влияние генов карликовости на устойчивость к фузариозу колоса у сортов селекции НЦЗ им. П.П. Лукьяненко (2019-2023 гг.)

Гены	Сорта	Тип реакции
<i>Rht1</i>	Афина, Кума, Сила, Таулан, Песня, Лео, Юка, Вита, Зимница, Лига1, Юнона, Табор, Изабель, Кольчуга, Флэш	R+S
<i>Rht 8</i>	Дельта, Дея, Творец, Москвич, Краля, Шарада, Безостая 1	R+MR+S
<i>Rht11</i>	Веда, Есаул, Агрофак 100, Миг, Школа	MS+S
<i>Rht11+Rht 1</i>	Монэ	MS
<i>Rht1+Rht 8</i>	Красота, Вершина, Лебедь, Старшина, ЮМПА, Память, Хамдан, Батько, Нота, Бригада, Васса, Паллада, Грация, Этнос, Иришка, Коллега, Юб.100, Курень, Еланчик, Россыпь, Бумба, Видея, Илиада, Классика, Тимирязевка 150, Собербаш	R+MR+S
<i>Rh 2 +Rht 8</i>	Айвина, Верта, Виза, Дмитрий, Зимтра, Кр.99, Протон, Утриш, Ваня	S (MS)
<i>Rht11+Rht 8</i>	Таня, Восторг, Гром, Дока, Калым, ПалПич, Первица, Фишт, Фортуна	S(MR)

Как видно, большая часть сортов с *Rht1* сильно поражается фузариозом колоса. При этом такие сорта, как Афина, Кума, Сила, Таулан, Песня, Лео, несущие аллель *Rht-B1b* имеют высокий уровень устойчивости. Носители аллеля *Rht8c* - сорта Дельта и Дея - высокорезистентны к болезни. Устойчивые сорта Память, Хамдан, Классика, Тимирязевка 150 обладают пирамидой генов *Rht 1+Rht 8*.

В условиях искусственной инокуляции изучены источники генов *Rht* инорайонной и иностранной селекции. Устойчивых образцов среди них не обнаружено (таблица 4.26)

Таблица 4.26 - Влияние генов редукции высоты на поражение фузариозом колоса, коллекционные образцы, искусственный инфекционный фон (2019-2023 гг.)

Гены	Сорта	Тип реакции
<i>Rht1</i>	Московская 82, Новелла, МВ Иква, МВ Крайцар, Кальмар, Тоннаж, LEU 60205, Пальмира 18, Тимирязевская юб., Амбар, Зодиак, Краса Дона, Нива Дона, Раздолье, Рубин Дона, Ювента, Морец, Батя, Александрия, Форпост, Кубок, Козир, Гималая, Норд 19, Норд 76, MV Dandar, MV Rondas, Володя, Студенческая Нива, Туранус	S+VS
<i>Rht2</i>	СТРГ 802417, Акапелла, Стать, Зоро, Мавка, Клад, Аргумент, Приднепровска, Соч, Марибосс, Кварн, Торп, Марс, Фотон, Тригор, Хайдрок, Футурум, Цефей	S+VS
<i>Rht8</i>	Рифей, Содружество, СТРГ 802617, Юлия, Истринка, Юбилей Дона, Зернетко 1, Травица, Балтиус, Сибириус, Шератан	VS
<i>Rht11</i>	Немчиновская 85, Галатея	VS
<i>Rht1 + Rht8</i>	Былина Дона, Лучезар, Шеф, Слава, Тайфун 7, Альбирео, Полина, Армада, Litera и др.	MS+S
<i>Rht2 + Rht8</i>	Жайвир, Жаворонок, Статус, Царица, Авиор, Тайгета и др.	S
<i>Rht8 + Rht11</i>	Щит, Сиеста	S

Коллекционные образцы с генами *Rht1*, *Rht2*, *Rht8* и *Rht11* и их сочетаниями (*Rht1 + Rht8*, *Rht2 + Rht8*, *Rht8 + Rht11*) относятся к восприимчивым. Образцы с генами *Rht1*, *Rht2*, *Rht11* и сочетанием *Rht8 + Rht11* по высоте растений – полукарликовые; с комбинацией генов *Rht1 + Rht8* и *Rht2 + Rht8* – короткостебельные и среднерослые.

Известно, что такой важный хозяйственный признак, как высокая морозостойкость отрицательно коррелирует с устойчивостью к фузариозу колоса (высокая морозостойкость в ущерб устойчивости). Физиологически сорта с высокой морозостойкостью обладают мелкоклеточной структурой тканей. По этому признаку сорта селекции НЦЗ им. П.П. Лукьяненко распределены на четыре уровня (таблица 4.27).

Таблица 4.27 - Морозостойкость и устойчивость сортов пшеницы НЦЗ им. П.П. Лукьяненко ($n=79$) к фузариозу колоса (2012-2023 гг.)

Уровень морозостойкости	Сорта
Высокий	Арена (MR), Агрофак 100 (S), Бригада (S), Бумба (S), Герда (S), Граф (S), Дуплет (S), Еланчик (MS), Изабель (MS), Кавалерка (MR), Классика (MR), Лауреат (S), Маркиз (MR), Миг (S), Морозко (MR), Прайм (S), Самбек (S), Собербаш (MS), Этнос (MR), Нонна (MR)
Повышенный	Ахмат (MS), Безостая 100 (MR), Век (MS), Веха (MR), Гомер (S), Есаул (MR), Жива (S), Иллиада (S), Кубань (S), Курс (MR), Лига 1 (S), Прасковья (S), Россыпь (S), Стиль 18 (MR), Табор (S), Тимирязевка 150 (MR), Трио (S), Фёдор (MS), Школа (MR), Юбилейная 100 (S), Юмпа (S)
Выше среднего	Алексеич (MS), Антонина (MS), Баграт (MR), Видея (MR), Калым (S), Лебедь (MR), Монэ (S), Нота (S), Ордынка (S), Песня (R), Победа 75 (S), Стан (S), Степь (S), Таврида (MR), Уруп (R), Флэш (S), Хит (R), Шарм (S), Эмма (S), Юка (MS), Дюна (MR)
Средний	Адель (R), Анка (MR), Афина (R), Ваня (S), Васса (S), Велена (MR), Вид (MS), Вызов (MR), Гурт (MS), Еремеевна (S), Караван (MS), Кольчуга (S), Лео (R), Сила (R), Утриш (S), Цаца (R)

Устойчивые сорта выявлены в группах морозостойкости со средним уровнем (33,3%) и выше среднего (14,3%). Среднеустойчивые обнаружены во всех группах устойчивости экстремальному холодовому стрессу (рисунок 4.21).

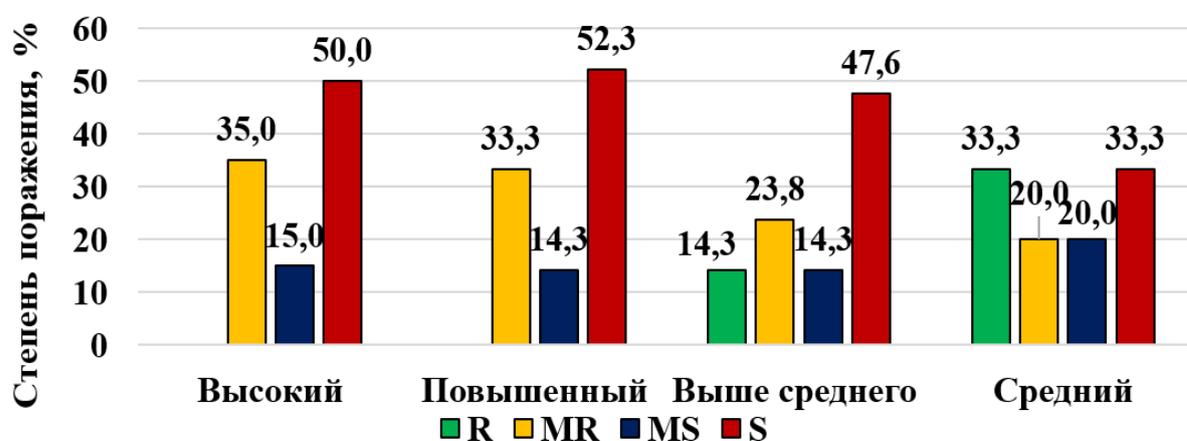


Рисунок 4.21 - Распределение сортов НЦЗ им. П.П. Лукьяненко по морозостойкости и степени поражения фузариозом колоса, % (2012-2023 гг.)

В группе с повышенной морозостойкостью устойчивых сортов не выявлено, среднеустойчивых - 1,3%. Максимальное количество устойчивых и среднеустойчивых сортов в группе со средним уровнем морозостойкости и выше среднего – 33,3 и 20,0% соответственно. Это обусловлено тем, что высоко морозостойкие сорта отличаются мелкими пыльцевыми зёрнами [Агаев Р.А.О., 2020], т.к. их физиологической особенностью является мелкоклеточность, которая распространяется как на размер пыльцы, так и на повышение концентрации сахаров, холина, бетаина, стимулирующих рост и развитие грибов р. *Fusarium*.

Таким образом, в сортах селекции НЦЗ им. П.П. Лукьяненко реализованы трудносочетаемые иммунологические признаки и устойчивость к абиотическим стрессам, в том числе к низким температурам.

В результате многолетних исследований и целенаправленной селекции с использованием оптимальной системы иммунологических оценок и отборов при обязательном использовании искусственных инфекционных фонов, одновременном тестировании материала в географических точках на естественном инфекционном фоне достигнуты значительные успехи в повышении устойчивости к ФК (рисунок 4.22).

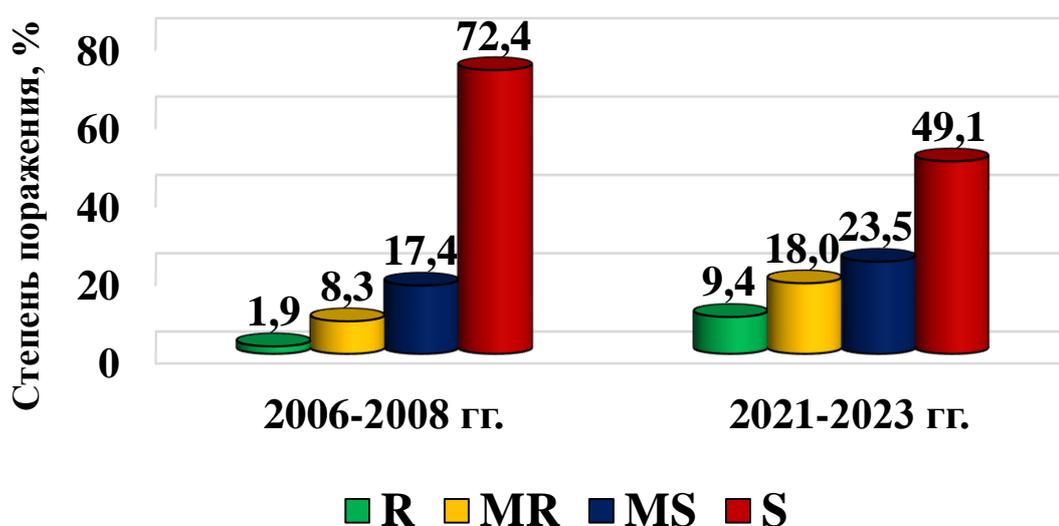


Рисунок 4.22 - Прогресс селекции пшеницы на устойчивость к фузариозу колоса в НЦЗ им. П.П. Лукьяненко, %

В 2006-2008 гг. количество устойчивых и умеренно устойчивых сортов составляло 1,9 и 8,3% соответственно. К 2021-2023 гг. увеличилось количество устойчивых и умеренно устойчивых сортов (9,4 и 18% соответственно) и уменьшилось количество восприимчивых – до 49%.

4.5 Влияние транслокации T2AL.2AS-2NvS, переданной от *Aegilops ventricosa* на устойчивость пшеницы к комплексу болезней

Расширение площадей под зерновыми культурами создает новые фитосанитарные вызовы в агрофитоценозах, что требует применения сортов с комплексной устойчивостью к патогенам. Сочетание генов устойчивости, их добавление к существующим генетическим системам не всегда приводит к повышению иммунного статуса растения.

Генетическая транслокация T2AL.2AS-2NvS, унаследованная мягкой пшеницей от *Ae. ventricosa* Tausch., интегрирована в короткое плечо 2A хромосомы. Данный сегмент содержит гены устойчивости к бурой (*Lr37*), желтой (*Yr17*) и стеблевой (*Sr38*) ржавчинам, формируя комплексный защитный кластер [Catalogue of gene symbols, 2010].

Донором гена *Lr37* стал селекционный материал VPN1, созданный при гибридизации сорта Marne Despez с образцом *Ae. ventricosa* и *T. persicum*. VPN1 получил широкое распространение в западноевропейской селекции благодаря сочетанию генов устойчивости к трем видам ржавчины, гену *Pch2* (хромосома 7D), подавляющему церкоспореллезную корневую гниль и гену *Cre5* (2A хромосома), защищающий от цистообразующей злаковой нематоды.

До начала 2000-х *Lr37* считался одним из наиболее стабильных возрастных генов. Однако в 2002 г. в Австралии зафиксирована адаптация патогена к нему, а позднее массовое выращивание сортов-носителей в Европе привело к снижению его эффективности [Гульятеева Е.И., 2012].

В наших исследованиях, в условиях Краснодарского края образцы озимой пшеницы с геном *Lr37* демонстрировали неоднородную реакцию на

искусственное заражение бурой ржавчиной. Повреждение флагового листа варьировало от 5% до 80% с реакцией типа MR-S. Исключением стал образец Tonnag (2021–2022 гг.), проявивший полную устойчивость. Это объясняется взаимодействием *Lr37* с генами *Lr1*, *Lr10*, *Lr19*, *Lr26*, *Lr34*, которые также несёт данный сорт.

На искусственном инфекционном фоне по желтой ржавчине большинство образцов (Fenomen, Mariboss, Rasica, KWS 3 YATT, Baretta) сохраняли высокую устойчивость (поражение $\leq 10\%$, реакция R-MR), а в условиях высокой нагрузки не проявляли симптомов (таблица 4.28).

Таблица 4.28 – Иммунологическая характеристика коллекционных образцов и сортов с геном *Lr37*, искусственный инфекционный фон (2021-2022 гг.)

Образец	Степень поражения ржавчиной, %, тип реакции		Образец, сорт	Степень поражения ржавчиной, %, тип реакции	
	бурой	желтой		бурой	желтой
Универ	60 S*	60 S	<i>MV Dandar</i>	80 S	30 S
Московская 27	60 S	60 S	<i>Viki</i>	5 MR	20 MR
Царица	10 MR	60 S	<i>KWS 3 YATT</i>	70 S	0 VR
Приднепровска	80 S	40 MS	<i>Haidrok</i>	80 S	20 MR
<i>Steffi</i>	80 S	20 MR	<i>Sofru</i>	80 S	20 MR
<i>Fenomen</i>	70 S	0 VR	<i>Baretta</i>	60 S	0 VR
<i>Mariboss</i>	80 S	0 VR	<i>Tonnag</i>	0 VR	10 R
<i>Gimalaya</i>	80 S	1 R	<i>Kvarn</i>	70 S	1 R
<i>Rasica</i>	10 MR	0 VR	Гомер, ст.	40 MS	1 R
<i>MV Rondas</i>	80 S	10 R	Граф, ст.	5 R	20 MR

Результаты подтверждают, что эффективность гена *Lr37* зависит от генетического контекста и региональных особенностей патогенных популяций.

Таким образом, несмотря на частичную потерю эффективности, *Lr37* остается ценным компонентом в селекционных программах при комбинации с дополнительными генами устойчивости.

Результаты исследования свидетельствуют, что в агроклиматических условиях Краснодарского края ген *Yr17* демонстрирует выраженную защиту от

желтой ржавчины, тогда как эффективность гена *Lr37* в большинстве случаев остается крайне ограниченной. Снижение функциональности последнего, вероятно, связано с наличием в геноме восприимчивых образцов супрессорных генов, подавляющих активность гена *Lr37* [PCR assaya for the *Lr37Yr17Sr38*, 2003].

Анализ коллекции из более 400 образцов выявил двойственное влияние транслокации с геном *Lr37* на фитопатогены. С одной стороны, она способствует повышению устойчивости к септориозу листьев (*Septoria tritici*), с другой — усиливает восприимчивость к фузариозу колосьев и зерна (*Fusarium graminearum*), что подтверждается полученными нами данными, представленными в таблице 4.29.

Таблица 4.29 – Иммунологическая характеристика коллекционных образцов и сортов с комплексом генов *Lr37/Yr17/Sr38*, искусственный инфекционный фон (2021-2022 гг.)

Образец	Степень поражения, тип реакции		Образец, сорт	Степень поражения, тип реакции	
	септориозом, %	фузариозом колоса/зерна, балл		септориозом, %	фузариозом колоса/зерна, балл
Универ	30 MR	7/5 S	<i>MV Dandar</i>	30 MR	7/4 MS
Московская 27	10 R	5/2 MR	<i>Viki</i>	20 R	4/4 MR
Царица	30 MR	7/5 S	<i>KWS 3 YATT</i>	20 R	9/8 S
Приднепровска	30 MR	9/7 S	<i>Haidrok</i>	30 MR	9/7 S
<i>Steffi</i>	15 R	9/8 S	<i>Sofru</i>	50 MS	9/8 S
<i>Fenomen</i>	20 R	9/8 S	<i>Baretta</i>	10 R	7/7 S
<i>Mariboss</i>	10 R	9/9 S	<i>Tonnag</i>	5 R	9/7 S
<i>Gimalaya</i>	10 R	7/5 S	<i>Kvarn</i>	5 R	9/9 S
<i>Rasica</i>	5 R	5/5 MS	Гомер, ст.	70 S	9/7 S
<i>MV Rondas</i>	30 MR	9/6 S	Граф, ст.	20 R	7/5 S

Эти результаты говорят о необходимости комплексного подхода при селекции, учитывающего как положительные, так и негативные эффекты генетических транслокаций. Сохранение баланса между устойчивостью к

разным патогенам требует тщательного отбора гаплотипов и мониторинга взаимодействия генов в конкретных агроэкологических условиях.

Результаты исследования выявили обратную взаимосвязь между восприимчивостью к фузариозу колосьев и септориозу листьев ($r = -0,48$) у генотипов, содержащих транслокацию T2AL.2AS-2NvS. Эта закономерность объясняется биологическими особенностями таких образцов, большинство из них относятся к среднепоздним или позднеспелым формам с пролонгированным вегетационным циклом. Ранее нами была подтверждена зависимость устойчивости к фузариозу от морфологических и биологических параметров — например, высокорослость и раннее созревание в определенных условиях усиливают защитные механизмы растений [Аблова И.Б., 1998].

Скороспелые генотипы, особенно с ускоренным накоплением питательных веществ, демонстрируют меньшую уязвимость к фузариозу даже при искусственном заражении, что связано с феноменом «избегания инфекции». Напротив, позднеспелые формы в годы с затяжным периодом колошения и налива зерна подвергаются более длительному воздействию патогена, что повышает степень поражения.

Септориоз, напротив, активнее развивается на ультраранних и ранних сортах, так как возбудитель преимущественно колонизирует стареющие ткани. Сокращение вегетационного периода ускоряет старение листьев, создавая благоприятные условия для инфекции.

Отдельно стоит отметить, что образцы с геном *Lr37* часто обладают крупными многоцветковыми колосьями, что приводит к асинхронному цветению в пределах колосков и всего растения. Эта особенность увеличивает продолжительность «окна уязвимости» для патогенов, усиливая поражение колосьев и зерна [Аблова И.Б., Тархов А.С., 2023].

Некоторые сорта, созданные в НЦЗ им. П.П. Лукьяненко, имеют в своем гаплотипе ген возрастной (частичной) устойчивости к бурой ржавчине *Lr 37*. В таблице 4.30 представлена их иммунологическая характеристика.

Таблица 4.30 – Иммунологическая характеристика сортов озимой мягкой пшеницы, искусственный инфекционный фон (2020-2022 гг.)

Сорт	Степень поражения болезнями, %, балл					
	ржавчина			мучнистая роса	септориоз	фузариоз колоса
	бурая	желтая	стеблевая			
Морозко	10	40	60	40	5	7/5
Сварог	10	40	80	30	40	7/6
Граф	5	20	80	30	20	8/6
Маркиз	1	20	70	10	30	7/7
Гомер	40	5	60	10	70	9/7
Победа 75	20	1	50	10	30	9/7
Гром, ст.	90	40	90	40	90	7/6

Анализ данных выявил значительную восприимчивость таких сортов к фузариозу колосьев и зерна (7/5–9/7 баллов). При этом ген *Sr38*, входящий в транслокацию T2AL.2AS-2NvS от *Ae. ventricosa*, не обеспечивает защиту от стеблевой ржавчины, подтверждена его неэффективность в условиях Юга России. К мучнистой росе сорта Маркиз, Гомер, Победа 75 - высоко устойчивы; Морозко, Сварог, Граф – умеренно устойчивы. Высокой устойчивостью к бурой ржавчине обладают Морозко, Сварог, Граф, Маркиз; у сорта Победа 75 - умеренная устойчивость; у сорта Гомер - средняя восприимчивость. К желтой ржавчине у сорта Победа 75 и Гомер - высокая устойчивость; Граф, Маркиз - умеренно резистентны; Морозко, Сварог – средне восприимчивы. К септориозу сорт Морозко высокоустойчив; Граф, Маркиз, Победа 75 слабо поражаются септориозом; Сварог обладает полевой резистентностью, а Гомер восприимчив.

Влияние транслокации *Lr37/Yr17/Sr38* на фитопатогены считаем неоднозначным. Гены *Lr37* и *Sr38* утратили эффективность против бурой и стеблевой ржавчины. В настоящее время ген *Yr17* сохраняет устойчивость к желтой ржавчине. Наши многочисленные данные показывают, что транслокация T2AL.2AS-2NvS обеспечивает снижение поражения септориозом, но усиливает уязвимость к фузариозу. Эффект снижения устойчивости к одним патогенам при повышении к другим создает сложности в селекции сортов с комплексной резистентностью.

5 НАСЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ПШЕНИЦЫ К ФУЗАРИОЗУ КОЛОСА

5.1 Наследование устойчивости пшеницы к фузариозу колоса в F₁

В нашей работе мы изучали наследование признака устойчивости пшеницы к возбудителю фузариоза колоса на основе определения характера наследования устойчивости у гибридов первого поколения и донорских свойств устойчивых сортов селекции НЦЗ им. П.П. Лукьяненко (Краснодарская 6, Патриарх), а также выявленных нами источников устойчивости из мирового генофонда, относящихся к разным генным пулам (Frontana/Kenya58, Buck Palenque, Xiao Yan107, TAM200) (таблица 5.1).

Таблица 5.1 - Степень поражения фузариозом колоса гибридов F₁, искусственный инфекционный фон (2009 г.)

Донор, источник устойчивости	Количество гибридов, шт.	Средняя степень поражения колоса F ₁ , балл	Варьирование, от - до, балл
Патриарх	4	3,0	2-6
Краснодарская 6	10	3,1	1-7
TAM 200	2	5,0	5
Buck Palenque	5	2,6	2-5
Xiao Yan 107	2	3,0	2-4
Frontana/ Kenya58	6	2,0	1-3

В качестве реципиентов (восприимчивых сортов) использовались: Юнона, Лига 1, Верта, Иришка, Ника Кубани, Зимница, Фортуна, Грация, ГРОМ, Краля.

Рассмотрев гибриды F₁, мы выявили, что по степени поражения колоса и зерна лучшими донорскими свойствами обладали Buck Palenque, Xiao Yan107 и Frontana/Kenya58. Гибриды в таких комбинациях проявили реакцию устойчивости к болезни и соответствовали резистентности родительских форм.

При изучении 36 гибридных комбинаций F₁ установлено разнонаправленное наследование. При скрещивании устойчивых родителей преобладает полное доминирование устойчивости, но отмечено и

сверхдоминирование восприимчивости, что подтверждает результаты, полученные ранее [Аблова И.Б., 2008 а] (таблица 5.2).

Таблица 5.2 – Распределение типов наследования резистентности к фузариозу колоса у гибридных линий F₁, искусственный инфекционный фон (2009 г.)

Тип наследований	Тип скрещиваний		
	R x R	R x S	S x R
Промежуточное наследование	3	-	3
Частичное доминирование	2	5	5
Неполное доминирование	-	1	2
Полное доминирование	6	1	2
Депрессия	-	-	2
Гетерозис восприимчивости	2	-	-

Частичное доминирование преобладает при скрещиваниях устойчивых и восприимчивых родительских форм. Гибриды F₁ родительских форм ТАМ 200, Патриарх, Краснодарская 6 демонстрируют выраженный гетерозисный эффект повышенной чувствительности к поражению фузариозом колоса, что говорит о доминировании рецессивных аллелей, ответственных за восприимчивость к патогену в изученных генотипах. Это ограничивает перспективы прямого использования данных гибридных комбинаций в селекционных программах, ориентированных на создание устойчивых сортов.

Мы предположили, что при сочетании одинаковых механизмов защиты устойчивость гибридов F₁ не должна усиливаться, а разных механизмов – будет повышаться (таблица 5.3).

Таблица 5.3 – Распределение типов наследования резистентности к фузариозу колоса у гибридов F₁, искусственный инфекционный фон (2009 г.)

Гибрид	Степень поражения, балл			Общность механизмов устойчивости ♀ и ♂
	♀	F ₁	♂	
Краснодарская 6/Агарачное	3	1	3	разные
Дельта/Патриарх	3-5(9)	2	3-5	разные
(Frontana/Ken58)/100-94k9	1	2	3-5	разные
Xiao Yan 107/Сила	2	2	2	одинаковые
(Frontana x Kenya58)/Агарачное	1	3	2	одинаковые
Дельта/ТАМ 200	3-5(9)	3,5	2	одинаковые

Согласно данной гипотезе, сорта разных генных пулов могут иметь как различающиеся, так и сходные механизмы защиты. Разными механизмами резистентности обладают сорта Краснодарская 6 и Arapachoe, Дельта и Патриарх, Frontana/Kenya58 и линия 100-94к9, Сила и Frontana, Айвина и Buck Palenque, поскольку гибриды F_1 , полученные на их основе, поражаются слабее родительских форм. Степень поражения колоса и зерна у гибридов F_1 , полученных от скрещивания Xiao Yan107 и Сила, Frontana/Kenya58 и Arapachoe, Краснодарская 6 и Jagger соответствует или несколько уступает им, следовательно можно предполагать об общности механизмов защиты.

Результаты исследования свидетельствуют, что комбинация доминантных и второстепенных локусов формируют сложный баланс иммунного ответа и способна вызывать активацию или угнетение отдельных защитных реакций растения. Подобная регуляция может объяснять вариабельность фенотипических проявлений устойчивости в условиях патогенного стресса, что требует уточнения механизма взаимодействия между генами для прогнозирования эффективности селекционных стратегий.

5.2 Применение ДНК-маркеров для идентификации локуса специфической устойчивости к фузариозу колоса *Fhb1* (QFhs.ndsu-3BS) от Sumai 3 и характеристика новых доноров устойчивости собственной селекции

Селекция на устойчивость к фузариозу колоса - весьма продолжительный во времени процесс и требует значительных материальных затрат. Причиной тому является широкая специализация грибов р. *Fusarium*, множество типов устойчивости и механизмов защиты растений от фузариоза колоса, узкая генетическая основа резистентности к болезни, полигенный характер устойчивости (филогенетически нестабильный и сильно зависящий от условий среды) [Buerstmayr H., Van T., Anderson J.A., 2009], а также трудоемкость создания в полевых условиях искусственного инфекционного фона и трудностей в скрининге на наличие генов устойчивости [Bai G.-H., Shaner G., 1994].

Для ускорения интрогрессии генов устойчивости в адаптированную зародышевую плазму идентифицированы и используются ДНК-маркеры к локусам *QTL* устойчивости к фузариозу колоса [Применение молекулярных маркеров..., 2012].

Использование молекулярных маркеров *Xgwm533* и *Xgwm493*, разработанных J.A. Anderson et al., [Anderson J. A., Stack R. W., Liu S., 2001] фланкирующих локус *Fhb1* (син. *Qfhs.ndsu-3BS*), в коротком плече хромосомы 3В, ассоциированного с устойчивостью к распространению грибов рода *Fusarium*, открывает возможности для маркер-ориентированной селекции генотипов с выраженной резистентностью к фузариозу колоса. В этом же хромосомном сегменте у сорта Sumai 3 — признанного донора специфической устойчивости [Buerstmaur M., Buerstmaur H., 2015] — локализованы гены, контролирующие резистентность к инфицированию зерна и синтезу дезоксиниваленола (DON).

По программе создания новых доноров устойчивости к фузариозу колоса нами была получена и отобрана группа линий с уровнем резистентности к болезни на уровне Sumai3 или выше, полученных от скрещивания сортов Веда, Дельта, Есаул, Краснодарская 6, Кума, Таня и др., обладающих неспецифической устойчивостью, и сортов Sumai3, Ning7840, характеризующихся специфической устойчивостью к фузариозу колоса. Эти линии были проанализированы на присутствие локуса количественных признаков *QFhs.ndsu-3BS* [Новые источники и доноры..., 2018].

На наличие данного локуса были исследованы 72 линии из 13 комбинаций скрещивания: Дельта/Sumai3//Дельта, Дельта/Sumai3aut//Дельта, Sumai3/Енола//100-94к9, Sumai3/Кума//Кума, Sumai3/Кума//(Sumai 3/Фортуна), Ning7840/Веда, Ning7840/Восторг, Ning7840/Есаул, Ning7840/Таня, Ning7840/ПалПич, Фортуна/Sum3, Sumai3/Фортуна//Фортуна, Кума/Sumai3. Использование микросателитных маркеров *Xgwm533* и *Xgwm493*, сцепленных с локусом *Fhb1* (*QFhs.ndsu-3BS*) позволило выявить присутствие диагностических фрагментов амплификации у 52 из них (таблица 5.4).

Таблица 5.4 – Количество линий с маркерами *Xgwm533* и *Xgwm493*, выявленными методом PCR

Комбинация скрещивания	Количество изученных линий, шт.	Количество линий с маркерами <i>Xgwm533</i> , <i>Xgwm493</i>
Дельта/Sumai3//Дельта	14	8
Дельта/Sumai3aut//Дельта	11	6
Sumai 3/Енола//100-94к9	11	9
Sumai 3/Кума//Кума	7	5
(Sumai 3/Кума)//(Sumai 3/Фортуна)	5	3
Ning7840/Веда	5	3
Ning7840/Восторг	4	1
Ning7840/Есаул	4	5
Ning7840/Таня	4	4
Ning7840/ПалПич	3	4
Фортуна/Sum 3	2	1
Sumai 3/Фортуна//Фортуна	1	1
Кума/Sumai 3	1	1
Всего линий, шт.	72	52

Маркер *Xgwm533* выявлен у 22 линиях, 30 изученных линий несли маркер *Xgwm493*. Присутствие двух маркеров установлено у 16 линий. Результаты фитопатологического скрининга линий, несущих идентифицированные генетические маркеры, отображают выраженную резистентность к фузариозу колоса. Уровень защиты у исследуемых генотипов сопоставим или превышает показатели сорта Sumai 3. Устойчивость линий с идентифицированными маркерами *Xgwm493* и *Xgwm533* носит специфический характер, они имеют в своем генотипе локус количественных признаков от Sumai 3 (таблица 5.5).

Таблица 5.5 – Название, происхождение, устойчивость к фузариозу колоса и наличие локуса *Fhb1* (QFhs.ndsu-3BS) у линий пшеницы, искусственный инфекционный фон (2017-2020 гг.)

Линия	Происхождение	Поражение фузариозом колоса/ зерна, балл	Маркер <i>Xgwm533</i>	Маркер <i>Xgwm493</i>
170-03f1	Дельта/Sumai 3//Дельта	2/1	+	+
170-03f4	Дельта/Sumai 3//Дельта	2/1	-	-
111f4	Дельта/Sumai 3//Дельта	2/1	-	-
199-05f34/a	Дельта/ Sumai 3//Дельта	2/1	+	+
199-05f34/b	Дельта/ Sumai 3//Дельта	2/1	+	+
421 f 66	Фортуна/ Sumai 3	3/1	+	+
199 f 27	Ning7840/Есаул	2/2	+	+
438 f 4	(Sumai 3/Кума)// (Sumai 3/Фортуна)	2/1	-	-
438 f 16	(Sumai 3/Кума)// (Sumai 3/Фортуна)	3/1	+	+
438 f 29	(Sumai 3/Кума)// (Sumai 3/Фортуна)	2/1	+	+
429 f 11	Sumai 3 / Кума // Кума	2/1	-	-
429 f 42	Sumai 3 / Кума // Кума	3/1	+	-
429 f 49	Sumai 3 / Кума // Кума	3/1	+	+
Sumai 3	Taiwanmai/Funo	3/2	+	+

Примечание - «-», «+» отсутствие, присутствие фрагмента амплификации

Однако, в результате исследований было выявлено, что линии 170-03f4, 111f4, 438f4, 429f11, представленные в таблице 5.5 и др. имея высокий уровень устойчивости к фузариозу колоса не унаследовали локус специфической устойчивости от Sumai 3. Устойчивость линий, в которых не удалось идентифицировать маркеры *Xgwm493* и *Xgwm533*, сцепленные с локусом *Fhb1*, вероятно связана с наличием иных QTL, детерминирующих эффективную самозащиту от болезни.

Нами было проведено изучение хозяйственно-биологических признаков и технологических показателей зерна доноров с идентифицированным локусом специфической устойчивости к фузариозу колоса от Sumai 3 (таблица 5.6).

Таблица 5.6 – Хозяйственно-биологическая характеристика доноров устойчивости к фузариозу колоса, искусственный инфекционный фон (2018-2020 гг.)

Донор	Происхождение	Высота растений, см	Дата колошения, май	Содержание в зерне, %		Урожайность, кг/м ² .
				белка	клейковины	
170-03f1	Дельта/Sumai3// Дельта	115	14	15,3	29,5	0,55
199-05f34	Ning7840/Есаул	115	3	15,4	30,5	0,4
421f66	Фортуна/Sumai3	120	5	16,9	35,5	0,41
438f16	(Sumai3/Кума)// (Sumai3/Фортуна)	130	8	14,5	27,4	0,43
438f29	(Sumai3/Кума)// (Sumai3/Фортуна)	100	5	13,7	25,1	0,39
429f49	Sumai3/Кума//Кума	90	1	14,1	23,6	0,32
Память, ст.	1256 t / Леда // Панацея	105	8	15,4	28,7	0,59
Sumai 3	Taiwanmai/Fupo	135	7	13,6	23,9	0,29

Линия **170-03f1** получена от скрещивания сорта Дельта, обладающего неспецифической устойчивостью и сорта Sumai3, несущий его локус специфической устойчивости к фузариозу колоса. Линия среднерослая, среднепоздняя, с показателями белка и клейковины на уровне стандартного по устойчивости к фузариозу колоса сорта Память и значительно выше чем у сорта Sumai3. Показатель урожайности у линия 170-03f1 превышает таковой у сорта Sumai3.

Скороспелая и высокорослая линия **199-05f27** получена от скрещивания сорта китайской селекции Ning7840, обладающего локусом специфической устойчивости и скороспелого сорта Есаул. Урожайность данной линии ниже стандартного сорта Память и выше сорта Sumai3. Содержание белка и клейковины в зерне значительно превышают данные показатели у сорта Sumai3 и находятся на уровне стандартного сорта Память.

Линия **421f66** создана с участием высокоурожайного восприимчивого к фузариозу колоса сорта Фортуна и сорта Sumai3. По высоте растений линия среднерослая, колошение наступает на 3-4 дня раньше стандартного

среднеспелого сорта Память. Урожайность ниже стандартного сорта Память и выше сорта Sumai3. Линия обладает наибольшими показателями содержания белка и клейковины в зерне, значительно превышающие такие у стандартного сорта Память.

Линия **438f16** в своем генотипе содержит генетический материал сорта Sumai3, устойчивого к фузариозу колоса сорта Кума и высокоурожайного сорта Фортуна. Эта линия высокорослая, колосится одновременно с стандартным сортом Память и сортом Sumai3. Урожайность ниже стандартного сорта Память, но выше сорта Sumai3. Содержание белка и клейковины в зерне ниже, чем у сорта Память, но превышают такие у сорта Sumai3.

Линия **438f29** создана с участием сорта Sumai3, устойчивого к фузариозу колоса сорта Кума и высокоурожайного сорта Фортуна. По высоте короткостебельная, колошение наступает на 3-4 дня раньше стандартных сортов Память и Sumai3. Урожайность ниже стандартного сорта Память и выше сорта Sumai3. По показателям содержания белка и клейковины линия 438f29 значительно уступает сорту Память.

Устойчивость к фузариозу колоса короткостебельной линии **429f49** унаследована от сорта со специфической устойчивостью Sumai3 и устойчивого к фузариозу колоса сорта Кума. Линия 429f49 скороспелая, с урожайностью и качеством зерна на уровне сорта Sumai3.

Созданные нами доноры устойчивости к фузариозу колоса переданы селекционерам и широко используются в селекционных программах.

6 РЕЗУЛЬТАТЫ СЕЛЕКЦИИ ПШЕНИЦЫ НА УСТОЙЧИВОСТЬ К ФУЗАРИОЗУ КОЛОСА В НЦЗ ИМ. П.П. ЛУКЪЯНЕНКО

6.1 Характеристика фузариозоустойчивых сортов пшеницы

В результате многолетней целенаправленной селекционной работы нам удалось выделить устойчивые к фузариозу колоса линии, сочетающие в себе ценные агрономические и технологические характеристики. В дальнейшем им был присвоен статус сортов, они успешно зарегистрированы в реестре научных достижений Российской Федерации (таблица 6.1).

Таблица 6.1 – Характеристика сортов пшеницы озимой, устойчивых к фузариозу, допущенных к использованию с 2014 по 2018 гг.

Сорт	Синоним	Год внесения в Госреестр РФ	Степень поражения колоса/зерна, балл			
			2015	2016	2017	2018
Гурт	Л. 1848 к 2-1	2016	5/3	5/5	5/5	6/4
Курс	Л. 3750h126	2015	4/3	5/5	6/5	6/5
Морозко	Л. 3142h78-13	2015	6/3	6/5	6/6	5/5
Уруп	Л. 99-622a21-1	2015	2/2	5/4	5/3	5/3
Антонина	Л. 02-358a41-14-3	2016	5/5	6/3	5/3	4/6
Адель	Л. Бд-53	2014	4/3	5/4	5/3	5/3
Анка	Л. 99-01яв5	2016	5/3	4/2	5/5	5/3
Вежа	Л. 350-02я3	2017	6/5	6/4	6/5	5/4
Велена	Л. 94-03яБ5	2017	3/3	6/4	5/4	6/4
Караван	Л. 1695я2-8	2018	5/3	6/4	6/4	5/3
Память, ст. R	1256t/Леда//Панацея	2004	4/2	3/2	5/3	5/4
Купава, ст. S	Кавказ/Атлас 66	1999	9/9	9/9	9/9	9/9

Сорт пшеницы мягкой озимой **Гурт** был выведен с использованием метода возвратного скрещивания. В качестве родительских форм использовались высокопродуктивный и устойчивый к фузариозу сорт Таня, а также Frontana — сорт бразильского происхождения, признанный во всем мире как источник устойчивости к фузариозу. Благодаря такому сочетанию, новый сорт обладает повышенной сопротивляемостью к этому опасному заболеванию.

Гурт обладает цилиндрическим поникающим колосом средней плотности, что препятствует удерживанию влаги и снижает вероятность проникновения патогенов. Колосится и созревает на 2-3 дня позже среднеспелого сорта Память, с прочным стеблем с высотой от 80 до 95 см с, устойчивым к полеганию (таблица 6.5). Наличие в родословной сорта Гурт среднеустойчивого к фузариозу колоса сорта Таня и устойчивого сорта Frontana вместе с комплексом факторов конституционного иммунитета, дают устойчивость к внедрению и распространению патогенна в тканях растения

При среднем уровне устойчивости к фузариозу короткостебельный сорт Гурт обладает высоким потенциалом зерновой продуктивности и высокими хлебопекарными качествами зерна, отличается стабильно высокой урожайностью и имеет преимущество перед другими сортами при размещении после предшественника кукуруза на зерно. В ходе исследований (2010–2012 гг.) было установлено, что урожайность сорта Гурт составила 89,0 центнеров зерна с 1 га при размещении после данного предшественника, что на 7,1 центнера превышает результаты, показанные сортом Память (таблица 6.2).

Таблица 6.2 - Хозяйственно-биологическая характеристика сорта Гурт, 2010-2012 гг.

Показатель	Гурт	Таня, ст.	Память, ст.
Урожайность, ц/га	89,0	85,1	81,9
Высота, см.	91	90	104
Дата колошения, май	18	14	15
Содержание белка, %	14,5	13,1	14,3
Содержание сырой клейковины, %	29,0	25,5	28,2
Поражение болезнями на искусственном инфекционном фоне			
Бурая ржавчина, %	60	30 I-III	80 III-IV
Желтая ржавчина, %	70	40	60
Мучнистая роса, %	1/3	5/3	10/3
Септориоз, %	30	60	30
Фузариоз колос/зерно, балл	5/4	5/3	6/4
Твердая головня, %	20,3	34,1	96,2

На искусственном инфекционном фоне показывает высокую устойчивость к мучнистой росе, слабую восприимчивость к фузариозу колоса и твердой головне. Поражается бурой и желтой ржавчинами.

Сорт пшеницы мягкой озимой **Курс** был выведен с использованием метода гибридизации и поэтапного индивидуального отбора в поколениях F₂, F₃ и F₄. Исходным материалом для создания данного сорта послужила гибридная комбинация, включающая линии Росинка тарасовская, Краснодарская 99, Лютесценс 9269 h 7-19 и Батько. Сорт среднерослый, высоко устойчивый к полеганию (таблица 6.3).

Таблица 6.3 - Хозяйственно-биологическая характеристика сорта Курс, 2009-2011гг.

Показатель	Курс	Краснодарская 99	Память, ст.
Урожайность, ц/га	97,4	85,1	82,2
Высота, см.	108	90	106
Дата колошения, май	10	13	15
Содержание белка, %	14,9	13,1	13,4
Содержание сырой клейковины, %	30,0	25,3	26,8
Сила муки, е.а.	291	245	252

Высота растений (> 105см) и более раннее колошение по сравнению с Краснодарской 99 и Памятью позволяют избегать сильного поражения фузариозом колоса и твердой головней. Формирует высокий урожай с качеством зерна, соответствующим сильной пшенице.

Сорт пшеницы мягкой озимой **Морозко** выведен из гибридной комбинации (Лютесценс 7278 h 111/ Лютесценс 8989 h 177)/(KS 91WGRS 21 / Краснодарская 99) с последующим индивидуальным отбором в F₂, F₃, F₄, F₅.

Среднерослый сорт Морозко (98 до 108 см), обладающий прочной соломиной, высоко устойчив к полеганию и среднеустойчив к фузариозу колоса. Этому способствует цилиндрическая форма и средняя плотность колоса.

В родословной сорта Морозко присутствует американский сорт KS 91WGRS 21, который при изучении на искусственном инфекционном фоне на

протяжении ряда лет характеризовался нами как устойчивый к фузариозу колоса и средняя восприимчивость сорта Морозко обусловлена присутствием в его родословной генетической информации от сорта *KS 91WGRS 21* (таблица 6.4).

Таблица 6.4- Иммунологическая характеристика сорта пшеницы мягкой озимой Морозко, искусственный инфекционный фон, (2009-2011 гг.)

Название болезни	Степень поражения			
	Морозко	Память	Москвич	Индикаторы*
Бурая ржавчина, %, тип	5 II	66,6IV	53,3III	100 IV
Желтая ржавчина, %, тип	0,3	43,3	30	100
Септориоз, %	26,6	46,6	33,3	83,3
Мучнистая роса, %	8,6	33,3	23,3	76,6
Фузариоз колоса/зерна, балл	7,3/4,3	5,6/3,3	6,0/3,3	9/8
Твердая головня, %	66,2	80,8	64,6	94,2

*Индикаторы: по бурой ржавчине – *Michigan amber*, желтой ржавчине – *Colbi*, септориозу – Кума, мучнистой росе – Русса, фузариозу колоса – Купава, Диалог, твердой головне – Ростислав.

При искусственном заражении сорт Морозко проявляет устойчивость к бурой и желтой ржавчине, мучнистой росе, к септориозу он проявляет умеренную устойчивость.

В ходе трехлетних испытаний (2009-2011 гг.), проведенных в НЦЗ им. П.П. Лукьяненко, сорт Морозко показал среднюю урожайность 98,6 ц/га при посеве по занятому пару. Это на 16,4 ц/га превысило показатели стандартного сорта Память и на 14,5 ц/га — результаты высокоморозостойкого сорта Москвич (таблица 6.5).

Таблица 6.5 - Хозяйственно-биологическая характеристика сорта Морозко, 2009-2011 гг.

Показатель	Морозко	Москвич	Память, ст.
Урожайность, ц/га	98,6	84,1	82,2
Высота, см.	102	100	106
Дата колошения, май	12	13	15
Содержание белка, %	14,1	13,4	13,4
Содержание сырой клейковины, %	39,2	25,7	26,8

Сорт пшеницы мягкой озимой **Уруп** создан путем двукратного индивидуального отбора из гибридной популяции, полученной от скрещивания сорта Дея и селекционной линии Лютесценс 91-183a1259. Сорт Дея является высшим достижением селекции на устойчивость к фузариозу колоса, который внесен в Госреестр селекционных достижений в 2002 г. и более 18 лет сохраняет резистентность к болезни. Он широко возделывался в Краснодарском крае, Ставрополье, республиках Северного Кавказа и стабилизировал фитосанитарную ситуацию в агрофитоценозах. Мы предполагаем, что новый сорт Уруп фузариорезистентность унаследовал от сорта Дея.

Кроме того, Уруп обладает признаками конституционного иммунитета. У него колос средней плотности, хорошо проветриваемый, не накапливающий влагу. Характеризуется синхронным колошением, коротким периодом цветения, интенсивной аттракцией. По продолжительности вегетационного периода относится к среднеранним, что обеспечивает стабильную устойчивость к фузариозу колоса. Высота растений составляет 105-110 см, стебель средней толщины, упругий, высокоустойчивый к полеганию (таблица 6.6).

Таблица 6.6 – Характеристика сорта пшеницы мягкой озимой Уруп, 2009-2011 гг.

Показатель	Уруп	Память, ст.
Урожайность ц/га,	90	100
Качество зерна, группа	сильная	сильная
Высота растений, см	105-110	95-100
Группа спелости	среднеранний	среднезрелый
Поражение болезнями на искусственном инфекционном фоне		
Бурой ржавчиной, %	5 II	63,3 IV
Желтой ржавчиной, %	30	43,3
Септориозом, %	30	45
Мучнистой росой, %	23,3	33,3
Фузариозом колоса, балл	3,0/2,3	5,6/3,3

Потенциальная урожайность находится на уровне 90 ц зерна с 1 га. Наибольшая прибавка по сравнению со стандартным сортом Память отмечена по

предшественнику кукуруза на зерно, варьируя в зависимости от условий года от 6,6 до 17, 1 ц.

Уруп имеет высокое, генетически детерминированное качество зерна, соответствующее «сильным» пшеницам, что гарантирует получение зерна достойного качества в годы эпифитотий.

Сорт обладает комплексной резистентностью к болезням. На фоне искусственного заражения проявляет устойчивость к бурой и стеблевой видам ржавчины, среднеустойчив к желтой ржавчине и септориозу, что очень важно при возделывании его в зонах с достаточным и избыточным увлажнением, где часты фотосанитарные риски [Сорта пшеницы и тритикале..., 2024].

Следует отметить, что новый сорт Уруп в полной мере соответствует модели фузариозоустойчивых сортов, разработанной в нашем институте [Аблова И.Б, 2008 б].

Высокая результативность систем самозащиты сорта от фузариоза колоса была доказана в ходе многолетних испытаний, проведенных на предшественнике кукурузы на зерно в условиях Кочубеевского ГСУ Ставропольского края. Этот участок находится в районе с высокой концентрацией кукурузных посевов, где климатические условия ежегодно способствуют активному развитию и распространению фузариоза колоса. Сорт Уруп рекомендован для возделывания в Северо-Кавказском регионе. Его целесообразно высевать преимущественно после кукурузы на зерно, а также после других предшественников, подверженных высокому риску заражения фузариозом колоса [Принципы и методы селекции..., 2016].

Сорт пшеницы мягкой озимой **Антонина** создан путем индивидуального отбора из гибридной популяции, полученной от скрещивания сорта Отзим и селекционной линии Лютесценс 94-409а656-2 (рисунок 6.1)



Рисунок 6.1 – Родословная сорта Антонина

Сорт Антонина имеет цилиндрический, хорошо проветриваемый колос средней величины и плотности. Данный сорт обладает умеренной восприимчивостью к фузариозу колоса, что позволяет использовать его для посева после выращивания кукурузы на зерно. Формирует крупное удлиненное зерно красного оттенка, которое отличается повышенным содержанием белка и клейковины, что обеспечивает высокие показатели хлебопекарных свойств. Относится к «сильным» пшеницам (таблица 6.7).

Таблица 6.7 – Характеристика сорта пшеницы мягкой озимой Антонина, 2010-2015 гг.

Показатель		Антонина	Память, ст.
Высота растений, см		97	103
Устойчивость к полеганию, балл		8	6
Дата колошения, май		12	10
Урожайность, ц/га		85,6	79,9
Поражение болезнями			
Ржавчина	бурая, %, тип	12 II	73 IV
	желтая, %	20	45
Мучнистая роса, %		5	24
Септориоз, %		37	45
Фузариоз колоса /зерна, балл		6/4	7/4

Растения сорта Антонина характеризуются компактным строением, их высота варьируется от 95 до 100 см. У сорта проявляется высокая устойчивость к полеганию и осыпанию. Среднепоздний, обладает групповой резистентностью к таким заболеваниям, как желтая и стеблевая ржавчины, мучнистая роса. Кроме того, он проявляет среднюю устойчивость к бурой ржавчине, септориозу.

Сорт пшеницы мягкой озимой **Адель** создан при скрещивании двух устойчивых к фузариозу колоса сортов, которые в течение многих лет в условиях искусственного инфекционного фона доказали свою резистентность – это сорт болгарской селекции Енола и сорт краснодарской селекции Дельта. Известно, что резистентность к факультативным паразитам и фитопатогенным сапрофитам функционально и генетически связана с общей адаптивностью растений [Жученко, 2001]. И у сорта Адель помимо устойчивости к фузариозу колоса есть важные отличительные особенности - его высокая адаптивность и пластичность к широкому спектру агроклиматических условий.

За период исследований с 2008 по 2010 гг. средний показатель урожайности по четырём предшествующим культурам достиг 82,5 центнеров зерна с одного гектара. Это на 5,3 центнера больше, чем у стандартного сорта Память. Наибольший результат сорт Адель продемонстрировал в 2008 г., когда при выращивании по предшественнику сидеральный пар был зафиксирован урожай в 106,8 центнера зерна с 1 гектара. Формирует зерно высокого качества, по всем показателям соответствующее ценной пшенице.

Новый сорт Адель удачно совмещает важные хозяйственно-ценные признаки и имеет компоненты пассивного иммунитета к фузариозу колоса. Сорт относится к среднеранней группе, выколашивается и созревает на три дня раньше сорта Память [Боровик А.Н., Левченко Ю.Г., 2011], является среднерослым по высоте, с колосом средней плотности, поникающим при созревании. Эти особенности строения и развития позволяют не только избегать поражения грибами р. *Fusarium*, но и получать свободное от токсинов зерно (рисунок 6.2).

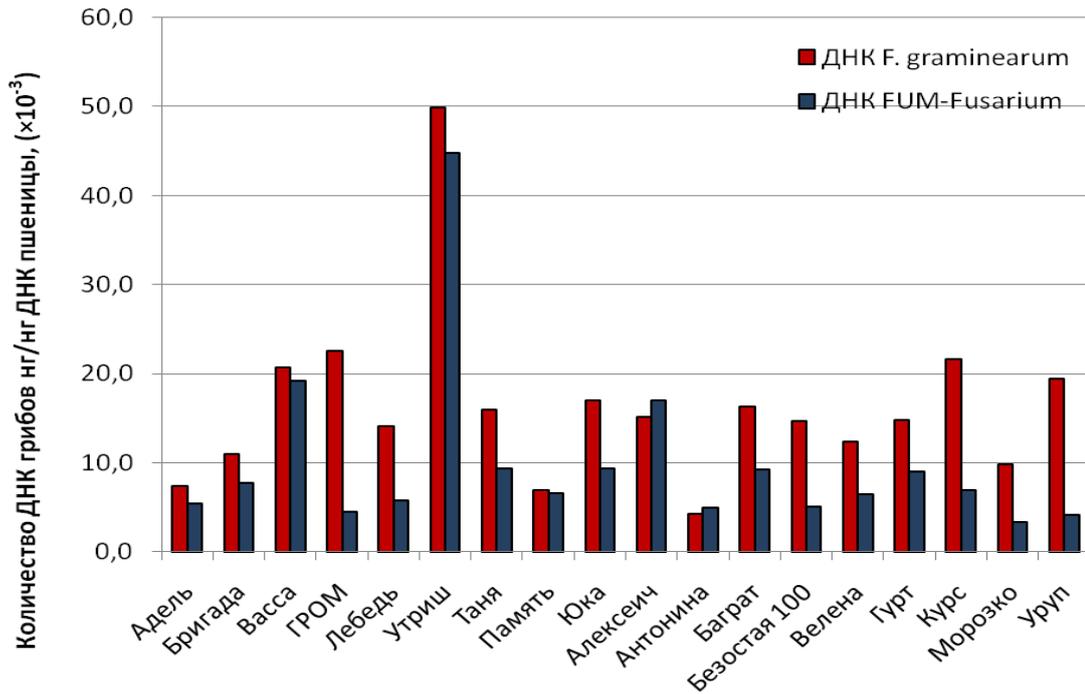


Рисунок 6.2 – Содержание ДНК грибов в зерне сортов пшеницы на искусственном фоне, 2016 г. [Характеристика сортов озимой пшеницы..., 2018]

Среди ряда исследованных сортов в условиях жесткой инфекционной нагрузки озимая пшеница Адель является высоко устойчивым сортом как к заражению *F. graminearum*, так и к контаминации микотоксинами (таблица 6.8).

Таблица 6.8 - Содержание дезоксиниваленола (ДОН) в зерне сортов пшеницы озимой, искусственный инфекционный фон (2016 г.) [Характеристика сортов озимой пшеницы..., 2018]

Сорт	ДОН, мкг/кг*	Сорт	ДОН, мкг/кг
Бригада	20255	Васса	50655
Адель	23069	Гром	51708
Антонина	29557	Гурт	53048
Алексеич	35330	Утриш	55019
Память	41174	Велена	60901
Курс	44124	Морозко	66193
Таня	45471	Баграт	73502
Лебедь	46572	Юка	76401
Безостая 100	46574	Уруп	79245

*МДУ=700 мкг/кг на пищевые цели, 1000 мкг/кг на фураж

Сорт Адель характеризуется групповой устойчивостью к желтой ржавчине, септориозу, фузариозу колоса, твёрдой головне и толерантностью к корневым гнилям. Сорт особенно эффективен при возделывании по предшественникам колосовые и кукуруза на зерно.

Сорт пшеницы мягкой озимой **Анка** создан методом экологической селекции. В скрещивания были вовлечены озимый фузариозоустойчивый сорт Московская 39 с яровым сортом Терция, несущим эффективный ген устойчивости к бурой ржавчине *Lr 9*.

К фузариозу колоса сорт Анка восприимчив в средней степени. Значительное влияние на это оказывает его среднерослость, которая в зависимости от предшествующей культуры варьирует в пределах 105–120 см, а также способность противостоять полеганию. Благодаря этим свойствам формируется более аэрируемый ценоз, что снижает благоприятные условия для развития патогенных микроорганизмов. Сорт относится к среднеспелой группе: период выколашивания и созревания наступает на 2-4 дня позже, чем у стандартного сорта Ласточка, и на 1-2 дня позже по сравнению с озимой пшеницей Память (таблица 6.9).

Таблица 6.9 - Хозяйственно-биологическая характеристика сорта Анка, 2010-2013 гг.

Показатель	Анка	Ласточка, ст.
Урожайность, ц/га:	82,8	74,1
Высота растений, см	113	108
Дата колошения, май	17	14
Содержание белка, %	16,8	15,9
Содержание сырой клейковины, %	32,5	29,2
Поражение болезнями на инфекционном фоне		
Желтой ржавчиной, %	30	65
Бурой ржавчиной, %, тип	27 MR	10 MR
Септориозом, %	22	27
Фузариозом колоса / зерно, балл	6/4	8/6
Твёрдой головней, %	15,2	57,5

Сорт Анка обладает высоким потенциалом зерновой продуктивности. Имеет отличные хлебопекарные качества зерна, относится к сильным пшеницам.

На фоне искусственного заражения комплексно устойчив к септориозу, мучнистой росе, твёрдой головне. Среднеустойчив к бурой и жёлтой ржавчинам.

Сорт пшеницы мягкой озимой **Вега** создан методом экологической селекции. В скрещивания были вовлечены сорта озимой, яровой и альтернативного образа жизни.

Сорт Вега среднерослый, высота варьирует в пределах 95–110 см в зависимости от предшествующей культуры. По срокам созревания относится к среднеспелым, при этом начало фазы колошения наступает на 1-2 дня позже по сравнению с сортом Память. Колос сорта Вега имеет среднюю плотность и сохраняет вертикальное положение до уборки.

Отличительной особенностью сорта Вега являются его высокие технологические и хлебопекарные свойства зерна. Благодаря этим характеристикам относится к категории ценных пшениц, что делает его востребованным в производстве качественной муки и хлебобулочных изделий (таблица 6.10).

Таблица 6.10 - Хозяйственно-биологическая характеристика сорта Вега, НЦЗ им.П.П. Лукьяненко, 2010-2013 гг.

Показатель	Вега	Память, ст.
Урожайность, ц/га	89,6	79,7
Высота растения, см.	104	105
Дата колошения, май	17	16
Содержание белка, %	14,9	14,9
Содержание сырой клейковины, %	29,6	29,2
Поражение болезнями на инфекционном фоне, %, тип		
Желтой ржавчиной, %	40	80
Бурой ржавчиной, %, тип	10 MR	30 MR
Септориозом, %	30	17
Фузариозом колоса / зерно, балл	4/4	8/6
Мучнистая роса, %	8/3	20/3

Особенность сорта Веха - высокая и стабильная зерновая продуктивность. По данным конкурсного сортоиспытания, средняя урожайность за пять лет изучения по четырём различным предшественникам составила 80,6 ц/га, что на 9,8 ц/га выше стандартного сорта Память. Максимальная урожайность сорта Веха достигала 111,4 ц/га, что подтверждает его высокий потенциал в благоприятных условиях выращивания (таблица 6.11).

Таблица 6.11 – Урожайность сорта Веха, 2010-2013 гг.

Сорт	Предшественник, ц/га				
	занятой пар	подсолнечник	кукуруза на зерно	пшеница	среднее по 4 предшественникам
Веха	87,3	81,3	81,1	69,2	80,6
Ласточка, ст.	65,6	68,0	62,6	53,7	62,5
Афина, ст.	76,5	68,3	71,8	55,0	67,9
Память, ст.	79,4	70,6	69,5	63,9	70,8

Данный сорт демонстрирует высокую степень устойчивости к бурой ржавчине и мучнистой росе при искусственном заражении, а также резистентность к жёлтой ржавчине и септориозу. В отношении фузариоза колоса наблюдается средний уровень устойчивости.

Как и сорт Веха, сорт пшеницы мягкой двуручки **Велена** создан методом экологической селекции при скрещивании двуручек селекции НЦЗ им. П.П. Лукьяненко Альмата и Афина и яровой аргентинской полукарликовой высококачественной пшеницы сорта Klein Orion. Сорт Велена имеет несколько механизмов самозащиты от фузариоза колоса. Это высота растений 90-100 см, с прочной, устойчивой к полеганию соломиной, средней плотности колос, сильно поникающий при перестое. Устойчивость сорта Велена к фузариозу колоса унаследована от выдающегося сорта Афина, который мы характеризуем как устойчивый (таблица 6.12).

Таблица 6.12 – Имунологическая характеристика сорта Велена, искусственный инфекционный фон (2011-2013 гг.)

Название болезни	Степень поражения				
	Велена	Память	Ласточка	Афина	Индикаторы
Бурая ржавчина, %, тип	8,3II	73,3IV	28,3 III	18,3 III	100 IV
Желтая ржавчина, %	13,3	33,3	43,3	23,3	73,3
Септориоз, %	21,6	43,3	16,6	13,3	73,3
Мучнистая роса, %	18,3	26,6	30	11,6	83,3
Фузариоз колоса/зерна, балл	5,0/4,3	6,0/4,0	8,3/6,0	4,0/3,6	9,0/7,6
Твердая головня, %	66,5	77,8	74,4	77,3	87,7

По продолжительности вегетационного периода относится к среднеспелым сортам. Сорт Велена выделяется стабильно высокой урожайностью зерна, с максимальной реализацией 106,4 ц с 1 га (таблица 6.13).

Таблица 6.13 – Хозяйственно-биологическая характеристика сорта озимой мягкой пшеницы Велена, 2011-2013 гг.

Показатель	Велена	Ласточка, ст.
Урожайность ц/га,	88,9	70,5
Содержание белка, %	15,1	14,9
Содержание клейковины, %	30,2	29,2
Сила муки, е.а.	275	270
Высота растений, см	95	112
Дата колошения, май	14	16

Сорт Велена обладает зерном с отличными технологическими свойствами и высокими хлебопекарными характеристиками, что позволяет отнести данный сорт к категории ценных пшениц

В условиях искусственного заражения сорт Велена проявляет устойчивость к пыльной головне, проявляет высокую сопротивляемость бурой ржавчине, а также устойчив к септориозу и мучнистой росе. При этом к фузариозу колоса он имеет умеренную восприимчивость.

Сорт пшеницы мягкой двуручной **Караван** создан с использованием метода экологической селекции. В процессе создания сорта применялось

скрещивание собственной селекционной линии двуручки с озимым сортом украинского происхождения. Для формирования популяции, адаптированной к абиотическим стрессовым факторам, характерным для озимых и яровых посевов, использовался метод чередующегося пересева в осенний и весенний периоды. Это позволило выделить генотипы, обладающие повышенной устойчивостью к неблагоприятным условиям окружающей среды.

Сорт среднерослый, устойчив к полеганию, имеет короткий и плотный колос цилиндрической формы, не поникающий при перестое, относится к скороспелым сортам, выколашивается на 5-7 дней раньше стандартных сортов Ласточка и Память (таблица 6.14).

Таблица 6.14 - Хозяйственно-биологическая характеристика сорта Караван (2012-2014 гг.)

Показатель		Караван	Ласточка, ст.
Урожайность, ц/га:	средняя	78,8	73,7
	максимальная	99,3	86,9
Высота растения, см.		104	108
Дата колошения, май		6	12
Содержание белка, %		15,1	14,9
Содержание сырой клейковины, %		30,2	29,2

Сорт Караван формирует стабильно высокую урожайность зерна. В ходе восьмилетних исследований при осеннем посеве на четырёх различных предшественниках средняя урожайность составила 78,3 центнеров с гектара. При этом максимальная урожайность достигала 99,3 центнеров с гектара. Сорт Караван формирует высокое содержание белка и клейковины, характеризуется хорошими хлебопекарными качествами зерна.

В стрессовых условиях испытаний сорт Караван подтвердил свою надёжность как истинная двуручка. Он стабильно формировал колос при весеннем посеве (в условиях отсутствия яровизирующих температур, необходимых для озимых) и успешно перезимовывал при осеннем посеве. Сорт также характеризуется высокой способностью к регенерации.

В условиях искусственного заражения сорт Караван показал полную устойчивость к пыльной головне, высокую сопротивляемость жёлтой ржавчине, а также устойчивость к септориозу и мучнистой росе. При этом к бурой ржавчине и фузариозу колоса он проявляет умеренную восприимчивость (таблица 6.15).

Таблица 6.15 - Фитопатологическая характеристика Караван, искусственный инфекционный фон (2012-2014 гг.)

Название болезни	Караван	Ласточка	Память, ст.
Бурая ржавчина, %, тип	21,7 MS	35 MS	73,3 S
Жёлтая ржавчина, %	6,7	26,7	43,3
Мучнистая роса, %	13/3	28,3	33/5
Твёрдая головня, %	72,7	74,4	80,9
Септориоз, %	26,7	23,3	43,3
Фузариоз колоса / зерна, балл	7/6	9/8	7/4

В последующие годы нам удалось выделить ряд линий с высоким сопротивлением к болезни, которые в настоящее время стали сортами и допущены к использованию в производстве. Это новые устойчивые сорта пшеницы мягкой озимой Зихия, Классика, Кавалерка, Хит, Песня, Хамдан, Лео, Таулан и сорт пшеницы твердой озимой Синьора (таблица 6.16).

Таблица 6.16 – Характеристика новых сортов пшеницы озимой по устойчивости к фузариозу, допущенных к использованию в производстве с 2019 по 2024 гг.

Сорт	Синоним	Год начала испытаний	Год внесения в Госреестр РФ	Степень поражения колоса/зерна, балл			
				2015	2016	2017	2018
1	2	3	4	5	6	7	8
Кавалерка	Л.3164h16-23-14	2016	2019	6/4	6/5	6/5	5/5
Зихия	Л.2809к12	2018	-	5/4	5/4	4/2	5/3
Классика	Л.4023w5	2018	2021	2/3	5/3	5/4	5/3
Хамдан	Л.363-04яо110-24	2018	2021	2/3	4/2	4/3	3/2
Таулан	Л.351-04яо19-44	2018	2021	2/2	5/3	3/3	3/2

Продолжение таблицы 6.16

1	2	3	4	5	6	7	8
Лео	Л.748-05яв1-59	2019	2022	2/4	5/2	4/4	2/2
Синьора	Леук.3557h39	2018	2022	6/5	6/5	5/6	6/5
Хит	Л.661sv-30	2022	2024	3/3	4/3	4/3	4/3
Песня	Л.661sv-39	2021	2023	5/3	4/3	3/3	5/3
Память, ст.	1256t/Леда//Панацея	2001	2004	4/2	3/2	5/3	5/4
Купава	Кавказ/Атлас 66	1996	1999	9/9	9/9	9/9	9/9

Сорт пшеницы мягкой озимой **Зихия** выведен многократным массовым и индивидуальным отбором в гибридной комбинации Л. 252-91к 11-1/Смуглянка.

Устойчивость к фузариозу колоса сорта Зихия вероятно, детерминирована наличием в её родословной генетического материала от надежных источников устойчивости сортов Таня (Л. 252-91к 11-1) и Смуглянка.

Новый сорт имеет признаки конституционного иммунитета, такие как прочный стебель, на 9-10 см ниже стандартного сорта Память, устойчивый к полеганию. Колос средней плотности, листья не широкие, полуэректоидные, что делает ценоз более проветриваемым и создает менее благоприятный для патогенов микроклимат. Среднеспелый, колосится и созревает на 1 день позже сорта Память.

Новый сорт Зихия формирует высокие урожаи. Наибольший показатель урожайности был зафиксирован в 2015 г. в НЦЗ им. П.П. Лукьяненко при выращивании по предшественнику подсолнечник, составив 122,4 центнера зерна с гектара. В среднем за годы исследований урожайность по предшественнику кукуруза на зерно достигла 104,8 центнеров с гектара.

В опытах Адыгейского НИИСХ сорт Зихия показал среднюю урожайность на уровне 79,2 центнера зерна с гектара, что на 16,2 центнера превышает результаты стандартного сорта. Таковую прибавку урожая ему обеспечила устойчивость к фузариозу колоса.

Высокая зерновая продуктивность в данном сорте сочетается с высоким качеством зерна. За годы изучения содержание белка достигло 14,7%, клейковины 28,4%, сила муки составила 275 е.а.

Обладая групповой устойчивостью к болезням, толерантностью к фузариозной инфекции, сорт предназначен для получения свободного от фузариотоксинов зерна и высококачественного хлеба в «кукурузном поясе» Северо-Кавказского региона.

Сорт пшеницы мягкой озимой **Классика** был выведен в ФГБНУ «НЦЗ им. П.П. Лукьяненко» с методом индивидуального отбора. Исходным материалом послужила гибридная популяция, полученная в результате естественного ветрового опыления стерильного аналога линии Л. 732h2. Данная линия характеризуется выраженной соротообразующей способностью, а также повышенной устойчивостью к фузариозу колоса (таблица 6.17).

Таблица 6.17 - Иммунологическая характеристика пшеницы озимой сорта Классика, искусственный инфекционный фон (2015-2017 гг.)

Название болезни	Степень поражения			
	Классика	Память	Видея	Индикаторы
Бурая ржавчина, %	36,6	73,3	13,3	90
Желтая ржавчина, %	1,6	20	5	76,6
Септориоз, %	36,6	60	43,3	83,3
Мучнистая роса, %	20	46,6	11,6	83,3
Фузариоз колоса/зерна, балл	5,0/3,3	4,6/2,6	8,3/6,0	9,0/8,6
Твердая головня, %	35,1	80,1	68	87,6
Пыльная головня, %	0	0	0	24,6

Среднеспелый сорт Классика безостый и среднерослый (высота растений 95-100 см), что является важными факторами конституционного иммунитета. Колос у сорта Классика пирамидальный, длинный (11-13 см и более), рыхлый, что обеспечивает хорошее проветривание от рос, туманов, дождей. Рыхлость колоса – важный механизм защиты от фузариоза колоса и зерна.

Обладая высоким иммунным статусом от фузариоза колоса новый сорт Классика обладает высоким потенциалом продуктивности. В НЦЗ им. П.П. Лукьяненко за период с 2015 по 2017 гг. средняя урожайность сорта по предшественникам как занятый пар, кукуруза на зерно, подсолнечник и озимая

пшеница, в среднем составила 99,1 центнеров зерна с одного гектара. Это на 5,1 центнера превышает показатели стандартного сорта Память. Сорт отличается превосходными хлебопекарными свойствами, а также повышенным содержанием белка (15,4%) и клейковины (28,8%) как в зерне, так и в муке.

Сорт Классика устойчив к пыльной головне, желтой, бурой и стеблевой ржавчине, а также к корневым гнилям. При этом он слабо подвержен поражению мучнистой росой и септориозом.

Сорт пшеницы мягкой озимой **Кавалерка** выведен методом гибридизации и индивидуальным отбором в F₂, F₄, F₈ из гибридной популяции (Лютесценс 9274 h 122 x Лютесценс 9394 h 13) x (Лютесценс 7643hГ12-12 x Краснодарская 99).

У сорта Кавалерка надежный уровень самозащиты от фузариоза колоса детерминирован наличием в родословной генетической информации сортов Соратница, Зимородок, Сфера, которые ранее нами характеризовались, как среднеустойчивые. Сорт Кавалерка среднерослый (105-115см), среднеспелый, с рыхлым, хорошо проветриваемым поникающим колосом, что значительно затрудняет колонизацию возбудителями фузариоза (таблица 6.18).

Таблица 6.18 - Хозяйственно-биологическая характеристика сорта Кавалерка, 2013-2015 гг.

Показатель	Кавалерка	ГРОМ, ст.	Лауреат
Урожайность, ц/га	94,5	82,2	84,0
Содержание белка, %	15,9	14,3	14,1
Содержание клейковины, %	28,8	25,9	24,9
Поражение болезнями на искусственном инфекционном фоне			
Бурой ржавчиной, %, тип	20 III	70 IV	47 III-IV
Желтой ржавчиной, %	7	23	12
Мучнистой росой, %	12	13	37
Септориозом, %	40	53	37
Фузариозом колоса/зерна, балл	6/5	7/5	8/7
Твердой головней, %	68,5	89,3	78,1

В конкурсном сортоиспытании по занятому пару сорт Кавалерка сформировал урожайность 94,5 ц/га, что на 12,3 ц/га выше, чем у стандартного сорта Гром, и на 10,5 ц/га превысило показатели высокоморозостойкого сорта Лауреат.

По качественным характеристикам зерно сорта Кавалерка соответствует категории сильной пшеницы. В условиях искусственного заражения сорт проявил полную устойчивость к пыльной головне, высокую сопротивляемость к желтой ржавчине, а также устойчивость к бурой ржавчине и мучнистой росе. При этом он умеренно восприимчив к септориозу и фузариозу колоса.

Сорт пшеницы мягкой двуручной **Лео** получен методом экологической селекции от скрещивания озимого сорта Безенчукская 380 с линией альтернативного образа жизни Л. 1120я16 собственной селекции и аргентинским сортом Buck Palenque с последующими двукратными отборами в F₄ и F₇. Родительские формы сорта Лео (Buck Palenque, Безенчукская 380, 1120я16) в наших исследованиях стабильно проявляют свою устойчивость к фузариозу и хорошо передают её потомству. Мы предполагаем, что высокая степень самозащиты от фузариоза у сорта Лео унаследована от устойчивых родителей (таблица 6.19).

Таблица 6.19 - Иммунологическая характеристика сорта пшеницы мягкой двуручной Лео, искусственный инфекционный фон (2016-2018 гг.)

Название болезни	Степень поражения			
	Лео	Курьер	Велена	Индикаторы
Бурая ржавчина, %	1	5,3	5	100
Желтая ржавчина, %	0	33,3	5	86,6
Септориоз, %	30	30	30	90
Мучнистая роса, %	18,3	6,6	13,3	90
Фузариоз колоса/зерна, балл	3,6/2,6	7,6/5,6	6,3/5	9/9

Сорт Лео имеет элементы пассивного иммунитета. Его колос веретеновидный, поникающий, средней плотности, из-за чего на нем не задерживается влага. Он устойчив к весенним заморозкам, повреждения от

которых могут вызывать частичную стерильность пыльцы и длительное открытое цветение, что в свою очередь продлевает период заражения. Высота растений варьирует от 95 до 105 см, стебель средней толщины, прочный, полый и устойчивый к полеганию.

Сорт Лео обладает выдающейся зерновой продуктивностью, превышающую 90 центнеров с 1 гектара. В ходе шестилетних исследований (2013-2018 гг.) его урожайность в среднем на 6,0 центнеров с гектара превосходила показатели сорта Память. Максимально рекордную урожайность он показал в 2017 г.: при осеннем посеве средняя урожайность по четырём предшественникам составила 111,6 ц зерна с 1 га. Зерно сорта Лео отличается высокими технологическими свойствами и отличными хлебопекарными качествами (таблица 6.20).

Таблица 6.20 – Хозяйственно-биологическая характеристика сорта пшеницы мягкой двуручной Лео, 2013-2018 гг.

Показатель	Лео	Память, ст.
Урожайность ц/га,	94,2	84,9
Содержание белка, %	14,2	14,0
Содержание клейковины, %	27,2	27,3
Высота растений, см	97	107
Дата колошения, май	14	12
Морозостойкость, % -15,5°С	64	69
Поражение болезнями на искусственном инфекционном фоне		
Бурой ржавчиной, %	1	90
Желтой ржавчиной, %	0	40
Мучнистой росой, %	18	60
Септориозом, %	30	67
Фузариозом колоса/зерна, балл	4/2	5/3

Благодаря высокой устойчивости к листовым болезням и наиболее опасному заболеванию - фузариозу колоса сорт Лео рекомендуется возделывать по экологически чистым безпестицидным технологиям, в фитосанитарных зонах, для получения продовольственного зерна, свободного от фузариотоксинов [Селекция пшеницы и тритикале на устойчивость..., 2024].

Сорт пшеницы мягкой двуручной **Таулан** создан методом экологической селекции от скрещивания сорта двуручки Афина собственной селекции с озимыми сортами: Станичная, Саратовская 90, Губерния, Волжская засухоустойчивая, с последующим индивидуальным двукратным отбором в F₄ и F₆. Сорт Таулан высоко устойчив к фузариозу колоса благодаря наличию в родословной устойчивых сортов Афина и Губерния. Среднеспелость и устойчивость к полеганию с поникающим колосом средней плотности, являются дополнительной защитой от поражения грибами рода *Fusarium*.

При такой высокой устойчивости к фузариозу колоса сорт Таулан обладает впечатляющей урожайностью зерна. За пять лет изучения в период с 2013 по 2017 гг., средний показатель урожайности по четырём различным предшественникам составил 89,6 центнеров с 1 гектара. Наивысший результат был зафиксирован в 2015 г., когда урожайность достигла 101,2 ц/га при размещении по занятому пару (таблица 6.21).

Таблица 6.21 – Хозяйственно-биологическая характеристика сорта пшеницы мягкой двуручной Таулан, 2013-2017 гг.

Показатель	Таулан	Ласточка, ст.
Урожайность ц/га,	89,6	75,5
Содержание белка, %	15,3	14,7
Содержание клейковины, %	27,3	25,6
Высота растений, см	93	110
Дата колошения, май	13	12
Морозостойкость, % -15,5°С	67	65
Поражение болезнями на искусственном инфекционном фоне		
Бурой ржавчиной, %	15	40
Желтой ржавчиной, %	5	20
Мучнистой росой, %	10	10
Септориозом, %	40	45
Фузариозом колоса/зерна, балл	2/2	4/3

Наряду с высокой урожайностью, сорт Таулан отличается превосходными технологическими и хлебопекарными свойствами зерна. Уровень белка в зерне

в среднем составляет 15,3%, а при весеннем посеве этот показатель может увеличиваться до 16,4%. Содержание клейковины варьирует в пределах 27,3-30,0%.

Важной особенностью сорта Таулан является его устойчивость к ряду заболеваний. В условиях искусственного заражения Таулан показал высокую сопротивляемость к жёлтой ржавчине и мучнистой росе, а также умеренную устойчивость к фузариозу колоса/зерна и бурой ржавчине.

Сорт пшеницы мягкой условной двуручки **Хамдан** был выведен методом экологической селекции. В процессе создания сорта были задействованы линии двуручки, разработанные в рамках собственной селекционной программы и озимый сорт из Поволжья. Последовательные отборы проводились в поколениях F₄, F₅ и F₆. Одним из ключевых преимуществ данного сорта является его устойчивость к одному из наиболее опасных заболеваний — фузариозу колоса.

Сорт Хамдан обладает системами самозащиты, унаследованными от устойчивых родительских форм. Он среднерослый (95-105 см в зависимости от предшественника), среднеспелый (таблица 6.22).

Таблица 6.22 – Характеристика сорта пшеницы мягкой условной двуручки Хамдан, 2013-2017 гг.

Показатель	Хамдан	Память, ст.
Урожайность ц/га,	87,4	80,4
Содержание белка, %	14,4	13,7
Содержание клейковины, %	27,4	25,6
Высота растений, см	101	106
Дата колошения, май	13	12
Морозостойкость, % -17°С	94	72
Поражение болезнями на искусственном инфекционном фоне		
Бурой ржавчиной, %	5	75
Желтой ржавчиной, %	5	20
Мучнистой росой, %	10	55
Септориозом, %	40	50
Фузариозом колоса/зерна, балл	2/2	4/3

Имеет более узкие полувертикально расположенные листья в период колошения-цветения, по сравнению с сортом Память, средне поникающий колос средней плотности, что делает ценоз более вентилируемым.

Вместе с резистентностью к фузариям Хамдан формирует высокую и стабильную урожайность зерна. За пять лет изучения (2013-2017 гг.) в рамках конкурсных сортоиспытаний средняя урожайность по четырём предшественникам составила 87,4 ц/га. Наивысший показатель урожайности был зафиксирован в 2015 г., когда средний результат по тем же четырём предшественникам достиг 100,2 ц/га. Высокую урожайность сорт Хамдан сочетает с отличными технологическими и хлебопекарными свойствами зерна. Он характеризуется повышенным содержанием белка: в среднем — 14,4%, с максимальным значением до 15,3%. Средний уровень клейковины составляет 27,4%, с возможностью достижения 30,0%.

Новый сорт пшеницы мягкой озимой **Песня** внесен в Госреестр в 2023 г. Полукарликовый, среднеранний, отличается высоким иммунологическим статусом к группе болезней различной этиологии: фузариозу колоса, ржавчинам, септориозу, мучнистой росе и твердой головне (таблица 6.23).

Таблица 6.23 - Иммунологическая характеристика сорта пшеницы твёрдой озимой Песня, искусственный инфекционный фон (2017-2019 гг.)

Название болезни	Степень поражения		
	Песня	ГРОМ	Индикатор
Бурая ржавчина, %	30	90	100
Жёлтая ржавчина, %	0	13,3	90
Септориоз, %	10	76,6	90
Мучнистая роса, %	6,6	16,6	90
Фузариоз колоса/зерна, балл	3,6/2,6	7,3/7,3	9/9
Твердая головня, %	4,2	77,1	87,5

Устойчивость к фузариозу колоса и зерна сорт Песня унаследовал от родительских форм – сортов Экспромт и KSWGRS21. Для этого сорта характерно очень позднее проявление симптомов фузариоза колоса, активное

сопротивление эффективными системами защиты от болезни, медленное её нарастание, интенсивная аттракция при созревании. Сорт Песня обладает устойчивостью II типа – не распространение гриба в тканях растения и зерна. Большим преимуществом сорта является его высокая устойчивость к возбудителям твердой головни. На жестком инфекционном фоне при искусственном заражении средняя степень поражения составила 4,2%.

Характеризуется высокой зерновой продуктивностью, максимальная урожайность по предшественнику кукуруза на зерно в 2017 г. достигала 114,8 ц зерна с 1 га. При высоком потенциале зерновой продуктивности формирует высококачественное зерно и относится к сильным пшеницам.

Новый, устойчивый к фузариозу колоса, сорт озимой пшеницы мягкой **Хит** районирован в 2024 г. Высокую устойчивость к фузариозу колоса унаследовал от сортов украинской селекции Экспромт и американской селекции KSWGRS21, которые нами характеризовались как устойчивые на фоне искусственного заражения в течение многих лет. Немаловажным фактором устойчивости к фузариозу колоса является и то, что у полукарликового, среднеспелого сорта Хит рыхлый колос, слабо удерживающий влагу, и узкая листовая пластинка (таблица 6.24).

Таблица 6.24 - Иммунологическая характеристика сорта пшеницы озимой Хит, искусственный инфекционный фон (2018-2020 гг.)

Название болезни	Степень поражения		
	Хит	ГРОМ	Индикаторы
Бурая ржавчина, %	40	90	100
Жёлтая ржавчина, %	6,6	13,3	90
Септориоз, %	20	63,3	83,3
Мучнистая роса, %	8,6	23,3	90
Фузариоз колоса/зерна, балл	3,6/2,3	7,3/6,6	9/8,6
Твердая головня, %	11,4	80	92,3
Пыльная головня, %	0	0	25,9

Обладая высоким уровнем сопротивления болезни сорт Хит сочетает в себе высокий потенциал зерновой продуктивностью с качеством сильной

пшеницы [Новый сорт озимой мягкой пшеницы Хит..., 2024]. Максимальная урожайность сорта зафиксирована в 2017 году по фузариозоопасному предшественнику кукуруза на зерно -116,9 ц зерна с 1 га.

Новый сорт пшеницы твердой озимой **Синьора** создан методом внутривидовой гибридизации и индивидуального отбора в F₂ гибридной популяции, полученной на основе линии собственной селекции Леукурум 3557h39 и сорта пшеницы твердой озимой Амазонка (АНУ «Донской»), которая в течении ряда лет стабильно слабо поражается фузариозом, и мы предполагаем, что устойчивость к этой болезни связана с наличием генетической информации сорта Амазонка. Впервые в истории селекции озимой твердой пшеницы на Кубани создан сорт с уровнем устойчивости к фузариозу колоса, соответствующей лучшим сортам озимой мягкой пшеницы (Прогресс в селекции..., 2024) (таблица 6.25).

Таблица 6.25 - Иммунологическая характеристика сорта пшеницы твёрдой озимой Синьора, искусственный инфекционный фон, НЦЗ им.П.П. Лукьяненко 2016-2018 гг.

Название болезни	Степень поражения сортов		
	Синьора	Крупинка, ст.	Индикаторы
Бурая ржавчина, %	30	43	100
Желтая ржавчина, %	7	17	87
Септориоз, %	8	17	90
Мучнистая роса, %	5	12	90
Фузариоз колоса/зерна, балл	5/4	9/9	9/9
Твердая головня, %	21,4	23,2	89,7
Пыльная головня, %	0	0	24,6

Сорт короткостебельный, устойчивый к полеганию, среднеспелый. Колосится на 2-3 дня раньше стандартного сорта Крупинка. Высоко устойчив к желтой ржавчине, септориозу и мучнистой росе, умеренно устойчив к бурой ржавчине и твердой головне.

Максимальная урожайность сорта Синьора (109,6 ц/га) отмечена при посеве по занятому пару в 2018 г. Показатели зерна и макарон высокие. (таблица 6.26).

Таблица 6.26 – Характеристика озимой мягкой пшеницы твердой озимой Синьора, 2016-2018 гг.

Признак	Синьора	Крупинка
Урожайность, ц/га	90,6	84,4
Содержание белка, %	15,5	14,0
Содержание клейковины, %	33,3	30,5
Стекловидность, %	92	89
Высота растений, см	92	93
Дата колошения, май	10	13

По данным отдела технологии и биохимии зерна при посеве по занятому пару в среднем за 3 года (2016-2018 гг.) содержание белка в зерне составило 15,5%, клейковины в крупке 33,3%, что выше, чем у стандартного сорта Крупинка соответственно на 1,5% и 2,8%. При посеве по предшественнику подсолнечник в среднем за 3 года (2015-2017 гг.) содержание белка в зерне составило 14,3%, клейковины в крупке 30,7%, что выше, чем у стандартного сорта Крупинка соответственно на 0,5% и 2,8%. Одним из важных показателей качества зерна при реализации твердой пшеницы является стекловидность. В среднем за 2016-2018 гг. средняя стекловидность сорта составила 92% с варьированием от 85,0 до 100%.

6.2 Характеристика новых фузариозоустойчивых сортов пшеницы, соавтором которых является соискатель

За период исследований (2006-2023 гг.) создано 11 сортов пшеницы, соавтором которых является соискатель. Они включены в Государственный реестр селекционных достижений России, допущенных к использованию в производстве (таблица 6.27), на них имеются патенты (Приложения).

Таблица 6.27 – Сорты пшеницы, созданные в НЦЗ им. П.П. Лукьяненко, внесенные в Государственный реестр, соавтором которых является соискатель

Сорт	Происхождение	Год передачи в ГСИ	Год включения в Реестр РФ	Устойчивость к фузариозу колоса
Уруп	Дея/91-183a1259	2012	2015	высокая
Антонина	Отзим/94-409a656-2	2013	2016	средняя
Велена	Альмата/Klein Orion//Афина	2014	2017	средняя
Вид	Лига 1/Веда	2014	2017	средняя
Одари	Перлина/1701h335	2014	2017	средняя
Синьора	Амазонка/3557h39	2019	2022	средняя
Лео	Безенчукская 380/Афина//Buck Palenque	2019	2022	высокая
Ядрица	OSU-3910103/Гордеиформе 1717	2019	2022	средняя
Данко	1341я18/ONIX//1707я5/SG-S-5	2020	2023	средняя
Хит	Экспромт, KSWGRS21	2020	2024	высокая
Мадам	94-03яБ5/Экспромт//94-03я5/Айвина	2021	2024	средняя

Сорт пшеницы мягкой озимой **Вид** был выведен путем скрещивания сортов Лига 1 и Веда. С 2017 г. он включен в Государственный реестр селекционных достижений. Колосья этого сорта имеют цилиндрическую форму и среднюю плотность, с характерными остевидными отростками в верхней части. Растения относятся к среднерослым, отличается устойчивостью к полеганию и осыпанию. По срокам созревания сорт Вид является среднеспелым, его вегетационный период на 1-2 дня длиннее, чем у стандартного сорта Память.

Морозостойкость средняя, засухоустойчивость и жаростойкость высокая. Мукомольно-хлебопекарные качества высокие, относится к «сильным» пшеницам. Потенциал зерновой продуктивности около 110 ц зерна с 1 га (таблица 6.28).

Таблица 6.28 – Урожайность сорта Вид, ц/га, 2011 г.

Сорт	Предшественник				Среднее	Отклонение от стандарта
	пар	кукуруза	подсолнечник	пшеница		
Вид	102,8	91,7	94,7	85,4	93,6	5,1
Юка	103,6	84,0	106,1	93,0	96,7	8,2
Память, ст.	91,7	85,3	90,3	86,9	88,5	

Сорт Вид обладает высокой устойчивостью к бурой и желтой ржавчине, септориозу и мучнистой росе. Умеренно восприимчив к стеблевой ржавчине и вирусам. К фузариозу колоса проявляет среднюю восприимчивость. Сорт Вид рекомендован для возделывания в Северо-Кавказском регионе. Оптимальные условия для его выращивания — средний агрофон, а также использование в качестве предшественников колосовых и пропашных культур.

Полукарликовый сорт пшеницы твердой озимой **Одари** районирован в 2017 г. Сорт обладает прочной соломиной, устойчив к полеганию, относится к среднеранней группе спелости. Потенциал урожайности сорта Одари по занятому пару в 2018 г. 107 ц зерна с 1 га, по подсолнечнику в 2017 г. 103 ц зерна с 1 га. Сорт Одари обладает высокими показателями качества макарон, содержание белка в зерне 14,5%, клейковины 29,2%. Среднеустойчив к листовым болезням, поражается фузариозом колоса значительно меньше, чем стандартный сорт и сорт-индикатор восприимчивости (таблица 6.29).

Таблица 6.29 - Иммунологическая характеристика сорта пшеницы твердой озимой Одари, искусственный инфекционный фон (2011-2023 гг.)

Название болезни	Степень поражения		
	Одари	Крупинка	Индикаторы
Бурая ржавчина, %	18,3II	25 III	100 IV
Жёлтая ржавчина, %	3,3	6,6	100
Септориоз, %	0	6,6	80
Мучнистая роса, %	8,6	3,6	83,3
Фузариоз колоса/зерна, балл	6/5	8,6/8,6	9/8,3
Твердая головня, %	18,4	24,2	87,7
Пыльная головня, %	0	0	27,4

Сорт пшеницы твердой озимой Одари обладает иммунитетом к пыльной головне и септориозу, даже в условиях искусственного заражения. Он также имеет высокий уровень сопротивляемости к желтой ржавчине и мучнистой росе, а также умеренную устойчивость к бурой ржавчине и твердой головне.

Для достижения оптимальных результатов выращивания рекомендуется выбирать лучшие предшествующие культуры: черный и занятой пар, многолетние травы, горох, рапс и др. Следует избегать посева после колосовых культур и кукуруза на зерно, так как это может негативно сказаться на урожайности и качестве зерна.

Сорт пшеницы твердой яровой **Ядрица** короткостебельный, при этом высота растений варьирует в зависимости от условий года и достигает в среднем 95 см. Этот среднепоздний сорт начинает выколашиваться и достигает полной зрелости на 2-4 дня позже стандартного сорта Ясенка. Сорт Ядрица показывает значительный потенциал урожайности: за период 2019-2021 гг. средний показатель составил 53,1 ц/га, а максимальная урожайность достигала 72,1 ц/га. Зерно и продукты его переработки, (макаронные изделия), отличаются высокими качественными характеристиками.

Важным преимуществом сорта Ядрица является его устойчивость к различным заболеваниям (таблица 6.30).

Таблица 6.30 - Иммунологическая характеристика сорта пшеницы твердой яровой Ядрица, искусственный инфекционный фон (2017-2019 гг)

Название болезни	Степень поражения			
	Ядрица	Николаша	Вольнодонская	Индикаторы
Буря ржавчина, %	13,3	26,6	36,6	80
Жёлтая ржавчина, %	3,6	16,6	20	70
Септориоз, %	6,6	16,6	20	60
Мучнистая роса, %	13,3	26,6	46,6	63,3
Фузариоз колоса/зерна, балл	3,6/3,3	6,3/5	6/4,6	7/6,3
Твердая головня, %	3,7	8,7	12,5	90,5
Пыльная головня, %	0	0	0	25,3

В условиях искусственного заражения сорт проявляет полную иммунность к пыльной головне, обладает высокой устойчивостью к желтой ржавчине, септориозу и твердой головне. К бурой ржавчине и мучнистой росе сорт Ядрица устойчив, а к фузариозу колоса и зерна — умеренно устойчив, что является важным преимуществом сорта.

Районированный в 2023 г., новый сорт пшеницы мягкой яровой **Данко** характеризуется короткостебельным морфотипом, достигая высоты от 80 до 100 см, что обеспечивает его устойчивость к полеганию. Этот сорт отличается ранним созревaniem, начиная выколашиваться на 3-6 дней раньше яровой пшеницы Курьер. В ходе трехлетних испытаний в полевых условиях сорт Данко отличался высокой урожайностью, достигая 60,8 центнеров зерна с гектара, что на 8 центнеров больше, чем у сорта Курьер. Кроме того, зерно сорта Данко обладает отличными технологическими и хлебопекарными свойствами, что позволяет отнести его к категории «сильной» пшеницы.

Засухоустойчивость и жаростойкость повышенные. В жару флаговые пластинки листа сворачиваются в трубочку, способствуя ее лучшей переносимости. Сорт Данко обладает групповой устойчивостью к листовым болезням, среднеустойчив к фузариозу колоса (таблица 6.31).

Таблица 6.31 - Иммунологическая характеристика сорта Данко, искусственный инфекционный фон (2018-2020 гг.)

Название болезни	Степень поражения			
	Данко	Тая	Курьер	Индикаторы
Бурая ржавчина, %	30	1,6	16,6	90
Желтая ржавчина, %	13,3	16,6	21,6	70
Септориоз, %	20	30	13,3	60
Мучнистая роса, %	6,6	16,6	16,6	66,6
Фузариоз колоса/зерна, балл	4,6/4,6	5,3/4,6	6/5	7/7
Твердая головня, %	64,2	34,2	74,4	80,7
Пыльная головня, %	0	0	0	46,4

В 2023 г. в государственный реестр селекционных достижений был включен новый сорт пшеницы мягкой яровой под названием **Мадам**. Этот сорт отличается короткостебельностью, высота растений варьируется в пределах 75-85 см, что обеспечивает устойчивость к полеганию. Сорт Мадам обладает устойчивостью к ржавчинам и мучнистой росе, при этом умеренно устойчив к септориозу и фузариозу колоса (таблица 6.32).

Таблица 6.32 - Иммунологическая характеристика сорта Мадам, искусственный инфекционный фон (2018-2020 гг.)

Название болезни	Степень поражения			
	Мадам	Тая	Курьер	Индикаторы
Бурая ржавчина, %	11,6	1,6	16,6	90
Желтая ржавчина, %	14,1	16,6	21,6	70
Септориоз, %	26,6	30	13,3	60
Мучнистая роса, %	6,6	16,6	16,6	66,6
Фузариоз колоса/зерна, балл	4/2,6	5,3/4,6	6/5	7/7
Твердая головня, %	32,5	34,2	74,4	80,7
Пыльная головня, %	0	0	0	46,4

Сорт Мадам относится к скороспелым сортам и обладает значительным потенциалом зерновой продуктивности. Наивысший показатель урожайности был зарегистрирован в 2017 г., составив 71,9 центнеров зерна с одного гектара. Зерно данного сорта характеризуется повышенным содержанием белка (примерно 16,0%) и клейковины (более 31%).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Установлено, что за период с 2006 по 2023 гг. в Краснодарском крае в агрофитоценозах озимой пшеницы фузариоз колоса проявлялся систематически и повсеместно, за исключением остро засушливых 2007, 2013 и 2022 гг. В выявленном комплексе грибов, вызывающих поражение колоса и зерна, идентифицировано 6 видов р. *Fusarium*: *F. graminearum*, *F. sporotrichioides*, *F. verticillioides*, *F. culmorum*, *F. cerealis*, *F. tricinctum* с доминированием *F. graminearum*. Из пораженных колосьев выделяли вторичную сапрофитную микрофлору: *Alternaria spp.*, *Penicilium spp.*, *Aspergillus spp.* и др.

2. Скрининг 5877 коллекционных образцов отечественной и иностранной селекции по устойчивости к фузариозу колоса в полевых условиях при искусственной инокуляции обеспечил расширение генетического разнообразия источников и доноров устойчивости. Надежными источниками устойчивости с комплексом хозяйственно-полезных признаков являются образцы пшеницы мягкой озимой: Безенчукская 380, Сплав, Лавина, Черноземка 121 (Россия); Enoia (Болгария); Мирлебен, Смуглянка, Экспромт, Таборца, Солоха (Украина); *Dragana* (Сербия); *Ning7840*, *Xiao Yan 107*, *Zhong Pin 1586* (Китай); TAM 108, *Arapachoe*, *KS 92WGRS 15*, *KS 96WGRS 40* (США); *Buck Palengue* (Аргентина); *Midas*, *Bitop*, *Turanus* (Австрия); *MV Taller*, *MV Vekni*, *MV Kokarda*, *GK Rozi*, *GK Goncol* (Венгрия); *Litera*, *Liman* (Румыния) и др. Среди образцов пшеницы твердой озимой лучшими являются Кристалл 2, Синьора (НЦЗ им. П.П.Лукияненко), Кристелла, Амазонка, Терра, Эйрена (АНЦ «Донской»), *Floridou*, *Core*, *SV-376*, *Reale*, *Sorrento*, *Orobel*, *Isildur*, *Achille* (получены из Италии).

3. За период 2012-2021 гг. для большого количества коллекционных образцов (ежегодно $n=276-422$) нами установлена средняя сопряженность степени поражения зерна со степенью поражения колосковых чешуй фузариозом (в среднем за 10 лет коэффициент корреляции $r=0,65$ при варьировании от 0,38 в

неблагоприятном для развития болезни в 2013 г. до 0,84 в эпифитотийном 2014 г.).

4. Подтверждено, что корреляционная связь между поражением зерна фузариозом и датой колошения (как элемента продолжительности вегетационного периода) – разнонаправленная. Средняя отрицательная связь зафиксирована в 2012, 2016 и 2018 гг. ($r = - 0,60$, $r = - 0,55$, $r = - 0,63$, соответственно); в 2013-2015, 2017, 2019-2021 гг. она была положительной от слабой ($r=0,17$ в 2014 г.) до средней ($r=0,61$ в 2019 г.). Поражение зерна фузариозом и высота растений находятся в слабой отрицательной связи - $r=-0,3$ (в среднем за 2012-2021 гг.) при варьировании от $r=-0,02$ в 2012 г. до $r=-0,55$ в 2016 г.

5. В условиях искусственно созданных эпифитотий изучили устойчивость к фузариозу колоса 22233 селекционных линий озимой пшеницы. В среднем, за 2006-2023 гг., устойчивость проявили 4,6% образцов от общего количества селекционного материала, умеренную устойчивость – 14,6%, умеренную восприимчивость – 24,2%, восприимчивость – 56,6%. Стабильно слабым поражением обладают перспективные линии пшеницы мягкой озимой 2935к1-23, 252-91к11-2 Г8, 4-98к1-4, 99-622а21-1, 99-511аГ13, 2140к64-3, 02-446а29, 08-336а33, 2809к26-1, 1848к2-1, 2940к8, 06-413а51-6, 748-05яв1-59 и др.; пшеницы твердой озимой 4089h94, 4191h95-20-11, 3336h43-17-128, 4383h72, 4428h110, 3551h10-14-1 и др.

6. К сортам с высокой агроэкологической стабильностью и устойчивостью к фузариозу колоса отнесены те, которые с максимальной частотой входили в кластеры устойчивых и среднеустойчивых: Уруп, Сила, Песня, Хит, Лео, Адель, Классика, Безостая 100, Память, Стиль 18, Таня, Таврида.

7. Показано, что гены редукции высоты растений *Rht Rht1*, *Rht8* и их сочетание *Rht1+Rht8* чаще всего способствуют эффективной самозащите от болезни (устойчивые и среднеустойчивые сорта Афина, Кума, Сила, Таулан, Песня, Лео, Дельта, Дея, Творец, Москвич, Память, Хамдан, Классика, Тимирязевка 150 являются короткостебельными и среднерослыми).

Среди сортов со средним уровнем зимостойкости доминируют устойчивые и умеренно устойчивые (53,3% от общего количества).

8. Установлено, что в условиях Северо-Кавказского региона ген *Lr37* слабо эффективен против популяции возбудителя бурой ржавчины, ген *Yr17* детерминирует высокую устойчивость к желтой ржавчине, ген *Sr38* не эффективен против возбудителя стеблевой ржавчины. Показано, что комплекс генов *Lr37/Yr17/Sr38* положительно влияет на устойчивость к септориозу, но одновременно повышает восприимчивость к фузариозу колоса.

9. Изучение донорских свойств образцов мировой коллекции с высокой устойчивостью к фузариозу колоса показало, что лучшими по данному признаку являются *Buck Palenque*, *Xiao Yan107* и *Frontana/Kenya 58*. Гибриды F_1 , полученные с использованием *Buck Palenque*, *Xiao Yan107* и *Frontana/Kenya 58*, проявили реакцию устойчивости к болезни и соответствовали по целевому признаку родительским формам.

10. При изучении 36 гибридов F_1 установлено разнонаправленное наследование устойчивости к фузариозу колоса. При скрещивании устойчивых родителей (*R/R*) преобладает полное доминирование устойчивости. Частичное доминирование преобладает при скрещивании устойчивых и восприимчивых родительских форм (*R/S* или *S/R*). Гибриды F_1 , полученные с родительскими формами *TAM 200*, Патриарх, Краснодарская 6 демонстрируют выраженный гетерозисный эффект повышенной чувствительности к поражению фузариозом колоса, что свидетельствует о доминировании рецессивных аллелей, ответственных за восприимчивость к патогену в изученных генотипах.

11. Созданы новые доноры от скрещивания сортов селекции НЦЗ им.П.П.Лукьяненко (Веда, Дельта, Дея, Есаул, Краснодарская 6, Кума, Таня) с донорами специфической фузариоустойчивости (*Sumai 3*, *Ning 7840*). Микросателлитный маркер *Xgwm533*, сцепленный с локусом *Fhb1* выявлен в 22 линиях, 30 изученных линий несли маркер *Xgwm493*. Присутствие двух маркеров установлено в 16 линиях. Изучены биологические свойства, морфологические и

хозяйственно-полезные признаки новых доноров 170-03f1, 199-05f34, 199-05f27, 421f66, 438f16, 438f29, 429f49.

12. В соавторстве созданы 11 сортов пшеницы, которые внесены в Госреестр селекционных достижений РФ, допущенных к использованию в производстве. Все они защищены патентами.

ПРЕДЛОЖЕНИЯ СЕЛЕКЦИИ И ПРОИЗВОДСТВУ

1. Для эффективной селекционной работы по созданию фузариозоустойчивых сортов необходим постоянно действующий в полевых условиях жесткий искусственный инфекционный фон.

2. Использовать генофонд сортов селекции НЦЗ им. П.П. Лукьяненко, которые являются надежными источниками устойчивости с высокими продуктивностью, общей адаптивностью и сортообразующей способностью: Дельта, Адель, Дея, Уруп, Память, Лебедь, Старшина, Сила, Алексеич, Тимирязевка 150, Таня, Ольхон, Гурт, Афина, Велена, Лео, Хамдан, Таулан, Стиль 18, Песня, Хит, Школа, Таврида.

3. Надежными источниками устойчивости с комплексом хозяйственно-полезных признаков являются коллекционные образцы пшеницы мягкой озимой: Безенчукская 380, Сплав, Лавина, Черноземка 121 (Россия); *Enola* (Болгария); Мирлебен, Смуглянка, Экспромт, Таборца, Солоха (Украина); *Dragana* (Сербия); *Ning7840*, *Xiao Yan 107*, *Zhong Pin 1586* (Китай); *TAM 108*, *Arapachoe*, *KS 92WGRS 15*, *KS 96WGRS 40* (США); *Buck Palengue* (Аргентина); *Midas*, *Bitop*, *Turanus* (Австрия); *MV Taller*, *MV Vekni*, *MV Kokarda*, *GK Rozi*, *GK Goncol* (Венгрия); *Litera*, *Liman* (Румыния) и др., пшеницы твердой озимой: Кристалл 2, Синьора (НЦЗ им. П.П.Лукьяненко), Кристелла, Амазонка, Терра, Эйрена (АНЦ «Донской»), *Floridou*, *Core*, *SV-376*, *Reale*, *Sorrento*, *Orobel*, *Isildur*, *Achille* (получены из Италии); перспективные линии пшеницы мягкой озимой 2935к1-23, 252-91к11-2 Г8, 4-98к1-4, 99-622а21-1, 99-511аГ13, 2140к64-3, 02-446а29, 08-336а33, 2809к26-1, 1848к2-1, 2940к8, 06-413а51-6, 748-05яв1-59 и др.; пшеницы

твердой озимой 4089h94, 4191h95-20-11, 3336h43-17-128, 4383h72, 4428h110, 3551h10-14-1 и др.; новые доноры специфической устойчивости 170-03f1, 199-05f34, 199-05f27, 421f66, 438f16, 438f29, 429f49.

4. Для оптимизации и стабилизации фитосанитарной обстановки в агроэкосистемах по заболеванию, способному вызывать чрезвычайные ситуации в стране, рекомендуем шире возделывать в фузариозоопасных зонах и агроэкологических условиях с высоким инфекционным потенциалом грибов р. *Fusarium* устойчивые сорта: Адель, Ахмат, Уруп, Сила, Алексеич, Тимирязевка 150, Таня, Гурт, Велена, Вызов, Классика, Лео, Хамдан, Таулан, Стиль 18, Песня, Хит, Школа, Таврида, Буран 88, Цаца, Мадам, Нонна, Донбасс, Дюна и др.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аблова, И.Б. Устойчивость озимой пшеницы к фузариозу колоса и возможности ее повышения селекционно-иммунологическими методами: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 06.01.11 / Аблова Ирина Борисовна. – Краснодар, 1998. – 24с.
2. Аблова, И.Б. Исходный материал для селекции озимой мягкой пшеницы на устойчивость к фузариозу колоса в Краснодарском крае / И.Б. Аблова, Т.И. Грицай // Пшеница и тритикале. – Краснодар, 2001. – С.337–351.
3. Аблова, И.Б. Влияние степени поражения зерна озимой мягкой пшеницы фузариозом на технологические и хлебопекарные качества / И.Б. Аблова, Л.А. Беспалова, С.А. Тараненко // Пути повышения и стабилизации производства высококачественного зерна: сб. докл. междунар. науч. -практ. конф. – Краснодар, 2002. – С. 27–36.
4. Аблова, И.Б. Методические аспекты создания искусственного инфекционного фона по фузариозу колоса озимой пшеницы / И.Б. Аблова, С.А. Тараненко // Эволюция научных технологий в растениеводстве. – 2004. – №1. – С.382-390.
5. Аблова, И.Б. Принципы и методы создания сортов пшеницы, устойчивых к болезням (на примере фузариоза колоса), и их роль в становлении агроэкосистем: дис. ... д-ра сел.-хоз. наук: 06.01.05 / Аблова Ирина Борисовна. – Краснодар, 2008 а. – 498 с.
6. Аблова, И.Б. Модель сорта озимой пшеницы Северо-Кавказского экотипа, устойчивого к фузариозу колоса /И.Б. Аблова// Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. – 2008 б. – №2. – С. 45-47.
7. Аблова, И.Б. Влияние транслокации от *aegilops ventricosa* (1r37yr17sr38) на устойчивость пшеницы к болезням / И.Б. Аблова, А.С. Тархов // В сборнике: Наследие академика Н.В. Цицина: Ботанические сады. Отдаленная гибридизация растений и животных. Материалы Всероссийской научной

- конференции с международным участием, посвященной 125-летию академика Н.В. Цицина, Москва. - 2023. - С. 117-120.
8. Абрамов, И.Н. Болезни сельскохозяйственных растений Дальнего Востока / И.Н. Абрамов. – Хабаровск: Дальгиз, 1938. – 292 с.
 9. Агаев, Р.А.О. Изменение типа цветения в процессе селекции на урожайность и его влияние на сортовую чистоту пшеницы и тритикале: автореф. дисс. ... канд. биол. наук: 06.01.05 / Рахман Агарза Оглы Агаев. – Краснодар, 2020 – 24с.
 10. Адамовская, В.Г. Содержание ингибитора трипсина в зерне озимой пшеницы в зависимости от устойчивости к фузариозу / В.Г. Адамовская, Е.А. Ключковская, Н.А. Литвиненко // Научно-технический бюллетень, ВСГИ. – Одесса, 1992. – 2 (82). – С.60–64.
 11. Афанасенко, О.С. Проблемы рационального использования генетических ресурсов устойчивости растений к болезням / О.С. Афанасенко, К.В. Новожилов // Экологическая генетика. – 2009. – Т. 7. – № 2. – С. 38–43.
 12. Билай, В.И. Фузариозы / В.И. Билай. – Киев: Наукова думка, 1977. – 444 с.
 13. Биология взаимоотношений грибов рода *Fusarium* и насекомых / Т.Ю. Гагкаева, И.В. Шамшев, О.П. Гаврилова [и др.] // Сел.-хоз. биология. – 2014. – № 3. – С.13–23.
 14. Боровик, А.Н. Новый сорт озимой мягкой пшеницы Адель / А.Н. Боровик, Ю.Г. Левченко // Научное обеспечение агропромышленного комплекса. Материалы V всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, Краснодар. – 22-24 ноября, 2011 г. – С. 6-77.
 15. Буга, С.Ф. Видовой состав грибов р. *Fusarium*, встречающихся в агрофитоценозах озимых зерновых культур / С.Ф. Буга // Изв. Акад. аграр. наук Респ. Беларусь. – 2000. – №3. – С.43–46.
 16. Буркин, А.А. Токсинообразующая способность штаммов *Fusarium poae* из зерна хлебных злаков Восточно-Сибирского и Дальневосточного регионов / А.А. Буркин, Н.А. Соболева, Г.П. Кононенко // Микология и фитопатология. – 2008. – Т.42. – № 4. – С.354–358.

17. Вавилов, Н.И. Избранные труды / Н.И. Вавилов. - М.: 1964. – Т. 4. – С.430-483.
18. Видовое соотношение возбудителей корневой гнили и болезней колоса в посевах пшеницы в Оренбургской области /А.В. Овсянкина, Г.В. Сударенков, А.И. Андреев [и др.] // RJOAS.– № 1(61).– 2017.– С.276–281.
19. Возможности биодegradации микотоксинов, образуемых грибами рода *Fusarium* / Т.Ю. Гагкаева, О.П. Гаврилова, И.Н. Никонов [и др.] // Микология сегодня. –Том3. – 2016. – С.202–238.
20. Воронин, М.С. О "пьяном хлебе" в Южно-Уссурийском крае /М.С. Воронин // Ботанич.записки. – СПб., 1890. – 92. –Т.3. –вып. 1. – С.13-21.
21. Гаврилова, О.П. Зараженность зерна овса грибами *Fusarium* и *Alternaria* и ее сортовая специфика в условиях Северо-Запада России / О.П.Гаврилова, Ф.Б. Ганнибал, Т.Ю. Гагкаева // Сел.-хоз. биология.–2016. –№ 1. – С.111–116.
22. Гагкаева Т.Ю. Эколого-популяционные исследования гриба *Fusarium graminearum* Schwabe и фузариозоустойчивость пшениц и эгилопсов: автореф. канд. дисс. ... канд. биол. наук: 06.01.11/ Татьяна Юрьевна Гагкаева. – СПб., 1994. – 24 с.
23. Гагкаева, Т.Ю. Устойчивость пшеницы к фузариозу колоса: достижения и перспективы / Т.Ю. Гагкаева, М.М. Левитин // Типы устойчивости растений к болезням. Мат-лы научн. семинара. – СПб.: ВИЗР, 2003. – С.83–96.
24. Гагкаева, Т.Ю. Фитопатогенный гриб *Fusarium cerealis* на территории России/ Т.Ю. Гагкаева // Микология и фитопатология. – 2009. – Т.43. – вып.4. – С.331–342.
25. Гагкаева, Т.Ю. Фузариоз зерновых культур / Т.Ю. Гагкаева, О.П. Гаврилова // Защита и карантин растений. – 2009. – № 12. –С.13–15.
26. Гагкаева, Т.Ю. Классификация грибов рода *Fusarium* – Дискуссия длиною в двести лет / Т.Ю. Гагкаева // Микология сегодня. – 2011. – Т.2. – С.14–29.
27. Гагкаева, Т.Ю. Особенности поражения овса фузариозом / Т.Ю. Гагкаева, О.П. Гаврилова // Сел.-хоз. биология. – 2011. – № 6. – С.3–10.

28. Гагкаева, Т. Ю. Зараженность зерна пшеницы грибами *Fusarium* и *Alternaria* на юге России в 2010 году /Т.Ю. Гагкаева, Ф.Б. Ганнибал, О.П. Гаврилова // Защита и карантин растений. – 2012 а. –№ 1. – С.37–41.
29. Гагкаева, Т.Ю. Микробиота зерна – показатель его качества и безопасности /Т.Ю. Гагкаева, А.П. Дмитриев, В.А. Павлюшин// Защита и карантин растений. – 2012 б. –№ 9. –С.14–18.
30. Гагкаева, Т.Ю. Зараженность зерна грибами *Fusarium* в Краснодарском и Ставропольском краях / Т.Ю. Гагкаева, О.П. Гаврилова // Защита и карантин растений. – 2014. – № 3. - С.30–32.
31. Гагкаева, Т.Ю. Фузариозная инфекция и контаминация микотоксинами зерна сортов ярового ячменя / Т.Ю. Гагкаева, О.П. Гаврилова // Вестник защиты растений.– 2017.– №3.–С. 39–43.
32. Гагкаева, Т.Ю. Хорошая новость - грибы микродохиум не продуцируют микотоксины! /Т.Ю. Гагкаева, О.П. Гаврилова, А.С. Орина // Защита и карантин растений. – 2017а. – № 5. – С.9–13.
33. Гагкаева, Т.Ю. Первое обнаружение гриба *Fusarium globosum* в микобиоте зерновых культур на территории Урала и Сибири / Т.Ю. Гагкаева, О.П. Гаврилова, А.С. Орина // Вестник защиты растений. – 2019 а. – 1(99). – С.10–18.
34. Гагкаева, Т.Ю. Актуальная информация о видовом составе грибов рода *Fusarium* на зерновых культурах в России / Т.Ю. Гагкаева, О.П. Гаврилова, А.С. Орина // Фитосанитарные технологии в обеспечении независимости и конкурентоспособности АПК России: сборник тезисов докладов. – СПб.: ФГБНУ ВИЗР, 2019 б. – С.68.
35. Генетическая устойчивость пшеницы к фузариозу и ее связь с активностью ингибитора трипсина в зерне / Н.А. Литвиненко, В.Г. Адамовская, О.О. Молодченкова [и др.] // Цитология и генетика. – 2002. – Т.36. – № 2. – С.30–34.

36. Генетический полиморфизм российской популяции продуцентов фузариотоксинов / А.А. Стахеев, Л.В. Самохвалова, Д.Ю. Рязанцев [и др.] // Успехи медицинской микологии. – 2016. – Т.16. – С.229–235.
37. Гешеле, Э.Э. Основы фитопатологической оценки в селекции растений / Э.Э. Гешеле. – Москва: Колос, 1978. –206 с.
38. Гонтаренко, О.В. Устойчивость пшеницы к фузариозу колоса на юге Украины / О.В. Гонтаренко, Л.Т. Бабаянц // Доклады РАСХН. – 1992. – № 9. –10. – С. 6–10.
39. Горьковенко, В.С. Вредоносность гриба *Microdochium nivale* в агроценозе озимой пшеницы / В.С. Горьковенко, Л.А. Оберюхтина, Е.А. Куркина // Защита и карантин растений. – 2009. – №1. – С.34-35.
40. Горьковенко, В.С. Фузариозная инфекция в зернотравянопропашном севообороте в Краснодарском крае / В.С. Горьковенко, И.И. Бондаренко, А.Ю. Соловьева // Агротехнический метод защиты растений от вредных организмов: тезисы докл. VIII Междунар. науч.-практ. конф. (Краснодар, 19-23 июня 2017 г.). – Краснодар, 2017. – С.110–114.
41. Грушко, Г.В. Характеристики и условия распространения фузариоза колоса на посевах озимой пшеницы южных регионов России / Г.В. Грушко, С.Н. Линченко, В.В. Хан // Современные проблемы науки и образования. – 2005. – №2. – С.70.
42. Гулятьева, Е.И. Методы идентификации генов устойчивости пшеницы к бурой ржавчине с использованием ДНК-маркеров и характеристика эффективности *Lr*-генов. / Е.И. Гулятьева // Санкт-Петербург. - 2012. - С.71.
43. Доспехов, Б.А. Методика полевого опыта /Б.А. Доспехов. - М.: Колос, 1985. – 416 с.
44. Загрязнение фузариотоксинами различных по толерантности к *Fusarium graminearum* Schwabe сортов озимой пшеницы и пути его сокращения. Сообщение 3. Обоснование количественных критериев и оценок для отбора образцов пшеницы, устойчивых к фузариозу колоса / Л.К. Анпилогова, И.А. Сидоров, Е.А. Есауленко [и др.] // Агрехимия. – 1996. – № 10. – С. 100–104.

45. Зараженность грибами рода *Fusarium* и контаминация микотоксинами зерна овса и ячменя на севере Нечерноземья / О.П. Гаврилова, Т.Ю. Гагкаева, А.А. Буркин [и др.] // Сел.-хоз. биология.– 2009 а. –№ 6. – С.89–93.
46. Зараженность зерна и видовой состав грибов рода *Fusarium* на территории РФ в 2004–2006 гг. / Т.Ю. Гагкаева, М.М. Левитин, С.С. Санин [и др.] // Агро XXI, 2009. –№ 4–6. – С.3–5.
47. Захаренко, В. А. Микотоксины / В.А. Захаренко // Защита растений. – 1993. – №9.
48. Иванченко, М.Я. Фузариоз колоса пшеницы и его вредоносность в условиях Северо-Осетинской АССР / М.Я. Иванченко // Тр. Сев.-Осет.с.-х. ин-та. – Орджоникидзе, 1960. – т. 21. – С.83–84.
49. Иващенко, В.Г. Географическое распространение и особенности биоэкологии *Fusarium graminearum* Schwabe / В.Г. Иващенко, Л.А. Назаровская // Микология и фитопатология. – 1998. – Т.32. – вып.5. – С.1–10.
50. Иващенко, В.Г. Видовой состав грибов рода *Fusarium* на злаках в азиатской части России / В.Г.Иващенко, Н.П.Шипилова, М.М.Левитин // Микология и фитопатология. – 2000. – Т.34. – вып.4. – С. 54-58.
51. Иващенко, В.Г. Фузариоз колоса хлебных злаков / В.Г. Иващенко, Н.П. Шипилова, Л.А. Назаровская. – СПб:ВИЗР, 2004. – 164 с.
52. Иващенко, В.Г. Фузариоз колоса пшеницы и початков кукурузы: устойчивость как базисная стратегия защиты /В.Г. Иващенко // Фитосанитарное оздоровление экосистем: материалы 2-го Всерос. съезда по защите растений. –Том 1. – СПб, 2005. – С. 454–456.
53. Иващенко, В.Г. Концепция развития фузариоза колоса / В.Г. Иващенко, Н.П. Шипилова // Фитосанитарное оздоровление экосистем: материалы 2-го Всерос. съезда по защите растений. –Том 1. – СПб, 2005. - С. 457-460.
54. Иващенко, В.Г. Совершенствование системы оценок кукурузы на устойчивость к засухе и фузариозу початков /В.Г. Иващенко, Е.Ф. Сотченко, Ю.В. Сотченко// Вестник защиты растений. – 2006. – №1. – С.16–20.

55. Иващенко, В.Г. Болезни кукурузы фузариозной этиологии: основные причины и следствия / В.Г. Иващенко // Вестник защиты растений. - 2012. – №4. – С.39–43.
56. Источники устойчивости яровой пшеницы к корневым гнилям / А.И. Кинчаров, Е.А. Демина, О.Ф. Абдряева [и др.] // Защита и карантин растений. – 2012. – №7. – С.22-24.
57. Карайванов, П. Фузариоз – опаснейшее заболевание зерновых и кормовых культур / П. Карайванов // Защита растений. – 2020. – №2(291). – С.22-29.
58. Квашнина, Е.С. Фузариоз пшениц в Азово-Черноморском крае / Е.С.Квашнина // Известия Ростовской станции защиты растений. – Ростиздат, 1938. – № 9. – С. 36–86.
59. Кириченко, К.С. Почвы Краснодарского края / К.С. Кириченко. – Краснодар: Крайгосиздат, 1952. – 239 с.
60. Ключковская, Е.А. Эколого-биохимическая характеристика *Fusarium* spp. на озимой пшенице в причерноморской степи Украины // Микология и фитопатология. – 1999. – Т.33. – № 4. –С.280–289.
61. Комарова, С.В. Почвы селекционного севооборота КНИИСХ и рекомендации по их использованию / С.В. Комарова. – Краснодар: Росгипрозем, 1973. –32 с.
62. Кононенко, Г.П. Достижения и перспективы аналитических исследований в микотоксикологии / Г.П. Кононенко, А.А. Буркин // Труды ВНИИВСГЭ. – 2003. – № 115. – С. 157–172.
63. Кошелева, А.Б. Современные методы защиты семян сельскохозяйственных культур от болезней: монография /А.Б. Кошелева, Т.С. Нижарадзе. – Самара, 2008. –210 с.
64. Крупенько, Н.А. Видовой состав грибов-возбудителей корневой гнили озимой пшеницы в Беларуси / Н.А. Крупенько //Фитосанитарные технологии в обеспечении независимости и конкурентоспособности АПК России: сборник тезисов докладов. – СПб.: ФГБНУ ВИЗР, 2019. –39 с.

65. Крючкова, Л.О. Возбудители фузариоза колоса / Л.О. Крючкова, Л.В. Райчук, С.В. Михайленко // Захистрослин. – 2001. – № 36. – С.12–13.
66. Лактионова, Н.В. Основные микозы колоса озимой пшеницы и совершенствование мер борьбы с ними в северной зоне Краснодарского края: автореф. дис. ... канд.с.-х.наук: 06.01.11 / Наталья Владимировна Лактионова; КубГАУ. – Краснодар, 1999. –30 с.
67. Левитин, М.М. Сравнительный анализ популяций *Fusarium graminearum* Schwabe, выделенных с разных органов озимой пшеницы / М.М. Левитин, Т.Ю. Гагкаева // Микология и фитопатология. – 1991. - № 1. – С.73–79.
68. Левитин, М.М. Фузариоз колоса зерновых культур / М.М. Левитин // Защита и карантин растений. – 2002. – № 1. – С.118–129.
69. Леонов, А.Г. Содержание трихотеценов в колосьях и соломе пшеницы сорта Обрий, пораженной фузариозом, в момент уборки / А.Г. Леонов, Т.П. Кононенко, Н.А. Соболева // Микология и фитопатология. – 1989. – Т.23. — № 2. – С.147–151.
70. Лукьяненко, П.П. Методы и результаты селекции озимой пшеницы / П.П. Лукьяненко. – Научные труды Краснодар. НИИСХ. – 1966. – № 6. – с. 48–53.
71. Малиновская, Л.С. Выявление доминантных видов рода *Fusarium* в зерне из различных регионов РФ / Л.С. Малиновская, Е.А. Пирязева, О.С. Кислякова // Успехи медицинской микологии. Материалы Второго Всероссийского Конгресса по медицинской микологии. – 2004. - № 3. – С.278–280.
72. Методика селекции и оценки устойчивости пшеницы и ячменя к болезням в странах-членах СЭВ / Л.Т. Бабаянц, А Мештерхази, Ф Вехтер [и др.] – Прага: Координационный центр, 1988. – С.219, 231.
73. Мустафина, М.А. Защита от фузариоза колоса – определяющий фактор качества зерна / М.А. Мустафина, А.Н. Таракановский // Защита и карантин растений. – 2018. – №5. – С.14–16.
74. Наумов, Н.А. Пьяный хлеб. Наблюдения над несколькими видами рода *Fusarium* / Н.А. Наумов. – Петроград: труды бюро по микологии и фитопатологии ученого комитета, 1916. –216 с.

75. Наумова, Н.А. Анализ семян на грибную и бактериальную инфекцию / Н.А. Наумова. – М., 1970. –208 с.
76. Новые источники и доноры устойчивости к фузариозу колоса пшеницы / И.Б. Аблова, А.С. Тархов, Э.Р. Давоян [и др.] // Генетический потенциал и его реализация в селекции, семеноводстве и размножении растений: сборник статей по материалам всероссийской научно-практической конференции / ответственный за выпуск Г.Л. Зеленский. – Краснодар: КубГАУ, 2018. – С.9.
77. Новый сорт озимой мягкой пшеницы Хит - успех в селекции на устойчивость к фузариозу колоса и твердой головне / А.Н. Боровик, Л.А. Беспалова, И.Б. Аблова, Ю.Г. Левченко, А.С. Тархов [и др.] // В книге: V Всероссийский конгресс по защите растений. Сборник тезисов докладов. Посвящается 300-летию Российской академии наук, Санкт-Петербург. – 2024 г. – С. 290.
78. Обзор фитосанитарного состояния посевов сельскохозяйственных культур в Российской Федерации в 2006 году и прогноз развития вредных объектов в 2007 году, Минсельхоз РФ, ФБГУ «Российский сельскохозяйственных центр», Москва, 2006 г. – С.40.
79. Обзор фитосанитарного состояния посевов сельскохозяйственных культур в Российской Федерации в 2007 году и прогноз развития вредных объектов в 2008 году, Минсельхоз РФ, ФБГУ «Российский сельскохозяйственных центр», Москва, 2007 г. – С.36.
80. Обзор фитосанитарного состояния посевов сельскохозяйственных культур в Российской Федерации в 2008 году и прогноз развития вредных объектов в 2009 году, Минсельхоз РФ, ФБГУ «Российский сельскохозяйственных центр», Москва, 2008 г. – С.42.
81. Обзор фитосанитарного состояния посевов сельскохозяйственных культур в Российской Федерации в 2009 году и прогноз развития вредных объектов в 2010 году, Минсельхоз РФ, ФБГУ «Российский сельскохозяйственных центр», Москва, 2009 г. – С.63.

82. Обзор фитосанитарного состояния посевов сельскохозяйственных культур в Российской Федерации в 2011 году и прогноз развития вредных объектов в 2012 году, Минсельхоз РФ, ФБГУ «Российский сельскохозяйственных центр», Москва, 2011 г. – С.63.
83. Обзор фитосанитарного состояния посевов сельскохозяйственных культур в Российской Федерации в 2012 году и прогноз развития вредных объектов в 2013 году, Минсельхоз РФ, ФБГУ «Российский сельскохозяйственных центр», Москва, 2012 г. – С.66.
84. Обзор фитосанитарного состояния посевов сельскохозяйственных культур в Российской Федерации в 2014 году и прогноз развития вредных объектов в 2015 году, Минсельхоз РФ, ФБГУ «Российский сельскохозяйственных центр», Москва, 2014 г. – С.66.
85. Обзор фитосанитарного состояния посевов сельскохозяйственных культур в Российской Федерации в 2015 году и прогноз развития вредных объектов в 2016 году, Минсельхоз РФ, ФБГУ «Российский сельскохозяйственных центр», Москва, 2015 г.
86. Обзор фитосанитарного состояния посевов сельскохозяйственных культур в Российской Федерации в 2016 году и прогноз развития вредных объектов в 2017 году, Минсельхоз РФ, ФБГУ «Российский сельскохозяйственных центр», Москва, 2016 г. – С.331.
87. Обзор фитосанитарного состояния посевов сельскохозяйственных культур в Российской Федерации в 2018 году и прогноз развития вредных объектов в 2019 году, Минсельхоз РФ, ФБГУ «Российский сельскохозяйственных центр», Москва, 2018 г. – С.332.
88. Обзор фитосанитарного состояния посевов сельскохозяйственных культур в Российской Федерации в 2019 году и прогноз развития вредных объектов в 2020 году, Минсельхоз РФ, ФБГУ «Российский сельскохозяйственных центр», Москва, 2019 г. – С.339.
89. Обзор фитосанитарного состояния посевов сельскохозяйственных культур в Российской Федерации в 2020 году и прогноз развития вредных объектов

- в 2021 году, Минсельхоз РФ, ФБГУ «Российский сельскохозяйственных центр», Москва, 2020 г. – С.351.
90. Обзор фитосанитарного состояния посевов сельскохозяйственных культур в Российской Федерации в 2021 году и прогноз развития вредных объектов в 2022 году, Минсельхоз РФ, ФБГУ «Российский сельскохозяйственных центр», Москва, 2021 г. – С.342.
91. Обзор фитосанитарного состояния посевов сельскохозяйственных культур в Российской Федерации в 2022 году и прогноз развития вредных объектов в 2023 году, Минсельхоз РФ, ФБГУ «Российский сельскохозяйственных центр», Москва, 2022 г. – С.599.
92. Обзор фитосанитарного состояния посевов сельскохозяйственных культур в Российской Федерации в 2023 году и прогноз развития вредных объектов в 2024 году, Минсельхоз РФ, ФБГУ «Российский сельскохозяйственных центр», Москва, 2023 г. – С.520, 526.
93. Образование растениями озимой пшеницы фунгистатических соединений / И.А. Сидоров, Т.М. Сидорова, И.Б. Аблова [и др.] // Агрохимия. – 1996. – № 8–9. – С.103–106.
94. О накоплении зеараленона в травяных кормах и токсинообразующей активности грибов рода *Fusarium*/ А.А. Буркин, Г.П. Кононенко, О.П. Гаврилова [и др.] // Сел.-хоз. биология.– 2015. –Т. 50. –№ 2. – С.255–262.
95. Особенности образования дезоксиниваленола и зеараленона в зерне пшеницы, пораженной фузариозом колоса / Л.С. Львова, О.И. Кизленко, А.П. Шульгина [и др.] // Микология и фитопатология. – 1997. –Т.31. – № 6. – С.52–58.
96. Оценка устойчивости образцов различных видов пшениц к фузариозу колоса / Т.Ю. Гагкаева, Р.Л. Богуславский, Л.А. Михайлова [и др.] // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. – 1993. – Т.147. – С.27–32.
97. Оценка хлебопекарных качеств зерна озимой ржи по вязкости водного экстракта / А.А. Гончаренко, Р.Р., Исмагилов, И.С. Беркутова [и др.] // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. – 2005. – №1. –

- С.6–9.
98. Оценка агрессивности видов грибов – возбудителей корневой гнили пшеницы / А.П. Дмитриев, Т.Ю. Гагкаева, О.П. Гаврилова [и др.] // Вестник защиты растений. – 2013. – №4. – С.43–48.
99. Павлова, Г.В. Фузариоз колоса пшеницы в Краснодарском крае / Г.В. Павлова, А.Г. Измалкова // Защита растений. – 1995. – № 11. –С. 28-29.
100. Пальчевский, Н.А. Болезни культурных злаков Южно-Уссурийского края /Н.А. Пальчевский. – СПб, 1891. –С.40.
101. Пато- и токсиногенез фузариоза колоса: возможные пути решения проблемы / В.И. Терехов, М.С. Соколов, Е.И. Глебов [и др.] // Агрехимия. – 2000. – № 1. – С. 53–65.
102. Подходы в селекции на устойчивость к фузариозу колоса в Краснодарском НИИСХ им. П.П. Лукьяненко / Ф.А. Колесников, И.Б. Аблова, Л.А. Беспалова [и др.] // Пшеница и тритикале: материалы науч. - практ. конф. «Зеленая революция П.П. Лукьяненко». – Краснодар: Советская Кубань, 2001. – С. 318 – 329.
103. Подходы и достижения в селекции озимой мягкой пшеницы на устойчивость к болезням в Краснодарском НИИСХ им. П.П. Лукьяненко /Л.А. Беспалова, И.Б. Аблова, И.Н. Кудряшов [и др.] // Фитосанитарное оздоровление экосистем: материалы II Всероссийского съезда по защите растений. – СПб., 2005. – Том 1. – С. 402 – 405.
104. Применение молекулярных маркеров в селекции пшеницы в Краснодарском НИИСХ им. П.П. Лукьяненко / Л.А. Беспалова, А.В. Васильев, И.Б. Аблова [и др.] // Вавиловский журнал генетики и селекции. – 2012. – Т. 16. – № 1. – С.37–43.
105. Принципы и методы селекции пшеницы на устойчивость к болезням в КНИИСХ им. П.П. Лукьяненко / И.Б. Аблова, Л.А. Беспалова, Ф.А. Колесников, Г.Д. Набоков, В.Я. Ковтуненко, В.А. Филобок, Р.О. Давоян, Ж.Н. Худокормова, Л.М. Мохова, Ю.Г. Левченко, А.С. Тархов // Зерновое хозяйство России. – 2016. – № 5. – С.32-36.

106. Прогресс в селекции озимой твердой пшеницы (*Triticum durum* Desf.) на устойчивость к фузариозу колоса / И.Б. Аблова, А.С. Тархов, А.А. Мудрова, А.С. Яновский // Материалы 2-ой тематической научной конференции: «Твердая пшеница: генетика, биотехнология, селекция, семеноводство, технологии выращивания и переработки». ФГБНУ ВНИИСБ, 11-13 ноября., Москва. - 2024. - С.6-8.
107. Проничева, Л.Л. Фузариоз пшеницы в Азово-Черноморском крае в 1934 году и оценка его вредоносности / Л.Л.Проничева // Защита растений. – 1935. – № 9. –С.129–137.
108. Радченко, Е. Е. Изучение генетических ресурсов зерновых культур по устойчивости к вредным организмам: метод. пособие/под ред. Е. Е. Радченко. –М.: Россельхозакадемия, 2008.– С.172–178.
109. Райлло, А.И. Грибы рода *Fusarium* / А.И. Райлло. – М., 1950. – 416 с.
110. Рекомендации по микотоксикологическому контролю фузариозного зерна фуражного назначения /Г.П. Кононенко, Л.С. Малиновская, Е.А. Пирязева [и др.] // Ветеринарный консультант. –2005.– № 23–24. –С.3–10.
111. Сантин, Е. Рост плесеней и формирование микотоксинов. Микотоксины и микотоксикозы/ Е. Сантин: под ред. Дуарте Диаза. –М.: Печатный Город, 2006.– С.71–82.
112. Селекция пшеницы и тритикале на устойчивость к особо вредоносным болезням в северо-кавказском регионе / И.Б. Аблова, Л.А. Беспалова, О.Ю. Пузырная, А.Н. Боровик, Г.Д. Набоков, В.А. Филобок, Л.М. Мохова, Ю.Г. Левченко, А.С. Тархов // В книге: V Всероссийский конгресс по защите растений. Сборник тезисов докладов. Посвящается 300-летию Российской академии наук, Санкт-Петербург. – 2024. - С. 286.
113. Сидорова, Т.М. Активность гликолитических ферментов и фенилаланинаммиаклиазы у сортов пшеницы с различной степенью устойчивости к фузариозу колоса / Т.М. Сидорова, И.А. Сидоров // Доклады РАСХН. – 2000. – № 6. – С.10–11.

114. Соколов, М.С. Исследования СКНИИФ по эпифитотиологии фузариоза колоса и фузариотоксиногенезу / М.С. Соколов // Фузариоз колоса зерновых злаковых культур: Тезисы докл. науч.-коорд. совещ. / Краснодар, 1992. - с. 4-7.
115. Соколов, М.С. Агротехногенные факторы минимизации вредоносности фузариоза колоса пшеницы / М.С. Соколов, Л.В. Коломбет // Агрохимия. – 2007. – №12. – С.63–80.
116. Соколова, Г.Д. Патогенность *Fusarium graminearum* и *F. culmorum* и резистентность зерновых культур / Г.Д. Соколова // Микология и фитопатология. – Т.39. – 2005. – №5. – С.1–11.
117. Соколова, Г.Д. Молекулярно-генетические аспекты устойчивости пшеницы к инфицированию колоса *Fusarium graminearum* / Г.Д. Соколова, А.П. Глинушкин // Микология и фитопатология. – Т.50. – 2016. – №4. – С.207–217.
118. Сорты пшеницы и тритикале для органического сельского хозяйства на юге РФ / И.Б. Аблова, Л.А. Беспалова, В.А. Филобок, А.Н. Боровик, О.Ю. Пузырная, В.Я. Ковтуненко, А.А. Мудрова, Ю.Г. Левченко, Л.М. Мохова, А.С. Тархов // В книге: Международный Конгресс "VIII Съезд Вавиловского общества генетиков и селекционеров, посвященный 300-летию российской науки и высшей школы". Сборник тезисов, Санкт-Петербург. - 2024. - С. 601.
119. Способ определения степени поражения зерновых культур фузариозом / В.П. Крищенко, О.И. Лакалина, В.Г. Ефремцев [и др.] 1644755. – СССР, 1989.
120. Способность сортов пшеницы, тритикале и ячменя накапливать в зерне фузариотоксины / О.А. Монастырский, Н.Н. Алябьева, Л.Н. Шубина [и др.] // Защита растений. – 2007. – №10. – С.19–214.
121. Тархов, А.С. Видовой полиморфизм грибов рода *Fusarium* – возбудителей фузариоза колоса пшеницы в краснодарском крае / А.С. Тархов, И.Б. Аблова, А.П. Бойко // В сборнике: Иммуногенетическая защита

- сельскохозяйственных культур от болезней: теория и практика Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 125-летию со дня рождения Н.И. Вавилова. Большие Вяземы, Московская обл.– 2012.– С.101–105.
122. Тарчевский, И.А. Молекулярные аспекты фитоиммунитета / И.А. Тарчевский, В.М. Чернов // Микология и фитопатология. –2000.– Т.34. – вып.3. –С.1–10.
123. Тарчевский, И.А. Патогениндуцируемые белки растений / И.А. Тарчевский // Прикл. биохимия и микробиология. – 2001. – Т.37. – №5. – С.517–532.
124. Токсигенность изолятов *Fusarium graminearum* Shhw. из зерна фузариозной пшеницы в Краснодарском крае / А.Г. Леонов, Л.С. Малиновская, Н.А. Соболева [и др.] // Доклады ВАСХНИЛ. – 1990. –№ 11. – С.40–45.
125. Торопова, Е.Ю. Эпифитотология / Е.Ю. Торопова, Г.Я. Стецов, В.А. Чулкина: под ред. А.А. Жученко и В.А. Чулкиной. – Новосибирск, 2011. – 711 с.
126. Тупеневич, С.М. Фузариоз пшеницы и результаты его изучения // Труды Воронежской станции защиты растений. – 1936. – Т.1. – № 12. – С.130.
127. Фитосанитарная экспертиза зерновых культур (болезни растений): рекомендации / С.С. Санин, В.И. Черкашин, Л.Н. Назарова [и др.] - М.: ФГНУ “Росинформагротех”, 2002. –140 с.
128. Фузариоз колоса на Северном Кавказе / Э.И. Монастырская, Е.Ф. Гранин, Г.А.Краева [и др.] // Защита растений. - 1990. - № 1. –С.41–42.
129. Фузариоз зерновых культур на Волосовском государственном сортоучастке Ленинградской области/ О.П. Гаврилова, Т.Ю. Гагкаева, А.А. Буркин [и др.] // Вестник защиты растений. – 2009 б.– №3.– С. 37–43.
130. Фузариоз зерновых культур /Т.Ю. Гагкаева, О.П. Гаврилова, М.М. Левитин [и др.] // Приложение к журналу Защита и карантин растений. –2011.–№5.– С.74, 105.
131. Фузариоз колоса и качество зерна озимой мягкой пшеницы / Г.И. Букреева, М.И. Домченко, А.С. Тархов [и др.] // Материалы науч.-практ.конф.,

- посвященной 20-летию сотрудничества Краснодарского НИИСХ им. П.П. Лукьяненко и Калмыцкого НИИСХ им. М.Б. Нармаева. – Краснодар – Элиста, 2017. – С. 90-92.
132. Характеристика сортов озимой пшеницы по устойчивости к фузариозу зерна / Т.Ю. Гагкаева, А.С. Орина, О.П. Гаврилова [и др]. // Вавиловский журнал генетики и селекции. – 2018. –22(6). – С.685–692.
133. Чернецкая, З.С. Сухая гниль (фузариоз) початков в предгорной полосе Северного Кавказа / З.С. Чернецкая // Тр. по приклад. бот., генет. и селекции. – 1932. – сер. 11. –С.3.
134. Черноок, А. Г. Молекулярно-генетический и фенотипический анализ генов-регуляторов роста и развития у короткостебельных форм пшеницы и тритикале: дисс... канд. биол наук: 1.5.7 /Анастасия Генадьевна Черноок. - Москва, 2023. – С.16
135. Чрезвычайная ситуация 2019 г. и болезни зерна в Амурской области / Т.Ю. Гагкаева, О.П. Гаврилова, А.С. Орина [и др.] // Защита и карантин растений. – 2020. – № 8. – С.19–21.
136. Шалыгин, А.Ф. Поражаемость озимых пшениц фузариозом / А.Ф. Шалыгин // Сель.-хоз. биол. – 1986. – Т.1. –№6. – С.851–854.
137. Шашко, М.Н. Патогенный комплекс грибов рода *Fusarium* на зерновых культурах в условиях Белоруссии / М.Н. Шашко, Г.В. Будевич, Ю.К. Шашко // Первая Всерос. конф. по иммунитету растений к болезням и вредителям. – СПб.: РАСХН, 2002. – С.128–129.
138. Шипилова, Н.П. Видовой состав и биоэкологические особенности возбудителей фузариоза семян зерновых культур: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 06.01.11 / Надежда Петровна Шипилова. – Санкт-Петербург, 1994. – 21с.
139. Шипилова, Н.П. Систематика и диагностика грибов рода *Fusarium* на зерновых культурах / Н.П. Шипилова, В.Г. Иващенко. – Спб.:2008. – С.34.

140. Электрофоретические исследования запасных белков зерна пшеницы, пораженной грибными инфекциями / Ю.Н. Фадеев, Л.О. Нурминская, В.П. Богданов [и др.] // Сел.-хоз. биология. –1990. – №5.– С.119–125.
141. Ячевский, А.А. О "пьяном хлебе" / А.А.Ячевский // Листок для борьбы с болезнями и повреждениями культурных и дикорастущих полезных растений. – СПб, 1904. - № 11. - с. 89-92.
142. Ячевский, А.А. Основы микологии /А.А. Ячевский. – Москва, 1933. – С.1036.
143. Ablova, I.B. The problems associated with breeding winter wheat for head scab resistance / I.B. Ablova, A.N. Slusarenko // In: Proceedings of the Workshop on Fusarium Head Scab: Global Status and Future Prospects. – CIMMYT, Mexico, 1996. – P.93–96.
144. Ali, S. Progression of *Fusarium* species on wheat leaves from seedling to adult stages in North Dakota / S. Ali, L. Franc1 // In 2001 National Fusarium Head Blight Forum Proceedings. – USA, 2001. – P.99.
145. An adaptive evolutionary shift in *Fusarium* head blight pathogen populations is driving the rapid spread of more toxigenic *Fusarium graminearum* in North America / T.J. Ward, R.M. Clear, A.P. Rooney [et al] // Fungal Genetics and Biology. – 2008. –Vol.45. – P. 473–484.
146. Anderson, J. A. DNA markers for Fusarium head blight resistance QTLs its two wheatpopulations / J. A. Anderson, R. W. Stack, S. Liu// Theor. Appl. Genet. – 2001. – Vol.102. – №8. – P.1164–1168.
147. An improved strategy for breeding FHB resistant wheat must include Type I resistance / A. Mesterhazy, H. Buerstmayr, B. Toth [et al] // Proc. of the 5th Canadian Workshop on Fusarium Head Blight, Delta Winnipeg. –2007. – P.51–66.
148. A novel Asian clade within the *Fusarium graminearum* species complex includes a newly discovered cereal head blight pathogen from the Far East of Russia / T. Yli-Mattila, T. Gagkaeva, T.J. Ward [et al] // Mycologia. – 2009. –Vol.101. – P. 841–852.

149. Aoki, T. *Fusarium fractiflexum* sp. nov. and two other species within the *Gibberella fujikuroi* species complex recently discovered in Japan that form aerial conidia in false heads / T. Aoki, K. O'Donnell, K. Ichikawa // *Mycoscience*. – 2001. – 42. – P.461–478.
150. A regional study on trichothecene -b type composition of the *Fusarium graminearum* species complex from wheat and barley in Southern Paraná state, Brazil / H. Feksa, C.N. Silva, C.B. Pereira [et al] // *Book of Abstracts, 5th International Symposium on Fusarium Head Blight, 2nd International Workshop on Wheat Blast*. – Florianópolis, SC, Brazil, 2016. – P.74.
151. Armitage, C.R. Pathogenesis of *Fusarium* head blight on the common winter wheat varieties / C.R. Armitage, J.P. Hill // *Phytopathology*. – 1983. – Vol.73. – № 5. – P.842.
152. Bacon, C.W. Symptomless endophytic colonization of maize by *Fusarium moniliforme* / C.W. Bacon, D.M. Hinton // *Can. J. Bot.* – 1996. – Vol. 74. – №8. – P.1195–1202.
153. Bai, G.-H. Scab of wheat: Prospect for control / G.-H. Bai, G. Shaner // *Plant Disease*. – 1994. – Vol. 78. – P.760-766.
154. Balaz, F. Osetljivost razlicitih genotipova pšenice prema fuzarioznem oboljenjima / F. Balaz // *Sovrem. poljopr.* – 1990. – Vol.38 – P.631–636.
155. Balkandzhieva, Yu. Genetic sources of resistance to *Fusarium* on the ear / Yu. Balkandzhieva, Y. Karadzova // *Plant sci.* – Sofia, 1994. – Vol.31. – № 7. –10.– P. 79–82.
156. Ban, T. Studies on the genetics of resistance to *Fusarium* head blight caused by *Fusarium graminearum* in wheat / T. Ban // *Proceedings of the international symposium on wheat improvement for scab resistance, 5-11 May, 2000*. – China, 2000. – P.82–93.
157. Bekele, G.T. Head Scab screening methods used at CIMMYT /G.T. Bekele // *Proceeding of the International Symposium*. – Mexico, 1984. –P.158–168.
158. Booth, C. The genus *Fusarium* / Booth C. – England: Common. Mycol. Inst. – 1971. – 237 p.

159. Bottalico, A. Toxigenic *Fusarium* species and mycotoxins associated with head blight in small-grain in Europe / A. Bottalico, G. Perrone // *Europ. J. Plant Pathol.* 2002. Vol. 108. P. 611—624.
160. Boutigny, A-L. Natural mechanisms for cereal resistance to the accumulation of *Fusarium trichotices*/ A-L. Boutigny, F. Richard-Forget, C. Barreau // *Eur J/ Plant Pathol.* – 2008. – 121. – P.411–423.
161. Breeding strategies against FHB in winter wheat and their relation to type I resistance / A. Mesterhazy, B. Toth, T. Bartok [et al] // 3rd Int. FHB Symposium. – Szeged, Hungary, 2008. – P.37–43.
162. Brown, N.A. The predicted secretome of the plant pathogenic fungus *Fusarium graminearum*: A refined comparative analysis / N.A. Brown, J. Antoniow, K.E. Hammond-Kosack // *PLoS One.* – 2012. – 7(4)
163. Buerstmayr, H. Chromosomal location of *Fusarium* head blight resistance genes in wheat / H. Buerstmayr, M. Lemmens, P. Ruckebauer // *Cereal Res. Communications.* – Vol.25. – N3/1. – 1997. – P.731–732.
164. Buerstmayr, H. QTL mapping and marker-assisted selection for *Fusarium* head blight resistance in wheat: a review / H. Buerstmayr, T. Ban, J.A. Anderson // *Plant Breeding.* –2009. – 128. – P.1–26.
165. Buerstmayr, M. Comparative mapping of quantitative trait loci for *Fusarium* head blight resistance and anther retention in the winter wheat population Capo X Arina / M. Buerstmayr, H. Buerstmayr // *Theor Appl Genet.* – 2015.– 128. – P. 1519–1530.
166. Bullock, J.D. A retrospective statistical analysis of the *Fusarium* keratitis epidemic of 2004–2006 / J.D. Bullock, H.J. Khamis // *Ophthalmic Epidemiol.*– 2010. –№17. –P.179–184.
167. Catalogue of gene symbols / R.A. McIntosh, Y. Uazaki, J. Dubkovsky [et al] // *Wheat genetic resources database KOMUGI.* 2010. <http://www.shigen.nig.ac.jp/wheat/komugi/genes/download.jsp>
168. Characterization of Chinese wheat germplasm for resistance to *Fusarium* head blight at CIMMYT, Mexico / X. He, P.K. Singh, N. Schlang [et al] // *Euphytica.*

- 2014. –195(3).– P.383–395.
169. Chen, P. New counter measures of breeding wheat for scab resistance / P. Chen, D. Liu, W. Sun // Proceeding of a workshop held at CIMMYT. – Mexico. – 1996. – P.59–65.
170. Chen, P. Improvement of wheat *Fusarium* head blight (FHB) resistance in China / P. Chen // Book of Abstracts, 5th International Symposium on *Fusarium* Head Blight, 2nd International Workshop on Wheat Blast. – Florianópolis, SC, Brazil, 2016. – P.18.
171. Chromosome engineering, mapping, and transferring of resistance to *Fusarium* head blight disease from *Elymus tsukushiensis* into wheat / J.C. Cainong, W.W. Bockus, Y. Feng [et al] // Theor. Appl. Genet. –2015.–128(6). –P.1019–1027.
172. Combining different resistance components enhances resistance to *Fusarium* head blight in spring wheat / R.R. Burlakoti, M. Mergoum, S.F. Kianian [et al] //Euphytica. –2010. –172(2). – P.197–205.
173. Comparison of phenotypic and marker- based selection for *Fusarium* head blight resistance and DON content in spring wheat / G. Wilde, V. Korzun, E. Ebmeyer [et al] // Molecular Breeding.– 2007. –19.– P.357–370.
174. Current knowledge on resistance to *Fusarium* head blight in tetraploid wheat /N. Prat, M. Buerstmayr, B. Steiner [et al] // Molecular Breeding. –2014. –34(4). – P.1689–1699.
175. Dehydration curve, fungi and mycotoxins in Tifton 85 hay dehydrated in the field and in shed / L.E. Taffarel, E.E. Mesquita, D.D. Castagnara [et al] // Revista Brasileira de Zootecnia. – 2013. –Vol.42. – №6. – P.395–403.
176. Deletion and complementation of the mating type (MAT) locus of the wheat head blight pathogen *Gibberella zeae*/ A.E. Desjardins, D.W. Brown, S.H. Yun [et al] // Appl. Environ. Microbiol. – 2004. – Vol.70. – P.2437–2444.
177. Del Ponte, E.M. Spatial patterns of *Fusarium* head blight in New York wheat fields suggest role of airborne inoculum / E.M. Del Ponte, D.A. Shah, G.C. Bergstrom // In Proceedings of National *Fusarium* Head Blight Forum, USA. – 2002. – P. 136.

178. Deoxynivalenol and other selected *Fusarium* toxins in Swedish oats — occurrence and correlation to specific *Fusarium* species / E. Fredlund, A. Gidlund, M. Sulyok [et al] // International Journal of Food Microbiology.— 2013. — 167. — P.276–283.
179. Desjardins, A.E. *Fusarium* Mycotoxins: chemistry, genetics and biology. / Desjardins A.E // American Phytopathological Society Press.— 2006.— 260 p.
180. Development of gene pool with improved resistance to scab / Z. Wu, Q. Shen, W. Lu [et al] // Jaigu Genic Male-Sterile Wheat. Beijing. — Amsterdam, 1987. — P.134–144.
181. Development of a *Fusarium graminearum* Affymetrix Gene Chip for profiling fungal gene expression in vitro and in planta / U. Guldener, K.-Y. Seong, J. Boddu [et al] // Fungal Genet. Biol.— 2006. —Vol. 43. —P.316–325.
182. Development of wheat varieties with *Fusarium* head blight resistance in Huang Huai wheat region of China / G. Feng, H. Ma, S. Leng [et al] // Book of Abstracts, 5th International Symposium on *Fusarium* Head Blight, 2nd International Workshop on Wheat Blast. — Florianópolis, SC, Brazil, 2016. — P.30.
183. Diehlt, T. Weizenfusariosen - Einflub von infektionstermin, Gewebesoch. und Blattlausen auf Blatt — fhd Ahrenbefall / T. Diehit, H. Fehrmann // Z. Pflanzkrankh. Und Pflanzenschutz. —1989. — 96. — № 4. — P.51–81.
184. Differential influence of QTL linked to *Fusarium* head blight, *Fusarium*-damaged kernel, deoxynivalenol contents and associated morphological traits in a Frontana-derived wheat population / A. Szabo-Hever, S. Lehoczki-Krsjak, M. Varga [et al] // Euphytica. — 2014. —200. — P.9–26.
185. D’Mello, J.P.F. *Fusarium* mycotoxins: a review of global implications for animal health, welfare and productivity /J.P.F. D’Mello, C.M. Placinta, A.M.C. Macdonald // Animal Feed Sci. and Technol. —1999. —Vol.80. — №3–4. — P.183–205.
186. DNA markers for *Fusarium* head blight resistance QTLs its two wheat populations / B. Waldron, A. Fjeld, C. Coyne [et al] // Theoretical and Applied Genetics. — 2001. — 102(8). — P.1164–1168.

187. Duthie, J.A. Transmission of *Fusarium graminearum* from seed to stem of winter wheat / J.A. Duthie, R. Hall // Plant pathology. – 1987. – Vol.36. –P. 33–37.
188. Eastern Canada *Fusarium* head blight in barley survey, 2000–2001 / R.A. Martin, T.M. Choo, H. Campbell [et al] // Can. J. Plant Sci. – 2003. – Vol.83. – P.580.
189. Edwards, S.G. PCR-based detection and quantification of mycotoxigenic fungi / S.G. Edwards, J. O'Callaghan, D.W. Dobson // Mycological Res. – 2002. – Vol. – 106. – P.1005–1025.
190. Effect mycotoxins on wheat response to *Fusarium* head blight / Zh. Atanassov, C. Nakamura, T. Yoshizawa [et al] // Wheat Inf. Serv. – 1993. – №76. – p. 50–52.
191. Effect of *Fusarium graminearum* toxigenicity on *Fusarium* head blight of winter wheat / G.D. Sokolova, V.V. Pavlova, L.L. Dorofeeva [et al] // Mikologiya i fitopatologiya. – 1999. –Vol. 33. – № 2. – P.125–129
192. Effectiveness of marker-based selection for *Fusarium* head blight resistance in spring wheat / J. Chrpová, V. Šíp, T. Sedláček [et al] // Czech Journal of Genetics and Plant Breeding. –2011. –47 (Special Issue). –S.123–129.
193. Effects of chemical treatments on infestation of *Alternaria* spp. and *Fusarium* spp. in correlation with technological wheat quality/ F. Balaz, M. Bodroža-Solarov, J. Vučković-Disalov [et al] // ZbornikMatice Srpske za PrirodneNauke. – 2011. – (121). – P.79–84.
194. Emerging risk of T-2 and HT-2 contamination in durum wheat collected in Southern-Italy at the harvest / S. Somma, M. Haidukowski, A. Ghionna [et al] // Book of Abstracts, 5th International Symposium on *Fusarium* Head Blight, 2nd International Workshop on Wheat Blast.–Florianópolis, SC, Brazil, 2016. –P.116.
195. Engelhardt, J.A. Toxicity of *Fusarium moniliforme* var. *subglutinans* for chicks, ducklings, and turkey poults / J.A. Engelhardt, W.W. Carlton, J.F. Tuite // Avian Dis. – 1989. – Vol. 33. – P.357–60.
196. Exposure to fumonisins and the occurrence of neural tube defects along the Texas-Mexico border / S.A. Missmer, L. Suarez, M. Felkner [et al] // Environ. Health. Perspect.– 2006. – Vol.114. – P.237–241.

197. Expression of a truncated form of yeast ribosomal protein L3 in transgenic wheat improves resistance to *Fusarium* head blight / R. Di, A. Blechl, R. Dill-Macky [et al] // Plant Science. –2010. –178(4). – P.374–380.
198. FHB inoculum distribution on wheat plants within the canopy / L. Osborne, Y. Jin, F. Roselen [et al] // In 2002 National Fusarium Head Blight Forum Proceedings. – USA. – 2002. –P. 175.
199. Francl, L.J. Gibberella zeae population dynamics: a progress report / L.J. Francl, S. Markell, S. Ali [et al] // In Proceeding of National Fusarium Head Blight Forum. – USA, 2000. – P.144–147.
200. Fundamental study on the influence of Fusarium infection on quality and ultrastructure of barley malt / P.M. Oliveira, A. Mauch, F. Jacob [et al] // Int. J. of Food Microbiology.– 2012. –156.–P.32–43.
201. *Fusarium poae* and *Fusarium crookwellense*, fungi responsible for the natural occurrence of nivalenol in Hokkaido / Y. Sugiura, K. Fukasaku, T. Tanaka [et al] // Appl. Environ. Microbiol. – 1993. – Vol.59. – №10. – P.3334–3338.
202. *Fusarium* scab screening program at CIMMYT / L. Gilchrist, S. Rajaram, M.A. Kazi [et al] // Proceeding of a Workshop held at CIMMYT. – Mexico. – 1996. – P.7–13.
203. *Fusarium* species and 8-keto-trichothecene mycotoxins in Manitoba barley / D. Abramson, R.M. Clear, E. Usleber [et al] // Cereal Chem. – 1998. –№ 75–P. 137–141.
204. *Fusarium andiyazi* so. nov., a new species from sorghum / W.F.O. Marasas, J.P. Rheeder, S.C. Lamprecht [et al] // Mycologia. – 2001. – Vol.93. – P.1203–1210.
205. *Fusarium* Head Blight. The Pennsylvania State University. Agricultural Research and Cooperative Extention. – 2003. – 2 p.
206. *Fusarium graminearum* as a dry rot pathogen of potato in the USA: prevalence, comparison of host isolate aggressiveness and factors affecting aetiology/ R. Estrada, N.C. Gudmestad, V.V. Rivera [et al] // Plant Pathol. – 2010. – Vol. 59. – №6. – P.1114—1120.

207. *Fusarium sibiricum* sp. nov. a novel type A trichotecene producing *Fusarium* from northern Asia closely related to *F. sporotrichoides* and *F. langsethiae* / T. Yli-Mattila, T.J. Ward, K. O'Donnel [et al] // Inter. J. of Food Microbiol. – 2011. – Vol. 147. – № 1. – P. 58–68.
208. Gagkaeva, T.Yu. Genetic diversity of European and Asian *Fusarium graminearum* populations / T.Yu. Gagkaeva, T. Yli-Mattila // Europ. J. Plant Pathol. – 2004. – Vol. 110. – P. 551–562.
209. Galich, M.T. *Fusarium* head blight in Argentina / M.T. Galich // Proceedings of a Workshop held at CIMMYT. – Mexico. – 1996. – P. 19–28.
210. Garda-Buffon, J. Effect of deoxynivalenol and T-2 toxin in malt amylase activity / J. Garda-Buffon, E. Baraj, E. Badiale-Furlong // Braz. Arch. Biol. Technol. – 2010. – Vol. 3. – № 3. – P. 505–511.
211. Genetic analysis of fumonisin production and virulence of *Gibberella fujikuroi* mating population A (*Fusarium moniliforme*) on maize (*Zea mays*) seedlings / A.E. Desjardins, R.D. Plattner, T.C. Nelsen [et al] // Appl. Environ. Microbiol. – 1995. – Vol. 61. – P. 79–86.
212. Genetic relationships among populations of *Gibberella zeae* from barley, wheat, potato, and sugar beet in the Upper Midwest of the United States / R.R. Burlakoti, S. Ali, G.A. Secor [et al] // Phytopathology. – 2008. – Vol. 98. – P. 969–976.
213. Geographic distribution and genetic diversity of *Fusarium graminearum* and *Fusarium asiaticum* on wheat spikes throughout China / B. Qu, H.P. Li, J.B. Zhang [et al] // Plant Pathol. – 2007. – Vol. 57. – P. 15–24.
214. Gerlach, W. The genus *Fusarium* – a Pictorial Atlas Mitt. Biol. Bundesanst. Ld. / W. Gerlach, H. Nirenberg. – Berlin, 1982. – 406 p.
215. Gilbert, J. Epidemiology and biological control of *Gibberella zeae* / *Fusarium graminearum* / J. Gilbert, W.G.D. Fernando // Can. J. Plant Pathol. – 2004. – № 26. – P. 464–472.
216. Gilbert, J. Overview of some recent research developments in *Fusarium* head blight of wheat / J. Gilbert, S. Haber // Can J, Plant Pathol. – 2013. – 35(2). – P. 149–174.

217. Gilchrist, L. Fusarium head blight / L. Gilchrist, H.J. Dubin // Bred wheat improvement and production. – Rome, 2002. –P. 279–283.
218. Global *Fusarium* networking / E. Duveiller, M. Mezzalama, J. Murakami, J. Lewis, T. Ban // 3rd Int. FHB Symposium. – Szeged: Hungary, 2008. – P.11–19.
219. Gordon, W.L. The occurrence of *Fusarium* species in Canada. VI. Taxonomy and geographic distribution of *Fusarium* species on plants, insects and fungi / W.L. Gordon // Can. J. Bot.–1959. – №37. – P. 257–290.
220. Goswami, R.S. Pathogenicity and in planta mycotoxin accumulation among members of the *Fusarium graminearum* species complex on wheat and rice / R.S. Goswami, H.C. Kistler // Phytopathology. – 2005. – Vol. 95. – P.1397–1404.
221. Goyal, S. Different shades of fungal metabolites: An overview / S. Goyal, K.G. Ramawat, J.M. Mérillon // Fungal metabolites. – 2016.– P.1–29.
222. Hani, F. Zur biologic und Bekamp fungvar Fusariosen bei Weizen and Roggen / F. Hani // Phytopathology Z. – 1981. – Vol.100. – № 1. – P.44–87.
223. Hanson, L.E. Fusarium yellowing of sugar beet caused by *Fusarium graminearum* from Minnesota and Wyoming /L.E. Hanson// Plant Dis. – 2006. – Vol. 90. –№ 5. – P. 686.
224. Hestbjerg, H. *Fusarium culmorum* infection of barley seedlings — correlation between aggressiveness and deoxynivalenol content / H. Hestbjerg, G. Felding, S. Elmholt// Phytopathology. – 2002. – Vol.150. –№6. – P.308–312.
225. Horberg, H.M. Dispersal of mycotoxin producing *Fusarium* spp. / H.M. Horberg // Uppsala, Sweden, Sweden University of agricultural sciences, PhD thesis. – 2001.
226. Inch, S.A. Survival of *Gibberella zeae* on *Fusarium* damaged kernels of spring wheat / S.A. Inch, J. Gilbert // Plant Dis. – 2003. – Vol.87. – P. 282–287.
227. Infection and fumonisin production by *Fusarium verticillioides* in developing maize kernels /B.J. Bush, M.L. Carson, W.M. Hagler [et al] // Phytopathology. – 2004. – Vol.94. – P.88–93.
228. In vitro and in vivo mycotoxin production of *Fusarium* species isolated from Finnish grains / M. Jestoi, S. Paavanen-Huhtala, P. Parikka [et al] // Archives of

- Phytopath. and Plant Protection. – 2008. – Vol.41. – №8. – P.545–558.
229. Involvement of trichothecenes in fusarioses of wheat, barley and maize evaluated by gene disruption of the trichodiene synthase (Tri5) gene in three field isolates of different chemotype and virulence / F. J.Maier, T. Miedaner, B. Hadelar [et al] // Mol. Plant Pathol. – 2006. – Vol.7.– P.449–461.
230. Iretta, M.J. Fusarium head scab of wheat / M.J. Iretta, L.S. Gilchrist // Wheat special report. –1994. – № 2. – Mexico, D.F.: CIMMYT. – P. 25.
231. Iretta, M.J. Estimacion de perdida sentrigo (*Triticum sp.*) causadas por la rona (*Fusarium graminearum SCHW.*) / M.J. Iretta // MSc., thesis, Colegio de Postgraduados. – Montecillo: Mexico, 1996. – P. 27–42.
232. Isolates of *Fusarium graminearum* collected 40–320 meters above ground level cause *Fusarium* head blight in wheat and produce trichothecene mycotoxins / Schmale D.G., Ross S.D., Fetters T.L. [et al] // Aerobiologia. – 2012. – Vol. 28. – P. 1–11.
233. Jakabne, M. *Fusarium culmorum* fertores idejenek es inokulum Koncentraciojanak hataso az oszi buza szemtermes fertozodisere / M. Jakabne, R. Bekesi// Novenytermeus. – 1992. –Vol.16. – № 3. – P.14–19.
234. Jenkinson, P. Splash dispersal of conidia of *Fusarium culmorum* and *Fusarium avenaceum*/ P. Jenkinson, D.W. Parry // Mycol. Res.– 1994. – P.98, P.506–510.
235. Kalih, R. Genetic architecture of *Fusarium* head blight resistance in four winter *Triticale* populations /R. Kalih, H.P. Maurer, T. Miedaner// Phytopathology.– 2015. –105(3). – P.334–341.
236. Khonga, E.B. Inoculum production and survival of *Gibberella zeae* in maize and wheat residues / E.B. Khonga, J.C. Sutton // Can. J. Plant Pathol. – 1988. – Vol.10. –P.232–239.
237. Koczowska, I. Susceptibility of rye varieties to *Fusarium*diseases of spikes / I. Koczowska // Development in Food Sc. Proc. 7th world cereal and bread congress. – Prague, 1983. –5A. – P.329–334.

238. Kriel, W.M.: a summary of the South African situation / W.M. Kriel, Z.A. Pretorius // Proc. Of National *Fusarium* Head Blight (Forum 11-13 December, 2005). –USA.–2005.– P.243–245.
239. Kwaona, H. Occurrence of *Fusarium crookwellense* in Poland / H. Kwaona, J. Chelkowski// Acta Mycologica. – 1988. –Vol.24. – P.173–177.
240. Лалев, Ц. Устойчивост на някои сортове и селекционни линии твърда пшеница към кафява черна ръжда и фузариум / Ц. Лалев // Растен. науки. – София, 1978. – № 3. – С.141–148.
241. Лалев, Ц. Проучване върху фузариозата при твърдата пшеница / Ц. Лалев // Растен. науки. – 1985. – № 12. –С. 21–28.
242. Langevin, F. Effect of trichothecenes produced by *Fusarium graminearum* during *Fusarium* head blight development in six cereal species / F. Langevin, F. Eudes, A. Comeau// Eur. J. Plant Pathol. – 2004. – Vol.110. – P.735–746.
243. Leslie, J.F. *Gibberella fujikuroi*: available populations and variable traits / J.F. Leslie // Can J Bot. – 1995. – №73. – P.282–291.
244. Leslie, J.F. The *Fusarium* laboratory manual /J.F. Leslie, B.A. Summerell. – Blackwell, 2006.
245. Less *Fusarium* infestation and mycotoxin contamination in organic than in conventional cereals / A. Bernhoft, P.E. Clasen, A.B. Kristoffersen [et al] // Food Additives and Contaminants. – 2010. – 27. – P.842–852.
246. Lianfa, S. A preliminary study on application of synthetic hexaploids derived from *T. durum*/*Ae. Tauschii* crosses in common wheat for resistance to *Fusarium* head blight/ S. Lianfa, Q. Song, S. Qi // Proceedings of the international symposium on wheat improvement for scab resistance, 5-11 May 2000. – China, 2000. – P.42–46.
247. Lin, Y. Genetic analyses of resistance to scab (*Gibberella zae*) in wheat varieties from different regions / Y. Lin, Z. Yang, Z. Wu // Acta Agricultural Shanghai. – 1992. – Vol. 8. – №1. – P. 31–36.
248. Lipps, P.E. Head blight or scab of small grains / P.E. Lipps // Extension Fact Sheet. – 1996. –№ 4.–P.1–3.

249. Liu, Z. Recent advances in Research on wheat scab in China / Z. Liu // Proceeding of the Intern. Symp. – Mexico. – CIMMYT. – 1984. – P.174–181.
250. Löffler, M. Revealing the genetic architecture of FHB resistance in hexaploid wheat (*Triticum aestivum* L.) by QTL meta-analysis / M. Löffler, C.-C. Schön, T. Miedaner // Molecular Breeding. –2009. –23.– P.473–488.
251. Lu, Q. Anther extrusion and plant height are associated with Type I resistance to *Fusarium* head blight in bread wheat line «Shanghai-3/Catbird» / Q. Lu, M. Lillemo, H. Skjenes, X. He, J. Shi, F. Ji, Y. Dong, A. Bjørnstad // Theor Appl Genet. – 2013. –126(2). – P.317—334.
252. Lu, W.Z. Breeding and improvement of wheat scab resistance in Yellow and Huai valleys winter wheat zone, China / W.Z. Lu, M. Luo, T.M. Shen // Book of Abstracts, 5th International Symposium on *Fusarium* Head Blight, 2nd International Workshop on Wheat Blast. – Florianópolis, SC, Brazil, 2016. – P.35.
253. Lussardi, G.-C. Wheat breeding for scab resistance / G.-C. Lussardi // Proceeding of the Intern. Symp. – Mexico. – CIMMYT. – 1984. – P.158–164.
254. Marasas, W.F.O. Toxigenic fusaria. In: Mycotoxins and animal foods. J.E. Smith, R.S. Henderson (eds.). - Boca Raton, USA, 1991. –P.119–139.
255. Marasas, W.F.O. Fumonisin: history, worldwide occurrence and impact. Fumonisin in food / W.F.O. Marasas // Eds L. S. Jackson et al. New York: Plenum Press. –1996. – P.1–17.
256. McKeehen, J.D. Evaluation of wheat (*Triticum aestivum* L.) phenolic acids during grain development and their contribution to *Fusarium* resistance / J.D. McKeehen, R.H. Busch, R.G. Fulcher// J. Agric. Food Chem. – 1999. – Vol.47. – №4. –P.1476–1482.
257. McMullen, M.P. Scab of wheat and barley: a reemerging disease of devastating impact / M.P. McMullen, R. Jones, D. Gallenberg// Plant Dis. – 1997. – Vol.81. – P.1340–1348.
258. Megier, E.J. Flowchart for the production of perithecia of *Gibberella zeae* in wheat grains / E.J. Megier, M.I.P.M. Lima, D.L. Marafon // Book of Abstracts, 5th International Symposium on *Fusarium* Head Blight, 2nd International

- Workshop on Wheat Blast. – Florianópolis, SC, Brazil, 2016. – P.36.
259. Mesterhazy, A. Reaction on wheat varieties to four *Fusarium species* / A. Mesterhazy // Phytopathol. Z. – 1977. – Vol. 90 (2). – P.104–112.
260. Mesterhazy, A. Comparative analysis of artificial unoculation methods with *Fusarium spp.* on winter wheat varieties / A. Mesterhazy // Phytopathol. Z. – 1978. – Vol. 93. – P. 12–25.
261. Mesterhazy, A. Effect of seed production area on the seedling resistance of wheat to *Fusarium* seedling blight / A. Mesterhazy // Agronomic. – 1985. – № 5 (6). – P. 491–497.
262. Mesterhazy, A. Selection of head blight resistant wheats through improved seedling resistance / A. Mesterhazy // Plant Breeding. – 1987. – Vol. 98. – P. 25–36.
263. Mesterhazy, A. Types and components of resistance to *Fusarium* head blight of wheat / A. Mesterhazy // Plant Breeding. – 1995. – Vol.114. – P.377–386.
264. Mesterházy, A. Methodology of resistance testing and breeding against *Fusarium* head blight in wheat and results of the selection /A. Mesterházy// Cereal Res.Communic. – 1997. – Vol.25. – № 3/2. – P.651–654.
265. Mesterhazy, A. Role of deoxynivalenol in aggressiveness of *Fusarium graminearum* and *F. culmorum* and in resistance to *Fusarium* head blight / A. Mesterhazy// European J. Plant Pathology.– 2002.– Vol.108. –№ 7. –P.675–684.
266. Mesterhazy, A. Breeding for resistance to ear rots caused by *Fusarium* spp. in maize a review / A. Mesterhazy, M. Lemmens, L.M. Reid // Plant Breeding. – 2012. – Vol.131. – №1. – P.1–19.
267. Miedaner, Th. Ermittlung der *Fusarium* - resistanz von Weizen unAhrenstadium/ Th. Miedaner, H. Walther // Z - Pflanzenkrankh und Pflanzenschutz. – 1987. – Vol. 94. – № 4. –P.337–347.
268. Miedaner, T. Breeding wheat and rye for resistance to *Fusarium* diseases / T. Miedaner // Plant Breeding. –1997. – 116. – P.201–220.

269. Miller, J.D. Deoxynivalenol and *Fusarium* head blight resistance in spring cereals / J.D. Miller, J.C. Young, D.R. Sampson // *Phytopath. Z.* – 1985. – Vol. 113. – P. 359–367.
270. Miller, J.D. Toxic effects of deoxynivalenol on ribosomes and tissues of the spring wheat cultivars Frontana and Casavant / J.D. Miller, M.A. Ewen // *Nat Toxins.* – 1997. – 5(6). – P.234–237.
271. Mikunthan, G. *Fusarium semitectum*, a potential mycopathogen against thrips and mites in chilli, *Capsicum annuum* / G. Mikunthan, M. Manjunatha // *Communications in Agricultural and Applied Biological Sciences.* – 2006. – Vol.71. – P. 449–463.
272. Младенов, М. Агресивност на видове *Fusarium* по отношение на сортове и линии тритикале / М. Младенов, Й. Караджова, П. Павлов // *Растениеводни науки.* – София, 1990. – № 27. – С.52–56.
273. Major changes in *Fusarium* spp. in wheat in the Netherlands / C. Waalwijk, P. Kastelein, I. de Vries [et al] // *Eur. J. Plant Pathol.*–2003. – Vol.109. – P.743–754.
274. Mapping of quantitative trait loci for field resistance to *Fusarium* head blight in an European winter wheat / L.F. Gervais, Dedryver, J.-Y. Morlais [et al] // *Theor. Appl. Genet.* – 2003. – 106. – P.961–649.
275. Methods for evaluating pesticides for control of plant, pathogenes / P.E. Nelson, T.A. Tousson, L.W. Burgess [et al] // *Americ. Phytopathol. Society.* - 1986. – P.53–58.
276. Moldovan, M. Contributions to the identification of sources of resistance and tolerance to *Fusarium* and their utilization in wheat breeding / M. Moldovan, V. Botezan, V. Moldovan // *Contributii ale cercetarilsti intifice la dezvoltarea agriculturii.* – Volumomagial 1957–1987. Bucharest. – Romania. –Statiunca de Cercetari Agricole Turda. – 1987. – P.63–80.
277. Molecular mapping of QTL for *Fusarium* head blight resistance in spring wheat. I. Resistance to fungal spread (type II resistance) / H. Buerstmayr, M. Lemmens, L. Hartl [et al] // *Theor Appl Genet.* – 2002. – 104(1). – P.84–91.

278. Molecular markers for *Fusarium* head blight resistance in Chinese wheat cultivar / X. Zang, R. Lijuan, Z. Zuowei [et al] // *J. Appl. Genetic.* – 43A. – 2002. – P.355–358.
279. Molecular mapping of QTLs for *Fusarium* head blight resistance in spring wheat. II. Resistance to fungal penetration and spread / H. Buerstmayr, B. Steiner, L. Hartl [et al] // *Theor Appl Genet.* – 2003. – 107. – P.503–508.
280. Molecular tools to study epidemiology and toxicology of *Fusarium* head blight of cereals / P. Nicholson, E. Chandler, R.C. Draeger [et al] // *Eur. J. Plant Pathol.* – 2003. – № 109. – P.691–703.
281. Moss, M.O. *Fusarium* taxonomy with relation to trichothecene formation / M.O. Moss, U. Thrane // *Toxicology Letters.* – 2004. – V.153/1. – P.23–28.
282. Multilocus genotyping and molecular phylogenetics resolve a novel head blight pathogen within the *Fusarium graminearum* species complex from Ethiopia / K. O'Donnell, T.J. Ward, D. Aberra [et al] // *Fungal Genetics and Biology.* – 2008.
283. Munkvold, G.P. Fumonisin in maize. Can we reduce their occurrence? / G.P. Munkvold, A.E. Desjardins // *Plant disease.* – 1997. – Vol.81. – P. 556–564.
284. Munkvold, G.P. Epidemiology of *Fusarium* diseases and their mycotoxins in maize ears / G.P. Munkvold // *European J. Plant Pathol.* – 2003. – Vol.109. – P. 705–713.
285. Munteany, I. Technici de inoculareartificiala u specu de *Fusarium* la grensvsisteme de notare a bolu / I. Munteany, D. Mystea, E. Nagy // *Problem de protectiaplantelor.* – 1978. – T.4. – № 1. – P.9–29.
286. Murillo-Williams, A. Systemic infection by *Fusarium verticillioides* in maize plants grown under three temperature regimes / A. Murillo-Williams, G.P. Munkvold // *Plant disease.* – 2008. – Vol.92. – P.1695–1700.
287. Native *Fusarium* head blight resistance from winter wheat cultivars ‘Lyman’, ‘Overland’, ‘Ernie’, and ‘Freedom’ mapped and pyramided onto ‘Wesley’-Fhb1 backgrounds / J.T. Eckard, J.L. Gonzalez-Hernandez, M. Caffè [et al] // *Molecular Breeding.* – 2015. – 35(6). – P.1–16.

288. Natural deoxynivalenol occurrence and genotype and chemotype determination of a field population of the *Fusarium graminearum* complex associated with soybean in Argentina / G. Barros, M. Alaniz, S. Zanon [et al] // *Food Addit. Contam. Pt A.* –2012. – Vol.29. –№2. – P.293–303.
289. Nature of wheat resistance to *Fusarium* head blight and the role of deoxynivalenol for breeding / A. Mesterházy, T. Bartok, C.G. Mirocha [et al] // *Plant Breeding.* – 1999. – №118. – P.97–110.
290. Nelson, P.E. *Fusarium* species: An Illustrated Manual for Identifications / P.E. Nelson, T.A. Toussoun, W.F.O. Marasas. – The Pennsylvania State University Press, 1983. – P.193/
291. Nivalenol-type populations of *Fusarium graminearum* and *F. asiaticum* are prevalent on wheat in Southern Louisiana / L.R. Gale, S.A. Harrison, T.J. Ward [et al] // *Phytopathology.* – 2011. – Vol.101. – P. 124–134.
292. Novel findings in breeding for *Fusarium* head blight resistance / H. Buerstmayr, B. Steiner, M. Buerstmayr [et al] // *Book of Abstracts, 5th International Symposium on Fusarium Head Blight, 2nd International Workshop on Wheat Blast.* – Florianópolis, SC, Brazil, 2016. – P.17.
293. O'Donnell, K. Molecular phylogeny of the *Nectria haematococca*– *Fusarium solani* species complex / K. O'Donnell // *Mycologia.* – 2000. – 92(5). –P.919–938.
294. Ooka, J.J. Wind and rain dispersal of *Fusarium moniliforme* in corn fields /J.J. Ooka, T. Kommedahl// *Phytopath.* – 1977. –Vol.67. – P.1023–1026.
295. Osborne, L.E. Epidemiology of *Fusarium* head blight on small-grain cereals / L.E. Osborne, J.M. Stein // *Int. J. Food Microbiol.* – 2007. – 119. – P.103–108.
296. Parry, D.W. *Fusarium* ear blight (scab) in small grain cereals — a review /D.W. Parry, P. Jenkinson, L. McLeod // *Plant Pathol.* –1995. – Vol.44. – P.207–238.
297. PCR assaya for the Lr37Yr17Sr38 cluster of rust resistance genes and their use to developisogenic hard red spring wheat lines / M. Helgiera, I.F. Khan, J. Kolmer [et al] // *Crop Sciens.* 2003. – V.43. – P.1839-1847.

298. PCR detection of *Fusarium* fungi with similar profiles of the produced mycotoxins / A.A. Stakheev, D.Yu. Ryazantsev, T.Yu. Gagkaeva [et al] // Food Control. – 2011. – Vol.22. – P.462–468.
299. Pettersson, H. Trichothecene production by *Fusarium poae* and its ecology /H. Pettersson, H. Olvang // Sydowia, Special Issue. – 1997. – P.217–218.
300. Phylogenetic analyses of *Fusarium graminearum* strains from cereals in Italy, and characterisation of their molecular and chemical chemotypes / S. Somma, A.L. Petruzzella, A.F. Logrieco [et al] // Crop Pasture Sci.– 2014. – №65. – P.52–60.
301. Population analysis of *Fusarium graminearum* from wheat fields in Eastern China / L.R. Gale, L.-F. Chen, C.A. Hernick [et al] // Phytopathol. – 2002. – Vol.92. – P.1315–1322.
302. QTL mapping and validation of *Fusarium* head blight resistance in the spring wheat cultivar Frontana / B. Steiner, S. Salameh, M. Lemmens [et al] // Host Plant Resistance and Variety Development: Proc. For 2nd Int.Symp. On Fusarium head blight (11-15 December, 2004). – Olando, Florida USA, 2004. – Vol.1. – P.87.
303. Reaction of dry bean genotypes to root rot caused by *Fusarium graminearum*/ V.N. Bilgi, C.A. Bradley, S. Ali [et al] // Phytopathology. – 2007. – Vol.97 (suppl.). – P.10.
304. Relationships between resistance to *Fusarium* head blight and crown rot in hexaploid wheat / C. Liu, V. Miller, T. Magner [et al] // New directions for a diverse planet: Proc. of the 4th Intemat. Crop Sci. Congr. Brisbane, Australia, 26 Sep - 1 Oct, 2004.
305. Results of the Czech national ring tests of disease resistance in wheat / J. Chrpová, V. Šíp, P. Bartoš [et al] // Czech J. Genet. PlantBreed. – 48. – 2012. – №4. – P.189–199.
306. RFLP mapping of QTL for fusarium head blight resistance in wheat / B. Waldron, B. Moreno-Sevilla, J. Anderson, R. Stack [et al] // Crop Science – 1999. –39(3). –P.805–811.
307. Rheeder, J.P. Production of fumanisin analogs by *Fusarium* species / J.P. Rheeder, W.F.O. Marasas, H.F. Vismer// Appl. Environm. Microbiol. –2002. –

- Vol.68. – P.2101–2105.
308. Role of spring wheat seed infested with *Fusarium graminearum* in spread and development of *Fusarium* head blight and effects on agronomic performance / J. Gilbert, R.L. Conner, M.R. Fernandez [et al].// Can. J. Plant Pathol. – 2003. –Vol. 25. – P. 73–81.
309. Root Infection and Systematic Colonization of DsRed-labelled *Fusarium verticillioides* in Maize / Wu Lei, Wang Xiao-Ming, Xu Rong-Qi [et al] // Acta Agron. Sin. – 2011. – Vol.37. – №05. – P.793–802.
310. Saur, L. Comportement de quatre varieties de blé vis-a-vis de la fusariose de l'épi causée par *Fusarium roseum* var. *culmorum* (Schwabe) / L. Saur // Agronomic. – 1984. – №4 (10). – P.939–943.
311. Schroeder, H.W. Factor affecting resistance of wheat to scab caused by *Gibberella zeae*/H.W. Schroeder, J.J. Christensen // Phytopath. – 1963. – Vol.53. – P.831–838.
312. Seed transmission of *Fusarium verticillioides* in maize plants grown under three different temperature regimes /A.L. Wilke, C.R. Bronson, A. Tomas [et al] // Plant disease. – 2007. – Vol.91. – P.1109–1115.
313. Selitrennikoff, C. P. Antifungal proteins / C. P. Selitrennikoff // Appl. Environ. Microbiol. –2001. –Vol.67. –№7.– P. 2883–2894.
314. Semi-dwarfing Rht-B1 and Rht-D1 loci of wheat differ significantly in their influence on resistance to *Fusarium* head blight / Srinivasachary, N. Gosman, A. Steed, T.W. Hollins [et al] // Theor Appl Genet. - 2009, Feb. - P.118.
315. Shi, J. Current risk of fusarium toxins of wheat in China /J. Shi // Book of Abstracts, 5th International Symposium on *Fusarium* Head Blight, 2nd International Workshop on Wheat Blast. –2016. – P.111.
316. Šíp, V. Assessing resistance to head blight in wheat cultivars inoculated with different *Fusarium* isolates /V. Šíp, J. Chrpová, S. Sýkorová// Czech Journal of Genetics and Plant Breeding. – 2008. –Vol.44. – P.43–59.
317. Snijders, C.H.A. Diallel analysis of resistance to head blight caused by *Fusarium culmorum* in winter wheat // Euphytica – 1990 a. – Vol.50. – P.171–179.

318. Snijders, C.H.A. Aspects of resistance to *Fusarium* head blight caused by *Fusarium culmomm* in wheat. – Wageningen, 1990 b. –P.115.
319. Snijders, C.H.A. Breeding for resistance to *Fusarium* in wheat and maize / C.H.A. Snijders // In: Miller, J.D., Trenholm, H.L. (eds), *Mycotoxins in grain compounds other than aflatoxin*. Eagan Press. – St. Paul, MN, 2004. – P.37–58.
320. Snyder, W.C. The species concept in *Fusarium* / W.C. Snyder, H.N. Hansen // *Amer. J. Bot.* – 1940. – Vol.27. – P.64–67.
321. Šrobárová, A. Diversity of the *Fusarium* species associated with head and seedling blight on wheat in Slovakia /A. Šrobárová, S. Šliková, V. Šudyova// *Biologia.* – 2008. – Vol.63. –№ 3. – P.332–337.
322. Stack, R.W. Reaction of spring wheats incorporating Sumai 3 – derived resistance to inoculation with seven *Fusarium* species / R.W. Stack, R.C, Frogberg, H. Casper // *Cereal Res. Commun.* – 1997. – Vol.25. –№ 3/2. –P. 667–671.
323. Statistical analysis of agronomical factors and weather conditions influencing deoxynivalenol levels in oats in Scandinavia / M. Lindblad, T. Börjesson, V. Hietaniemi [et al] // *Food Additives and Contaminants.* – 2011. – Vol.29. – №10. – P.1566–1571.
324. Strange, R.N. Effect of choline, betaine and wheat germ extract on growth of cereal pathogens / R.N. Strange // *Trans. Brit. Mycol. Soc.* – 1978. – Vol.70. – №2. –P.193–199.
325. Strategies for breeding for resistance to *Fusarium* head blight in Canadian spring wheat / J. Gilbert, G. Fedak, J.D. Procnier [et al] // *Proceeding of a Workshop held at CIMMYT.* – Mexico. – 1996. – P. 47–52.
326. Studies on transfer of *E. giganteus* germplasm into wheat. II. Cytogenetics and scab resistance of backcross derivaties / Y.N. Wang, P.D. Chen, Z.T. Wong [et al] // *J. Nanjing Agri. Univ.* – 1991. – № 14 (2). – P.1–5.
327. Susceptibility of kenyan wheat varieties to head blight, fungal invasion and deoxynivalenol accumulation inoculated with *Fusarium graminearum* / J.W. Muthomi, E.-C. Oerke, H.-W. Dehne [et al] // *J. of Phytopath.* – 2002. – Vol.150. – № 1. – P. 30–36.

328. Sutton J.C., et al. Methods for quantifying partial resistance to *Giberella zeae* in maize ears // Can. J. Plant Pathol. – 1981. – No 3. – P. 26–32.
329. Sutton J.C. Epidemiology of wheat head blight and maize ear rot caused by *Fusarium graminearum* / J.C. Sutton // Can. J. of Plant Pathol. – 1982. – № 4. – P. 195–209.
330. Suzuki, T. Evaluation of the effects of five QTL regions on *Fusarium* head blight resistance and agronomic traits in spring wheat (*Triticum aestivum* L.) / T. Suzuki, M. Sato, T. Takeuchi // Breeding Sci. – 2012. – 62. – P.11–17.
331. Systematics, phylogeny and trichothecene mycotoxin potential of *Fusarium* head blight cereal pathogens / T. Aoki, T.J. Ward, H.C. Kistler [et al] // Mycotoxins. – 2012. – 62. – P.91–102.
332. The ability to detoxify the mycotoxin deoxynivalenol colocalizes with a major quantitative trait locus for *Fusarium* head blight resistance in wheat / M. Lemmens, U. Scholz, F. Berthiller [et al] // Mol. Plant Microbe Interact. – 2005. – Vol.18. – P.1318–1324.
333. The Amsterdam Declaration on fungal nomenclature / D.L. Hawksworth, P.W. Crous, S.A. Redhead [et al] // IMA Fungus, 2. – 2011. – P.105–112.
334. The prevalence and impact of *Fusarium* head blight pathogens and mycotoxins on malting barley quality in UK / L.K. Nielsen, D.J. Cook, S.G. Edwards [et al] // Int. J. of Food Microbiology. – 2014. – Vol.179. – P. 38–49.
335. Tomasovic, S. Breeding of wheat for resistance to *Fusarium* disease, especially to *Fusarium graminearum* and creating a model for inheritance of resistance in new wheat cultivars / S. Tomasovic // Genetica. – 1981. – Vol. 13. – №12. – P. 187–197.
336. Unified effort to fight an enemy of wheat and barley: *Fusarium* Head Blight / M. McMullen, G. Bergstrom, E. de Wolf [et al] // Plant Dis.– 2012. – 96. –P.12–28.
337. Variation in deoxynivalenol, 15-acetyldeoxynivalenol, 3-acetyldeoxynivalenol and zearalenone production by *F. graminearum* isolates / C.J. Mirocha, N.K. Abbas, C.E. Windels [et al] // Appl. Environ. Microbiol. – 1989. – Vol.55. – № 5. – P. 1315–1316.

338. Walther, H. Zur Ermittlung der Resistenz des Weizens gegen Ahrenkrankheiten (*Septoria hedorum*, *Fusarium culmorum*) / H. Walther // Tagungsber. Akad. Landwirtschaftswiss. – DDR, 1982. – X9203. – P. 83–93.
339. Walter, S. Action and reaction of host and pathogen during *Fusarium* head blight disease / S. Walter, P. Nicholson, F.M. Doohan // *New Phytologist*. – 2010. – 185. – P.54–66.
340. Wang, Y.Z. Epidemiology and Management of wheat scab in China / Y.Z. Wang // *Proceeding of a Workshop held at CIMMYT*. – Mexico, 1996. –P. 97–106.
341. Wheat spike inoculation methodology for testing *Fusarium* head blight type II resistance reaction / J.L. De Almeida, D.J. Tessmann, M.L. Fostim [et al] // *Book of Abstracts, 5th International Symposium on Fusarium Head Blight, 2nd International Workshop on Wheat Blast*. – Florianópolis, SC, Brazil, 2016. – P.33
342. Wide crosses to improve *Fusarium* head blight resistance in wheat / G. Fedak, K.C. Armstrong, R.C. Sinha [et al] // *Cereal Res. Communication*. – 1997. – 25, 3/2. – P.651–654.
343. Wollenweber, H.W. Die *Fusarium*, ihre Beschreibung, Schadwirkung und Bekämpfung / H.W. Wollenweber, O.A. Reinking. – Berlin: Paul Parey, 1935. – P.355.
344. Xu, Y.G. Methods of testing the resistance of wheat varieties to the scab and differentiation of the virulence of the causal organism / Y.G. Xu, Z.D. Fan // *Acta Phytopathol. Sin.* -1982. - № 12 (4). - p. 53-57
345. Xu, X.M. Community ecology of fungal pathogens causing wheat head blight /X.M. Xu, P. Nicholson // *Annu. Rev. Phytopathol.* – 2009. – 47. – P.83–103.
346. Yang, Z. Breeding for resistance to *Fusarium* head blight of wheat in the mid-to lower Yangtze River Valley of China / Z. Yang // *Wheat Special Report*. – Mexico D.F.: CIMMYT. –1994. – № 27. – P. 13.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
 Федеральное государственное бюджетное учреждение
 «Государственная комиссия Российской Федерации
 по испытанию и охране селекционных достижений»

ПАТЕНТ
НА СЕЛЕКЦИОННОЕ ДОСТИЖЕНИЕ
 № 8240

Пшеница мягкая озимая
 Triticum aestivum L.

УРУП

Патентообладатель

**ФГБНУ 'КРАСНОДАРСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
 СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА ИМ. П.П. ЛУКЬЯНЕНКО'**

Авторы -

АБЛОВА ИРИНА БОРИСОВНА
 БЕСПАЛОВА ЛЮДМИЛА АНДРЕЕВНА
 БУКРЕЕВА ГАЛИНА ИВАНОВНА
 ГРИЦАЙ ТАТЬЯНА ИЛЬИНИЧНА
 ЕФРЕМЕНКОВА ВЕРА ИВАНОВНА
 КОЛЕСНИКОВ ФЕДОР АЛЕКСЕЕВИЧ
 КОЛЕСНИКОВА ОЛЬГА ФЕДОРОВНА
 КУДРЯШОВ ИГОРЬ НИКОЛАЕВИЧ
 КУЗИЛОВА НАТАЛЬЯ МИХАЙЛОВНА
 ЛЕВЧЕНКО ЮРИЙ ГРИГОРЬЕВИЧ
 МОКРОУСОВ ВАДИМ ВИКТОРОВИЧ
 ПАВЛИК ГЕННАДИЙ ИЛЬИЧ
 ТАРХОВ АЛЕКСАНДР СЕРГЕЕВИЧ
 ХУДОКОРМОВА ЖАННА НИКОЛАЕВНА
 ШУРОВЕНКОВА ЛЮДМИЛА ИВАНОВНА



ВЫДАН ПО ЗАЯВКЕ № 8854611 С ДАТОЙ ПРИОРИТЕТА 27.12.2011 г.
 ОПИСАНИЕ, ОПРЕДЕЛЯЮЩЕЕ ОБЪЕМ ОХРАНЫ, ПРИЛАГАЕТСЯ
 ЗАРЕГИСТРИРОВАНО В ГОСУДАРСТВЕННОМ РЕЕСТРЕ
 ОХРАНЯЕМЫХ СЕЛЕКЦИОННЫХ ДОСТИЖЕНИЙ 10.02.2016 г.

Председатель

В.С. Волощенко

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное учреждение
«Государственная комиссия Российской Федерации
по испытанию и охране селекционных достижений»

ПАТЕНТ
НА СЕЛЕКЦИОННОЕ ДОСТИЖЕНИЕ
№ 8114

Пшеница мягкая озимая
Triticum aestivum L.

АНТОНИНА

Патентообладатель

ФГБНУ 'КРАСНОДАРСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА ИМ. П.П. ЛУКЬЯНЕНКО'

Авторы -

АБЛОВА ИРИНА БОРИСОВНА
АГАЕВ РАХМАН АГАРЗА-ОГЛЫ
БЕСПАЛОВА ЛЮДМИЛА АНДРЕЕВНА
БУКРЕЕВА ГАЛИНА ИВАНОВНА
ГРИЦАЙ ТАТЬЯНА ИЛЬИНИЧНА
ЕФРЕМЕНКОВА ВЕРА ИВАНОВНА
КОЛЕСНИКОВ ФЕДОР АЛЕКСЕЕВИЧ
КОЛЕСНИКОВА ОЛЬГА ФЕДОРОВНА
КУДРЯШОВ ИГОРЬ НИКОЛАЕВИЧ
ЛЫСАК НИКОЛАЙ ИВАНОВИЧ
МОКРОУСОВ ВАДИМ ВИКТОРОВИЧ
ТАРХОВ АЛЕКСАНДР СЕРГЕЕВИЧ
ШУРОВЕНКОВА ЛЮДМИЛА ИВАНОВНА



ВЫДАН ПО ЗАЯВКЕ № 8757487 С ДАТОЙ ПРИОРИТЕТА 28.12.2012 г.
ОПИСАНИЕ, ОПРЕДЕЛЯЮЩЕЕ ОБЪЕМ ОХРАНЫ, ПРИЛАГАЕТСЯ
ЗАРЕГИСТРИРОВАНО В ГОСУДАРСТВЕННОМ РЕЕСТРЕ
ОХРАНЯЕМЫХ СЕЛЕКЦИОННЫХ ДОСТИЖЕНИЙ 18.12.2015 г.

Председатель

В.С. Волощенко
В.С. Волощенко

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
 Федеральное государственное бюджетное учреждение
 «Государственная комиссия Российской Федерации
 по испытанию и охране селекционных достижений»

ПАТЕНТ
НА СЕЛЕКЦИОННОЕ ДОСТИЖЕНИЕ
 № 8867

Пшеница мягкая озимая
 Triticum aestivum L.

ВЕЛЕНА

Патентообладатель

ФГБНУ 'КРАСНОДАРСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
 СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА ИМ. П.П. ЛУКЬЯНЕНКО'

Авторы -

АГАЕВ РАХМАН АГАРЗА-ОГЛЫ
 БЕСПАЛОВА ЛЮДМИЛА АНДРЕЕВНА
 БУКРЕЕВА ГАЛИНА ИВАНОВНА
 ГРИЦАЙ ТАТЬЯНА ИЛЬИНИЧНА
 ГУЕНКОВА ЕЛЕНА АНАТОЛЬЕВНА
 ЕФРЕМЕНКОВА ВЕРА ИВАНОВНА
 КОШКИН ВЛАДИМИР АЛЕКСАНДРОВИЧ
 КУДРЯШОВ ИГОРЬ НИКОЛАЕВИЧ
 СЮКОВ ВАЛЕРИЙ ВЛАДИМИРОВИЧ
 ТАРХОВ АЛЕКСАНДР СЕРГЕЕВИЧ
 ФИЛЛОБОК ВЕРА АЛЕКСЕЕВНА
 ХУДОКОРМОВА ЖАННА НИКОЛАЕВНА



ВЫДАН ПО ЗАЯВКЕ № 8654904 С ДАТОЙ ПРИОРИТЕТА 02.12.2013 г.
 ОПИСАНИЕ, ОПРЕДЕЛЯЮЩЕЕ ОБЪЕМ ОХРАНЫ, ПРИЛАГАЕТСЯ
 ЗАРЕГИСТРИРОВАНО В ГОСУДАРСТВЕННОМ РЕЕСТРЕ
 ОХРАНЯЕМЫХ СЕЛЕКЦИОННЫХ ДОСТИЖЕНИЙ 06.02.2017 г.

И.о. председателя *Ю.Л. Гончаров*

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
 Федеральное государственное бюджетное учреждение
 «Государственная комиссия Российской Федерации
 по испытанию и охране селекционных достижений»

ПАТЕНТ
НА СЕЛЕКЦИОННОЕ ДОСТИЖЕНИЕ
 № 8864

Пшеница мягкая озимая
 Triticum aestivum L.

ВИД

Патентообладатель
 ФГБНУ 'КРАСНОДАРСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
 СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА ИМ. П.П. ЛУКЬЯНЕНКО'
 ООО ИПО 'КУБАНЬЗЕРНО'
 ФГБНУ 'СКСХОС КРАСНОДАРСКОГО НИИСХ'

Авторы -

АБЛОВА ИРИНА БОРИСОВНА
 БЕСПАЛОВА ЛЮДМИЛА АНДРЕЕВНА
 БУКРЕЕВА ГАЛИНА ИВАНОВНА
 ГРИЦАЙ ТАТЬЯНА ИЛЬИНИЧНА
 ЕФРЕМЕНКОВА ВЕРА ИВАНОВНА
 КОЛЕСНИКОВ ФЕДОР АЛЕКСЕЕВИЧ
 КУДРЯШОВ ИГОРЬ НИКОЛАЕВИЧ
 КУЗЦОВА НАТАЛЬЯ МИХАЙЛОВНА
 ЛЫСАК НИКОЛАЙ ИВАНОВИЧ
 МОКРОУСОВ ВАДИМ ВИКТОРОВИЧ
 ПОВИКОВ АЛЕКСЕЙ ВЛАДИМИРОВИЧ
 ПОВИКОВА СВЕТЛАНА ВАЛЕРЬЕВНА
 ТАРХОВ АЛЕКСАНДР СЕРГЕЕВИЧ



ВЫДАН ПО ЗАЯВКЕ № 8556856 С ДАТОЙ ПРИОРИТЕТА 10.01.2014 г.
 ОПИСАНИЕ, ОПРЕДЕЛЯЮЩЕЕ ОБЪЕМ ОХРАНЫ, ПРИЛАГАЕТСЯ
 ЗАРЕГИСТРИРОВАНО В ГОСУДАРСТВЕННОМ РЕЕСТРЕ
 ОХРАНЯЕМЫХ СЕЛЕКЦИОННЫХ ДОСТИЖЕНИЙ 06.02.2017 г.

И.о. председателя *Ю.Л. Гончаров*

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное учреждение
«Государственная комиссия Российской Федерации
по испытанию и охране селекционных достижений»

ПАТЕНТ НА СЕЛЕКЦИОННОЕ ДОСТИЖЕНИЕ

№ 9241

Пшеница твердая озимая
Triticum durum Desf.

ОДАРИ

Патентообладатель

ФГБНУ 'КРАСНОДАРСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА ИМ. П.П. ЛУКЬЯНЕНКО'

ООО НПО 'КУБАНЬЗЕРНО'

Авторы -

АБЛОВА ПРИНА БОРИСОВНА
АГАЕВ РАХМАН АГАРЗА-ОГЛЫ
БЕСПАЛОВА ЛЮДМИЛА АНДРЕЕВНА
ДОМЧЕНКО МИЛАНЬЯ ИВАНОВНА
КУДРЯШОВ ИГОРЬ НИКОЛАЕВИЧ
ЛЫСАК НИКОЛАЙ ИВАНОВИЧ
МОКРОУСОВ ВАДИМ ВИКТОРОВИЧ
МУДРОВА АЛЕКСАНДРА АЛЕКСЕЕВНА
ТАРХОВ АЛЕКСАНДР СЕРГЕЕВИЧ
ЯНОВСКИЙ АЛЕКСЕЙ СЕРГЕЕВИЧ



ВЫДАН ПО ЗАЯВКЕ № 8556852 С ДАТОЙ ПРИОРИТЕТА 10.01.2014 г.
ОПИСАНИЕ, ОПРЕДЕЛЯЮЩЕЕ ОБЪЕМ ОХРАНЫ, ПРИЛАГАЕТСЯ
ЗАРЕГИСТРИРОВАНО В ГОСУДАРСТВЕННОМ РЕЕСТРЕ
ОХРАНЯЕМЫХ СЕЛЕКЦИОННЫХ ДОСТИЖЕНИЙ 18.08.2017 г.

Врио председателя

В.И. СТАРЦЕВ
В.И. СТАРЦЕВ

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
 Федеральное государственное бюджетное учреждение
 «Государственная комиссия Российской Федерации
 по испытанию и охране селекционных достижений»

ПАТЕНТ
НА СЕЛЕКЦИОННОЕ ДОСТИЖЕНИЕ
 № 12346

Пшеница твердая озимая
 Triticum durum Desf.

СИНЬОРА

Патентообладатель
 ФГБНУ 'НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР ЗЕРНА ИМЕНИ П.П. ЛУКЬЯНЕНКО'

Авторы -

АБЛОВА ИРИНА БОРИСОВНА
 БЕЛЯКОВА АЛША ЮРЬЕВНА
 БЕСПАЛОВА ЛЮДМИЛА АНДРЕЕВНА
 ВАСИЛЬЕВА АННА МИХАЙЛОВНА
 ДОМЧЕНКО МИЛАНЬЯ ИВАНОВНА
 ЛЫСАК НИКОЛАЙ ИВАНОВИЧ
 МУДРОВА АЛЕКСАНДРА АЛЕКСЕЕВНА
 НОВИКОВ АЛЕКСЕЙ ВЛАДИМИРОВИЧ
 ПОНОМАРЕВ ДМИТРИЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ
 ТАРХОВ АЛЕКСАНДР СЕРГЕЕВИЧ
 ЯНОВСКИЙ АЛЕКСЕЙ СЕРГЕЕВИЧ



ВЫДАН ПО ЗАЯВКЕ № 8154713 С ДАТОЙ ПРИОРИТЕТА 06.12.2018 г.
 ОПИСАНИЕ, ОПРЕДЕЛЯЮЩЕЕ ОБЪЕМ ОХРАНЫ, ПРИЛАГАЕТСЯ
 ЗАРЕГИСТРИРОВАНО В ГОСУДАРСТВЕННОМ РЕЕСТРЕ
 ОХРАНЯЕМЫХ СЕЛЕКЦИОННЫХ ДОСТИЖЕНИЙ 15.08.2022 г.

Председатель

М.Ю. Александров

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
 Федеральное государственное бюджетное учреждение
 «Государственная комиссия Российской Федерации
 по испытанию и охране селекционных достижений»

ПАТЕНТ
НА СЕЛЕКЦИОННОЕ ДОСТИЖЕНИЕ
 № 12331

Пшеница мягкая озимая
 Triticum aestivum L.

ЛЕО

Патентообладатель

ФГБНУ 'НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР ЗЕРНА ИМЕНИ П.П. ЛУКЬЯНЕНКО'

Авторы -

БЕСПАЛОВА ЛЮДМИЛА АНДРЕЕВНА
 ВАСИЛЬЕВА АННА МИХАЙЛОВНА
 ГРИЦАЙ ТАТЬЯНА ИЛЬИНИЧНА
 ГУЕНКОВА ЕЛЕНА АНАТОЛЬЕВНА
 ДОМЧЕНКО МИЛАНЬЯ ИВАНОВНА
 ЕФРЕМЕНКОВА ВЕРА ИВАНОВНА
 КУЗИЛОВА НАТАЛЬЯ МИХАЙЛОВНА
 ЛЫСАК НИКОЛАЙ ИВАНОВИЧ
 ПОНОМАРЕВ ДМИТРИЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ
 ТАРХОВ АЛЕКСАНДР СЕРГЕЕВИЧ
 ФИЛЮБОК ВЕРА АЛЕКСЕЕВНА
 ХУДОКОРМОВА ЖАННА НИКОЛАЕВНА



ВЫДАН ПО ЗАЯВКЕ № 8153706 С ДАТОЙ ПРИОРИТЕТА 14.11.2018 г.

ОПИСАНИЕ, ОПРЕДЕЛЯЮЩЕЕ ОБЪЕМ ОХРАНЫ, ПРИЛАГАЕТСЯ

ЗАРЕГИСТРИРОВАНО В ГОСУДАРСТВЕННОМ РЕЕСТРЕ

ОХРАНЯЕМЫХ СЕЛЕКЦИОННЫХ ДОСТИЖЕНИЙ 19.07.2022 г.

Председатель

М.Ю. Александров

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное учреждение
«Государственная комиссия Российской Федерации
по испытанию и охране селекционных достижений»

ПАТЕНТ
НА СЕЛЕКЦИОННОЕ ДОСТИЖЕНИЕ
№ 12347

Пшеница твердая яровая
Triticum durum Desf.

ЯДРИЦА

Патентообладатель

ФГБНУ 'НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР ЗЕРНА ИМЕНИ П.П. ЛУКЬЯНЕНКО'

Авторы -

БЕСПАЛОВА ЛЮДМИЛА АНДРЕВНА
ДОМЧЕНКО МИЛАНЬЯ ПИВАНОВНА
МУДРОВА АЛЕКСАНДРА АЛЕКСЕЕВНА
НОВИКОВ АЛЕКСЕЙ ВЛАДИМИРОВИЧ
НОВИКОВА СВЕТЛАНА ВАЛЕРЬЕВНА
ПОНОМАРЕВ ДМИТРИЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ
ТАРХОВ АЛЕКСАНДР СЕРГЕЕВИЧ
ЯНОВСКИЙ АЛЕКСЕЙ СЕРГЕЕВИЧ



ВЫДАН ПО ЗАЯВКЕ № 8057842 С ДАТОЙ ПРИОРИТЕТА 02.10.2019 г.
ОПИСАНИЕ, ОПРЕДЕЛЯЮЩЕЕ ОБЪЕМ ОХРАНЫ, ПРИЛАГАЕТСЯ
ЗАРЕГИСТРИРОВАНО В ГОСУДАРСТВЕННОМ РЕЕСТРЕ
ОХРАНЯЕМЫХ СЕЛЕКЦИОННЫХ ДОСТИЖЕНИЙ 15.08.2022 г.

Председатель


М.Ю. Александров

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное учреждение
«Государственная комиссия Российской Федерации
по испытанию и охране селекционных достижений»

ПАТЕНТ НА СЕЛЕКЦИОННОЕ ДОСТИЖЕНИЕ

№ 12754

Пшеница мягкая яровая
Triticum aestivum L.

ДАНКО

Патентообладатель

ФГБНУ 'НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР ЗЕРНА ИМЕНИ П.П. ЛУКЬЯНЕНКО'

Авторы -

БЕСПАЛОВА ЛЮДМИЛА АНДРЕЕВНА
ГРИЦАЙ ТАТЬЯНА ИЛЬИНИЧНА
ГУЕНКОВА ЕЛЕНА АНАТОЛЬЕВНА
ДАВОЯН ЭДВАРД РУМИКОВИЧ
ДОМЧЕНКО МИЛАНЬЯ ИВАНОВНА
НОВИКОВ АЛЕКСЕЙ ВЛАДИМИРОВИЧ
НОВИКОВА СВЕТЛАНА ВАЛЕРЬЕВНА
ПОНОМАРЁВ ДМИТРИЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ
ТАРХОВ АЛЕКСАНДР СЕРГЕЕВИЧ
ФИЛОБОК ВЕРА АЛЕКСЕЕВНА



ВЫДАН ПО ЗАЯВКЕ № 7953972 С ДАТОЙ ПРИОРИТЕТА 05.11.2020 г.
ОПИСАНИЕ, ОПРЕДЕЛЯЮЩЕЕ ОБЪЕМ ОХРАНЫ, ПРИЛАГАЕТСЯ
ЗАРЕГИСТРИРОВАНО В ГОСУДАРСТВЕННОМ РЕЕСТРЕ
ОХРАНЯЕМЫХ СЕЛЕКЦИОННЫХ ДОСТИЖЕНИЙ 23.05.2023 г.

Председатель

 М.Ю. Александров

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное учреждение
«Государственная комиссия Российской Федерации
по испытанию и охране селекционных достижений»

ПАТЕНТ

НА СЕЛЕКЦИОННОЕ ДОСТИЖЕНИЕ

№ 13660

Пшеница мягкая озимая
Triticum aestivum L.

ХИТ

Патентообладатель

ФГБНУ 'НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР ЗЕРНА ИМЕНИ П.П. ЛУКЬЯНЕНКО'

Авторы -

АБЛОВА ИРИНА БОРИСОВНА
АГАЕВ РАХМАН АГАРЗА ОГЛЫ
БЕСПАЛОВА ЛЮДМИЛА АНДРЕЕВНА
БОРОВИК АЛЕКСАНДР НИКОЛАЕВИЧ
БУКРЕЕВА ГАЛИНА ИВАНОВНА
ВАСИЛЬЕВА АННА МИХАЙЛОВНА
ГРИЦАЙ ТАТЬЯНА ИЛЬИНИЧНА
КУДРЯШОВ ИГОРЬ НИКОЛАЕВИЧ
ЛЫСАК НИКОЛАЙ ИВАНОВИЧ
МЕЛЬНИКОВА ЕЛЕНА ЕВГЕНЬЕВНА
МИРОШНИЧЕНКО ТАТЬЯНА ЮРЬЕВНА
ТАРХОВ АЛЕКСАНДР СЕРГЕЕВИЧ



ВЫДАН ПО ЗАЯВКЕ № 7953962 С ДАТОЙ ПРИОРИТЕТА 05.11.2020 г.

ОПИСАНИЕ, ОПРЕДЕЛЯЮЩЕЕ ОБЪЕМ ОХРАНЫ, ПРИЛАГАЕТСЯ
ЗАРЕГИСТРИРОВАНО В ГОСУДАРСТВЕННОМ РЕЕСТРЕ
ОХРАНЯЕМЫХ СЕЛЕКЦИОННЫХ ДОСТИЖЕНИЙ 17.05.2024 г.

Врио председателя

А.В. Куликов

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное учреждение
«Государственная комиссия Российской Федерации
по испытанию и охране селекционных достижений»

ПАТЕНТ
НА СЕЛЕКЦИОННОЕ ДОСТИЖЕНИЕ

№ 13647

Пшеница мягкая яровая
Triticum aestivum L.

МАДАМ

Патентообладатель

ФГБНУ 'НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР ЗЕРНА ИМЕНИ П.П. ЛУКЬЯНЕНКО'

Авторы -

АГАЕВ РАХМАН АГАРЗА ОГЛЫ
БЕСПАЛОВА ЛЮДМИЛА АНДРЕЕВНА
ГУЕНКОВА ЕЛЕНА АНАТОЛЬЕВНА
ДОМЧЕНКО МИЛАНЬЯ ИВАНОВНА
ЗУБАНОВА ЮЛИЯ СЕРГЕЕВНА
КУДРЯШОВ ИГОРЬ НИКОЛАЕВИЧ
НОВИКОВА СВЕТЛАНА ВАЛЕРЬЕВНА
ТАРХОВ АЛЕКСАНДР СЕРГЕЕВИЧ
ФИЛОВОК ВЕРА АЛЕКСЕЕВНА



ВЫДАН ПО ЗАЯВКЕ № 7852956 С ДАТОЙ ПРИОРИТЕТА 30.09.2021 г.

ОПИСАНИЕ, ОПРЕДЕЛЯЮЩЕЕ ОБЪЕМ ОХРАНЫ, ПРИЛАГАЕТСЯ

ЗАРЕГИСТРИРОВАНО В ГОСУДАРСТВЕННОМ РЕЕСТРЕ

ОХРАНЯЕМЫХ СЕЛЕКЦИОННЫХ ДОСТИЖЕНИЙ 13.05.2024 г.

Врио председателя

А.В. Куликов