

На правах рукописи

Щеклеина -

ЩЕКЛЕИНА ЛЮЦИЯ МУЛЛААХМЕТОВНА

**ПОВЫШЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ
ОЗИМОЙ РЖИ И ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ К СПОРЫНЬЕ
(*CLAVICEPS PURPUREA* (FR.) TUL.)
В УСЛОВИЯХ СЕВЕРО-ВОСТОКА НЕЧЕРНОЗЕМЬЯ РОССИИ**

4.1.2. Селекция, семеноводство и биотехнология растений

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
доктора сельскохозяйственных наук

Краснодар – 2025

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном научном учреждении «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого».

Научный консультант: **Шешегова Татьяна Кузьмовна**
доктор биологических наук

Официальные
оппоненты: **Гончаренко Анатолий Алексеевич,**
доктор с.-х. наук, профессор, академик РАН,
ФГБНУ ФИЦ «Немчиновка», главный научный
сотрудник лаборатории селекции и первичного
семеноводства озимой ржи

Чайкин Владимир Васильевич,
доктор с.-х. наук, ФГБНУ «Воронежский ФАНЦ
имени В. В. Докучаева», директор Центра

Пономарев Сергей Николаевич,
доктор с.-х. наук, Татарский научно-исследовательский
институт сельского хозяйства – обособленное
структурное подразделение ФИЦ КазНЦ РАН, главный
научный сотрудник лаборатории селекции озимой ржи
и тритикале

Ведущая организация: ФГБУН Самарский федеральный исследовательский
центр Российской академии наук

Защита диссертации состоится «18» марта 2026 г. в 10:00 часов на заседании диссертационного совета: 35.2.019.05 на базе ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина» по адресу 350044, г. Краснодар, ул. Калинина 13 (гл. корпус, 1 этаж, ауд. 106).

С диссертацией и авторефератом можно ознакомиться в научной библиотеке ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина», по адресу 350044, г. Краснодар, ул. Калинина 13 и на сайтах: <http://www.kubsau.ru> и Высшей аттестационной комиссии – <http://vak.gisnauka.ru>.

Автореферат разослан «29» декабря 2025 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



А.В. Коваль

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследований. В последние годы наблюдается тенденция к увеличению распространения спорыньи на зерновых культурах в различных регионах России и Республике Беларусь, а также за рубежом, особенно, в Центральной Европе. В России спорынья в той или иной степени распространена повсеместно, где возделывается озимая рожь. Ареал распространения болезни в настоящее время охватывает всю территорию Кировской области и большую часть Волго-Вятского региона. Следует подчеркнуть, что проблема спорыньи не только отечественная. В Республике Беларусь поражение болезнью часто носит эпифитотийно-опасный характер в связи с возделыванием тетраплоидной и гибридной ржи, которая более восприимчива к спорынье. В Германии и Польше также наблюдается усиление заражения озимой ржи склероциями гриба *Claviceps purpurea* (Fr.) Tul. и ростом пораженности посевов, что может быть связано с увеличением доли высокоурожайных, но более восприимчивых к спорынье гибридных сортов этой культуры.

Возбудитель болезни – гриб *Claviceps purpurea* (Fries) Tulasne из класса *Ascomycetes*, широко специализированный патоген, поражающий все зерновые культуры и многие злаковые травы, но наиболее сильно поражается озимая рожь, как открытоцветущее растение. Усиливается поражение и другой продовольственной культуры – пшеницы.

Принимая во внимание биологическую опасность спорыньи, содержание склероциев гриба *C. purpurea* в продовольственном и фуражном зерне во всем мире строго регламентируется. В соответствии с требованиями отечественного государственного стандарта на заготавливаемую рожь допускается наличие 0,25% склероциев спорыньи для зерна 1, 2, 3-го классов или группы А (для переработки в муку) и 0,5% – для 4-го класса или группы Б (для кормовых целей и переработки в комбикорма). На поставляемую рожь количество склероциев в группе А не должно превышать 0,05%, в группе Б – 0,1%. В оригинальных семенах не допускается наличие склероциев гриба *C. purpurea*, что в определенной степени способствует уменьшению распространения болезни в посевах зерновых культур и содействует повышению качества зерна. В соответствии с требованиями технического регламента Таможенного союза ТР ТС 015/2011 «О безопасности зерна», содержание склероциев не должно быть свыше 0,05%. Однако, несмотря на существующие ограничения в отечественном и мировом производстве зерна, избавиться от токсичных склероциев пока не удастся, а эргоалкалоиды гриба *C. purpurea* регулярно находят в переработанных из зерновых культур пищевых продуктах.

Вредоносность спорыньи заключается не только в снижении продуктивности растений на 5–10% при коммерческом производстве зерна за счет щуплости сформировавшегося зерна и образовании вместо него склероциев, но и их токсичности, которые могут вызвать у человека и животных – заболевание эрготизм. Однако следует отметить, что эти же эргоалкалоиды незаменимы как действующие вещества многих лекарственных препаратов.

В настоящее время известно об очень ограниченном количестве отечественных исследований по спорынье, освещенных в отдельных научных трудах. Спорынья в силу многих причин современного сельскохозяйственного производства и организации землепользования представляет собой серьезную проблему для оригинального и элитного семеноводства продовольственных и зернофуражных культур, а также для кормопроизводства и питания человека. До настоящего времени в Российской Федерации сортов зерновых культур, устойчивых к этой болезни, в производстве нет, как нет и технологии их создания. Генофонд основных продовольственных культур – озимой ржи и яровой мягкой пшеницы недостаточно исследован по устойчивости, особенно в условиях искусственной инокуляции растений, что затрудняет выявление и использование эффективных источников устойчивости и доноров. Недостаточно информации о биохимических маркерах резистентности. Отсутствуют данные о генетическом контроле признака, генотипически обусловленной токсичности склероциев, характере влияния климатических факторов на разные этапы патогенеза спорыньи, жизнеспособности патогена в разных условиях среды. Изучение этих вопросов позволило бы установить вклад различных факторов в патогенез, что актуально в фитосанитарном прогнозировании; определить уровень снижения продуктивности растений и биологической опасности склероциев у разных сортов зерновых культур; жизнеспособность склероциев и инфекционный потенциал гриба *S. purpurea* в зависимости от почвенно-климатических и других средовых факторов, обеспечивающие контроль и снижение спорыньи в посевах зерновых культур.

Цель исследования – разработать селекционно-иммунологические методы повышения устойчивости к спорынье и создать на их основе урожайные, устойчивые сорта, популяции и линии озимой ржи и яровой мягкой пшеницы для условий Северо-Востока Нечерноземья России.

Для достижения данной цели поставлены следующие **задачи**:

- проанализировать распространение и вредоносность спорыньи на посевах озимой ржи в Северо-Восточном регионе Нечерноземья России для обоснования исследований;
- определить жизнеспособность склероциев и инфекционный потенциал гриба *S. purpurea* в зависимости от почвенно-климатических и других факторов;
- оценить токсичность Кировской популяции гриба *S. purpurea* и выявить для селекции сорта озимой ржи и яровой пшеницы с нетоксичными склероциями и слабо поражаемые спорыньей;
- установить связь биометрии склероциев озимой ржи и яровой пшеницы с их токсичностью, а также токсичности и патогенности гриба *S. purpurea*;
- изучить особенности цветения у разных сортов озимой ржи и обосновать использование этого биомаркера при поиске источников устойчивости; выявить для селекции слабо поражаемые сорта с коротким и активным цветением;
- изучить закономерности наследования и контроля устойчивости озимой ржи к спорынье;
- разработать методы создания искусственного инфекционного фона на спорынью и обосновать использование их применительно к задачам селекции;

- выявить путем скрининга селекционного и коллекционного материала озимой ржи и яровой пшеницы в условиях искусственной инокуляции *C. purpurea* источники устойчивости и использовать их в селекции;
- создать методом рекуррентных биотипических отборов на искусственном инфекционном фоне *C. purpurea* источники устойчивости и использовать их в создании новых популяций и перспективных сортов озимой ржи;
- разработать методические положения по селекции озимой ржи на устойчивость к спорынье и на их основе создать урожайные и устойчивые к болезни сорта.

Работа выполнена в период с 2009 по 2024 гг. в лаборатории иммунитета и защиты растений Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого» (ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока, г. Киров) в соответствии с планом научно-исследовательских работ: №№ государственной регистрации АААА-А16-116021950056-8 (2013–2020 гг.); АААА-А16-116021950059-9 (2013–2020 гг.); АААА-А19-119042290135-7 (2019–2021 гг.); АААА-А19-119042290130-2 (2019–2021 гг.); 1021060407724-6 (2022–2024 гг.), при поддержке РФФИ (конкурсный проект 09-04-13644-офи_ц, 2009–2010 гг.), конкурсным проектом Межотраслевой НПП «Рожь» (2009–2013 гг.) и проектом «Иммунная рожь» (2009–2013, 2014–2016 гг.).

Научная новизна работы. Впервые в России разработаны методические положения по селекции озимой ржи на устойчивость к спорынье, изучены некоторые специфичные вопросы жизнедеятельности возбудителя спорыньи – гриба *C. purpurea*. Это важно для обоснования особенностей селекционно-иммунологических исследований в этом направлении. Впервые за последние 25 лет тщательно проанализировано распространение спорыньи и изучена ее вредоносность на посевах озимой ржи в Северо-Восточном регионе Нечерноземья России. Впервые проанализирована жизнеспособность склероциев и инфекционный потенциал возбудителя болезни в зависимости от почвенно-климатических и других средовых факторов, что имеет значение при сезонном прогнозе и уровне вредоносности спорыньи. Впервые оценена токсичность кировской популяции гриба *C. purpurea* и выявлены особо ценные для селекции сорта озимой ржи и яровой мягкой пшеницы с нетоксичными склероциями и слабопоражаемые спорыньей. Впервые проанализирована и установлена связь между морфо-биометрическими показателями склероциев озимой ржи и яровой пшеницы с их токсичностью. Установлено отсутствие связи между токсичностью склероциев и патогенностью гриба *C. purpurea*. Впервые доказана связь между характером цветения растений озимой ржи и восприимчивостью их к спорынье и выявлены источники устойчивости, характеризующиеся коротким и активным цветением – как маркером устойчивости к болезни. Впервые установлена цитоплазматическая детерминация и достоверный материнский эффект в наследовании устойчивости озимой ржи к спорынье. Впервые с использованием рабочей коллекции возбудителя – гриба *C. purpurea*, имеющейся в лаборатории иммунитета и защиты растений ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока разработаны и успешно апробированы при скрининге генофондов озимой ржи и яровой пшеницы

три метода создания искусственного инфекционного фона на спорынью и обосновано использование способов инокуляции применительно к разным задачам селекции. Впервые выявлены и созданы методом рекуррентных биотипических отборов на искусственном инфекционном фоне *S. purpurea* эффективные источники устойчивости озимой ржи и яровой пшеницы. Впервые разработаны методические положения по селекции озимой ржи на устойчивость к спорынье, которые нашли применение при создании высокоурожайных и устойчивых к спорынье сортов озимой ржи и яровой пшеницы в ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока.

Новизна научных исследований защищена тремя патентами Российской Федерации на сорта озимой ржи Флора (№ 5590, 19.10.2012 г.; доля авторства 5%), Графиня (№ 8221, 26.01.2016 г.; 10%) и Лика (№ 14240, 16.07.2025 г., 5%); патентом на полезную модель «Машина для отделения склероций гриба *Claviceps purpurea* Tul. от семян ржи» (№ 214128, 12.10.2022 г.; 10%). Переданы и проходят государственное испытание сорта яровой мягкой пшеницы Традиция (заявка № 86188/7754277, дата приоритета 25.02.2022 г.; 15%) и озимой ржи Талица (заявка № 89030/7652942, дата приоритета 10.05.2023 г.; 5%).

Теоретическая значимость работы. Результаты исследований имеют значение для целенаправленного поиска устойчивого исходного материала, создания эффективных источников и устойчивых сортов, а также для обеспечения снижения поражения посевов озимой ржи и яровой мягкой пшеницы спорыньей. Разработанные модели искусственного инфекционного фона могут быть использованы в селекционной и иммунологической работе при поиске и создании источников устойчивости. Новые знания по генетическому контролю устойчивости озимой ржи к спорынье позволяют правильно составлять комбинации скрещиваний с учетом цитоплазматической детерминации признака. Доказательный характер цветения озимой ржи является эффективным биомаркером неспецифической устойчивости к спорынье, а сорта с активным и коротким цветением – как источники устойчивости к спорынье. Установлена генотипически обусловленная токсичность гриба *S. purpurea*, которая позволяет выявлять биологически ценные сорта озимой ржи и яровой пшеницы, не накапливающие эргоалкалоиды в склероциях. Наличие отрицательной связи между биометрией склероциев и их токсичностью повышает требования к биологической чистоте продовольственного и фуражного зерна от мелких склероциев. Обоснована возможность повышения устойчивости озимой ржи путем рекуррентных биотипических отборов в сортовых популяциях в условиях инфекционного фона. Выявлена значительная изменчивость жизнеспособности и инфекционного потенциала гриба *S. purpurea* в разных климатических условиях и типах почв, местообитании склероциев в природе, уровнях заделки в почву и их травмированности.

Практическая значимость работы. Выявлены и созданы источники устойчивости озимой ржи и яровой пшеницы, включенные в селекционный процесс отдела озимой ржи и лаборатории селекции яровой мягкой пшеницы ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока. Три сорта (в соавторстве) озимой ржи (Флора, Графиня и Лика) включены в Государственный реестр селекционных достижений. Разработана (в соавторстве) полезная модель «Машина для отделения

склеротий гриба *Claviceps purpurea* Tul. от семян ржи». Подготовлены (в соавторстве) одна монография (Спорынья зерновых культур, 2019) и два издания научно-практических рекомендаций (Селекция озимой ржи на устойчивость к спорынье, 2018; База данных генисточников по комплексу и отдельным хозяйственно-ценным признакам для использования в селекции, 2024). Сорта яровой мягкой пшеницы Традиция и озимой ржи Талица переданы и проходят государственное испытание. Выделенные сорта, популяции и линии включены в рабочую коллекцию генисточников иммунологических и селекционно-ценных признаков, и используются в селекционном процессе, в том числе, для создания сортов, иммунных или слабо поражаемых спорыньей.

Методология и методы исследований. Теоретические знания и методология исследований базируются на аналитической проработке литературных источников за период с 1953 по 2023 гг., в том числе, из базы данных научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU, включающей публикации ведущих отечественных и зарубежных ученых-исследователей по данной тематике. В работе использованы аналитические, экспериментальные (лабораторные, вегетационные и полевые исследования) и статистические (математический анализ полученных результатов) методы исследований.

Основные положения диссертации, выносимые на защиту:

- климатические (избыток осадков при прорастании склеротиев и заражении завязи растений) и агротехнологические (заделка склеротиев на глубину пахотного горизонта и перезимовка их в супесчаной почве, двухлетнее хранение склеротиев) факторы, обеспечивающие контроль спорыньи в природе;
- модели искусственных инфекционных фонов на спорынью, позволяющие выявлять и создавать новые популяции и перспективные сорта озимой ржи для селекции;
- генотипическая обусловленность (растение–хозяин) токсичности склеротиев гриба *C. purpurea*;
- короткий и активный период цветения растений – как ценный биомаркер устойчивости к спорынье;
- методические положения по селекции озимой ржи на устойчивость к спорынье;
- новые сорта и популяции озимой ржи, сорта и линии яровой пшеницы, устойчивые и слабо поражаемые спорыньей – как источники устойчивости к болезни; их иммунологическая и селекционная ценность.

Степень достоверности и апробация результатов исследования. Достоверность результатов исследований подтверждена многолетними полевыми, вегетационными и лабораторными опытами, которые были проведены на высоком методическом уровне с использованием современных высокоточных приборов и лабораторного оборудования, а также статистической обработкой данных, публикациями автора и публичном их представлении на 49 научных мероприятиях.

Основные положения диссертации доложены на международных научно-практических конференциях: «Актуальные проблемы селекции и технологии возделывания полевых культур» [Киров, 2013]; «Методы и технологии в селекции

растений» [Киров, 2012, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021, 2022, 2023, 2024]; «Биологическая защита растений – основа стабилизации агроэкосистем» [Краснодар, 2016]; «Новейшие агротехнологии: теория и практика» [Украина: Винница, 2017]; «Знания молодых: наука, практика и инновации» [Киров, 2019]; «Инновационные технологии – в практику сельского хозяйства» [Киров, 2019]; «От растения до лекарственного препарата» [Москва, 2020]; «Современные тенденции развития технологий здоровьесбережения» [Москва, 2020, 2021, 2023]; «Агробиотехнология–2021» [Москва, 2021]; «Стратегия, приоритеты и достижения в развитии земледелия и селекции сельскохозяйственных растений в Беларуси» [Республика Беларусь: Минск, 2022]; «Эколого-генетические основы селекции и возделывания сельскохозяйственных культур» [Краснодар, 2022]; «Проблемы селекции–2022» [Москва, 2022]; «Российская наука в современном мире» [Москва, 2023, 2024]; «Современные достижения в развитии сельского хозяйства» [Киров, 2023]; «Приоритеты направления развития инновационных технологий в земледелии, растениеводстве, селекции и семеноводстве» [Республика Беларусь: Жодино, 2024]; «Новая наука в новом мире» [Петрозаводск, 2024]; «Проблемы и перспективы научно-инновационного обеспечения агропромышленного комплекса регионов» [Курск, 2024]; на международном симпозиуме ЭУКАРПИА по селекции и генетике ржи [Республика Беларусь: Минск, 2012]; на школе-конференции «Биохимия, физиология и биосферная роль микроорганизмов» [Москва, 2018]; на всероссийской научно-практической интернет-конференции с международным участием, посвящ. 145-летию со дня рождения А.Г. Дояренко [Саратов, 2019]; на съезде микологов России «Успехи медицинской микологии» [Москва, 2022]; FSRAABA 2021: «Fundamental Scientific Research and Their Applied Aspects in Biotechnology and Agriculture» [Tyumen, 2021]; на всероссийской научно-практической конференции имени Жореса Алфёрова [Санкт-Петербург, 2022]; на всероссийских научно-практических конференциях с международным участием: «Озимая рожь: селекция, семеноводство, технологии и переработка» [Екатеринбург, 2012]; «Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем» [Киров, 2018, 2019, 2020, 2021, 2022, 2023, 2024]; «Экология родного края: проблемы и пути их решения» [Киров, 2017, 2018, 2023]; «Достижения и перспективы развития АПК России» [Казань, 2024]; на заседаниях Ученого совета ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока в период с 2009 по 2024 гг.

Публикация результатов исследования. По материалам исследований опубликованы 94 научные работы, в том числе в изданиях, рекомендованных ВАК РФ (20 публикаций), а также в зарубежных изданиях, входящих в базу данных Scopus. Получены (в соавторстве) 3 патента на селекционные достижения и 1 патент на полезную модель. Изданы (в соавторстве) 1 монография и 2 издания научно-практических рекомендаций. Соискатель является соавтором 3 сортов озимой ржи, включенных в Государственный реестр селекционных достижений РФ: Флора, Графиня и Лика.

Личный вклад соискателя. Представленная работа является результатом обобщения экспериментальных данных лабораторных, вегетационных и полевых исследований, полученных за период с 2009 по 2024 гг. Вклад автора состоит в непосредственном участии при формулировании проблемы и планировании

научного эксперимента, обосновании цели и задач исследований, закладке и проведении лабораторных, вегетационных и полевых экспериментов, сборе и обработке исходных данных, анализе и интерпретации полученных результатов, формулировке научных положений и выводов, написании и оформлении текста диссертации. Теоретические и экспериментальные исследования проведены автором самостоятельно, либо совместно с научными сотрудниками лабораторий ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока (г. Киров, п. Фаленки), а также специалистами Института биохимии и физиологии микроорганизмов имени Г. К. Скрыбина РАН – в ФИЦ «Пушкинский научный центр биологических исследований РАН» (ИБФМ РАН, г. Пушкино, Московская обл.), которые являются соавторами научных публикаций и новых сортов озимой ржи и яровой мягкой пшеницы.

Структура и объем и диссертации. Диссертационная работа изложена на 374 страницах и включает: обзор литературы, экспериментальную часть из 8 глав, заключение, предложения селекции и производству, список литературы и приложения. В работе содержится 56 таблиц, 73 рисунка и 46 приложений. Список литературы включает 558 источников, в том числе, 238 работ иностранных авторов.

Благодарности. Соискатель выражает глубокую благодарность научному консультанту, д-ру биол. наук Татьяне Кузьмовне Шешеговой за постоянную и неоценимую помощь, внимание и поддержку, оказываемые на всех этапах выполнения диссертационной работы; директору ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока, канд. с.-х. наук И.А. Устюжанину; заведующей отделом озимой ржи, д-ру с.-х. наук Е.И. Уткиной; заведующей лабораторией селекции яровой мягкой пшеницы, канд. биол. наук Л.В. Волковой; научному сотруднику лаборатории молекулярной биологии и селекции, канд. с.-х. наук А.В. Хариной, коллегам – сотрудникам отдела озимой ржи и лаборатории селекции яровой мягкой пшеницы ФАНЦ Северо-Востока; членам семьи за поддержку и помощь. Считаю своим долгом почтить светлую память учителей и наставников – выдающегося селекционера озимой ржи, д-ра с.-х. наук, заслуженного агронома РФ Л.И. Кедровой и почетного профессора ВИР, д-ра биол. наук, заслуженного деятеля науки РФ В.Д. Кобылянского.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность выбранной темы, ее значимость, цель и задачи исследования. Определена новизна, теоретическая и практическая значимость работы. Обозначены основные положения, выносимые на защиту.

Глава 1 СОСТОЯНИЕ ИЗУЧЕННОСТИ ВОПРОСА

(обзор литературы)

Проведен анализ научной литературы за более чем 70-летний период по истории проблемы спорыньи, некоторым вопросам биологии гриба *S. purpurea*, уровню и характеру вредоносности спорыньи, токсичности склероциев и известных механизмов устойчивости к болезни. Предлагается решение не только селекционно-иммунологических вопросов и обоснование методологии повышения устойчивости озимой ржи и яровой пшеницы к повсеместно прогрессирующей и достаточно сложной в селекционном плане болезни – спорынье, но и ограничение распространения и ее вредоносности на основе анализа жизнеспособности возбудителя в зависимости от комплексного действия средовых факторов.

Глава 2 УСЛОВИЯ, МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования по теме диссертационной работы проводились в период с 2009 по 2024 гг. Экспериментальной базой научных исследований является ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока им. Н.В. Рудницкого», расположенный в г. Кирове. Климат региона умеренно-континентальный с холодной продолжительной зимой, умеренно теплым коротким летом и неустойчивой по температуре и осадкам погодой. Технологии возделывания культур общепринятые для Кировской области. Полевые опыты закладывались на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве в селекционном севообороте по предшественнику чистый пар. Агрохимическая характеристика селекционных питомников: содержание гумуса 2,43–2,56%, подвижного фосфора – 334–349 мг/кг, обменного калия – 232–304 мг/кг почвы, рН солевой вытяжки 5,0–5,4; фитопатологического участка – содержание гумуса 2,27%, подвижного фосфора – 167 мг/кг, обменного калия – 243 мг/кг почвы, рН солевой вытяжки – 4,8.

Материалом исследований являлись более 700 новых сортов и популяций диплоидной озимой ржи (*Secale cereale* L.) селекции ФАНЦ Северо-Востока и сортов других НИУ РФ, коллекционных образцов ВИР, гибридов (F_1 и F_2) и около 200 новых сортов и селекционных линий яровой мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) селекции ФАНЦ Северо-Востока и сортов других НИУ РФ, коллекционных образцов ВИР. В лабораторных экспериментах использовали изоляты конидий патогена, выделенные из свежесобранных на территории Кировской области склероциев ржи и пшеницы и хранящиеся на картофельно-глюкозном агаре (КГА) в коллекции ФАНЦ Северо-Востока. Изучали культурально-морфологические признаки природных и клоновых изолятов местной популяции гриба *S. purpurea*; морфо-биометрические показатели склероциев у более 100 коллекционных и селекционных образцов культур и уровень их токсичности.

Селекционное изучение исходного материала проводили в пяти питомниках: фитопатологическом участке, коллекционном и гибридном, конкурсном и экологическом сортоиспытании в г. Кирове (отдел озимой ржи и лаборатория селекции яровой мягкой пшеницы ФАНЦ Северо-Востока) и п. Фаленки Кировская обл. (Фаленская селекционная станция – филиал ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока).

Образцы оценены по морфологическим, селекционным и иммунологическим показателям в соответствии с «Методикой Государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур» (1985), «Методическими указаниями по изучению мировой коллекции пшеницы» (1999), «Методами создания искусственных инфекционных фонов и оценки сортообразцов пшеницы на устойчивость к вредоносным болезням» (2000), «Методическими рекомендациями по созданию искусственных инфекционных фонов и оценке озимой ржи на устойчивость к болезням» (2003), «Методическим пособием по изучению генетических ресурсов зерновых культур по устойчивости к вредным организмам» (2008), «Методическими указаниями по изучению и сохранению мировой коллекции ржи» (2015), «Методическим пособием по селекции озимой ржи на устойчивость к спорынье» (2018).

Площадь делянок в коллекционном питомнике – 1 м², повторность 2–кратная; в экологическом испытании – 5 м², повторность 3–кратная; в конкурсном испытании – 15 м² (учетная – 10 м²), повторность 6–кратная. Схема закладки фитопатологического участка: стандарт → (сорт, рекомендованный Госкомиссией по испытанию) → индикаторный сорт (восприимчивый) → опытные образцы; площадь делянок – 1 м², повторность 3–кратная. Стандарты и индикаторные сорта размещались в питомниках через каждые 20 номеров. Питомники отбора озимой ржи закладывали на изолированных участках площадью 0,3–0,5 га.

Оценка вредоносности спорыньи проанализирована у относительно контрастных по восприимчивости к спорынье тест-сортов озимой ржи, в том числе с учетом степени поражения спорыньей (количество склероциев от 0 до 11 шт.). Повторность в экспериментах – 3-х кратная.

Поиск и создание источников устойчивости озимой ржи и яровой пшеницы к спорынье проводили на искусственном инфекционном фоне *S. purpurea*. При иммунологической оценке использовали два показателя: «поражение» – это количество растений со склероциями спорыньи к общему количеству анализируемых растений в пробе, выраженное в %, и «засоренность зерна склероциями» – это процентное отношение массы склероциев к массе зерна в пробе. Характеристику образцам по устойчивости к спорынье давали на основании шкалы Т. Миданера с соавторами [Miedaner T. et al., 2010].

Создание источников устойчивости осуществляли методом рекуррентного индивидуального отбора на инфекционном фоне *S. purpurea*. Критериями отбора являлись: отсутствие склероциев на элитном растении, продуктивная кустистость – не менее 3 колосьев, озерненность колоса – 100%, устойчивость к полеганию – 9 баллов, продуктивность колоса и растения – выше стандарта и исходной формы.

Получение чистой культуры возбудителя спорыньи и его идентификация. Выделение гриба *S. purpurea* в чистую культуру осуществляли методом закладки фрагментов склероциев (0,3–0,5 см) и медвяной росы на КГА. Инокулом готовили непосредственно перед заражением путем смыва спор с поверхности культуры дистиллированной водой. Выделение ДНК гриба *S. purpurea* произведено на экспериментальной базе лаборатории молекулярной биологии и селекции ФАНЦ Северо-Востока. Для выделения ДНК патогена использовали свежесобранные склероции на территории Кировской области с растений ржи (Киров, образец Clav. 4; Слободской, образец Clav. 2) и пшеницы (Киров, образец Clav. 3).

При создании искусственного инфекционного фона использовали водно-споровую суспензию конидий *S. purpurea* и твердый инокулом (склероции). Заражение осуществляли тремя методами: опрыскивание колосьев суспензией в период массового цветения растений; внесение споровой суспензии в завязь цветка при появлении зеленых пыльников; заражение почвы путем осеннего внесения склероциев на глубину 2–4 см. При оценке устойчивости генотипа в вариантах с опрыскиванием и внесением склероциев в почву учитывали все инокулированные растения на делянке, при заспорении цветков – только зараженные. Методы инокуляции апробировали на разных по восприимчивости к спорынье тест-сортах ржи: Снежана, Флора, Фаленская 4.

Концентрация спор в инокуляте – 5×10^5 конидий/мл. Доза инокулюма – 50 мл суспензии/м² и 60 склероций/м². Повторность во всех экспериментах 3–кратная.

Поиск сортов озимой ржи с коротким и активным периодом цветения проводили на более 250 сортах ржи в лабораторных и полевых условиях. При лабораторном тестировании объем выборки каждого сорта 40–80 колосьев, отобранных в конце фазы колошения. Срезанные колосья с длиной соломины 50–60 см помещали в 0,5 л сосуды с водой и оставляли при дневном освещении на весь период эксперимента. В полевых исследованиях на делянках конкурсного и экологического испытания шпагатом выделяли 1 м² с не менее 200 колосьями. Учет цветения в опытах проводили дважды в день (в 8–9 и 14–15 часов). Подсчитывали количество цветущих колосьев, которые затем удаляли из опыта, за оставшимися продолжали наблюдение. Сорта оценивали по двум показателям: «продолжительность цветения» (начало и окончание фазы) и «активность цветения» (процент отцветших колосьев за 3–4 дня массового цветения к общему количеству колосьев). Для селекции отбирали генотипы с короткой фазой цветения (3–4 дня – в лаборатории, 5–7 дней – поле) и высокой активностью цветения (более 80% отцветших за этот период колосьев в пробе). Повторность в опытах 3–кратная.

Наследование и контроль устойчивости озимой ржи к спорынье проводили на 12 реципрочных гибридах (F₁ и F₂), полученных от скрещивания относительно устойчивых и восприимчивых сортов [Одинцова И.Г. и др., 1989]. Изучение гибридов проводили при инокуляции цветков суспензией конидий *S. purpurea*.

Жизнеспособность и инфекционный потенциал гриба S. purpurea в зависимости от климатических и почвенных факторов изучали в 7 полевых и лабораторных экспериментах. Важной особенностью гриба *S. purpurea* является необходимость в длительном периоде охлаждения (7–8 месяцев), после которого склероции могут прорасти в стромы (ножки) и образовывать плодовые тела. Во всех экспериментах объектом исследований были склероции, которые в начале октября помещали в 0,5 л сосуды с дерново-подзолистой среднесуглинистой почвой и оставляли на фитоучастке в естественных условиях зимнего периода или инкубировали в холодильнике при температуре +4°C в течение 7 месяцев. В конце мая – начале первой декады июня склероции извлекали и анализировали по двум признакам: «жизнеспособность» (всхожесть) – это процентное содержание всхожих склероциев к их количеству в пробе и «инфекционный потенциал» – это количество стром на одном склероции. Для каждого эксперимента использовали по 25 склероциев, одинаковых по размеру, в 3-кратной повторности.

Опыт 1. Влияние погодных условий на проращивание склероциев и инфицирование завязи. Анализировали среднесуточную температуру воздуха и количество осадков в два важных инфекционных периода гриба *S. purpurea*: проращивание склероциев и заражение завязи. По многолетним наблюдениям эти периоды соответствуют календарным датам в условиях центральной зоны Кировской области: с 1 по 31 мая (проращивание) и с 5 по 15 июня (заражение). Затем оценивали всхожесть и инфекционный потенциал склероциев, а также поражение растений спорыньей в этих условиях. Наблюдения проводили на разных по восприимчивости к спорынье сортах озимой ржи в период с 2009 по 2023 гг.

*Опыт 2. Влияние глубины заделки склероциев гриба *S. purpurea* на их прорастание.* Склероции закладывали в дерново-подзолистую среднесуглинистую почву на глубину пахотного горизонта: 0, 2, 4, 6, 8, 10, 15 и 20 см.

Опыт 3. Влияние гранулометрического состава и типа почвы на прорастание склероциев. Изучали два типа почв (торфяная и дерново-подзолистая) и три гранулометрических состава (супесчаная, среднесуглинистая и тяжелосуглинистая). Склероции закладывали на глубину: 4, 10 и 20 см.

Опыт 4. Влияние местообитания склероциев в природе на их жизнеспособность. Склероции в начале октября помещали в три основные места нахождения гриба *S. purpurea* в природе (на глубину 2–4 см): на пашню; поверхность злакового травостоя высотой 40–50 см и семенной материал озимой ржи, хранящийся в сухом неотапливаемом складе.

Опыт 5. Влияние кислотности почвы на прорастание склероциев. Для анализа использовали почву с рН солевой вытяжки: 3,9; 4,6; 5,3 и 6,9.

Опыт 6. Влияние целостности склероциев на их прорастание. Анализировали целые, не поврежденные склероции, небольшие их фрагменты (0,3–0,5 см), а также с микроповреждениями. Все образцы помещали в сосуды с дерново-подзолистой среднесуглинистой почвой на глубину 2–4 см и инкубировали в холодильнике при температуре +4°C в течение 7 месяцев.

Опыт 7. Жизнеспособность склероциев с разных побегов озимой ржи. Использовали склероции с главного, боковых и недоразвитых побегов (подгон). Закладывали в сосуды с почвой на глубину 4 см.

*Состав и содержание эргоалкалоидов в склероциях кировской популяции гриба *S. purpurea** определяли в Институте биохимии и физиологии микроорганизмов имени Г.К. Скрябина РАН. Анализ экстрактов осуществляли методом тонкослойной хроматографии (ТСХ) на пластинках силикагеля (Silica gel F₂₅₄, «Merck», Германия). Эргоалкалоиды обнаруживали по поглощению или флуоресценции в УФ-свете ($\lambda = 264$ нм) и после опрыскивания пластин реактивом Эрлиха. Метаболиты идентифицировали методом тонкослойной хроматографии со стандартными образцами и с помощью данных УФ-спектроскопии и масс-спектрометрии. Суммарное содержание эргоалкалоидов в экстрактах определяли спектрофотометрически при $\lambda = 313$ нм. Материалом служили образцы склероциев у пяти культур (озимая рожь и озимая тритикале, яровая пшеница, яровая тритикале и яровой ячмень), а также у 30 разных по восприимчивости к спорынье сортов ржи и пшеницы. Инфекционный материал был собран в 3 точках Кировской области (Киров, Слободской, Яранск), расположенных на расстоянии 220 км друг от друга.

Иммунологическую оценку исходного материала осуществляли на естественных и искусственных инфекционных фонах фитопатогенов. При создании инфекционных фонов и учете поражения снежной плесенью, корневыми гнилями и другими болезнями использовали общеизвестные методики.

Статистическая обработка данных проведена методами дисперсионного, корреляционного и регрессионного анализов с использованием пакета программ статистического и биометрико-генетического анализа в растениеводстве и селекции AGROS (версия 2.07.) и программы Microsoft Office Excel 2013.

Глава 3 ИЗУЧЕНИЕ ВРЕДНОСТИ СПОРЫНЬИ

Распространенность спорыньи на территории Кировской области.

Анализ 25-летних данных по распространению спорыньи в Кировской области, проведенных по данным ФГБУ «Россельхозцентр», позволяет говорить, что до 1999 года спорынья не считалась экономически значимой болезнью и в региональных «Прогнозах распространения вредителей и болезней...» не приводилась. По наблюдениям за период с 1999 по 2024 гг. на посевах озимой ржи наблюдалось ежегодное проявление спорыньи со средним поражением возделываемых сортов от 0,02 до 1,70%. Зарегистрировано три случая сильного развития болезни (2001, 2017 и 2024 гг. на отдельных полях поражение достигало 8,0%, 5,0% и 13,3% соответственно) и шесть практически без признаков болезни (2002, 2003, 2006, 2014, 2015, 2016 гг.); в остальные годы – умеренное развитие.

Вредоносность спорыньи при разной степени поражения колоса и вклад генотипа в изменчивость болезни. В контрольном варианте (без инфекции) отсутствовали симптомы спорыньи у всех изучаемых сортов, а элементы продуктивности существенно превышали состояние признаков на инфекционном фоне. Обнаружено, что у разных по восприимчивости сортов ржи поражение составило от 50,0% (Флора) до 80,0% (Кировская 89) при засоренности зерна склероциями от 2,93 до 6,63%. Продуктивность колоса на инфекционном фоне по отношению к контролю снижалась на 0,63–1,19 г, количество зерен в колосе на 13,2–24,2 шт., масса 1000 зерен на 0,2–6,6 г (таблица 1). При этом у наименее восприимчивого сорта Флора крупность зерна и продуктивность колоса на инфекционном фоне изменялись незначительно. Следует отметить, что при инокуляции цветка происходило наибольшее для опыта снижение (в среднем на 24,2 шт. меньше контроля) завязываемости зерна.

Таблица 1 – Состояние элементов продуктивности у пораженных спорыньей и непораженных растений озимой ржи, 2010–2013 гг.

Сорт	Пораже ние, %	Засоренность зерна склеро- циями, %	Количество зерен в колосе, шт.			Масса зерна с колоса, г			Масса 1000 зерен, г		
			К	ИФ	± к конт- ролю	К	ИФ	± к конт- ролю	К	ИФ	± к конт- ролю
Флора	50,0*	2,93*	70,0	45,8*	-24,2	2,67	2,01	-0,66	38,3	38,1	-0,2
Фален- ская 4	62,5*	6,63*	66,0	44,5*	-21,5	2,76	1,57*	-1,19	41,8	35,2*	-6,6
Киров- ская 89	80,0*	4,72*	57,6	44,4	-13,2	2,24	1,61	-0,63	38,9	36,3*	-2,6

К – контроль, ИФ – инфекционный фон

* – отличия от контроля значимы при $P \geq 0,95$

Установлена достоверная ($P \geq 0,95$) связь между засоренностью зерна склероциями и элементами продуктивности растений: количеством зерен в колосе

($r = -0,79$), массой зерна с колоса ($r = -0,86$) и массой 1000 зерен ($r = -0,42$). Сопоставление с другим иммунологическим признаком «поражение спорыньей» выявило, что количество пораженных спорыньей растений в посеве снижало параметры продуктивности, но достоверное влияние признака было лишь на массу 1000 зерен ($r = -0,53$).

На примере сорта озимой ржи Кировская 89 проведен более детальный анализ изменчивости элементов продуктивности (количество зерен в колосе, масса зерна с колоса и масса 1000 зерен) в зависимости от степени поражения колоса спорыньей. Следует отметить, что показатели элементов продуктивности достоверно (при $P \geq 0,95$) снижались при формировании в нем даже одного – двух склероциев, что отражает высокую вредоносность спорыньи. При максимальном количестве склероциев в колосе происходило значительное снижение элементов структуры урожая на 44,6%, 46,0% и 56,8% по отношению к контролю (таблица 2). Снижение массы зерна с колоса в связи с формированием склероциев в ряду расположенных цветках привело к уменьшению продуктивности колоса с 98,0 до 46,0% и увеличению вредоносности на 2,0–54,0% по сравнению с непораженными колосьями. Наблюдается тенденция к постепенному уменьшению количества зерен в колосе с 95,6 до 43,2%. При формировании 11 склероциев в колосе крупность зерна снижалась с уровня 97,7% (1 склероций) до 55,4% (11 склероциев) по отношению к контролю.

Таблица 2 – Динамика элементов продуктивности у тест-сорта озимой ржи Кировская 89 в связи с разной степенью поражения колоса спорыньей, 2017–2019 гг.

Количество склероциев в колосе, шт.	Количество зерен в колосе, шт.			Масса зерна с колоса, г			Масса 1000 зерен, г		
	сред-нее	% к конт-ролю	вредонос-ность, %	сред-нее	% к конт-ролю	вредонос-ность, %	сред-нее	% к конт-ролю	вредонос-ность, %
Контроль – без склероциев	64,3	-	-	2,50	-	-	43,3	-	-
1	61,5	95,6	4,4	2,45	98,0	2,0	42,3	97,7	2,3
2	56,0	87,1	12,9	2,35	94,0	6,0	41,2	95,2	4,8
3	49,0	76,2	23,8	1,98	79,2	20,8	40,8	94,2	5,8
4	41,3	64,2	35,8	1,63	65,2	34,8	40,4	93,3	6,7
5	39,3	61,1	38,9	1,43	57,2	42,8	39,6	91,5	8,5
7	37,5	58,3	41,7	1,35	54,0	46,0	33,2	76,7	23,3
9	34,3	53,3	46,7	1,27	50,5	49,5	28,2	65,1	23,3
11	27,8	43,2	56,8	1,15	46,0	54,0	24,0	55,4	44,6
НСР ₀₅	9,4	-	-	0,3	-	-	2,4	-	-

На основе данных о взаимосвязи иммунологических и селекционных признаков были рассчитаны уравнения регрессии, показывающие количественное влияние содержания склероциев в колосе на важные показатели продуктивности растений. Эти уравнения позволяют выявить характер действия количества склероциев в колосе на формирование зерен в нем, массу зерна с колоса и массу 1000 зерен. Установлено, что соответствующие уравнения регрессии изменчивости количества зерен в колосе ($y = -5,2125x + 69,257$ при $R^2 = 0,986$), динамики массы зерна с колоса ($y = -0,2565x + 2,8658$ при $R^2 = 0,991$) и массы 1000 зерен ($y = -2,1867x + 44,928$ при $R^2 = 0,976$) показывают, что с каждым

новым склероцием в колосе количество зерен в нем снижается в среднем по сортам на 5,2 шт., масса зерна с колоса – на 0,26 г, масса 1000 зерен – на 2,19 г. Таким образом, подобные расчеты могут иметь практическое значение при прогнозе сезонной потенциальной вредоносности спорыньи на конкретных сортах и посевных площадях озимой ржи и других зерновых культур.

По результатам дисперсионного анализа данного эксперимента проанализирован вклад различных факторов в изменчивость проявления спорыньи. Установлено существенное влияние климатических факторов на развитие этой болезни даже при искусственном заражении, о чем свидетельствует преобладание фактора «год», доля которого составила 36,6% – по признаку «поражение» и 29,1% – по признаку «засоренность зерна склероциями» над фактором «сорт» (доля 17,1% и 27,5% соответственно). Поскольку роль сорта усиливается по признаку «степень поражения», то в селекции возможно повышение устойчивости сорта путем выявления и отбора иммунных и наименее поражаемых биотипов в условиях жесткого инфекционного фона: при естественной эпифитотии болезни или искусственной инокуляции селекционного материала *C. purpurea*. К сожалению, в патогенезе спорыньи велика роль и случайных факторов – 42,9% и 37,9% соответственно.

Вредоносность спорыньи и жизнеспособность склероциев на разных побегах растений озимой ржи. Выявлена разная степень поражения побегов озимой ржи. Установлено, что наибольшее количество склероциев в колосе формируется на недоразвитых побегах (подгоне) – в среднем 8,7 шт. (или 76,2% от всех склероциев на растении), на главном побеге – 1,3 шт. (5,2%), на боковых – около 3 шт. (18,6%). Весовое их содержание к массе зерна в 13,4 и 4,1 раза больше, чем на главном и боковых побегах. Таким образом, основная часть наиболее биологически опасных (токсичных) и трудноудаляемых склероциев из зернового вороха при сортировке зерна формируется на недоразвитых побегах озимой ржи. Поэтому дополнительным аргументом при отборе элитных растений и поиске источников для селекции на устойчивость к спорынье является выровненность побегов по высоте, а также отсутствие более уязвимого к конидиям *C. purpurea* подгона.

Установлен также разный вклад побегов растений в недобор урожая ржи в связи с разной степенью поражения их спорыньей. При 100% всхожести склероциев с главного и бокового побега количество стром с плодовыми телами было равноценным (в среднем 46,6 и 40,1 шт.). Их содержание оказалось в 7,6–8,8 раза больше, чем на подгоне, где сформировалось в среднем 5,3 стромы. низкое количество стром у склероциев, сформированных на подгоне, компенсируется их многочисленностью и высокой способностью к прорастанию.

Глава 4 ВЛИЯНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ И ПОЧВЕННЫХ ФАКТОРОВ НА ХАРАКТЕР ПРОЯВЛЕНИЯ СПОРЫНЬИ

Зависимость спорыньи от состояния климатических факторов. При оценке влияния климатических условий на развитие спорыньи мы проанализировали среднесуточную температуру воздуха и количество осадков за период с 2009 по 2023 гг. в два важных инфекционных периода гриба *C. purpurea*.

По нашим многолетним наблюдениям это период прорастания склероциев, что в условиях центральной зоны Кировской области приходится на май, и период заражения завязи, что соответствует датам с 5 по 15 июня.

Сопоставляя данные поражения производственных посевов озимой ржи спорыньей с параметрами климатических факторов, выявлено, что усиление распространения болезни от 0,60 до 1,70% происходило в 2011, 2012, 2021, 2022, 2023 гг., когда количество майских осадков приближалось среднемноголетним значениям или было выше них. Значительный недостаток осадков в мае на уровне 20–65% от нормы был неблагоприятным для прорастания перезимовавших склероциев и образования стром с плодовыми телами, что привело к снижению поражения посевов с 0,40 до 0,02%. Засушливым этот месяц был в 2014, 2015, 2016 гг., поражение составило от 0,02 до 0,20%. Состояние климатических факторов в фазу цветения и заражения растений спорыньей также варьировало. Острозасушливые условия в этот период наблюдались в 2013, 2015, 2020, 2021, 2023 гг. (ГТК = 0,22–0,93). В этих условиях распространение спорыньи в посевах было на уровне от 0,06 до 0,70%. В другие годы цветение озимой ржи проходило в основном при избытке влаги и уровне ГТК = 1,60–4,84 и поражении посевов составило от 0,02 до 0,40%. Лишь два года (2011 и 2012) не соответствуют выявленной тенденции, что может быть связано с засушливыми условиями в мае.

Выявленные тенденции экспериментально подтверждены на различных по восприимчивости к спорынье сортах озимой ржи (Вятка 2, Фаленская 4, Снежана, Флора и Графиня). Для этого проведен корреляционный анализ иммунологических признаков и параметров климатических факторов в центральной зоне Кировской области за период с 2009 по 2023 гг. Доказано, что на поражение посевов спорыньей в большей степени влияет количество осадков в мае ($r = 0,42$), чем температура воздуха в мае ($r = -0,10$). При этом в избыточно увлажненных условиях зависимость между майскими осадками и поражением сортов озимой ржи спорыньей более тесная ($r = 0,96$); в засушливые годы – слабая ($r = 0,16$). Влияние среднесуточной температуры воздуха с 1 по 31 мая в зависимости от уровня влажности одинаковое, но разнонаправленное: при избыточном увлажнении связь положительная ($r = 0,24$), при недостаточном – отрицательная ($r = -0,24$). Действие температуры на патогенез спорыньи повышается в период цветения растений и заражения завязи ($r = 0,30$); засушливые условия усиливают эту связь ($r = 0,49$), а избыточно увлажненные – уменьшают ($r = 0,25$). Влияние июньских осадков на поражение спорыньей слабое ($r = 0,10–0,15$), независимо от их количества.

При анализе проросших склероциев обнаружено, что погодные условия значительно влияют и на инфекционный потенциал гриба *S. purpurea*. Выявлено, что при количестве осадков в мае, близкой к норме (2012, 2016, 2018, 2019 гг.), на одном склероции формировалось от 21 до 52 стром с плодовыми телами, в среднем от 11,6 до 18,6 шт. В засушливых условиях 2014 и 2015 гг. (ГТК = 0,24 и 0,56) количество их снижалось в 1,7–2,2 раза и составило, соответственно, 8,2 и 6,3 стромы. В избыточно увлажненных условиях 2017, 2020, 2021, 2022 гг. (ГТК = 2,04–2,38) на одном склероции формировалось до 68 стром, в среднем от 23,8 до 42,7 шт.

Таким образом, можно прогнозировать усиление развития спорыньи и инфекционного потенциала гриба *C. purpurea* при достаточном и избыточном увлажнении в период выхода склероциев из физиологического покоя и среднесуточной температуре воздуха, близкой к +20°C в период цветения и заражения растений. Вероятно, высокая влажность почвы и воздуха активизирует процесс прорастания склероциев, но в период цветения растений влияние осадков на заражение завязи снижается. Выявленные закономерности позволяют прогнозировать поражение посевов озимой ржи спорыньей сразу после цветения растений. При этом возможное проявление спорыньи и на других зерновых культурах будет зависеть от складывающихся метеорологических условий и концентрации на данной территории наиболее уязвимой культуры – озимой ржи.

Влияние глубины заделки склероциев на их жизнеспособность. В подавлении паразитической активности гриба *C. purpurea* существенное влияние оказывают некоторые почвенные факторы, например, глубина заделки склероциев в почву. Однако многие исследования в этом направлении выполнены без оценки количества сформировавшихся стром в этих условиях. Поэтому для обоснования уровня сезонного распространения спорыньи на посевах важно проанализировать жизнеспособность и инфекционный потенциал склероциев при различных условиях сохранения их в природе. Доказана высокая способность склероциев к прорастанию на всей глубине пахотного слоя. Всхожесть составила 75,0–100% (таблица 3), что может представлять фитосанитарную опасность для зерновых культур и злаковых трав в случае переноса склероциев в верхние слои почвы при весенне-летней обработке. Однако, инфекционный потенциал их на разной глубине значительно отличался. Наилучшие условия для прорастающих склероциев были на глубине до 6 см, где они сформировали наибольшее количество стром с плодовыми телами (в среднем от 10,0 до 21,4 шт., максимум – 44,0 шт.) и все образовавшиеся стромы достигли поверхности почвы. В более глубоких слоях, начиная с 8 см, количество их уменьшилось до 3,7–7,3 шт. Обнаружено также, что появление стром над поверхностью почвы в нижележащих слоях задерживалось на 3–7 дней и, вероятно, аскоспоры вызывают заражение позднеспелых сортов и/или колосьев на недоразвитых побегах растений.

Таблица 3 – Влияние глубины заделки склероциев на характер их прорастания, 2013–2017 гг.

Глубина заделки склероциев, см	Проросших склероциев, %	Количество стром с плодовыми телами на 1 склероции, шт.		Стромы склероциев, достигшие поверхности почвы, %
		пределы варьирования	среднее±отклонение	
0	100	4...28	21,4±0,6	100
2	100	6...24	16,6±0,1	100
4	100	3...44	20,8±1,5	100
6	100	2...28	10,0±1,2	80,0
8	100	2...11	5,4±1,0	50,0
10	90,0	2...8	3,7±0,3	20,0
15	100	2...17	7,1±1,5	0
20	75,0	2...14	7,3±1,7	0
НСР ₀₅	13,5			14,7

Все склероции на глубине более 10 см жизнеспособны, но лишь 20,0% стром достигали поверхности почвы, и в этом случае аскоспоры в патогенезе спорыньи участвуют ограниченно. Снижение всхожести до 75,0% у склероциев, заделанных на глубину 20 см, отчасти объясняется избыточным уплотнением пахотного слоя. Однако их инфекционный потенциал выше склероциев, заделанных на меньшую глубину: среднее количество стром – 7,1; 3,7 и 5,4 шт., что может быть обусловлено достаточной увлажненностью почвы в этом горизонте. Установленная высокая жизнеспособность склероциев на всей глубине пахотного горизонта дерново-подзолистых почв и высокий инфекционный потенциал в слое до 8 см свидетельствует о наличии постоянного источника инфекции спорыньи в природе и предъявляет особые требования при планировании семеноводческих и агротехнологических мероприятий.

Влияние различных типов почв на прорастание склероциев. Выявлено, что наиболее благоприятными для сохранения жизнеспособности склероциев являлись условия торфа, где на глубине от 4 до 20 см проросло в среднем 96,7% при относительно высоком и равноценном количестве стром на одном склероции – от 9,2 до 13,4 шт. (таблица 4). Полученные данные согласуются с исследованиями литовских ученых [Дабкявичюс З.В., 1985], отмечающих, что торфяная почва из-за ее высокой гигроскопичности больше соответствует биологическим требованиям гриба *S. purpurea*.

Таблица 4 – Влияние глубины заделки, типа и гранулометрического состава почвы на характер прорастания склероциев, 2013–2017 гг.

Глубина заделки склероциев, см	Почва	Проросших склероциев, %	Количество стром с плодовыми телами на 1 склероции, шт.	
			среднее±отклонение	пределы варьирования
4	Торфяная	100	13,4±1,8	8,8...19,8
10		100	12,9±0,9	10,4...15,4
20		90,0±4,1	9,2±0,8	6,7...11,2
в среднем		96,7±1,4	11,8±1,0	-
НСР ₀₅		8,2	2,9	
4	Дерново-подзолистая (супесчаная)	97,5±2,5	9,4±1,7	5,2...15,4
10		75,0±8,7	6,2±0,8	4,6...8,8
20		57,5±8,5	2,5±0,9	2,0...6,0
в среднем		76,7±6,1	6,0±0,5	-
НСР ₀₅		11,7	4,5	
4	Дерново-подзолистая (среднесуглинистая)	100	10,2±3,5	4,8...23,8
10		92,5±4,8	9,4±2,1	4,5...17,2
20		70,0±6,8	11,4±1,1	9,4...15,0
в среднем		87,5±3,6	10,3±1,8	-
НСР ₀₅		9,7	3,3	
4	Дерново-подзолистая (тяжелосуглинистая)	100	10,9±2,3	8,8...19,8
10		95,0±5,0	8,7±2,1	4,7...16,8
20		75,0±10,4	8,7±1,7	2,0...11,6
в среднем		90,0±4,1	9,4±1,9	-
НСР ₀₅		6,3	2,1	

В супесчаной почве прорастание склероциев было значительно ниже, вероятно, из-за недостатка влажности. Всхожесть их составила в среднем 76,7%, при количестве стром – от 2,4 до 9,4 шт. Достоверное снижение всхожести с 97,5 до 75,0% склероциев отмечается уже на глубине 10 см. В среднесуглинистой почве всхожесть склероциев была около 87,5% при близком инфекционном потенциале во всех слоях – от 9,4 до 11,4 стром (в среднем 10,3 шт.). Наиболее высокие показатели этого признака и инфекционного потенциала склероциев отмечены на глубине 4 см (в среднем 100% и 10,2 стромы, максимум – 23,8 шт.). Глинистая почва, обладающая хорошей влагоудерживающей способностью, благоприятствовала высокой всхожести склероциев, которая составила в среднем по почвенному горизонту 90,0%, изменялась от 100 до 75,0%. Однако из-за высокой плотности этого типа почв количество стром на склероциях составило в среднем 9,4 шт. (от 8,7 до 10,9 стром с плодовыми телами), что значительно ниже среднесуглинистой и торфяной.

Таким образом, жизнеспособность склероциев определяется не только глубиной их заделки в почву, но и ее плотностью и гигроскопичностью, которые напрямую зависят от ее типа и гранулометрического состава. Обнаружено, что на всех изученных почвах наиболее высокие показатели всхожести (в среднем 97,5–100%) и инфекционного потенциала склероциев (в среднем 9,4–13,4 стром) проявляются на глубине 4 см. Как и в предыдущем эксперименте на глубине всего пахотного горизонта и во всех вариантах опыта сохраняется высокая жизнеспособность склероциев, о чем свидетельствует уровень всхожести – от 57,5 до 100%. Однако по мере заглубления с 4 до 20 см их инфекционный потенциал снижается в несколько раз (в среднем с 13,4 до 2,4 стром на одном склероции).

Жизнеспособность склероциев в различных природных биоценозах. В природных местах, где встречаются склероции гриба *S. purpurea* условия среды далеко неоднозначны по температуре и влажности. На открытых территориях (пашня) микроклимат отличается от участков с растительным покровом (луга, пастбища, залежь), где поверхностный слой почвы с растительными остатками предохраняет осыпавшие склероции от пересыхания и контраста температур.

Наши исследования показали существенные различия по всхожести и инфекционному потенциалу склероциев в разных природных биоценозах. Установлено, что наилучшими условиями для сохранения высокой жизнеспособности склероциев является злаковый травостой, где отмечено 100% их прорастание при наибольшем для опыта количестве стром (в среднем 9,0 шт., максимум 18,5 шт.); на пашне эти показатели составили в среднем 85,0% и 6,8 стром соответственно. При однолетнем хранении в сухом холодном месте (семенной материал ржи) всхожесть сохранилась лишь у 10,0% анализируемых склероциев при количестве стром в среднем 3,0 шт., а при двухлетнем хранении они полностью потеряли способность к прорастанию. Таким образом, склероции, находящиеся под покровом растений, в том числе и сорной растительности на полях и площадях, выведенных из сельскохозяйственного оборота, являются постоянным источником фитосанитарного риска для будущих посевов озимой ржи и других зерновых культур как на данной территории, так и на прилегающей.

Влияние травмирования поверхности склероциев на их прорастание.

Была выдвинута гипотеза о том, что естественное или искусственное повреждение внешнего слоя склероциев (своего рода скарификация) способствует лучшему прорастанию и ускорению формирования стром. Как правило, в семенной материал и зерно (продовольственное, фуражное) попадают склероции, травмированные или поломанные, которые образуются при обмолоте и остаются после некачественной механической обработки зерна.

Нами установлено, что наибольшей жизнеспособностью отличаются целые, неповрежденные склероции: всхожесть их составила в среднем 93,3%; в других вариантах опыта – 72,2% (фрагменты склероциев) и 33,3 % (образцы с микроповреждениями). Мы полагали, что травмированные склероции более восприимчивы к воздействию аборигенной почвенной микрофлоры в местах повреждения и неблагоприятным абиотическим условиям, что может отразиться на их жизнеспособности. Однако оставшиеся жизнеспособные опытные образцы были близки по количеству стром (в среднем 18,6, 16,0 и 11,2 шт.), что предполагает равноценный инфекционный потенциал как целых, так и травмированных склероциев. Поэтому снижение всхожести травмированных склероциев не отражает уменьшение уровня потенциальной инфекции гриба *S. purpurea* в природе. Наличие склероциев в семенах и почве представляет собой серьезную фитосанитарную и биологическую опасность для будущего урожая озимой ржи и других зерновых культур в связи с их высоким инфекционным потенциалом.

Влияние кислотности почвы на жизнеспособность склероциев.

Кислотность почвы влияет на патогенность многих почвенных микромицетов – возбудителей болезней. В процессе исследований мы попытались выяснить, насколько агрессивна повышенная кислотность почвенной среды для зимующих склероциев. Это особенно важно для Кировской области, где 70,0% почв отличаются повышенной кислотностью при преобладающем уровне pH солевой вытяжки – 4,5–5,5. Установлено 100% прорастание склероциев на всех уровнях смоделированной кислотности почвы и практически равноценное количество стром на них (в среднем от 1 до 16 шт.). Однако часть склероциев в вариантах с pH 3,9; 4,6; 5,3 имела очень короткую строму или вид бугорка, отсутствие и недоразвитость плодовых тел, что, вероятно, может влиять на формирование и инфекционность аскоспор патогена. В почве с pH 6,9 коротких стром было меньше, и большинство их имело хорошо развитые плодовые тела. Тем не менее, сохранение высокой жизнеспособности склероциев при широком диапазоне кислотности почвы предполагает наличие потенциально высокой вредоносности спорыньи в разных условиях ее сохранения в природных биоценозах.

Глава 5 ИЗУЧЕНИЕ БИОМЕТРИИ СКЛЕРОЦИЕВ И ТОКСИЧНОСТИ МЕСТНОЙ ПОПУЛЯЦИИ *S. PURPUREA*, ПОИСК СОРТОВ, УСТОЙЧИВЫХ К ПОРАЖЕНИЮ СПОРЫНЬЕЙ И К НАКОПЛЕНИЮ ЭРГОАЛКАЛОИДОВ

Актуальность селекционного пути решения проблемы спорыньи вызвана не только прямыми потерями урожая, но и токсичностью склероциев возбудителя. По данным немецких ученых [Miedaner T. et al., 2021], у менее восприимчивых

генотипов озимой ржи было снижено содержание эргоалкалоидов (ЭА). При этом в разных условиях среды изменяется и их структура. Нами впервые изучена структура ЭА в кировской популяции гриба *C. purpurea*.

Изучение токсичности кировской популяции *C. purpurea*. Мы проанализировали состав и содержание ЭА в образцах склероциев гриба *C. purpurea*, собранных у пяти зерновых культур. Содержание ЭА в образцах склероциев варьировало от 0,3 до 0,9% от их массы. Различия в количестве ЭА могут быть связаны с использованием для опытов различных видов растений-хозяев [Pažoutová S. et al., 2011]. Выявлено наиболее высокое процентное содержание ЭА в склероциях, сформированных на растениях озимой ржи (0,8% и 0,9%) и яровой тритикале (0,9%), а наименьшее (0,3%) – на растениях пшеницы. Место сбора склероциев не оказывало значительного влияния на количественный состав ЭА: на посевах озимой ржи Кировская 89 в 2 точках Кировской области содержание их было на одном уровне. Что касается структуры, то обнаружен также одинаковый состав ЭА в склероциях разных видов зерновых культур, собранных в 3 точках Кировской области, свидетельствует о распространении на данной территории расы гриба *C. purpurea*, для которой характерен биосинтез двух ЭА: эргокристина и его стереоизомера эргокристнина.

Поиск сортов озимой ржи и яровой мягкой пшеницы, устойчивых к *C. purpurea* и не накапливающих эргоалкалоиды в склероциях гриба. Информация об уровне ЭА важна для поиска иммунологически – и селекционно-ценных сортов, сочетающих высокую устойчивость к поражению спорыньей и не накапливающие ЭА. У изученного генофонда озимой ржи иммунные формы отсутствовали, тем не менее выявлены 10 сортов и популяций поражение варьировало от 5,8 до 19,5%, засоренность зерна склероциями – от 0,3 до 1,4%; у индикаторного (восприимчивого) сорта – 100% и 37,0% соответственно. У яровой пшеницы выявлены 2 иммунных сорта (Традиция и Новосибирская 18) и 11 – относительно устойчивых с поражением не более 5,2% и засоренностью зерна склероциями не более 0,3%, в то время как у индикаторного сорта эти показатели составили 21,7% и 1,5% соответственно.

Для оценки токсичности склероциев гриба *C. purpurea* у 30 восприимчивого и относительно устойчивого генофонда озимой ржи и яровой пшеницы определяли состав и содержание ЭА в них. У ржаных склероциев обнаружено отсутствие ЭА в 9 сортах: Лика, Симфония, Гармония, Батист, Графит, Перепел, Ниоба, Садко, Роза и Сара; у пшеницы 3 сорта (Т-38, Оренбургская 23 и Ерос) характеризовались нетоксичными склероциями. В остальных образцах склероциев содержание ЭА различалось в значительных пределах. В ржаных склероциях количество ЭА изменялось от 0,040% (Триумф) до 0,360% (Рушник 2 НП) от их массы; в пшеничных – от 0,060% (селекционные линии П-57 и Н-154) до 0,240% (Т-79). В таблице 5 представлены сорта ржи и пшеницы с наименьшим (0,040–0,140%) их содержанием. У 11 сортов озимой ржи и 6 яровой пшеницы видовой состав ЭА несколько расширился и был представлен эргокристином, эрготамином и его стереоизомером эрготаминином. Только у сорта яровой пшеницы Самгау из Казахстана был идентифицирован один ЭА – эрготамин.

Таблица 5 – Содержание ЭА и их состав в склероциях гриба *S. purpurea* у разных по восприимчивости к спорынье сортов зерновых культур, 2017–2019 гг.

Сорт	Происхождение	ЭА от массы склероциев, %	Состав ЭА
Озимая рожь			
Талица	РФ, Кировская обл.	0,040±0,002	ЭК, ЭТ, ЭМ
Грация		0,100±0,004	ЭК, ЭТ, ЭМ
Фаленская 4 – ст.		0,140±0,007	ЭК, ЭТ, ЭМ
Вавиловская НП	РФ, Ленинградская обл.	0,060±0,002	ЭК, ЭТ, ЭМ
Берегиня		0,060±0,002	ЭК, ЭТ, ЭМ
Янтарная НП		0,070±0,009	ЭК, ЭТ, ЭМ
Амило 2		0,140±0,006	ЭК, ЭТ, ЭМ
Яровая пшеница			
П-57	РФ, Кировская обл.	0,060±0,002	ЭК, ЭТ, ЭМ
С-84		0,090±0,004	ЭК, ЭТ, ЭМ
Long Chan 7	Китай	0,120±0,006	ЭК, ЭТ, ЭМ
ЛТ-3	РФ, Ленинградская обл.	0,120±0,005	ЭК, ЭТ, ЭМ
Самгау	Казахстан	0,140±0,006	ЭТ

ЭК, ЭТ, ЭМ – соответственно эргокристин, эрготамин, эрготаминин

Не установлено значимой (при $P \geq 0,95$) связи между токсичностью и патогенностью гриба *S. purpurea*: коэффициент корреляции между поражением спорыньей и суммарным содержанием ЭА составил $r = 0,30$. Относительно невысокая связь между этими признаками обуславливает необходимость использования в иммунологических исследованиях любых штаммов *S. purpurea*.

Выявлены 9 сортов и популяций озимой ржи (Ли́ка, Симфония, Гармония, Графит, Перепел, Ниоба, Садко, Роса и Сара) селекции ФАНЦ Северо-Востока и 3 сорта и линии яровой пшеницы (Т-38, Оренбургская 23 и Epos), в склероциях которых не выявлены ЭА (таблица 6).

Таблица 6 – Иммунологически ценные сорта, популяции и линии с нетоксичными склероциями

Слабо поражаемые спорыньей	Не содержат ЭА	Иммунные и слабо поражаемые спорыньей	Не содержат ЭА
<i>Озимая рожь</i>		<i>Яровая пшеница</i>	
Ли́ка, Симфония, Гармония, Батист, Подарок НП, Чулпан 2, Россиянка 2, Тринодис 4 Минвак-139/09 НП, Вавиловская НП, Красноярская универсальная НП	Ли́ка, Симфония, Гармония, Графит, Ниоба, Перепел, Сара, Садко, Роса	Традиция, С-65, У-80, У-28, С-84, Т-123, Темп, Новосибирская 18, Тулайковская Надежда, Epos, Самгау, Кайыр, Ul Alta Blanca	Т-38, Оренбургская 23, Epos

Ценность для селекции представляют генотипы, у которых слабое поражение спорыньей сочетается с не накоплением ЭА в склероциях. В этом случае склероции в зерновой массе представляет собой неопасную биологическую примесь. Этим свойством характеризуется сорт яровой пшеницы Epos из Германии, перспективный сорт озимой ржи Ли́ка и новые популяции Гармония и Симфония, которые могут быть использованы в селекции в качестве источников признака.

Влияние морфо-биометрических показателей склероциев гриба *C. purpurea* на их токсичность и качество очистки зерна ржи и пшеницы. Вредоносность спорыньи во многом зависит от параметров склероциев, поскольку крупные образцы образуют больше стром с плодовыми телами. По размерам они обычно превышают зерно в 1,5–2 раза, а по весу – во много раз. Широкая дифференциация этих параметров и их нестабильность в разных условиях среды предполагает анализ изученных образцов по этому признаку, так как это имеет большое значение для улучшения очистки зерна и уменьшение угрозы распространения спорыньи. Установлено, что среди сортов **озимой ржи** селекции ФАНЦ Северо-Востока наиболее крупные склероции (длина 20,0–23,3 мм) формировались на сортах: Садко, Рада, Кировская 89, Перепел и Ниоба, мелкие (15,3–17,1 мм) – Симфония, Фаленская 4, Графит ФП и Лика. У коллекционных образцов наиболее крупные склероции (20,7–25,0 мм) – на сортах Ника 2 НП, Енрушсиб НП 77-8, Вавиловская НП, Красноярская универсальная НП, НВАК 285/15 НП и Шнурик НП; мелкие (в среднем 9,4 мм) – у образца Новая Эра НП. На сортах и селекционных линиях **яровой пшеницы** селекции ФАНЦ Северо-Востока масса одного склероция варьировала в пределах от 0,05 до 0,15 г. Наиболее крупные (0,13–0,14 г) они образовались на линиях Н-154, П-57 и У-80; мелкие (0,05–0,08 г) – Т-123, Маргарита, С-65 и Темп; длинные (11,0–11,6 мм) – Н-154, П-57 и У-80; короткие (7,6–9,8 мм) – Т-123, С-65, Т-79, Т-38, С-84 и Маргарита. На коллекционных образцах формировались склероции с массой от 0,06 до 0,13 г и их длине – от 7,6 мм (линия Т-123) до 14,6 мм (Кайыр). Самые длинные (12,2–14,6 мм) выявлены на сортах Amaretto и Кайыр, короткие (8,8–9,6 мм) – у Long Chun 7 и Самгау, легкие по массе (0,06–0,09 г) – у Epos, Long Chun 7 и Ul Alta Blanca. Близкие биометрические показатели склероциев и зерновок предполагают наибольшую трудноотделимость их при механической очистке и сортировке зерна. Сравнивая биометрию склероциев и зерновок у селекционных и коллекционных образцов, наибольшее сходство выявлено у популяции Графит (средние параметры длины и ширины зерновки: 9,1 и 3,2 мм; склероциев – 9,7 и 3,0 мм соответственно). Поэтому, при очистке и сортировке зерна важно учитывать особенности биометрии склероциев гриба *C. purpurea*, присущих каждой культуре.

Установлено, что как у ржи, так и у пшеницы наиболее крупные склероции сформировались у генофонда культур селекции ФАНЦ Северо-Востока. Корреляционный анализ выявил отрицательную связь между суммарной массой склероциев и содержанием ЭА, которая у сортов озимой ржи составила $r = -0,46$, у яровой пшеницы – $r = -0,32$, что повышает биологическую опасность мелких и трудноотделяемых склероциев, формирующихся, преимущественно, на подгоне.

Глава 6 МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ СЕЛЕКЦИИ ОЗИМОЙ РЖИ НА УСТОЙЧИВОСТЬ К СПОРЫНЬЕ

Для поиска и создания источников необходимо изучение исходного материала на инфекционном фоне. Это особенно важно в связи с нестабильностью климатических факторов, которые оказывают существенное влияние на уровень проявления этой болезни. Для создания инфекционного фона в лаборатории иммунитета и защиты растений ФАНЦ Северо-Востока имеется рабочая коллекция штаммов гриба *C. purpurea*, в т. ч. идентифицированных с помощью ПЦР-анализа.

Моделирование фитопатогеноза спорыньи и учет болезни.

При разработке модели инфекционного фона на спорынью мы использовали три метода инокуляции, подробно описанные в методике. В контрольном варианте склероции у трех тест-сортов в посеве и зерне не обнаружены. Сорта имели 100% озерненность колоса и высокие для опыта показатели продуктивности (таблица 7). Наибольшее распространение болезни отмечено при инокуляции цветков, которое составило в среднем по сортам 33,3%. Это свидетельствует о том, что у каждого третьего инокулированного растения имелись от одного до нескольких склероциев в колосе. В этом же методе выявлены самые низкие показатели озерненности колоса (70,0%), массы 1000 зерен (28,9 г), продуктивности растений (11,8 г) и колоса (1,9 г). Сформировавшиеся при инокуляции цветков склероции были мелкие и многочисленные и по биометрии приближались к зерновке озимой ржи, поэтому их весовая доля в зерне была наименьшей и составила 1,23%. При опрыскивании растений споровой суспензией количество пораженных растений было достоверно меньше других методов и составило 10,0% при содержании склероциев в зерне на уровне 2,00%. Показатели продуктивности растений и колоса по отношению к контрольному варианту снижались незначительно. Озерненность колоса составила – 80,0%. Склероции были достаточно крупными 18,2 мм (длина), 3,3 мм (ширина), 0,12 г (масса). Наибольшая засоренность зерна склероциями (2,22%) получена при осеннем внесении склероциев в почву, то есть при условиях, близких к естественному заражению. Относительно невысокое поражение спорыньей (15,0%) несущественно влияло на элементы продуктивности: озерненность колоса составила 94,0%, продуктивность растений – 15,9 г и колоса – 2,5 г. Склероции были значительно крупнее зерна озимой ржи: 19,1 мм (длина), 3,4 мм (ширина), 0,15 г (масса).

Таблица 7 – Влияние методов инокуляции озимой ржи *S. purpurea* на проявление спорыньи и элементы продуктивности, 2010–2012 гг. (в среднем по сортам)

Метод	Поражение, %	Засоренность зерна склероциями, %	Масса зерна, г		Масса 1000 зерен, г	Озерненность колоса, %
			с растения	с колоса		
Контроль – без заражения	0	0	16,8±0,2	2,7±0,1	30,5±0,4	100
Инокуляция цветков	33,3*±1,1	1,23±0,47	11,8*±0,1	1,9*±0,1	28,9*±0,4	70,0*±0,2
Опрыскивание растений	10,0*±1,5	2,00*±0,38	14,8±0,2	2,4±0,1	30,4±0,6	80,0*±0,2
Внесение склероциев в почву	15,0*±1,9	2,22*±0,80	15,9±0,3	2,5*±0,2	29,9±0,3	94,0±0,1

* – отличия от контроля значимы при $P \geq 0,95$

Оценивая перспективы практического использования данных методов инокуляции, мы рекомендуем следующие особенности их применения.

Для более точной оценки исходного материала лучше применять **инокуляцию цветков** шприцом в начале колошения растений. Метод не зависит от погодных условий в период инокуляции и позволяет получить объективную оценку восприимчивости, но он достаточно трудоемкий и малопродуктивный.

Опрыскивание растений споровой суспензией в фазу цветения растений достаточно эффективно как для первичной оценки исходного материала, так и для отбора устойчивых форм. Однако при жаркой и сухой погоде прорастание спор проблематично. В этом случае необходимо инокулированные растения помещать под полиэтиленовые изоляторы на 1–2 дня. Метод отличается легкостью выполнения и высокой производительностью. **Внесение склероциев** в почву можно применять на достаточно больших площадях при массовой оценке исходного материала и улучшающем отборе селекционного материала. В этом случае заражение растений аскоспорами, образовавшимися после прорастания плодовых тел, осуществляется естественным путем. Данный метод характеризуется простотой и демонстрирует высокую эффективность при наличии благоприятных климатических условий в период выхода склероциев из физиологического покоя. Недостатком метода является сильная зависимость прорастающих склероциев от климатических факторов, что в условиях центральной зоны Кировской области обычно бывает в конце мае – начале июня. Однако, засушливые условия мая и недостаток влаги в почве могут до минимума снизить жизнеспособность склероциев гриба *S. purpurea* или образуют относительно небольшое количество стром. Таким образом, в зависимости от целей селекции каждый из разработанных и апробированных методов создания инфекционного фона на спорынью может быть использован в селекционной работе для повышения устойчивости озимой ржи и яровой пшеницы, а также других зерновых культур к этой болезни. При этом необходимо учитывать объемы исследований и трудоемкость работ.

Характер цветения растений как биомаркер устойчивости к спорынье и поиск генотипов озимой ржи с коротким и активным цветением. Известно, что восприимчивость к спорынье может быть обусловлена такими свойствами генотипа, как открытость – закрытость цветков, размер рыльца и скорость его усыхания после опыления, характер пыльцеобразования. Для озимой ржи, как открытоцветущего растения, сорта с коротким и дружным цветением должны быть менее подвержены заражению завязи, чем с растянутым, вследствие относительно быстрого опыления цветков и их закрытия. В лабораторных и полевых условиях по характеру цветения изучено более 250 сортов озимой ржи, из которых 11 (Флора, Графиня, Пурга, Татьяна, Чулпан 7, Роксана, Саратовская 5, Саратовская 7, Марусенька, Радонь и Огонек) – отличались коротким и активным цветением (таблица 8). У таких сортов за 3–4 дня отцветало от 80,3 до 94,5% цветков в колосе, которые характеризовались непродолжительным периодом этой фазы. Активность цветения индикаторного сорта была существенно ниже и в лабораторном эксперименте составила в среднем 56,5%, а в поле – 57,9%.

В ходе корреляционного анализа выявлена тесная (при $P \geq 0,95$) и значимая связь между: активностью цветения сортов и поражением их спорыньей ($r = -0,76$), продолжительностью цветения и поражением спорыньей ($r = 0,82$), активностью цветения и засоренностью зерна склероциями ($r = -0,95$), продолжительностью цветения и засоренностью зерна склероциями ($r = 0,76$). Достоверность связей между этими признаками предполагает использование обоих экспериментов

при отборе сортов для селекции. Поскольку оба эксперимента демонстрируют высокую сопоставимость, то для получения информации об особенностях цветения конкретных сортов достаточно данных, полученных в любом из них.

Таблица 8 – Сорта ржи с коротким и активным цветением, 2012–2014, 2021 гг.

Сорт	Учреждение-оригинатор	Продолжительность цветения, дней		Активность цветения, %	
		в лаборатории	в поле	в лаборатории	в поле
Флора	ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока	4,7	7,0	94,5	88,6
Графиня		5,0	7,0	89,0	82,5
Пурга	ФГБНУ ФИЦ «Немчиновка»	5,0	7,0	88,4	94,5
Татьяна		4,5	7,0	94,3	80,5
Чулпан 7	Башкирский НИИСХ УФИЦ РАН	5,7	7,5	87,6	87,0
Роксана	Самарский НИИСХ – филиал СамНЦ РАН	5,0	7,7	88,1	80,3
Саратовская 5	ФГБНУ «ФАНЦ Юго-Востока»	3,5	7,0	90,7	81,6
Саратовская 7		5,3	7,0	82,9	83,3
Марусенька		6,0	7,0	86,1	81,1
Радонь	ФИЦ Казанский научный центр РАН	4,5	7,7	91,9	87,8
Огонек		5,0	7,3	89,1	86,3
Индикаторный сорт		8,0	10,0	56,5	57,9
НСР ₀₅		0,8	0,7	9,8	7,6

Выявленные сорта можно рекомендовать как источники для селекции на устойчивость к спорынье, а характер цветения растений использовать в качестве биомаркера при поиске иммунологически-ценных форм.

Анализ наследования устойчивости озимой ржи к спорынье. В связи с отсутствием информации о механизмах передачи устойчивости к спорынье и необходимостью этих знаний для подбора родительских форм при гибридизации, было проведено изучение закономерностей наследования данного признака в условиях искусственной инокуляции. У гибридов, полученных от скрещивания контрастных по устойчивости сортов, обнаружены все типы наследования: от сверхдоминирования (при показателе наследования 5,10; 5,50; 1,29) до депрессии признака (D : -12,5; -3,70; -11,0). При анализе гибридов второго поколения и их родительских форм выявлено, что фенотипическое расщепление устойчивых и восприимчивых форм приближалось в основном к менделеевским типам 15:1 и 63:1. Установлена цитоплазматическая детерминация и достоверный материнский эффект в наследовании устойчивости ржи к спорынье. Устойчивость гибридов, полученных от скрещивания с устойчивыми материнскими формами значительно выше обратных комбинаций. Контроль признака осуществляется двумя или тремя доминантными генами. Выявленные особенности генетического контроля устойчивости к спорынье могут быть положены в основу селекции сортов озимой ржи с повышенной устойчивостью к данному заболеванию.

Глава 7 СОЗДАНИЕ УСТОЙЧИВОГО ИСХОДНОГО МАТЕРИАЛА ДЛЯ СЕЛЕКЦИИ

Основные методические положения по селекции озимой ржи на устойчивость к спорынье. На основании проведенных исследований

разработаны методические положения по селекции на устойчивость к спорынье, которые содержат следующую последовательность селекционно-иммунологических работ (рисунок): создание искусственного инфекционного фона различными методами в зависимости от поставленных задач; скрининг исходного материала, выявление и рекуррентный отбор непоражаемых биотипов на инфекционном фоне *S. purpurea*; тестирование устойчивости и продуктивности полученных источников в условиях естественных эпифитотий или искусственного заражения; изучение наследования и генетического контроля для правильного подбора родительских форм; использование источников в селекции путем создания популяций на их основе; включение источников устойчивости в программу скрещиваний с лучшими сортами или их направленное переопыление.

Скрининг генофондов озимой ржи и яровой мягкой пшеницы на искусственном инфекционном фоне *S. purpurea*. За период с 2012 по 2023 гг. при искусственной инокуляции *S. purpurea* изучено более 700 сортов ржи и около 200 – пшеницы. Следует отметить, что подавляющее большинство изученного исходного материала сильно восприимчиво к спорынье. Доля относительно устойчивых мала, а иммунные сорта у озимой ржи отсутствуют, у яровой пшеницы – единичны. К источникам устойчивости можно отнести перспективные сорта и новые популяции **озимой ржи** селекции ФАНЦ Северо-Востока: Флора, Графиня, Рушник, Лика, Талица, Сармат, Симфония, Гармония, Перепел, Рада, Графит и Графит ФП. В естественных условиях развития *S. purpurea* растения поражались спорыньей на уровне 0,02–0,04%, а стандарт Фаленская 4 в среднем – 1,7%. На инфекционном фоне *S. purpurea* можно говорить лишь об относительно меньшей восприимчивости к болезни. Степень поражения этого сортимента была существенно меньше, чем у других сортов и стандарта Фаленская 4, о чем свидетельствует невысокая засоренность зерна склероциями: в среднем от 0,7 до 3,8%, у стандарта – 5,7%, у индикаторного сорта – 30,4% (таблица 9). Выделенные сорта и популяции демонстрировали также высокую урожайность на инфекционном фоне *S. purpurea*, которая составила в среднем у сортов: Лика – в среднем 669 г/м², Графиня – 639 г/м², Графит ФП – 628 г/м², Симфония – 605 г/м², Перепел и Флора – по 577 г/м², что достоверно выше стандарта Фаленская 4 (434 г/м², НСР₀₅ = 201,9). По массе 1000 зерен выделяются Лика (39,6 г), Симфония (37,6 г), Графиня (36,7 г), Гармония (36,6 г), Графит ФП (36,4 г) и Флора (36,2 г), которые также превысили стандарт Фаленская 4 по крупности зерна (35,6 г, НСР₀₅ = 2,6).

У многих отечественных сортов озимой ржи из других НИУ РФ поражение спорыньей на инфекционном фоне *S. purpurea* достигало 100%. Наименьшее проявление болезни (засоренность зерна склероциями – 3,2–11,9%) обнаружено у 7 сортов: Саратовская 7, Чусовая, Марусенька, Татьяна, Антарес, Московская 12 и Славия; у индикаторного сорта – 47,7%. Урожайность их варьировала в среднем от 310 до 539 г/м² (НСР₀₅ = 160,2), что на уровне или выше стандарта Фаленская 4. Из них сорта селекции «ФАНЦ Юго-Востока» (Саратовская 7 и Марусенька) и ФИЦ «Немчиновка» (Татьяна) характеризуются также коротким и дружным цветением, урожайностью и крупностью зерна достоверно превышали стандарт.

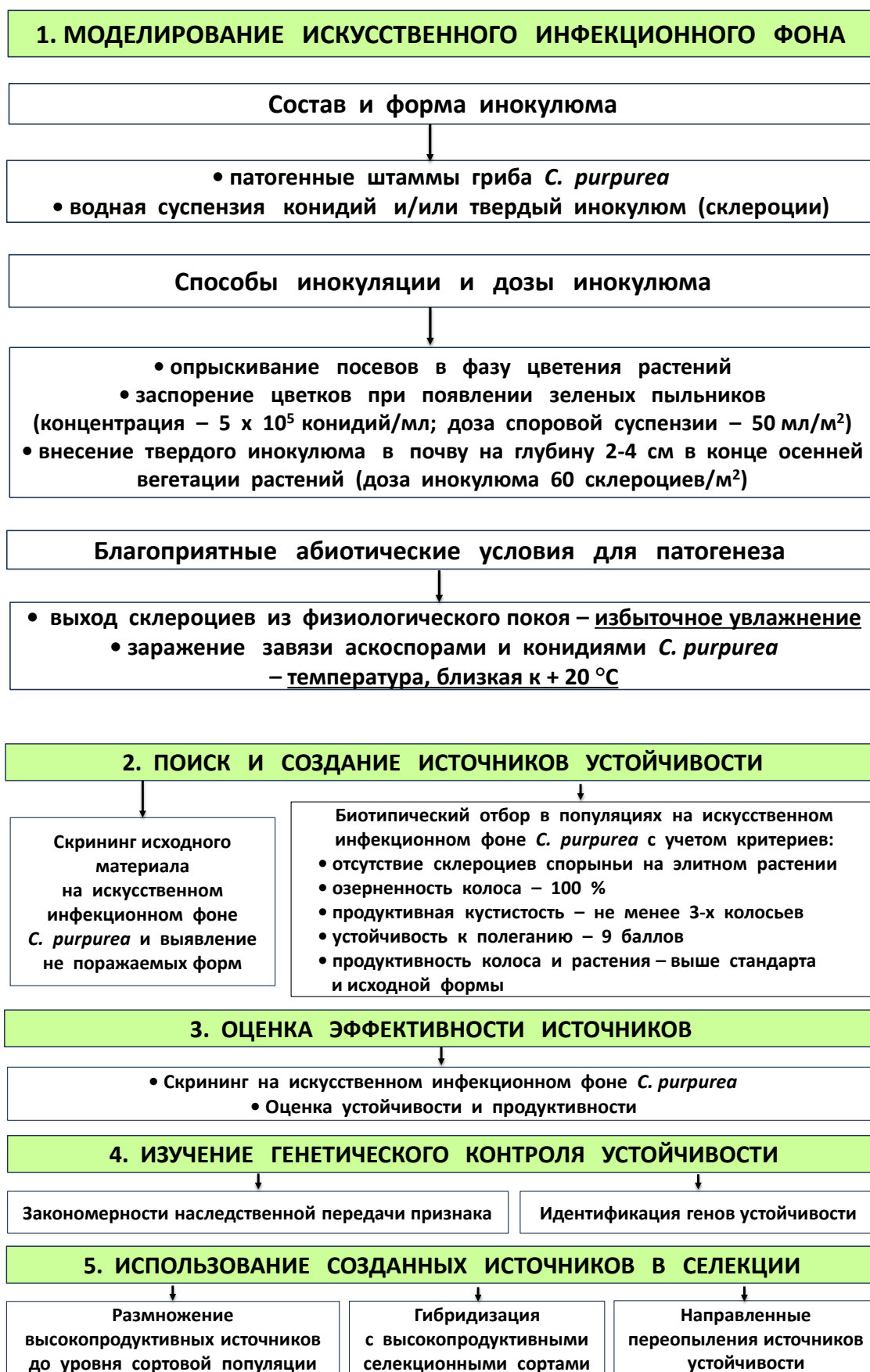


Рисунок – Основные селекционно-иммунологические работы по повышению устойчивости озимой ржи к спорынье

Таблица 9 – Наименее поражаемые спорыньей сорта и популяции озимой ржи при искусственной инокуляции *S. purpurea*

Сорт, популяция	Засоренность зерна склероциями, %		Урожайность, г/м ²		Масса 1000 зерен, г	
	пределы варьирования	среднее± отклонение	пределы варьирования	среднее± отклонение	пределы варьирования	среднее± отклонение
Сорта и популяции селекции ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока						
Фаленская 4 – ст.	0,5...18,7	5,7±2,1	268...700	434±51	30,7...38,0	35,6±0,9
Симфония	0,5...2,1	1,3±0,3	424...890	605±91	34,9...40,2	37,6±1,7
Гармония	0,6...2,7	1,5±0,4	406...792	572±77	33,2...39,9	36,6±2,1
Сармат	0,4...1,9	1,3±0,5	356...685	527±95	32,9...36,4	34,7±1,4
Лика	0,5...3,1	1,7±0,6	509...900	669±68	34,2...41,8	39,6±2,1
Флора	0,4...2,4	1,5±0,3	410...840	577±63	34,2...38,3	36,2±0,8
Перепел	0,6...7,1	3,4±0,9	321...970	577±99	31,2...41,7	34,9±1,8
Рушник	0,3...1,1	0,7±0,2	465...680	558±64	31,2...37,1	34,2±2,4
Графиня	0,2...5,7	1,9±1,3	469...899	639±95	36,6...36,8	36,7±0,1
Графит ФП	0,6...3,8	1,4±0,8	420...870	628±91	32,6...40,1	36,4±2,7
Рада	0,3...8,9	3,0±1,9	400...790	533±90	32,4...36,9	35,6±1,1
Талица	0,5...9,4	3,8±1,7	400...740	533±73	33,9...39,2	35,8±1,1
Графит	0,8...7,9	3,6±1,0	315...733	523±59	34,2...40,6	36,5±1,1
Индикаторный сорт		30,4±5,7	-			
НСР ₀₅	-			201,9	-	2,6
Сорта других НИУ РФ						
Саратовская 7	0,3...18,2	8,6±7,6	191...900	510±58	41,8...42,7	42,4±0,3
Марусенька	0,5...13,2	9,6±5,6	177...900	539±62	38,2...41,8	41,2±0,7
Чусовая	0,2...2,7	3,2±1,6	160...840	420±91	37,1...38,4	37,3±1,4
Славия	1,5...8,1	4,8±3,3	220...400	310±90	33,5...37,1	35,9±1,5
Татьяна	1,0...17,4	5,6±2,8	310...733	459±69	36,1...40,7	38,1±2,2
Московская 12	5,4...19,2	10,0±4,6	120...456	352±97	30,9...42,8	39,2±3,9
Антарес	8,4...16,4	11,9±2,4	139...570	316±90	34,6...40,6	38,0±2,2
Индикаторный сорт		47,7±11,6	-			
НСР ₀₅	-			160,2	-	4,5

В изученной коллекции ВИР озимой ржи также не обнаружено образцов с высокой устойчивостью к спорынье. Наименее восприимчивыми к болезни (поражение – 5,8–25,0%; засоренность зерна склероциями – 0,3–2,4%) являются 8 образцов: Подарок НП, Чулпан 2, Тринодис 4 Минвак-139/09 НП, Красноярская универсальная НП, Россиянка 2, Вавиловская НП, Таловская 2 и Новая Эра НП; поражение спорыньей стандарта Фаленская 4 составило 40,7%, засоренность зерна склероциями – 3,5%. Среди них только низкопентозановый образец Подарок НП характеризовался наилучшими показателями: поражение – 5,8%, засоренность зерна склероциями – 0,3% при наиболее высокой для генофонда урожайности (538,0 г/м² НСР₀₅ = 87,2). Пять образцов (Новая Эра НП, Тринодис 4 Минвак-139/09 НП, Красноярская универсальная НП, Россиянка 2 и Вавиловская НП) также превышали стандарт по урожайности на инфекционном фоне *S. purpurea*. Наши данные согласуются с исследованиями В.Д. Кобылянского и О.В. Солодухиной [2021], которые отмечали, что при одинаковом уровне инфекционной нагрузки гриба *S. purpurea* средняя пораженность спорыньей

растений высокопентозанового сорта Новая Эра составила 48,5%, а низкопентозанового сорта Новая Эра НП – 18,1%. В наших исследованиях обнаружена меньшая восприимчивость к спорынье низкопентозановых форм озимой ржи по сравнению с высокопентозановыми. Поражение низкопентозановой группы образцов составила в среднем – 27,1%, засоренность зерна склероциями – 1,6%; у высокопентозановой – 53,5% и 6,4% соответственно. С учетом высокой урожайности низкопентозановых форм, данное обстоятельство может быть использовано в селекции сортов озимой ржи для кормового использования. Наименее поражаемые образцы могут быть использованы в качестве источников по повышению устойчивости озимой ржи к спорынье.

К источникам устойчивости можно отнести два иммунных сорта **яровой пшеницы**: Традиция и Новосибирская 18. Перспективный сорт Традиция селекции ФАНЦ Северо-Востока не поражался спорыньей в течение 3 лет изучения (2019–2021 гг.) на инфекционном фоне *S. purpurea*. Среди коллекционного и селекционного материала яровой пшеницы наименее поражаемыми являются 11 – относительно устойчивых с поражением не более 5,2% и засоренностью зерна склероциями не более 0,3%, в то время как у наиболее восприимчивого сорта эти показатели составили 21,7% и 1,5% соответственно (таблица 10). Следует отметить перспективность селекционной линии С-65, поражение которой составило 1,7%, засоренность зерна склероциями – 0,1%.

Таблица 10 – Сорта и линии яровой пшеницы, относительно устойчивые к спорынье, при искусственной инокуляции *S. purpurea*, 2017–2019 гг.

Сорт, линия	Происхождение	Поражение спорыньей, %	Засоренность зерна склероциями, %
<i>Сорта из коллекции ВИР</i>			
Новосибирская 18	РФ, Новосибирская обл.	0*	0*
Тулайковская Надежда	РФ, Самарская обл.	1,3*±0,1	0,1*
Кайыр	Казахстан	1,3*±0,1	0,1*
Ul Alta Blanca	США	1,6*±0,2	0,1*
Epos	Германия	2,1*±0,5	0,2*
Самгау	Казахстан	2,5*±0,5	0,2*
<i>Сорта и линии селекции ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока</i>			
Традиция	РФ, Кировская обл.	0*	0*
С-65		1,7*±0,2	0,1*
У-80		2,9*±0,8	0,1*
У-28		4,7*±0,9	0,2*
С-84		5,1*±1,0	0,2*
Т-123		5,1*±1,0	0,2*
Темп		5,2*±1,0	0,3±0,1
Баженка – ст.		7,4±1,5	0,4±0,2
Индикаторный сорт		21,7±4,4	1,5±0,8

* – отличия от стандарта статистически значимы при $P \geq 0,95$

Таким образом, при скрининге коллекционных и селекционных генофондов озимой ржи и яровой пшеницы на искусственном инфекционном фоне *S. purpurea* обнаружена крайне слабая частота встречаемости (не более 5–6%) устойчивого к спорынье исходного материала. В связи с этим, на текущем этапе селекционная

стратегия в отношении данной болезни должна быть направлена на выявление устойчивых форм и внутрипопуляционный рекуррентный отбор непоражаемых биотипов на искусственном инфекционном фоне *S. purpurea* с целью их использования в селекционной работе в качестве источников устойчивости.

Эффективность отборов на искусственном инфекционном фоне *S. purpurea*. На основе разработанных нами методических положений и совместно с отделом озимой ржи ФАНЦ Северо-Востока создано 10 новых популяций озимой ржи, которые находятся на различных этапах селекционного процесса. Они получены с участием источников устойчивости, отобранных на отдельных моновидах или сочетанных инфекционных фонах по спорынье, снежной плесени и фузариозу колоса. Большинство популяций характеризуются меньшей восприимчивостью к спорынье, чем исходные формы, поскольку на всех инфекционных фонах отбирали биотипы, не имеющие склеротий. В результате многолетнего изучения выявлено, что лишь в нескольких популяциях отбор по устойчивости к спорынье и другим грибным болезням был достаточно успешным. Ряд из них, по разным причинам (низкая зимостойкость и урожайность, полегание и др.) был выбракован в начале селекционного изучения. К конкурсному сортоиспытанию были допущены 5 перспективных популяций озимой ржи: ФК 7/10-12, Перепел, Графит ФП, Гармония и Симфония.

За 3 года изучения наиболее успешным стало создание популяции **ФК 7/10-12** с использованием комплексно устойчивых биотипов сорта Графиня. Поражение спорыньей на инфекционном фоне было от 1,6 до 4,4% (в среднем 2,2%); засоренность зерна склеротиями – от 0,02 до 0,06% (в среднем 0,04%). У исходной формы поражение спорыньей от 1,9 до 6,4% (в среднем 4,2%); засоренность зерна склеротиями – от 0,04 до 0,21% (в среднем 0,14%) (таблица 11). В питомнике конкурсного испытания (КСИ) ФАНЦ Северо-Востока урожайность популяции составила от 5,22 до 5,67 т/га (в среднем 5,39 т/га), что достоверно превысило стандарт Фаленская 4 на 0,40–1,08 т/га (таблица 12). Однако повторный отбор по схеме Графиня → ФК 7/10-12 → Графит продемонстрировал меньшую эффективность, предположительно из-за генетического ухудшения в результате внутрисортного отбора. Степень поражения спорыньей популяции Графит увеличилась от 0,8 до 7,9% (в среднем до 3,6%).

Популяция **Графит ФП** создана в результате отбора непоражаемых спорыньей и высокопродуктивных элитных растений из популяции Графиня. Популяция характеризуется меньшей степенью поражения, чем у исходной формы. Засоренность зерна склеротиями изменялась от 0,6 до 3,8% при среднем значении – 1,4%, что значительно ниже, чем у исходной формы (3,6%). В питомнике КСИ урожайность популяции Графит ФП составила от 4,61 до 4,74 т/га (в среднем 4,68 т/га), что на уровне стандарта Фаленская 4 (4,74 т/га).

Популяция **Перепел** сформирована в результате отбора непоражаемых спорыньей и высокопродуктивных элитных растений в питомнике направленного переопыления трех сортов Рада, Московская 12 и Графиня. Популяция характеризуется меньшей степенью поражения, чем исходных форм. Засоренность зерна склеротиями варьировала от 0,6 до 7,1% при среднем значении 3,4%,

что ниже, чем у исходных форм. Урожайность в питомнике КСИ была от 4,23 т/га до 6,55 т/га (в среднем 5,18 т/га), что на уровне стандарта Фаленская 4 (5,33 т/га).

Популяция **Гармония** получена с использованием источников устойчивости к спорынье и фузариозу колоса, выделенных на фоне смешанной инфекции *S. purpurea* и *Fusarium* spp. при свободно-ограниченном опылении сортов Рада, Московская 12 и Графиня. Степень поражения изменялась от 0,6 до 2,7% при среднем значении 1,5%, что существенно ниже исходных форм (в среднем 5,0%). В питомнике КСИ ФАНЦ Северо-Востока урожайность популяции Гармония была в среднем 4,38 т/га, что существенно ниже стандарта – 5,15 т/га. На Фаленской селекционной станции в 2021 году урожайность ее составила – 3,03 т/га, что существенно выше стандарта Фаленская 4 на 0,43 т/га ($НСР_{05} = 0,24$).

Таблица 11 – Характеристика новых популяций озимой ржи по степени восприимчивости к спорынье (инфекционный фон *S. purpurea*)

Популяция	Пределы варьирования	Среднее	Годы изучения	Исходная форма	Пределы варьирования	Среднее	Годы изучения
Засоренность зерна склеротциями, %							
ФК 7/10-12	0,02...0,06	0,04	2013–2015	Графиня	0,04...0,21	0,14	2013–2015
Графит ФП	0,6...3,8	1,4	2021–2023	Графит	0,8...7,9	3,6	2017–2022
Перепел	0,6...7,1	3,4	2017–2023	Рада	0,3...8,9	3,0	2017–2022
				Московская 12	5,4...19,2	10,0	
				Графиня	0,2...5,7	2,0	
				в среднем по сортам		5,0	
Гармония	0,6...2,7	1,5	2019–2023	Рада	0,3...8,9	3,0	2017–2022
				Московская 12	5,4...19,2	10,0	
				Графиня	0,2...5,7	2,0	
				в среднем по сортам		5,0	
Симфония	0,5...2,1	1,3	2019–2023	Рада	0,3...8,9	3,0	2017–2022
				Татьяна	1,0...17,4	5,6	
				Флора	0,4...2,4	1,5	
				в среднем по сортам		3,4	

Таблица 12 – Урожайность (т/га) новых популяций озимой ржи в питомнике КСИ

Популяция, годы изучения	По годам и средняя							
	у популяции				у стандарта Фаленская 4			
ФК 7/10-12 (2013–2015 гг.)	5,22	5,29	5,67	5,39±0,14	4,82	4,35	4,59	4,58±0,14
НСР ₀₅	0,25	0,64	0,38	-				
Графит ФП (2022–2023 гг.)	4,61	4,74	-	4,68±0,06	4,47	5,01	-	4,74±0,27
НСР ₀₅	0,45	0,41	-	-				
Перепел (2019, 2021, 2023 гг.)	6,55	4,23	4,77	5,18±0,18	6,50	4,49	5,01	5,33±0,45
НСР ₀₅	0,41	0,34	0,41	-				
Гармония (2019 г., 2021–2022 гг.)	5,43	4,08	3,62	4,38±0,54	6,50	4,49	4,47	5,15±0,67
НСР ₀₅	0,41	0,34	0,45	-				
Симфония (2019–2020 гг., 2022 гг.)	6,49	3,83	4,78	5,03±0,39	6,50	3,13	4,47	4,70±0,98
НСР ₀₅	0,41	0,27	0,45	-				

Популяция **Симфония** создана на основе источников, отобранных на инфекционном фоне *C. purpurea* в питомнике переопыления сортов Рада, Татьяна и Флора. Характеризуется меньшей, чем у исходных форм, восприимчивостью к болезни. Засоренность зерна склероциями варьировала от 0,5 до 2,1% (в среднем 1,3%), что ниже, чем у исходных форм – от 0,3 до 17,4% (в среднем 3,4%). Урожайность популяции в КСИ составила от 3,83 до 6,49 т/га (в среднем 5,03 т/га). В засушливых условиях 2020 г. состояние признака было 3,83 т/га, что достоверно выше стандарта на 0,70 т/га ($НСР_{05} = 0,27$); в другие годы – на его уровне.

Глава 8 ХАРАКТЕРИСКА НОВЫХ СОРТОВ ОЗИМОЙ РЖИ И ЯРОВОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ

Характеристика новых популяций озимой ржи по устойчивости к другим болезням и элементам структуры урожайности. На территории Северо-Восточного региона Нечерноземья России на посевах озимой ржи практически ежегодно диагностируются и другие не менее вредоносные болезни: снежная плесень, корневые гнили, мучнистая роса, бурая и стеблевая ржавчина. Изучение новых популяций на провокационно-инфекционных фонах выявило сильную выносливость их к снежной плесени. Отрастание после поражения снежной плесенью составило в среднем от 66,7 до 81,3%, у стандарта – 75,0% (таблица 13). Наибольшая степень отрастания была у популяции Перепел (81,3%). К фузариозным корневым гнилям популяции характеризуются средней и умеренной устойчивостью (степень поражения – от 14,3 до 18,2%). Высокую устойчивость к мучнистой росе проявляют популяции Гармония, Симфония и Перепел при степени поражения в среднем 13,4%; 13,5% и 13,9% соответственно. К ржавчинной инфекции популяции среднеустойчивые: степень поражения бурой ржавчиной – от 17,2 до 19,6%, стеблевой – от 14,0 до 19,8%.

Таблица 13 – Проявление других грибных болезней и урожайность новых популяций озимой ржи (провокационно-инфекционные фоны, 2021–2023 гг.)

Сорт, популяция	Снежная плесень		Степень поражения, %				Масса зерна, г/м ²
	пораже- ние, %	отраста- ние, %	мучнистой росой	бурой ржавчиной	стеблевой ржавчиной	корневыми гнилями	
Фаленская 4	94,7±2,9	75,0±8,4	23,1±6,5	27,9±2,4	32,0±4,1	20,5±3,6	608,8±106,6
Графит ФП	95,0±2,1	76,7±4,4	16,6±2,2	17,5±4,7	19,8±3,4	16,9±3,2	596,0±230,4
Перепел	94,3±4,9	81,3±6,3	13,9±1,0	19,6±6,1	14,0±2,5	18,2±2,8	697,5±136,3
Гармония	99,3±0,5	66,7±3,3	13,4±0,8	17,2±4,6	16,5±3,1	14,3±2,8	477,6±139,4
Симфония	87,5±6,0	76,7±4,4	13,5±1,6	17,2±4,2	14,3±2,2	18,1±2,6	604,5±158,2
Индикаторный сорт	50,0...60,0	30,0...45,0	24,9...36,7	28,3...47,2	27,5...60,0	30,7...35,0	146,9±57,7
НСР ₀₅	-						146,8

Следует отметить перспективность популяции Перепел и Симфония, у которых комплексная биотическая устойчивость к грибным болезням сочетается с высокой урожайностью (в среднем 697,5 и 604,5 г/м² соответственно). Популяции Гармония, Перепел, Графит ФП отличаются также одним из ключевых механизмов неспецифической устойчивости – медленным нарастанием мучнисторосной и ржавчинной инфекции в биоценозе.

Анализ структуры урожая озимой ржи выявил, что наиболее высокой продуктивной кустистостью характеризуется популяция Гармония – в среднем 4,4 шт. (у стандарта Фаленская 4 – 3,6 шт.). Все популяции имели колос средней длины от 10,5 до 11,5 см с количеством колосков в колосе от 30,9 до 35,3 шт. (у стандарта – 10,9 см и 33,3 шт. соответственно). Количество зерен в колосе от 52,6 до 58,1 шт. (Гармония); у других – на уровне стандарта (52,7 шт.). Популяции характеризуются высокой продуктивностью растений от 4,7 до 5,5 г, что существенно выше стандарта (3,1 г). Наибольшая продуктивность колоса (1,9 г) и растения (5,5 г) выявлена у популяции Гармония. Масса 1000 зерен варьировала от 25,8 до 30,0 г, у стандарта – 28,4 г. Популяция Перепел характеризуется крупным зерном (30,0 г) и отличается высокой устойчивостью к полеганию (в среднем 8,2–8,6 балла) при состоянии признака у стандарта – 8,0 баллов. Установлено, что полегание растений находится в тесной отрицательной зависимости от их высоты ($r = -0,86$) и слабой связи с восприимчивостью к спорынье ($r = 0,28$), поскольку при раннем полегании посевов ухудшается пыльцевой режим.

Урожайность обеспечивается за счет комплексного действия отдельных элементов структуры и хозяйственно-ценных признаков: у популяции Графит ФП это сочетание высоких значений продуктивной кустистости, массы зерна с колоса, короткостебельности, устойчивости к полеганию; Перепел – массы зерна с растения и его крупности, устойчивости к полеганию; Гармония – продуктивной кустистости, количества зерен в колосе, массы зерна с колоса и растения, массы 1000 зерен, короткостебельности; Симфония – зимостойкости, продуктивности растений и короткостебельности. Популяция Симфония, достоверно превышающая стандарт Фаленская 4 по урожайности в питомнике КСИ (5,03 т/га и 4,70 т/га – стандарт) и на инфекционном фоне *S. purpurea* (605,0 г/м² и 434,0 г/м²), является перспективной для передачи на Государственное испытание.

Хозяйственно-биологическая характеристика новых сортов озимой ржи и яровой мягкой пшеницы. С учетом устойчивости к спорынье изученных генофондов озимой ржи и яровой пшеницы, выявленной в процессе многолетнего изучения его на инфекционных фонах *S. purpurea* и *Fusarium* spp. и использования в селекционном процессе источников устойчивости в соавторстве создано 3 сорта озимой ржи (Флора, Графиня и Лика) с долей участия автора 5-10 %, внесенных в Госреестр селекционных достижений. Переданы и проходят государственное испытание сорт яровой мягкой пшеницы Традиция и сорт озимой ржи Талица.

Сорт озимой ржи Флора создан методом многократного индивидуально-семейного и биотипического отбора из сорта Фаленская 4 на провокационно-инфекционном фоне по снежной плесени и спорынье. Отличается меньшим поражением спорыньей за счет высокой активности цветения, что уменьшает контакт с патогеном. В 2017 году в связи с аномальными по тепло- и влагообеспеченности условиями вегетации, спровоцировавшими усиление развития гриба *S. purpurea* на отдельных полях, поражение восприимчивого сорта Кировская 89 составило 16,0%, а у сорта Флора – 1,0%. По результатам иммунологической оценки сорт характеризуется высокой выносливостью к снежной плесени, среднеустойчив к корневым гнилям, мучнистой росе, бурой и стеблевой ржавчине. За годы конкурсного испытания средняя урожайность сорта составила – 4,64 т/га, что на уровне стандарта – 4,72 т/га (таблица 14).

С 2012 года сорт включен в Государственный реестр селекционных достижений и допущен к использованию по Волго-Вятскому и Северо-Западному регионам РФ.

Сорт озимой ржи Графиня создан методом свободно-ограниченного переопыления устойчивых к снежной плесени биотипов, многократно отобранных на искусственных инфекционных фонах *Fusarium* spp. из сортов Альфа, Валдай, популяции 27/01 и гибридов с ними, с последующим индивидуальным отбором по комплексу селекционно-иммунологических признаков. Сорт характеризуется высокой зимостойкостью и выносливостью к снежной плесени, средней устойчивостью к мучнистой росе, корневым гнилям, бурой и стеблевой ржавчине. Поражение спорыньей на естественном фоне не превышало 0,04%. Сорт отличается относительно короткой продолжительностью цветения и хорошим пыльцевым режимом благодаря высокой устойчивости к полеганию (8,5–9,0 баллов). Средняя урожайность сорта в питомнике КСИ составила 5,24 т/га, что выше стандарта Фаленская 4 на 0,52 т/га. С 2016 года сорт включен в Государственный реестр селекционных достижений и допущен к использованию по Северному, Северо-Западному, Центральному и Волго-Вятскому регионам РФ.

Сорт озимой ржи Лика создан методом индивидуально-семейного отбора по комплексу селекционных и иммунологических признаков из гибридной популяции от направленного переопыления сортов Рада, Рушник, Кипрез, Ниоба и Леда. Сорт характеризуется высокой зимостойкостью и выносливостью к снежной плесени, устойчив к полеганию и спорынье (поражение на естественном фоне не превышало 0,02%). Листостебельными болезнями поражается в средней степени. Средняя урожайность за годы исследований в питомнике КСИ составила 5,22 т/га, что выше стандарта Фаленская 4 на 0,50 т/га. С 2025 года сорт включен в Государственный реестр селекционных достижений и допущен к использованию по Северному и Волго-Вятскому регионам РФ.

Таблица 14 – Селекционно-иммунологическая характеристика перспективных сортов озимой ржи в питомнике конкурсного испытания, 2019–2023 гг.

Сорт	Отрастание после поражения снежной плесенью		Поражение спорыньей		Урожайность	
	%	+/- к стандарту	%	+/- к стандарту	т/га	+/- к стандарту
Фаленская 4 – ст.	65,0±8,4	-	1,70	-	4,72±0,50	-
Флора	84,0±6,2	+19,0	0,02	-1,68	4,64±0,61	-0,08
Графиня	66,0±5,1	+1,0	0,04	-1,66	5,24±0,42	+0,52
Лика	85,0±3,2	+20,0	0,02	-1,68	5,22±0,61	+0,50
Талица	69,9±7,1	+4,9	0,04	-1,66	4,86±0,64	+0,14
Индикаторный сорт	33,3±2,8	-	16,0±1,9	-	-	-

Сорт озимой ржи Талица создан методом индивидуально-семейного отбора по комплексу селекционных и иммунологических признаков из гибридной популяции от переопыления сортов с высокой общей комбинационной способностью – Фаленская 4, Снежана и Факел. Сорт характеризуется высокой устойчивостью к снежной плесени и короткой продолжительностью цветения. Поражение спорыньей на естественном фоне не превышало 0,04%.

Сорт среднеустойчив к листовым болезням. Средняя урожайность в питомнике КСИ составила 4,86 т/га, что выше стандарта на 0,14 т/га. В 2023 году сорт передан и проходит государственное испытание. Рекомендован для возделывания в условиях Северного и Волго-Вятского регионов РФ.

Сорт яровой мягкой пшеницы Традиция создан методом однократного индивидуального отбора по комплексу селекционно-иммунологических признаков из гибридной популяции Ростань х Экада 43. На искусственном инфекционном фоне *S. purpurea* не поражался спорыньей, отличается слабой восприимчивостью к пыльной головне и практической устойчивостью к твердой головне, умеренно устойчив к корневым гнилям и септориозу (таблица 15).

Таблица 15 – Селекционно-иммунологическая характеристика перспективного сорта яровой пшеницы Традиция в конкурсном испытании, 2019–2021 гг.

Сорт	Степень поражения, %				Поражение, %		Урожайность, т/га
	корневыми гнилями	септориозом	бурой ржавчиной	фузариозом колоса	спорыньей	пыльной головней	
Баженка – ст.	13,1±0,9	19,2±0,8	17,6±0,2	6,2±0,9	4,1±0,2	34,6±1,7	3,50±0,23
Маргарита – ст.	11,8±0,3	13,3±0,7	13,3±0,4	5,7±0,4	1,1±0,6	1,9±0,9	3,12±0,30
Традиция	9,4±0,2	10,3±0,2	12,3±0,1	9,9±0,2	0	9,4±1,2	3,35±0,28
Индикаторный сорт	31,0±1,3	32,0±1,1	31,0±1,5	36,0±1,7	15,0±0,7	69,1±4,5	-

В питомнике КСИ (2019–2021 гг.) урожайность сорта Традиция составила в среднем 3,35 т/га, что на 0,23 т/га выше стандарта Маргарита и на уровне стандарта Баженка. В засушливых условиях 2020 года отмечена максимальная урожайность – 3,88 т/га, у стандарта Баженка – 3,79 т/га ($НСР_{05} = 0,34$). В 2020 и 2021 гг. в Чувашском НИИСХ – филиал ФАНЦ Северо-Востока урожайность сорта достигала 2,91 т/га и 4,49 т/га соответственно; в 2023 году в Нижегородской области она составила 6,60 т/га, что выше стандартов. В 2022 году сорт яровой мягкой пшеницы Традиция передан и проходит государственное испытание.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Установлено, что за 25-летний период (2009 по 2024 гг.) на посевах озимой ржи в Кировской области наблюдается ежегодное проявление спорыньи при среднем поражении возделываемых сортов от 0,02% до 1,7%; на отдельных полях поражение достигало 8,0%, 5,0% и 13,3% (2001, 2017 и 2024 гг. соответственно).

2. Вредоносность спорыньи обусловлена в большей степени уровнем поражения колоса (засоренность зерна склероциями), чем распространением болезни в посеве (поражение). Установлена достоверная связь (при $P \geq 0,95$) между засоренностью зерна склероциями и количеством зерен в колосе ($r = -0,79$), продуктивностью колоса ($r = -0,86$) и массой 1000 зерен ($r = -0,43$). Выявлено существенное снижение элементов продуктивности колоса при формировании в нем даже одного–двух склероций, а при 11 склероциях они снижались на 44,6–56,8% по отношению к непораженным колосьям. Регрессионным анализом установлено, что с каждым новым склероцием в колосе, количество зерен в нем снижается в среднем на 5,2 шт., масса зерна – на 0,26 г, масса 1000 зерен – на 2,19 г.

3. Выявлено преобладание фактора «год» (вклад 36,6% – по признаку «поражение» и 29,1% – «засоренность зерна склероциями») над фактором «сорт» (17,1% и 27,5% соответственно). Роль сорта усиливается при повышении степени поражения растений. В патогенезе спорыньи велика роль случайных (неучтенных) факторов – 42,9% и 37,9%.

4. Выявлено усиление распространения спорыньи и инфекционного потенциала гриба *S. purpurea* при сочетании следующих факторов: избыточное количество осадков в период выхода склероциев из физиологического покоя ($r = 0,96$) и температура, близкая к $+20^{\circ}\text{C}$, – в фазу цветения и заражения растений ($r = 0,30$). При количестве осадков в мае, близкой к норме, на одном склероции формировалось в среднем от 11,6 до 18,6 стром с плодовыми телами, в остро засушливых условиях – от 6,3 до 8,2, в избыточно увлажненных – от 23,8 до 42,7.

5. Доказано, что склероции гриба *S. purpurea* сохраняют высокие показатели жизнеспособности и инфекционного потенциала при следующих условиях:

- на глубине от 0 до 20 см (всхожесть 75–100%); склероции на глубине до 6 см формировали в среднем 17,2 стром с плодовыми телами, от 8 до 20 см – 5,8 шт.; стромы, заделанные на глубину более 10 см, не достигали поверхности почвы;

- в торфяной почве (всхожесть в слое 4–20 см в среднем 96,7%, количество стром – в среднем 11,8 шт.), дерново-подзолистой среднесуглинистой (87,5% и 10,3 шт.) и тяжелосуглинистой (90,0% и 9,4 шт.);

- в злаковом травостое и на поверхности пашни (всхожесть – 100% и 85,0%, количество стром в среднем 9,0 и 6,8 шт.);

- при кислотности почвы в диапазоне pH солевой вытяжки: 3,9; 4,6; 5,3 и 6,9 – всхожесть склероциев 100%;

- у целых, не поврежденных склероциев всхожесть (в среднем 93,3%, стром в среднем 18,6 шт.) и их фрагменты – 72,2% и 16,0 шт.;

- на колосьях главного и боковых побегов (всхожесть 100%, количество стром в среднем 46,6 и 40,1 шт.).

6. Изучена токсичность кировской популяции гриба *S. purpurea*. У пяти зерновых культур, собранных в трех экологических точках Кировской области, идентифицирован одинаковый состав эргоалкалоидов (эргокристин и эргокристинин), но разное их суммарное количество – от 0,3% (яровая пшеница) до 0,9% (озимая рожь и яровая тритикале). У 11 сортов озимой ржи и 7 яровой пшеницы видовой состав эргоалкалоидов несколько расширился и был представлен эргокристином, эрготамином и его стереоизомером эрготаминином. Только у сорта яровой пшеницы Самгау из Казахстана идентифицирован один эргоалкалоид – эрготамин.

7. Не установлено значимой (при $P \geq 0,95$) связи между токсичностью и патогенностью гриба *S. purpurea*: коэффициент корреляции между поражением спорыньей и суммарным содержанием эргоалкалоидов составил $r = 0,30$. Относительно невысокая связь между этими признаками обуславливает необходимость использования в иммунологических исследованиях любых штаммов *S. purpurea*.

8. Выявлены 9 сортов озимой ржи (Ли́ка, Симфония, Гармония, Графит, Перепел, Ниоба, Садко, Роса и Сара) и 3 сорта яровой пшеницы (Т-38, Оренбургская 23 и Eros), в склероциях которых не обнаружены эргоалкалоиды. Среди них Ли́ка, Симфония, Гармония и Eros отличались также слабой восприимчивостью к спорынье. Обнаружена слабая отрицательная зависимость между массой склероциев и накоплением в них эргоалкалоидов, которая у сортов озимой ржи составила $r = 0,46$, у яровой пшеницы – $r = -0,32$, что повышает биологическую опасность мелких и трудноотделяемых склероциев, формирующихся преимущественно, на подгоне.

9. Разработаны и обоснованы для использования в практической селекции три метода создания искусственного инфекционного фона на спорынью: инокуляция цветков споровой суспензией в начале колошения – рекомендуется для более точной оценки исходного материала; опрыскивание растений в фазу цветения – для первичной оценки генофонда зерновых культур и отбора устойчивых форм; осеннее внесение склероциев в почву – для массовой оценки и улучшающего отбора селекционного материала.

10. Выявлены 11 сортов озимой ржи (Флора, Графиня, Пурга, Татьяна, Чулпан 7, Роксана, Саратовская 5, Саратовская 7, Марусенька, Радонь и Огонек), отличающиеся коротким и активным цветением, которые можно рекомендовать в качестве источников устойчивости к спорынье для селекции, а характер цветения растений использовать в качестве биомаркера при поиске иммунологически-ценных форм. Установлена значимая (при $P \geq 0,95$) связь между: активностью цветения растений и поражением их спорыньей ($r = -0,76$), продолжительностью цветения и поражением ($r = 0,82$), активностью цветения и засоренностью зерна склероциями ($r = -0,95$), продолжительностью цветения и засоренностью зерна склероциями ($r = 0,76$).

11. Установлена цитоплазматическая детерминация и достоверный материнский эффект в наследовании устойчивости озимой ржи к спорынье при контроле признака двумя или тремя доминантными генами.

12. Разработаны методические положения по селекции озимой ржи на устойчивость к спорынье, которые основаны на моделировании инфекционных фонов, применительно к поставленным задачам, скрининге генофонда зерновых культур, выявлении источников устойчивости, рекуррентных индивидуальных отборах в этих условиях, изучении наследования и контроля устойчивости к болезни и гибридизации с учетом цитоплазматической детерминации признака, создании сортов с использованием источников.

13. При скрининге коллекционных и селекционных генофондов озимой ржи и яровой мягкой пшеницы на искусственном инфекционном фоне *C. purpurea* обнаружена крайне слабая частота встречаемости (не более 5–6%) устойчивого к спорынье исходного материала. Тем не менее, в качестве источников устойчивости могут быть использованы 2 иммунных сорта яровой мягкой пшеницы (Традиция и Новосибирская 18) и 11 (С-65, У-80, У-28, С-84, Т-123, Темп, Тулайковская Надежда, Eros, Самгау, Кайыр и Ul Alta Blanca) – относительно устойчивых с поражением не более 5,2% и засоренностью зерна склероциями

не более 0,3%; у озимой ржи иммунные формы отсутствовали, а относительно устойчивыми являются сорта: Флора, Графиня, Рушник, Рада, Лика, Батист, Талица, Перепел, Симфония, Гармония, Графит, Графит ФП, Сармат, Саратовская 7, Чусовая, Марусенька, Татьяна, Антарес, Московская 12, Славия, Подарок НП, Чулпан 2, Россиянка 2, Тринодис 4 Минвак-139/09 НП, Вавиловская НП, Красноярская универсальная НП и некоторые другие. Степень поражения (засоренность зерна склероциями) большинства из них на инфекционном фоне *C. purpurea* варьировала от 0,3% до 1,4%.

14. На основе разработанных методических положений выявлены и созданы источники устойчивости, включенные в селекционный процесс. Создано 10 новых популяций озимой ржи со слабой восприимчивостью к спорынье на инфекционном фоне *C. purpurea* и высокой – на естественном. Среди них четыре новые популяции (Симфония, Гармония, Перепел и Графит ФП) проходят изучение в конкурсном испытании. Популяция Симфония, достоверно превышающая стандарт Фаленская 4 по урожайности в конкурсном испытании (5,03 т/га и 4,70 т/га – стандарт) и на инфекционном фоне (605,0 г/м² и 434,0 г/м²), является перспективной для передачи на Государственное испытание.

15. Селекционно-иммунологические исследования послужили теоретической основой для селекции озимой ржи и яровой мягкой пшеницы в данном направлении. В соавторстве созданы три сорта озимой ржи: Флора (включен в Государственный реестр селекционных достижений РФ с 2012 г.), Графиня (2016 г.) и Лика (2025 г.). Переданы и проходят государственное испытание сорта яровой мягкой пшеницы Традиция (2022 г.) и озимой ржи Талица (2023 г.).

ПРЕДЛОЖЕНИЯ СЕЛЕКЦИИ И ПРОИЗВОДСТВУ

1. Выявленные факторы (климатические, почвенные), влияющие на жизнеспособность склероциев гриба *C. purpurea*, могут быть использованы при прогнозе сезонного распространения спорыньи, корректировке семеноводческих и агротехнологических мероприятий при возделывании зерновых культур.

2. Методы создания искусственного инфекционного фона по спорынье рекомендуется использовать в селекционных программах НИУ и ФГБНУ Государственной комиссии Российской Федерации по испытанию и охране селекционных достижений для скрининга генофондов озимой ржи и яровой пшеницы, а также других зерновых культур, выявления и создания источников устойчивости и объективной иммунологической оценки сортов.

3. При поиске устойчивых к спорынье форм следует обращать внимание на характер цветения растений и вовлекать в селекцию генотипы с наиболее коротким и активным цветением.

4. В создании источников и урожайных сортов рекомендуется использовать разработанные нами методические положения по селекции на устойчивость к спорынье.

5. В регионах Российской Федерации, где актуальна проблема спорыньи, и в целях снижения ее развития и вредоносности, следует расширить использование новых сортов озимой ржи Флора, Графиня и Лика.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ АВТОРОМ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ:

1. Шешегова, Т. К. Иммунологическая характеристика сортов озимой ржи / Т. К. Шешегова, **Л. М. Щеклеина**, Е.И. Уткина // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2018. – № 4. – Т. 65. – С. 30–35. DOI: 10.30766/2072-9081.2018.65.4.30-35.
2. **Щеклеина, Л. М.** Влияние погодных факторов на отдельные периоды развития гриба *Claviceps purpurea* (Fr.) Tul. и уровень вредоносности спорыньи в Кировской области / Л. М. Щеклеина // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2019. – № 2. – Т. 20. – С. 134–143.
3. **Щеклеина, Л. М.** Агроэкологические аспекты развития *Puccinia dispersa* Eriks. и *Puccinia graminis* Pers. на посевах озимой ржи в Кировской области / Л. М. Щеклеина, Т. К. Шешегова // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2019. – Т. 14. – № 1 (52). – С. 65–70. DOI: 10.12737/article_5ccedbb2724b13.28786713.
4. Шешегова, Т. К. Коллекция ВИР как резерв устойчивого к септориозу генофонда яровой мягкой пшеницы / Т. К. Шешегова, Л. В. Волкова, **Л. М. Щеклеина** // Вестник Марийского государственного университета. Серия «Сельскохозяйственные науки». – 2019. – Т. 5. – № 1 (17). – С. 57–65. DOI: 10.30914/2411-9687-2019-5-1-55-63.
5. **Щеклеина, Л. М.** Мониторинг болезней озимой ржи в Кировской области и возможные направления селекции на иммунитет / Л. М. Щеклеина // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2020. – № 2. – Т. 2. С. 124–132. DOI: 10.30766/2072-9081.2020.21.2.124-132.
6. **Щеклеина, Л. М.** Болезни *Secale cereale* L. в Кировской области и генетические источники устойчивости для селекции / Л. М. Щеклеина, Т. К. Шешегова // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. – 2020. – № 6 (159). – С. 86–92. DOI: 10.36718/1819-4036-2020-6-86-92.
7. **Щеклеина, Л. М.** Белоколосость на сортах озимой ржи в агроэкологических условиях Кировской области / Л. М. Щеклеина, Т. К. Шешегова // Аграрный вестник Урала. – 2020. – № 02 (193). – С. 27–36. DOI: 10.32417/1997-4868-2020-193-2-27-36.
8. Шешегова, Т. К. Структура микроорганизмов зерна озимой ржи в условиях Кировской области / Т. К. Шешегова, **Л. М. Щеклеина** // Российская сельскохозяйственная наука. – 2021. – № 3. – С. 28–32. DOI:10.31857/S2500262721030066.
9. **Щеклеина, Л. М.** Поиск иммунологически-ценных генотипов озимой ржи с использованием отдельных параметров неспецифической устойчивости / Л. М. Щеклеина, Т. К. Шешегова, Е. И. Уткина // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2021. – №. 4. – Т. 22. – С. 507–517. DOI: 10.30766/2072-9081.2021.22.4.507-517.
10. Харина, А. В. Прогноз развития корневых гнилей и перспективный материал яровой пшеницы селекции ФАНЦ Северо-Востока / А. В. Харина, **Л. М. Щеклеина** // Аграрный вестник Урала. – 2021. – № 7 (210). – С. 25–34. DOI: 10.32417/1997-4868-2021-210-07-25-34.
11. **Щеклеина, Л. М.** Сорта озимой ржи, умеренно устойчивые к спорынье / Л. М. Щеклеина, Т. К. Шешегова // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. – 2022. – Т. 183. – № 4. – С. 229–238. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-4-229-238. (Scopus).
12. **Щеклеина, Л. М.** Адаптивность и устойчивость сортов озимой ржи к грибным болезням / **Л. М. Щеклеина** // Таврический вестник аграрной науки. – 2022. – № 2 (30). – С. 164–173.
13. **Щеклеина, Л. М.** Влияние степени поражения спорыньей на элементы продуктивности сортов озимой ржи / Л. М. Щеклеина, Т. К. Шешегова // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2023 – №. 2.–Т. 24. – С. 223–230. DOI:10.30766/2072-9081.2023.24.2.223-230.

14. Шешегова, Т. К. Источники комплексной устойчивости яровой мягкой пшеницы из коллекции ВИР / Т. К. Шешегова, Л. В. Волкова, **Л. М. Щеклеина** // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2023. – Т. 16. – № 2 (77). – С. 49–58. DOI: 10.53914/issn2071-2243_2023_2_49.
15. **Щеклеина, Л. М.** Характер нарастания грибной инфекции в сортовых биоценозах озимой ржи и поиск устойчивых генотипов / Л. М. Щеклеина, Т. К. Шешегова // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2023. – Т. 53. – № 8. – С. 36–43. DOI: 10.26898/0370-8799-2023-8-4.
16. **Щеклеина, Л. М.** Искусственный инфекционный фон с использованием местной популяции гриба *Claviceps purpurea* (Fr.) Tul. / Л. М. Щеклеина, А. В. Харина // Пермский аграрный вестник. – 2023. – № 4 (44). – С. 83–90. DOI: 10.47737/2307-2873_2023_44_83.
17. **Щеклеина, Л. М.** Источники устойчивости озимой ржи к грибным болезням для селекции на фитоиммунитет / Л. М. Щеклеина, Т. К. Шешегова // Российская сельскохозяйственная наука. – 2024. – № 1. – С. 22–27. DOI:10.31857/S2500262724010042.
18. **Щеклеина, Л. М.** Вредоносность фузариоза колоса яровой пшеницы и поиск устойчивых генотипов для селекции / Л. М. Щеклеина, Т. К. Шешегова // Пермский аграрный вестник. – 2024. – № 3 (47). – С. 64–70. DOI: 10.47737/2307-2873_2024_47_64.
19. **Щеклеина, Л. М.** Иммунологический и продукционный анализ новых сортов озимой ржи селекции ФАНЦ Северо-Востока / Л. М. Щеклеина, Т. К. Шешегова // Таврический вестник аграрной науки. – 2024. – № 1 (37). – С. 198–209. DOI: 10.5281/zenodo.10930978.
20. **Щеклеина, Л. М.** Иммунологическая структура и урожайность сортов озимой ржи селекции Федерального аграрного научного центра Северо-Востока им. Н. В. Рудницкого / Л. М. Щеклеина, Т. К. Шешегова, Е. И. Уткина // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2024. – № 25 (2). – С. 172–180. DOI: 10.30766/2072-9081.2024.25.2.172-180.
- в зарубежных изданиях, входящих в базу данных Scopus:*
21. **Щеклеина, Л. М.** Проблема спорыньи злаков (*Claviceps purpurea* (Fr.) Tul.): история и современность (обзор) / Л. М. Щеклеина, Т. К. Шешегова // Теоретическая и прикладная экология. – № 1. – 2013. – С. 5–12. (Scopus).
22. Устойчивость сортов ржи к спорынье и содержание эргоалкалоидов в склероциях *Claviceps purpurea* в условиях Кировской области / Т. К. Шешегова, **Л. М. Щеклеина**, В. П. Желифонова [и др.] // Микология и фитопатология. – 2019. – Т. 53. – № 3. – С. 177–182. DOI: 10.1134/S0026364819030127. (Scopus).
23. Sheshegova, T. K. Problems of phytoimmunity of grain crops in the Euro-Northeast of the Russian Federation and ways their solution / T. K. Sheshegova, **L. M. Shchekleina** // Bio web of conferences: International Scientific and Practical Conference “Fundamental Scientific Research and Their Applied Aspects in Biotechnology and Agriculture” (FSRAABA 2021), Tyumen, 19–20 Julie 2021. Vol. 36. – Tyumen: EDP Sciences, 2021. – P. 01011. – DOI: 10.1051/bioconf/20213601011. (Scopus).
24. Поиск генотипов ржи и пшеницы, устойчивых к *Claviceps purpurea* (Fr.) Tul. и не накапливающих эргоалкалоиды в склероциях гриба / Т. К. Шешегова, **Л. М. Щеклеина**, Т. В. Антипова [и др.] // Сельскохозяйственная биология. – 2021. – Т. 56. – № 3. – С. 549–558. DOI: 10.15389/agrobiology.2021.3.549rus. (Scopus).
25. Шешегова, Т. К. Фитопатогенная биота в условиях потепления климата (обзор) / Т. К. Шешегова, **Л. М. Щеклеина** // Теоретическая и прикладная экология. – 2022. – № 3. – С. 6–13. DOI: 10.25750/1995-4301-2022-3-006-013. (Scopus).

Научно-практические рекомендации и монография:

26. Селекция озимой ржи на устойчивость к спорынье / Т. К. Шешегова, **Л. М. Щеклеина**, Л. И. Кедрова [и др.] // Методическое пособие. – Киров: ФГБОУ ВО Вятская ГСХА, 2018. – 27 с.

27. Шешегова, Т. К. Спорынья зерновых культур / Т. К. Шешегова, **Л. М. Щеклеина** // Монография. – Германия: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2019. – 80 с.

28. База данных генисточников по комплексу и отдельным хозяйственно-ценным признакам для использования в селекции / Т. К. Шешегова, **Л. М. Щеклеина**, Е. И. Уткина [и др.] // Научно-практические рекомендации. – Киров: ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока, 2024. – Ч. 2. – 76 с.

патенты на селекционные достижения и полезную модель:

29. Рожь озимая Флора / Л. И. Кедрова, Е. И. Уткина, **Л. М. Щеклеина** [и др.] // Патент на селекционное достижение № 5590. – Заявка № 9464429 зарегистрирована 19.10.2010 г.

30. Рожь озимая Графиня / Л. И. Кедрова, Е. И. Уткина, **Л. М. Щеклеина** [и др.] // Патент на селекционное достижение № 8221. – Заявка № 8757321 зарегистрирована 26.01.2016 г.

31. Рожь озимая Лика / Е. И. Уткина, Е. А. Шляхтина, **Л. М. Щеклеина** [и др.] // Патент на селекционное достижение № 14240. – Заявка № 84037 зарегистрирована 16.07.2025 г.

32. Машина для отделения склеротий гриба *Claviceps purpurea* Tul. от семян ржи / В. А. Сысуев, А. В. Саитов, **Л. М. Щеклеина** [и др.] // Патент на полезную модель № 214128. – Заявка № 2022105545 зарегистрирована 12.10.2022 г.

публикации в других изданиях:

33. Шамова, М. Г. Реакция сортов озимой ржи на различные сроки посева в условиях Северо-Восточного региона РФ / М. Г. Шамова, **Л. М. Щеклеина**, Е. И. Уткина // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2012. – № 5 (30). – С. 4–8. DOI: 10.30766/2072-9081.2012.30.5.04-08.

34. **Щеклеина, Л. М.** Иммунологическое состояние перспективных популяций озимой ржи селекции НИИСХ Северо-Востока / Л. М. Щеклеина, Т. К. Шешегова // Достижение науки и техники АПК. – 2012. – № 6. – С. 23–26.

35. Basic directions and results of selection of winter rye in connection with climate fluctuation in European North-East of Russia / L. I. Kedrova, T. K. Sheshegova, **L. M. Shchekleina** [et al.] // International Symposium on Rye Breeding and Genetics Minsk. – Belarus: Minsk, 2012. – P. 127–131.

36. Шешегова, Т. К. Селекция озимой ржи на болезнеустойчивость в НИИСХ Северо-Востока / Т. К. Шешегова, **Л. М. Щеклеина** // В сб.: Озимая рожь: селекция, семеноводство, технологии и переработка. – Екатеринбург: ГНУ Уральский НИИСХ Россельхозакадемии, 2012. – С. 76–82.

37. **Щеклеина, Л. М.** Оценка новых сортов озимой ржи на устойчивость к спорынье / Л. М. Щеклеина, Т. К. Шешегова // В сб.: Актуальные проблемы селекции и технологии возделывания полевых культур. – Киров: ФГБОУ ВПО ВГСХА, 2013. – С. 155–159.

38. **Щеклеина, Л. М.** Вредоносность спорыньи на посевах озимой ржи в условиях Кировской области / Л. М. Щеклеина // В сб.: Методы и технологии в селекции растений. – Киров: НИИСХ Северо-Востока, 2014. – С. 110–113.

39. Результаты селекции озимой ржи на устойчивость к болезням и продуктивность в НИИСХ Северо-Востока / Т. К. Шешегова, Л. И. Кедрова, **Л. М. Щеклеина** [и др.] // Зерновое хозяйство России. – 2015. – № 6. – С. 1–9.

40. Шешегова, Т. К. Методические аспекты селекции озимой ржи на устойчивость к спорынье / Т. К. Шешегова, **Л. М. Щеклеина** // В сб.: Методы и технологии в селекции растений и растениеводстве. – Киров: НИИСХ Северо-Востока, 2015. – С. 271–275.

41. **Щеклеина, Л. М.** Характер цветения сортов озимой ржи различного эколого-географического происхождения / Л. М. Щеклеина // В сб.: Методы и технологии в селекции растений и растениеводстве. Киров: НИИСХ Северо-Востока, 2015. С. 286–289.
42. **Щеклеина, Л. М.** Методы инокуляции растений озимой ржи спорыньей / Л. М. Щеклеина, Т. К. Шешегова // В сб.: Методы и технологии в селекции растений и растениеводстве. – Киров: НИИСХ Северо-Востока, 2016. – С. 190–193.
43. Шешегова, Т. К. Экологические аспекты развития спорыньи (*Claviceps purpurea* Tul.) на посевах ржи / Т. К. Шешегова, **Л. М. Щеклеина** // Агроэкологический вестник. – 2016. – Вып. 7. – С. 83–90.
44. Шешегова, Т. К. Иммунологические основы селекции озимой ржи на устойчивость к спорынье / Т. К. Шешегова, **Л. М. Щеклеина** // В сб.: Биологическая защита растений – основа стабилизации агроэкосистем с молодежной стратегической сессией. – Краснодар: ФГБНУ ВНИИБЗР, 2016. – Вып. 9. – С. 451–454.
45. Шешегова, Т. К. Зависимость вредоносности спорыньи от биометрических показателей склероциев / Т. К. Шешегова, **Л. М. Щеклеина** // Защита и карантин растений. – Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ. – 2017. – № 11. – С. 9–12.
46. **Щеклеина, Л. М.** Развитие спорыньи в зависимости от погодных условий Кировской области / Л. М. Щеклеина // В сб.: Методы и технологии в селекции растений и растениеводстве. – Киров: НИИСХ Северо-Востока, 2017. – С. 205–207.
47. **Щеклеина, Л. М.** Оценка генофонда озимой ржи к спорынье при искусственной инокуляции / Л. М. Щеклеина, Т. К. Шешегова // В сб.: Новейшие агротехнологии: теория и практика, посвящ. 95-летию Института биоэнергетических культур и сахарной свеклы НААН. – Украина: Винница, 2017. – С. 248–249.
48. Шешегова, Т. К. Агроэкологические факторы развития *Claviceps purpurea* (Tul.) / Т. К. Шешегова, **Л. М. Щеклеина** // В сб.: Экология родного края: проблемы и пути их решения. – Киров: ВятГУ, 2017. – С. 288–293.
49. **Щеклеина, Л. М.** Вредоносность спорыньи на новых сортах озимой ржи в Кировской области / Л. М. Щеклеина, Т. К. Шешегова // Вестник Марийского государственного университета. – Серия «Сельскохозяйственные науки. Экономические науки». – 2018. – № 2 (14). – Т. 4. – С. 83–89. DOI: 10.30914/2411-9687-2018-4-2-83-89.
50. **Щеклеина, Л. М.** Поиск механизмов неспецифической устойчивости зерновых культур к корневым гнилям / Л. М. Щеклеина, Л. В. Новикова // В сб.: Методы и технологии в селекции растений и растениеводстве. – Киров: НИИСХ Северо-Востока, 2018. – С. 317–320.
51. Шешегова, Т. К. Получение новых генотипов ржи, устойчивых к *Claviceps purpurea* (Fr.) Tul. / Т. К. Шешегова, **Л. М. Щеклеина**, Ал. К. Вотинцева // В сб.: Экология родного края: проблемы и пути их решения. – Киров: ВятГУ, 2018. – С. 107–112.
52. **Щеклеина, Л. М.** Источники устойчивости зерновых культур к основным болезням в Кировской области / Л. М. Щеклеина, Т. К. Шешегова // В сб.: Биодиагностика состояния природно-техногенных систем. – Киров: ВятГУ, 2018. – С. 144–149.
53. Изучение сортов ржи на устойчивость к спорынье *Claviceps purpurea* (Fr.) Tul. и содержания эргоалкалоидов в образцах склероциев зерновых культур, собранных на территории Кировской области / Т. К. Шешегова, **Л. М. Щеклеина**, В. П. Желифонова [и др.] // В сб.: Биохимия, физиология и биосферная роль микроорганизмов. – Москва: ООО «ИД Вода: химия и экология», 2018. – С. 170–172.
54. **Щеклеина, Л. М.** Иммунологическая оценка коллекционных образцов озимой ржи в условиях Кировской области / Л. М. Щеклеина, Т. К. Шешегова // В сб.: Методы и технологии в селекции растений и растениеводстве. – Киров: НИИСХ Северо-Востока, 2019. – С. 173–177.

55. **Щеклеина, Л. М.** Токсичность кировской популяции гриба *Claviceps purpurea* (Fr.) Tul. / Л. М. Щеклеина, Т. К. Шешегова // В сб.: Методы и технологии в селекции растений и растениеводстве. – Киров: НИИСХ Северо-Востока, 2019. – С. 178–180.
56. **Щеклеина, Л. М.** Биометрические признаки склеротий *Claviceps purpurea* и их связь с элементами продуктивности растений озимой ржи / Л. М. Щеклеина, Ак. К. Вотинцева, Т. К. Шешегова / В сб.: Знания молодых: наука, практика и инновации. – Киров: ФГБОУ ВПО ВГСХА, 2019. – С. 50–53.
57. **Щеклеина, Л. М.** Биологические особенности возбудителя *Claviceps purpurea* (Fr.) Tul. и влияние спорыньи на продуктивность растений озимой ржи / Л. М. Щеклеина // В сб.: Инновационные технологии – в практику сельского хозяйства. – Киров: ФГБОУ ВПО ВГСХА, 2019. – С. 538–542.
58. **Щеклеина, Л. М.** Обоснование профилактических мероприятий по борьбе с прогрессирующим заболеванием – спорынья / Л. М. Щеклеина, Ан. К. Вотинцева // В сб.: Материалы посвящ. 145-летию со дня рождения А.Г. Дояренко. – Саратов: ФГБНУ НИИСХ Юго-Востока, 2019. – С. 207–212.
59. **Щеклеина, Л. М.** Агроэкологические факторы развития гриба *Claviceps purpurea* (Fr.) Tul. и уровень вредоносности спорыньи в Кировской области / Л. М. Щеклеина // В сб.: Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем. – Киров: ВятГУ, 2019. – С. 302–306.
60. **Щеклеина, Л. М.** Новые сорта озимой ржи для получения эргоалкалоидов *Claviceps purpurea* (Fr.) Tul. / Л. М. Щеклеина // В сб.: От растения до лекарственного препарата. – Москва: ФГБНУ ВИЛАР, 2020. – С. 124–130.
61. **Щеклеина, Л. М.** Устойчивый к грибным болезням генофонд озимой ржи в агроэкологических условиях Кировской области / Л. М. Щеклеина // В сб.: Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем. – Киров: ВятГУ, 2020. – С. 239–243.
62. **Щеклеина, Л. М.** Зависимость болезней озимой ржи от сезонной динамики климатических факторов / Л. М. Щеклеина // В сб.: Методы и технологии в селекции растений и растениеводстве. – Киров: ФАНЦ Северо-Востока, 2020. – С. 262–266.
63. Рыженков, Е. В. Сорта ржи, как возможные продуценты ценных в фармакологии эргоалкалоидов гриба *Claviceps purpurea* (Fr.) Tul. / Е. В. Рыженков, **Л. М. Щеклеина** // В сб.: Современные тенденции развития технологий здоровьесбережения. – Москва: ФГБНУ ВИЛАР, 2020. – С. 94–100.
64. Sheshegova, T. K. Composition of Microorganisms Found in Winter Rye Grain in Kirov Oblast / Т. К. Sheshegova, **L. M. Shchekleina** // Russian Agricultural Sciences. – 2021. – Vol. 47. – No. 4. – P. 370–376. DOI: 10.3103/S1068367421040170.
65. Шешегова, Т. К. Эргоалкалоиды гриба *Claviceps purpurea* (Fr.) Tul. как фактор токсичности склеротий и биоэкологической опасности зерна ржи и пшеницы / Т. К. Шешегова, **Л. М. Щеклеина** // В сб.: Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем. – Киров: ВятГУ, 2021. – С. 162–167.
66. **Щеклеина, Л. М.** Биоэкологическая характеристика новых сортов озимой ржи / Л. М. Щеклеина // В сб.: Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем. – Киров: ВятГУ, 2021. – С. 294–299.
67. **Щеклеина, Л. М.** Источники комплексной устойчивости среди новых сортов озимой ржи селекции ФАНЦ Северо-Востока / Л. М. Щеклеина // В сб.: Методы и технологии в селекции растений и растениеводстве. – Киров: ФАНЦ Северо-Востока, 2021. – С. 347–352.
68. **Щеклеина, Л. М.** Сорта яровой мягкой пшеницы устойчивые к фузариозным корневым гнилям / Л. М. Щеклеина // В сб.: Агробιοтехнология–2021. – Москва: РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, 2021. С. 285–289. DOI: 10.26897/978-5-9675-1855-3-2021-61.

69. Щеклеин, М. А. Биометрия склероциев *Claviceps purpurea* в зависимости от растения-хозяина и содержание эргоалкалоидов в склероциях зерновых культур / М. А. Щеклеин, **Л. М. Щеклеина** // В сб.: Современные тенденции развития технологий здоровьесбережения. – Москва: ФГБНУ ВИЛАР, 2021. – С. 111–118.
70. **Щеклеина, Л. М.** Спорынья в посевах яровой пшеницы и поиск устойчивых сортов / Л. М. Щеклеина // Биосфера. – 2022. – Т. 14. – № 4. – С. 432–435. DOI: 10.24855/biosfera.v14i4.696.
71. Щеклеин, М. А. Сорта озимой ржи, как потенциальные продуценты ценных в фармакологии эргоалкалоидов гриба *Claviceps purpurea* (Fr.) Tul. / М. А. Щеклеин, **Л. М. Щеклеина** // В сб.: Всероссийская научно-практическая конференция им. Жореса Алфёрова. – Санкт-Петербург: Идальго принт, Корона Принт, 2022. – С. 92–93.
72. **Щеклеина, Л. М.** Характер растительно-микробных взаимоотношений в патосистемах *Secale cereale* – *Blumeria graminis* и *Secale cereale* – *Puccinia recondite* / Л. М. Щеклеина // В сб.: Методы и технологии в селекции растений и растениеводстве. – Киров: ФАНЦ Северо-Востока. – 2022. – С. 228–232.
73. **Щеклеина, Л. М.** Продуктивность растений озимой ржи в Кировской области в связи с поражением спорыньей / Л. М. Щеклеина // В сб.: Стратегия, приоритеты и достижения в развитии земледелия и селекции сельскохозяйственных растений в Беларуси. – Жодино: РУП НПЦ НАН Беларуси по земледелию. – Минск: ИВЦ Минфина, 2022. – С. 86–88.
74. **Щеклеина, Л. М.** Белоколосость на сортах озимой ржи / Л. М. Щеклеина, Т.К. Шешегова // В сб.: Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем. – Киров: ВятГУ. 2022. – С. 336–341.
75. Некоторые результаты селекции яровых зерновых на иммунитет в условиях Волго-Вятского региона России / Г. А. Баталова, Т. К. Шешегова, **Л. М. Щеклеина** [и др.] // В сб.: Эколого-генетические основы селекции и возделывания сельскохозяйственных культур. – Краснодар: ФГБНУ ФНЦ риса, 2022. – С. 4–7. DOI: 10.33775/conf-2022-4-7.
76. **Щеклеина, Л. М.** Агроэкологические факторы развития гриба *Claviceps purpurea* (Fr.) Tul. в Кировской области / Л. М. Щеклеина, М. А. Щеклеин // В сб.: Проблемы селекции – 2022. – Москва: Изд-во РГАУ – МСХА, 2022. – С. 123.
77. **Щеклеина, Л.М.** Сорта озимой ржи, формирующие склероции с разным количеством эргоалкалоидов / Л.М. Щеклеина, М.А. Щеклеин // Успехи медицинской микологии. – Москва: Изд-во «Общественная национальная академия микологии». – 2022. – Т. 23. – С. 276–280.
78. **Щеклеина, Л. М.** Вредоносность фузариозного поражения колоса и поиск устойчивых генотипов яровой пшеницы / Л. М. Щеклеина // В сб.: Экология родного края: проблемы и пути их решения. – Киров: ВятГУ, 2023. – С. 316–321.
79. **Щеклеина, Л. М.** Методы заражения растений *Claviceps purpurea* (Fr.) Tul. в селекции на устойчивость озимой ржи к спорынье / Л. М. Щеклеина // В сб.: Методы и технологии в селекции растений и растениеводстве. – Киров: ФАНЦ Северо-Востока, 2023. – С. 371–375.
80. **Щеклеина, Л. М.** Фузариозные болезни и спорынья зерновых культур / Л. М. Щеклеина // В сб.: Современные достижения в развитии сельского хозяйства. – Киров: Вятский ГАТУ, 2023. – С. 235–240.
81. **Щеклеина, Л. М.** Фитопатогенные грибы – источники микотоксинов / Л. М. Щеклеина, М. А. Щеклеин // В сб.: Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем. – Киров: ВятГУ, 2023. – С. 379–384.
82. **Щеклеина, Л. М.** Характер растительно-микробных взаимоотношений в патосистеме *Secale cereale* L. – *Blumeria graminis* / Л. М. Щеклеина // В сб.: Методы и

технологии в селекции растений и растениеводстве, посвящ. 300-летию РАН. – Киров: ФАНЦ Северо-Востока. – 2023. – С. 223–228.

83. Щеклеин, М. А. Использование склероциев гриба *Claviceps purpurea* (Fr.) Tul. в лекарственном растениеводстве / М. А. Щеклеин, **Л. М. Щеклеина** // В сб.: Современные тенденции развития технологий здоровьесбережения. – Москва: ФГБНУ ВИЛАР, 2023. – С. 77–82.

84. **Щеклеина, Л. М.** Генофонд *Triticum aestivum* L., устойчивый к поражению спорыньей // Л. М. Щеклеина // В сб. LVIII: Российская наука в современном мире. – Москва, 2023. – С. 12–13.

85. **Shchekleina, L. M.** Winter Rye Varieties That Can Be Used as Sources of Resistance against Fungal Diseases in Phytoimmunity Breeding / L. M. Shchekleina, T. K. Sheshégova // Russian Agricultural Sciences. – 2024. – Vol. 50. – No. 2. – P. 142–149. DOI: 10.3103/S1068367424700022.

86. **Щеклеина, Л. М.** Источники неспецифической устойчивости сортов озимой ржи к болезням в условиях Кировской области / Л. М. Щеклеина // В сб.: Методы и технологии в селекции растений и растениеводстве. – Киров: ФАНЦ Северо-Востока, 2024. – С. 298–304.

87. **Щеклеина, Л. М.** Устойчивость сортов озимой ржи к грибным болезням / Л. М. Щеклеина // В сб. LXII: Российская наука в современном мире. – Москва, 2024. – С. 13–14.

88. **Щеклеина, Л. М.** Сорта озимой ржи с наилучшим сочетанием параметров экологической пластичности и стабильности по отношению к болезням / Л. М. Щеклеина // В сб.: Проблемы и перспективы научно-инновационного обеспечения агропромышленного комплекса регионов, посвящ. 300-летию РАН. – Курск, 2024. – С. 117–121.

89. **Щеклеина, Л. М.** Иммунологический анализ и урожайность сортов озимой ржи ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока / Л. М. Щеклеина, Т. К. Шеше́гова // В сб.: Приоритеты направления развития инновационных технологий в земледелии, растениеводстве, селекции и семеноводстве. – Республика Беларусь: Минск, 2024. – С. 165–167.

90. **Щеклеина, Л. М.** Влияние условий года и развитие грибных болезней на урожайность ржи / Л. М. Щеклеина // В сб.: Новая наука в новом мире. – Петрозаводск, 2024. – С. 128–131.

91. **Щеклеина, Л. М.** Нарастание грибной инфекции в сортовых биоценозах озимой ржи / Л. М. Щеклеина // Сб. ст. LXIV: Российская наука в современном мире. – Москва, 2024. – С. 7–9.

92. Шеше́гова, Т. К. Образцы яровой мягкой пшеницы из генетической коллекции Всероссийского института растениеводства им. Н. И. Вавилова, перспективные в селекции фузариозоустойчивых сортов / Т. К. Шеше́гова, **Л. М. Щеклеина** // В сб.: Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем. – Киров: ВятГУ, 2024. С. 272–276.

93. **Щеклеина, Л. М.** Агроэкологические аспекты развития грибных болезней на посевах озимой ржи в Кировской области / Л. М. Щеклеина // В сб.: Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем. – Киров: ВятГУ, 2024. – С. 268–272.

94. **Щеклеина, Л. М.** Ущерб от спорыньи на озимой ржи в зависимости от количества склероциев в колосе / Л. М. Щеклеина // В сб.: Достижения и перспективы развития АПК России. – Казань, 2024. – С. 102–106.

Научное издание

ЩЕКЛЕИНА ЛЮЦИЯ МУЛЛААХМЕТОВНА

**ПОВЫШЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ
ОЗИМОЙ РЖИ И ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ К СПОРЫНЬЕ
(*CLAVICEPS PURPUREA* (FR.) TUL.)
В УСЛОВИЯХ СЕВЕРО-ВОСТОКА НЕЧЕРНОЗЕМЬЯ РОССИИ**

Подписано в печать 2025 г. формат 60×84 ¹/₁₆.
Усл. печ. л. – 2,0. Тираж 100 экз. заказ №

Типография Кубанского государственного аграрного университета.
350044, г. Краснодар, ул. Калинина, 13