

На правах рукописи

Касатов Илья Сергеевич

**ЭКОТОКСИКОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
ХИМИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ ЯБЛОНИ ОТ ПАРШИ**

Специальность: 4.1.3. Агрохимия, агропочвоведение, защита и
карантин растений

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание учёной степени
кандидата сельскохозяйственных наук

Москва – 2026

Работа выполнена на кафедре защиты растений Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева»

Научный руководитель:	Белошапкина Ольга Олеговна, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, профессор кафедры защиты растений ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева»
Официальные оппоненты:	Савельева Наталья Николаевна, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории генофонда ФГБНУ «Федеральный научный центр имени И. В. Мичурина» Головин Сергей Евгеньевич, доктор сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, ведущий научный сотрудник лаборатории защиты растений отдела репродуктивной биотехнологии ФГБНУ «Федеральный научный селекционно-технологический центр садоводства и питомниководства»
Ведущая организация:	Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия»

Защита диссертации состоится «08» сентября 2026 г. в 15 часов 00 минут на заседании диссертационного совета 35.2.030.05, созданного на базе ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», по адресу: 127434, г. Москва, ул. Прянишникова, д. 19, тел: 8 (499) 976-17-14.

Юридический адрес для отправки почтовой корреспонденции (отзывов): 127434, г. Москва, ул. Тимирязевская, д. 49.

С диссертацией можно ознакомиться в Центральной научной библиотеке имени Н.И. Железнова ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева» и на сайте Университета www.timacad.ru.

Автореферат разослан «___» _____ 2026 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
кандидат биологических наук, доцент



И.М. Митюшев

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Яблоня является основной семечковой культурой в мировом садоводстве. Российская Федерация входит в пятерку лидеров по площадям насаждений и валовому сбору яблок, однако зависимость от импорта товарной продукции сохраняется - ежегодно ввозят около 0,5 млн т яблок, что свидетельствует о необходимости повышения эффективности отечественных технологий возделывания. Основным фактором, сдерживающим урожайный потенциал яблони, остается парша (*Venturia inaequalis* (Cooke) G. Winter), способная в годы массового развития вызывать потери урожая до 80-100%. Актуальность проблемы усугубляется современными вызовами: изменением климата, создающим более благоприятные условия для патогена, появлением новых агрессивных рас возбудителя, а также увеличением доли интенсивных садов, требующих пересмотра подходов к защите. Традиционные визуальные методы фитосанитарного мониторинга характеризуются субъективностью и недостаточной оперативностью, а масштабное применение химических средств не приводит к ожидаемому снижению распространенности заболевания, что диктует необходимость поиска новых научно-обоснованных решений. В этой связи приоритетными направлениями становятся разработка инструментальных методов диагностики, обеспечивающих объективность оценки, и оптимизация систем фунгицидов в рамках экологизации защиты растений. Настоящее исследование, выполненное в 2022–2024 гг. в условиях Московского региона, направлено на решение этих задач посредством скрининга зарегистрированных и новых фунгицидов, создания цифрового сервиса диагностики на основе нейронных сетей, применения прогностических моделей, изучения элементного состава листьев и кожуры методом энергодисперсионной спектроскопии и оценки физиологических параметров яблони в условиях стресса. В ходе исследований разработаны системы защиты яблони от парши с различными по механизму действия фунгицидами, обеспечивающими высокую биологическую эффективность относительно принятой в хозяйстве системы защиты и безопасность получаемой продукции. Полученные результаты обладают высокой практической значимостью для совершенствования технологии устойчивого производства яблок в Нечерноземной зоне РФ.

Степень разработанности темы. Изучению парши яблони посвящено большое количество работ, как отечественных, так и зарубежных исследователей. В научной литературе анаморфа гриба (*Spilocaea pomi*) впервые описана Э. Фрисом (1819), а систематическое положение определено Г. Винтером (1880). Длительное время заболевание не считалось проблемным, однако развитие промышленного садоводства создало условия для его массового распространения. Фундамент для понимания генетики взаимоотношений в системе «патоген–хозяин» заложили американские исследователи Висконсинского университета. G.W. Keitt и M.H. Langford (1941), D.M. Boone и G.W. Keitt (1957), E.B. Williams и J.R. Shay (1957) установили наследование патогенных свойств и связь генов вирулентности с морфологическими признаками, что имело принципиальное значение для изучения расовой дифференциации *V. inaequalis*. В Беларуси систематические исследования вирулентности начаты Н.А. Дорожкиным с соавторами (1975–1979). Современные работы З.А. Козловской, Т.А. Гашенко, Ю.Г. Кондратёнок (2017) выявили в популяциях парши 14 генов вирулентности из 19 известных и показали увеличение генетического разнообразия патогена. Работы D. Papp с соавторами (2022) установили формирование генетически обособленных популяций патогена на сортах с частичной устойчивостью. Проблема резистентности к фунгицидам стала актуальной с появлением системных препаратов. В российской науке фундаментальные аспекты устойчивости рассматривались В.А. Захаренко, С.Л. Тютеревым. А.И. Насонов, Г.В. Якуба с соавто-

рами впервые оценили чувствительность различных популяций патогена к боскалиду и отметили возникновение резистентности к парши к карбендазиму в Краснодарском крае. Однако многие вопросы, связанные с комплексной оценкой влияния современных фунгицидов на физиолого-биохимические показатели яблони, их биологическую эффективность и накопление остаточных количеств в плодах применительно к конкретным сортам и почвенно-климатическим условиям, остаются мало освещёнными. Недостаточно данных о возможностях использования цифровых технологий и физиологических индексов (NBI) для ранней диагностики скрытых нарушений, вызванных патогеном, что определяет необходимость проведения настоящих исследований.

Целью исследований является оптимизация системы защиты яблони от парши с учетом экотоксикологического влияния комплекса современных фунгицидов на возбудителя заболевания, а также на качественные и количественные характеристики урожая.

В задачи исследования входило:

1. Уточнить динамику развития парши в зависимости от погодных условий и сортовых особенностей яблони в Московском регионе;
2. Разработать метод автоматической оценки балла поражения листьев яблони паршой с помощью нейросети и машинного зрения;
3. Провести скрининг новых фунгицидов для защиты яблони от парши и проанализировать в динамике содержание остаточных количеств действующих веществ исследуемых фунгицидов в плодах яблони;
4. Оценить характер воздействия фунгицидов на инфекционные структуры возбудителя парши и влияние применения фунгицидов на состояние листьев и качество плодов, дать экономическую оценку.

Научная новизна. Уточнены закономерности развития парши яблони (*Venturia inaequalis*) в условиях Московского региона в зависимости от погодных факторов и сортовых особенностей культуры, что позволило выявить связь между микроклиматическими параметрами и динамикой болезни. Разработан и апробирован метод автоматизированной оценки степени поражения листьев яблони паршой с применением технологий машинного зрения и нейронных сетей. Оценена точность прогностической модели распространения парши на основе данных интеллектуальной метеоплатформы Agrokeep, что подтверждает перспективность интеграции цифровых систем мониторинга и прогнозирования в адаптивные схемы защиты яблони. Проведён скрининг новых фунгицидов на основе каптана, трифлуксизобина, дитианона и ципродинила по параметру биологической эффективности против парши с учётом погодных условий. Получены новые данные о динамике остаточных количеств их действующих веществ в листьях и плодах яблони в процессе вегетации, что позволило оценить их безопасность и оптимальные сроки ожидания. С использованием метода сканирующей электронной микроскопии доказано ингибирующее воздействие фунгицидов на инфекционные структуры возбудителя парши на яблоне, а также влияние применяемых препаратов на физиологическое состояние листьев и качество плодов.

Теоретическая и практическая значимость работы. Разработанный метод автоматизированной оценки степени поражения листьев яблони паршой с использованием нейросетевых технологий обеспечивает объективность и оперативность диагностики, что открывает возможности для внедрения цифровых систем мониторинга и прогнозирования в практику садоводства. Определена эффективность против парши яблони зарегистрированных и новых фунгицидов: Знаток, ВДГ (500 г/кг трифлуксизобина), АгроШлем, ВДГ (750 г/кг ципродинила), Мерпан, СП (500 г/кг каптана) и Шрапнель, ВГ (700 г/кг дитианона) и содержание остаточных количеств их действующих веществ. На

основе полученных данных препараты Знаток, ВДГ, АгроШлем, ВДГ и Шрапнель, ВГ внесены в Реестр пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации. Научно обоснована и оптимизирована система защиты яблони от парши на разных по устойчивости сортах в условиях Центрального региона Нечерноземной зоны России. Предложенные системы защиты на основе комбинаций каптан/трифлуксизобин и дитианон/ципродинил внедрены в яблоневом саду ООО «Лучи солнца». Выявленные закономерности морфофизиологического ингибирующего воздействия фунгицидов на инфекционные структуры *Venturia inaequalis* могут быть основой для уточнения механизмов действия препаратов. Апробирован экспресс-метод для оценки состояния листьев посредством определения индекса азотного баланса. Полученные результаты могут быть использованы в научных исследованиях, учебном процессе аграрных вузов и в производственной деятельности при разработке адаптивных программ защиты плодовых культур.

Объект исследования: фитосанитарное состояние насаждений яблони в садах Московского региона в условиях поражения паршой в зависимости от различных систем химических средств защиты.

Предмет исследования: системы фунгицидной защиты яблони от парши, включающие одиночное и последовательное применение препаратов на основе дифеноконазола, каптана, трифлуксизобина, дитианона и ципродинила, а также методы мониторинга состояния растений. Особое внимание уделялось фитосанитарным, физиолого-биохимическим и экотоксикологическим аспектам изучаемой системы: биологической эффективности фунгицидов, динамике остаточных количеств действующих веществ, элементному составу тканей, показателям фотосинтетической активности, качественным характеристикам плодов и экономической эффективности защитных мероприятий.

Методология и методы исследований: при проведении работы использованы полевые и лабораторные методы исследований биологической эффективности пестицидов, визуальный и цифровой методы фитосанитарного мониторинга, общепринятые методики по определению остаточных количеств действующих веществ пестицидов в растительных образцах, а также методики проведения биохимических анализов плодов, электронного микрофотографирования и экспресс-оценки азотного баланса в листьях, которые подробно изложены в разделе «Материалы и методы» соответствующей главы диссертации.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Использование модели прогнозирования распространения парши на основе данных интеллектуальной платформы Agrokeeper, собранных локальной метеостанцией, и применение метода автоматической оценки поражения паршой с помощью нейросети улучшают качество фитосанитарного мониторинга парши и иммунологической оценки сорта яблони.

2. Применение новых фунгицидов на основе трифлуксизобина, дитианона, ципродинила и каптана и их комбинаций обеспечивают эффективное подавление инфекционных структур возбудителя парши на различных по устойчивости сортах яблони и при этом содержание остаточных количеств действующих веществ в продукции не превышает допустимые нормы.

3. Предлагаемая фунгицидная схема обработки яблони от парши способствует увеличению массы плодов, сахарно-кислотного индекса, содержания аскорбиновой кислоты, ряда макро- и микроэлементов; оценку состояния листового аппарата возможно дополнить применением экспресс-метода с использованием N-тестера.

Достоверность результатов исследований. Достоверность полученных результатов подтверждается репрезентативностью и объёмом экспериментального материала, собранного в 2022–2024 гг. в ходе полевых и лабораторных исследований, выполненных в соответствии с общепринятыми и стандартизированными методиками. Полевые опыты закладывали согласно «Методическим указаниям по регистрационным испытаниям фунгицидов в сельском хозяйстве» (2009) и «Методическим указаниям по регистрационным испытаниям пестицидов в части биологической эффективности» (2018, 2024). Фитосанитарный мониторинг и учёты болезней проводили по стандартным фитопатологическим методикам с использованием разработанной фотошкалы для парши яблони. Определение остаточных количеств действующих веществ фунгицидов выполняли в аккредитованной лаборатории с применением метрологически аттестованных методов капиллярной газожидкостной и высокоэффективной жидкостной хроматографии согласно действующим методическим указаниям (МУК 4.1.1232-03, МУК 4.1.1026-01, МУК 4.1.1424-03, МУК 4.1.2455-09), валидированным в соответствии с критериями Директивы ЕС №SANTE/11945/2015. Биологическую эффективность фунгицидов рассчитывали по формуле Аббота; статистическую обработку данных проводили методами дисперсионного и корреляционного анализа с использованием пакетов программ Microsoft Excel и AgCStat 2012. Достоверность различий между вариантами оценивали на уровне значимости $p \leq 0,05$, что подтверждается значениями НСР и критерия Фишера. Микроморфологические исследования инфекционных структур *Venturia inaequalis* выполнены на растровом электронном микроскопе Tescan Vega TS5130MM с системой энергодисперсионного микроанализа. Агрометеорологическое прогнозирование базировалось на данных локальной метеостанции КаироMini 2.1 и интеллектуальной платформы Agrokeep, сопоставленных с показаниями государственной метеостанции; статистически значимые различия микроклиматических параметров подтверждены критерием Манна–Уитни.

Результаты исследований апробированы в условиях производственного сада ООО «Лучи Солнца» на площади 6,5 га и внедрены в виде систем защиты от парши. Разработанный цифровой сервис для автоматизированной детекции парши зарегистрирован в Федеральной службе по интеллектуальной собственности (свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024689009).

Апробация работы. Основные результаты работы доложены на: Международной научно-практической конференции Коняевские чтения 2023 «От модернизации к опережающему развитию: обеспечение конкурентоспособности и научного лидерства АПК» (Екатеринбург, 7-8 декабря 2023 г.); Международной конференции студентов, аспирантов и молодых учёных «Ломоносов-2023» (Москва, 10-21 апреля 2023 г.); Национальной научно-практической студенческой конференции «Наука и молодёжь: актуальные вопросы и пути инновационного развития АПК» (Белгород, 6 июня 2023 г.); Международной научной конференции "Агрономия-2024" (Москва, 19-20 ноября 2024 г.); V Всероссийском конгрессе по защите растений (Санкт-Петербург, 16-19 апреля 2024 г.); Международной научно-практической конференции, посвященной 130-летию создания Сухумской садовой сельскохозяйственной станции (Сухум, 13-15 ноября 2024 г.); IV Всероссийской конференции с международным участием «Мониторинг и биологические методы контроля вредителей и патогенов древесных растений» (Москва, 7-11 апреля 2025 г.); Международной научной конференции, посвящённой 160-летию Тимирязевской академии (Москва, 2-4 июня 2025 г.); XV Международном форуме «Дни сада в Бирюлево» (Москва, 20-21 августа 2025 г.).

Личный вклад соискателя. Основной объём исследований и подготовки рукописи выполнен лично автором (обзор и анализ литературы по теме исследований, разра-

ботка методологической основы и выполнение исследований, сбор и анализ, включая статистическую обработку данных, их обобщение и оформление). Разработка программы исследований и выбор методов исследований выполнены при участии научного руководителя. Подготовка образцов и определение остаточных количеств действующих веществ фунгицидов методами высокоэффективной жидкостной и газовой хроматографии проведены в аккредитованной лаборатории УНКЦ «Агроэкология пестицидов и агрохимикатов» благодаря помощи научных сотрудников.

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 12 печатных работ, в том числе 4 – в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ, 1 – в издании, входящем в международную реферативную базу данных Scopus, 1 - Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Структура и объём научно-квалификационной работы. Диссертация изложена на 203 страницах, состоит из введения, пяти глав основной части: обзора литературы, результатов исследований, заключения, предложений производству, списка литературы, включающего 215 источников, в том числе 76 на иностранном языке, 4 приложения. Работа включает 21 рисунок и 32 таблицы.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

ГЛАВА I. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

В главе обобщены и проанализированы отечественные и зарубежные источники по биологии яблони, особенностям её агротехники; рассмотрены доминирующие болезни и вредители яблоневых садов в условиях Центрального региона России. Детально описана биология возбудителя парши яблони (*Venturia inaequalis*), включая диагностические признаки, инфекционный цикл и условия, определяющие развитие эпифитотий. Особое внимание уделено анализу современных систем защиты яблони от парши: агротехническим методам, селекции устойчивых сортов и применению фунгицидов. Показана эволюция ассортимента химических средств защиты, проанализированы стратегии их применения, включая антирезистентные подходы, а также вопросы экотоксикологической безопасности и фитосанитарного мониторинга. Выявлены проблемы, связанные с недостаточной изученностью влияния фунгицидов на физиолого-биохимические показатели яблони, что обосновывает необходимость проведения исследований.

ГЛАВА II. УСЛОВИЯ, ОБЪЕКТЫ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Полевые исследования биологической эффективности фунгицидов против парши яблони и фитосанитарный мониторинг проводили в 2022 г. в Мичуринском саду РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (г. Москва) в условиях естественного инфекционного фона на сортах Мантет, Мелба и Антоновка обыкновенная. В 2023-2024 гг. опыты закладывали в производственном саду ООО «Лучи Солнца» 2017-2018 года посадки в Солнечногорском районе Московской области, где в качестве посадочного материала были использованы саженцы сортов Мантет, Мелба и Лобо на подвое 54-118, схема посадок 5,0 x 2,5 м (800 деревьев/га).

Определение динамики разложения остаточных количеств действующих веществ фунгицидов проводили на образцах полевых опытов, заложенных в период 2018-2024 гг. в трёх почвенно-климатических зонах РФ на различных сортах яблони. Изучали фунгициды: контактные Мерпан, СП (500 г/кг каптана) и Шрапнель, ВГ (700 г/кг дитианона), а также системные препараты Раёк, КЭ (250 г/л дифеноконазола), Знаток, ВДГ (500 г/кг трифлостробина) и АгроШлем, ВДГ (750 г/кг ципродинила). Система защиты, принятая в хозяйстве включала в себя применение препаратов Раёк, КЭ (250 г/л дифеноконазола) и Медея, МЭ (50 г/л дифеноконазола + 30 г/л флутриафола). В 2022 и 2023 гг.

исследовали эффективность отдельного применения фунгицидов. В 2024 г. предложили схемы защиты яблони от парши на основе комбинации контактных и системных фунгицидов. Статистическая обработка полученных о биологической эффективности результатов проведена методами дисперсионного и корреляционного анализов с использованием программы Excel 2007 и надстройки AgCStat 2012 для статистической оценки и анализа результатов полевых и лабораторных опытов.

Учёты болезней проводили в фазы: «зелёный конус», цветение, образование завязей, рост плодов. В промежутках между ними с периодичностью раз в 1–2 недели делали обследования, направленные на раннее выявление признаков заболеваний. В 2022 г. учёты парши яблони провели 2 июля, 18 июля через 2 недели после 1-й и 2-й обработок и в конце августа для оценки последствий применённых фунгицидов. Использовали визуальный метод оценки общего состояния кроны дерева. Учёты симптомов парши на листьях в 2023–2024 гг. проводили на учётных ветвях каждые 10–14 дней после первой обработки до момента уборки урожая. Расчёт биологической эффективности проводили по формуле Аббота.

В качестве эталонных метеорологических данных выступили сведения метеостанции № 27417 (г. Клин) за 2023–2024 гг., находящейся в 13 км от сада, из фондов Всемирной Метеорологической Организации. Локальные данные регистрировала метеостанция КаироMini 2.1, размещённая в пределах производственного сада. Для определения парши на листьях яблони и вычисления процентного соотношения поражённых участков к общей площади листа была использована модель компьютерного зрения YOLOv10. Обучающий датасет в 2024 г. собрали на территории сада ООО «Лучи Солнца».

В 2024 для оптимизации методики оценки азотного баланса листьев яблони в 2024 г. был проведен опыт по количественному определению фотосинтетических пигментов с помощью спектрофотометра СФ-104 и флавоноид- и хлорофиллметра Dualex (Force-A). Оценку элементного состава кожуры проводили методом энергодисперсионной спектроскопии (ЭДС) с помощью приставки к электронному микроскопу Tescan MIRA3 LMN – AZtecOne X-act. Определение содержания остаточных количеств пестицидов в растениях проводили на базе УНКЦ «Агроэкология пестицидов и агрохимикатов» РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева согласно соответствующим методическим указаниям, утвержденным Роспотребнадзором, с применением метрологически аттестованных методов высокоэффективной жидкостной хроматографии и газовой хроматографии с использованием соответствующих детекторов.

ГЛАВА III. МОНИТОРИНГ МИКОЗОВ ЯБЛОНИ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РАЗВИТИЯ ПАРШИ

3.1. Результаты фитосанитарного мониторинга яблоневых садов в Московском регионе

Фитосанитарный мониторинг проводили в 2022–2024 годах в Мичуринском саду РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, где исследования носили преимущественно научно-методический характер, и в производственном саду ООО «Лучи Солнца» в Солнечногорском районе Московской области.

Основными заболеваниями яблони в Московском регионе в указанный период являлись парша, монилиальная плодовая гниль, филлостиктоз и комплекс некрозно-раковых болезней, при этом их распространенность и вредоносность существенно варьировали в зависимости от погодных условий сезона, применяемых агротехнических приемов и сортовых особенностей.

В ходе мониторинга были выявлены четкие сортовые различия по полевой устойчивости к парше яблони. Сорта Имрус, Уэлси и Полосатое Орловское характеризовались минимальным уровнем поражения, тогда как Мантет, Мелба и Лобо оказались наиболее восприимчивыми, причем у Мантета первые признаки заболевания появлялись на 2–3 недели раньше, чем у других сортов, что может быть связано с морфологическими особенностями тканей. В 2024 году, который характеризовался эпифитотийным развитием парши, распространенность болезни на восприимчивых сортах достигала 100%, а степень развития превышала 76%, тогда как в более засушливом 2023 году эти показатели были существенно ниже, что наглядно демонстрирует определяющую роль агроклиматических факторов в динамике инфекционного процесса.



Рисунок 1. – Развитие парши яблони на листьях в контрольных вариантах 2023-2024 гг

Значительный ущерб плодам наносила монилиальная плодовая гниль, распространенность которой на сорте Мантет в 2024 году достигла 42,3%, а на Антоновке обыкновенной в 2022г. — 32%. Пораженность плодов монилиозом тесно коррелировала с наличием механических повреждений, наносимых осами, а также с микротрещинами, возникающими из-за перепадов влажности воздуха, что указывает на необходимость комплексного подхода к защите плодов в период их созревания. Среди некрозно-раковых заболеваний отмечены цитоспороз, черный рак и поражения щелелистником обыкновенным, распространенность которых на отдельных сортах достигала 50%. Причиной столь широкого распространения раневых инфекций могли служить нарушения агротехники, в частности, травмирование стволов при культивации междурядий и проведение обрезки без дезинфекции инструмента. Поражение филlostиктозом имело в целом малую распространённость, однако на некоторых сортах проявлялось сильнее. В 2024 году у сорта Папировка отмечен резкий скачок заболеваемости до 53,5%. Проведенный мониторинг позволил не только количественно оценить структуру патогенного комплекса, но и обосновать необходимость корректировки агротехнических мероприятий.

3.2. Агрометеорологический мониторинг и динамика развития парши яблони

Учёт метеоусловий проводили с использованием двух источников данных: государственной метеостанции № 27417, расположенной в 13 км от сада, и локальной автоматизированной станции KaipoMini 2.1, установленной непосредственно в центре сада. Такой подход позволил выявить статистически значимые микроклиматические особенности, присущие конкретному саду. Сравнительный анализ показал, что в центре сада

минимальные температуры были в среднем на 2,1°C ниже ($p = 0,0015$), а сумма осадков за сезон превышала данные региональной станции на 73,4 мм ($p = 0,000048$). Этот факт имеет важное значение для точного прогнозирования развития парши, поскольку он указывает на то, что использование данных удаленных метеостанций без локальной корректировки может приводить к существенным погрешностям и, как следствие, к ошибочным решениям о сроках проведения защитных обработок.

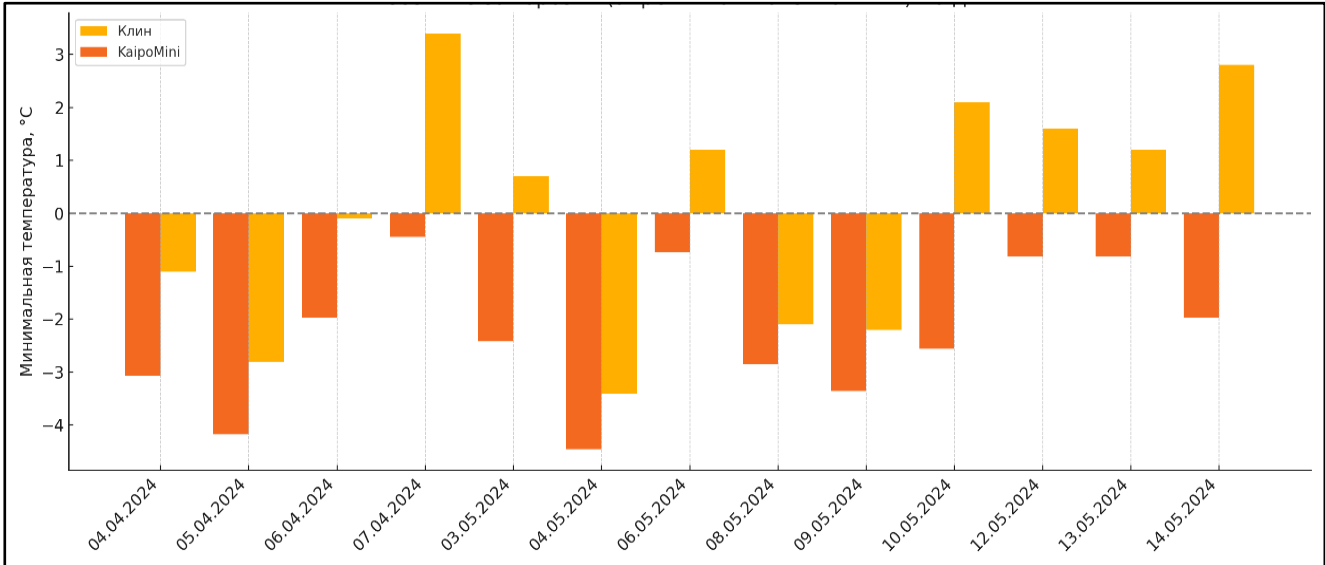


Рисунок 2. – Динамика весенних заморозков в плодовом саду (Московская область, Солнечногорский район, 2024 г.)

Весна 2023 года характеризовалась экстремально низкими температурами в первой половине марта, что сместило сроки начала вегетации, и аномальной засушливостью апреля, когда гидротермический коэффициент не превышал 0,5, что ограничивало первичное заражение аскоспорами. Напротив, 2024 год начался с интенсивного повышения температуры и роста количества осадков уже в апреле, и к третьей декаде апреля ГТК достиг 2,66, что создало продолжительные инфекционные окна, благоприятные для активной споруляции и первичных заражений. Важным дополнительным стрессовым фактором, как для растений, так и для патосистемы в целом, послужили весенние заморозки. В 2024 году заморозки до –3,4°C совпали с фазами бутонизации и начального раскрытия листьев, что повысило проницаемость тканей и, вероятно, способствовало ускоренному проникновению инфекции. Для практического применения была оценена прогностическая модель интеллектуальной платформы Agroкеер, интегрированная с данными локальной метеостанции.

Таблица 1. Сравнение распространённости парши на листьях яблони, Московская область, 2023-2024 гг.

2023 г.				2024 г.			
Дата учета	Распространённость парши по сортам яблони						Дата учета
	Мантет	Мелба	Лобо	Мантет	Мелба	Лобо	
-	-	-	-	50	21,8	24,1	29.05.2024
-	-	-	-	40,6	21,2	18	10.06.2024
22.06.2023	61,3	57,7	32	58,2	40,2	9,1	21.06.2024
28.06.2023	58,3	43,4	38,3	79,7	63,3	62,7	01.07.2024
13.07.2023	60,4	51	55,3	90,3	81,7	57,1	12.07.2024
28.07.2023	72,9	54,2	65,7	87,6	82,2	91,1	26.07.2024
10.08.2023	94,9	68,5	55,2	97,3	97,7	97,2	09.08.2024
24.08.2023	95,8	82,3	64,5	99,3	99,3	100	23.08.2024
07.09.2023	88,2	86,3	59,6	-	-	-	-

Модель предсказала созревание 10% аскоспор к 22 мая, 55% – к 1 июня и 100% – к 15 июня, с указанием на длительный инфекционный период. Фактические наблюдения в саду подтвердили эти прогнозы: первые симптомы парши в виде маслянистых пятен появились в первой декаде мая, а к концу августа пораженность листьев всех сортов достигла 100%. Однако при сопоставлении прогнозов с фактической пораженностью на сорте Мантет было выявлено, что распространенность болезни к 29 мая достигла 50% при прогнозируемых моделью 20% зрелых спор. Это расхождение, вероятно, связано с тем, что модель недостаточно учитывает сортовую восприимчивость и может недооценивать интенсивность ранних заражений на высокочувствительных сортах. Тем не менее, прогностическая модель продемонстрировала высокую практическую ценность для оперативного планирования фунгицидных обработок, особенно при прогнозировании периодов риска конидиальной инфекции, где совпадение прогнозов с фактическими сроками появления симптомов было наиболее точным, особенно в июле–августе. Начиная с 14 августа модель фиксировала высокий риск с ожидаемыми симптомами к 26–29 августа, и эти расчеты подтвердились результатами визуальных наблюдений.

3.3. Разработка и апробация цифрового сервиса по определению степени пораженности паршой листьев яблони

Традиционный метод, основанный на глазомерной оценке степени поражения листьев, зависит от опыта и состояния исследователя, что может приводить к существенным расхождениям в результатах. Для решения этой проблемы был разработан сервис на основе сверточной нейронной сети YOLOv10, которая обеспечивает загрузку фотографий листьев, сегментацию пораженных участков и расчет процентного соотношения здоровой и пораженной грибом ткани с последующим автоматическим переводом в балльную шкалу. Обучение модели проводилось на выборке из 1000 изображений, собранных непосредственно в саду в условиях естественного освещения, с использованием метода трансферного обучения.

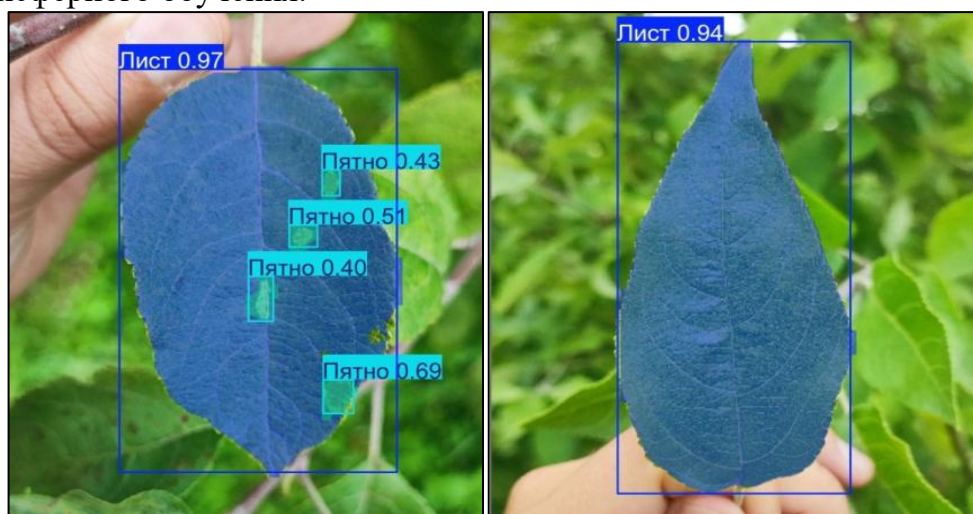


Рисунок 3. – Пример определения цифровым сервисом области листа и пятна поражения паршой яблони

Оценка качества обученной модели на независимой тестовой выборке показала высокую эффективность: точность (Precision) составила 93,2%, полнота (Recall) – 91,8%, средняя точность (mAP) – 92,5%, F-score – 92,5%. Эти метрики, принятые в научном сообществе компьютерного зрения, подтверждают, что модель надежно выявляет симптомы парши и минимизирует как ложные срабатывания, так и пропуски поражений. Однако при более детальном анализе были выявлены и определенные ограничения. Сравнение цифровых и визуальных оценок на выборке из 179 листьев показало, что средний

цифровой процент поражения (14,2%) несколько ниже, чем визуальный (17,8%), а систематическая ошибка по методу Бланда-Альтмана составила –3,6% с 95% доверительным интервалом от –6,0 до –1,2%. Ширина пределов согласия (от –36,3% до +29,1%) указывает на то, что для индивидуальной оценки отдельного листа цифровой метод пока не может полностью заменить эксперта, однако для скрининговых оценок, где ошибка нивелируется усреднением, его применение вполне оправдано.

Анализ точности по баллам поражения выявил четкую закономерность: средняя абсолютная ошибка для здоровых листьев составила всего 0,8%, для первого балла – 4,1%, для второго – 9,7%, для третьего – 20,3%, а для четвертого балла – 25,6%. Таким образом, с увеличением степени поражения точность цифровой оценки закономерно снижается, причем наиболее проблемными являются средние и высокие уровни поражения, особенно когда пятна сливаются и образуют обширные некротические зоны. Коэффициент каппа Коэна, составивший 0,60, свидетельствует об умеренном согласии между методами, близком к существенному, что является хорошим показателем для автоматизированных диагностических систем. Раздельный анализ по типам пятен показал, что для листьев с отдельными пятнами средняя абсолютная ошибка составила 13,5%, тогда как для листьев со сливающимися пятнами – 21,5%, что указывает на главную проблему алгоритма, связанную с сегментацией сливающихся некротических участков.

Разработанный сервис зарегистрирован в Федеральной службе по интеллектуальной собственности (свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024689009), что подтверждает его новизну и практическую значимость.

ГЛАВА IV. БИОЛОГИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ФУНГИЦИДОВ, ИХ ВЛИЯНИЕ НА ИНФЕКЦИОННЫЕ СТРУКТУРЫ ВОЗБУДИТЕЛЯ И ОЦЕНКА СОДЕРЖАНИЯ ОСТАТОЧНЫХ КОЛИЧЕСТВ ДЕЙСТВУЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В ПРОДУКЦИИ

4.1. Биологическая эффективность фунгицидов против парши яблони

Полевые испытания фунгицидов проводили в течение трех лет на сортах яблони разной степени восприимчивости к парше. Это позволило оценить эффективность препаратов в широком диапазоне инфекционного давления – от умеренного в 2022 году до эпифитотийного в 2024 году. Сорт Мантет на протяжении всех лет исследований проявлял максимальную чувствительность к патогену, превосходя по развитию болезни сорт Мелба в 1,6 раза, а сорт Лобо – до 10 раз в начале вегетационного сезона. В 2022 году, когда инфекционный фон был умеренным, достоверное снижение пораженности листьев было отмечено, начиная со второго учета в августе. Эталонный препарат Раёк, КЭ на основе дифеноконазола обеспечил биологическую эффективность на уровне 63% на сорте Мантет и 61–91% на других сортах, при этом контактные препараты Мерпан, СП и Шрапнель, ВГ на устойчивом сорте Антоновка обыкновенная показали эффективность 82% и 100% соответственно. Однако уже в 2023 году, когда инфекционный фон был выше, схема с раздельным применением фунгицидов показала свою недостаточность для защиты плодов. Наиболее эффективным из исследованных препаратов оказался Зна-ток, ВДГ на основе трифлуксистробина, который обеспечил снижение развития болезни в среднем по сортам на 35–46%, с максимальным значением до 81%, и при этом характеризовался наименьшим стандартным отклонением, что свидетельствует о более стабильном эффекте. Однако на плодах даже этот препарат обеспечил биологическую эффективность лишь на уровне 53–58%.

В 2024 году, в условиях эпифитотийного развития парши, были использованы комбинированные схемы защиты с чередованием контактных и системных фунгицидов, в которых трехкратное применение контактных препаратов после цветения и в фазу

формирования завязи дополнялось двукратной обработкой системными препаратами в фазу развития плодов.

Таблица 2. Биологическая эффективность (%) фунгицидов против парши яблони на листьях (среднее значение за сезон $\pm$ стандартное квадратическое отклонение (минимум–максимум), Московская область, 2022–2024 гг.

2022 г.			
Препарат\Сорт яблони	Мантет	Мелба	Антоновка обыкновенная
Шрапнель, ВГ (700 г/кг дитианона)	17,2 $\pm$ 10,0 (7,7–30,0)	21,1 $\pm$ 7,8 (12,5–31,3)	58,3 $\pm$ 28,9 (33,3–100,0)
Знаток, ВДГ (500 г/кг трифлуксистробина)	51,7 $\pm$ 9,3 (38,4–60,0)	71,3 $\pm$ 5,9 (64,3–77,3)	39,0 $\pm$ 22,8 (25,0–72,7)
Мерпан, СП (500 г/кг каптана)	18,3 $\pm$ 13,7 (0,0–33,3)	28,5 $\pm$ 20,1 (0,0–47,0)	53,8 $\pm$ 28,8 (25,0–82,0)
Раёк, КЭ (250 г/л дифеноконазола)	43,9 $\pm$ 14,5 (30,8–61,5)	51,6 $\pm$ 25,9 (21,9–84,8)	97,7 $\pm$ 4,6 (90,7–100,0)
2023 г.			
Препарат\Сорт яблони	Мантет	Мелба	Лобо
Шрапнель, ВГ (700 г/кг дитианона)	9,3 $\pm$ 14,4 (0,0–26,6)	42,4 $\pm$ 16,0 (16,8–73,8)	30,0 $\pm$ 26,6 (0,0–60,3)
Знаток, ВДГ (500 г/кг трифлуксистробина)	46,8 $\pm$ 13,2 (27,1–61,5)	35,6 $\pm$ 19,7 (0,8–58,3)	46,5 $\pm$ 20,8 (9,1–81,7)
Мерпан, СП (500 г/кг каптана)	25,0 $\pm$ 13,4 (6,0–44,3)	33,5 $\pm$ 20,4 (0,0–54,9)	29,2 $\pm$ 23,0 (0,0–57,7)
АгроШлем, ВДГ (750 г/кг ципродинила)	23,3 $\pm$ 16,2 (0,0–36,2)	33,0 $\pm$ 16,1 (6,5–62,4)	33,1 $\pm$ 29,9 (0,0–64,5)
2024 г.			
Препарат\Сорт яблони	Мантет	Мелба	Лобо
Обработки хозяйства (эталон)	12,5 $\pm$ 10,6 (3,3–35,6)	37,7 $\pm$ 15,4 (19,4–58,4)	31,5 $\pm$ 5,6 (21,0–37,1)
Мерпан, СП (500 г/кг каптана) / Знаток, ВДГ (500 г/кг трифлуксистробина)	55,7 $\pm$ 17,2 (25,3–74,2)	78,5 $\pm$ 10,9 (59,3–90,8)	76,4 $\pm$ 15,9 (52,6–91,7)
Шрапнель, ВГ (700 г/кг дитианона) / АгроШлем, ВДГ (750 г/кг ципродинила)	55,8 $\pm$ 16,5 (24,9–73,6)	73,9 $\pm$ 8,7 (63,4–86,9)	63,0 $\pm$ 31,2 (16,8–87,7)

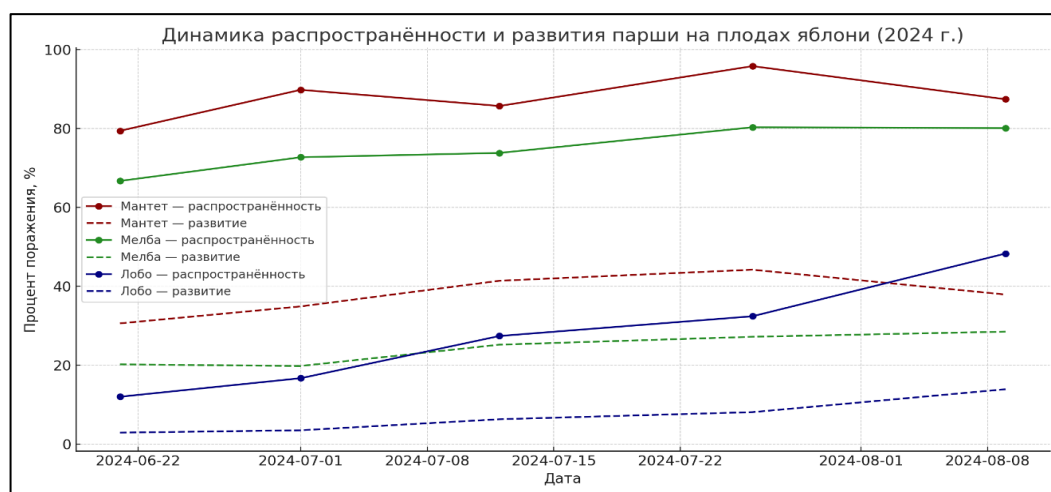


Рисунок 4. – Динамика распространённости и развития парши на плодах яблони, 2024 г.

Хозяйственная схема защиты на основе дифеноконазола и флутриафола на сорте Мантет обеспечила биологическую эффективность по листьям лишь 35,6% в июне, с последующим резким падением до 9–11% в июле–августе, а на плодах эффективность не превышала 12,4% и в большинстве сроков учета была статистически недостоверна. Предложенные схемы показали стабильно высокую эффективность. Схема с последова-

тельным применением каптана и трифлуксистробина обеспечила на листьях биологическую эффективность 52–91% в течение всего лета, а на плодах – 67,1% на сорте Мантет, 65,6% на Мелбе и 79,7% на Лобо. Схема с применением дитианона и ципродинила на плодах Лобо показала максимальную эффективность 82–100%, что является наивысшим показателем среди всех вариантов.

4.2. Динамика разложения действующих веществ фунгицидов

Изучение остаточных количеств пестицидов имеет принципиальное значение для оценки безопасности применения препаратов и установления регламентов, гарантирующих отсутствие превышения максимально допустимых уровней в продукции к моменту уборки урожая. В работе представлены результаты исследований динамики разложения четырех действующих веществ – трифлуксистробина, ципродинила, дитианона и каптана, которые проводились в различных почвенно-климатических зонах РФ в период 2018–2024 годов. Трифлуксистробин, действующее вещество препарата Знаток, ВДГ, относящееся к классу стробилуринов, показал концентрации в листьях сразу после обработок от 2,5 до 36,0 мг/кг в зависимости от региона и года обработки, что отражает различия в сорбционных свойствах листовой поверхности и погодных условиях в момент обработки. В плодах на пятый день после обработки содержание составляло 0,03–0,08 мг/кг, а полное исчезновение вещества наступало к 10–20-му дню в зависимости от региона: в южных областях с более высокими температурами и интенсивной инсоляцией деградация происходила быстрее, чем в Центральном регионе. В яблочном соке трифлуксистробин не обнаруживался на всех сроках, что подтверждает его низкую миграционную способность и безопасность продуктов переработки. Ципродинил, фунгицид из класса анилинопиримидинов, накапливался в листьях в высоких концентрациях – до 57,4 мг/кг в Рязанской области, что свидетельствует об эффективном формировании защитного слоя, однако в плодах его содержание к 8-му дню составляло 0,53–0,54 мг/кг, а к 15-му дню снижалось до уровня менее предела количественного определения. Во всех опытах к 25–35-му дню остатки ципродинила в плодах и соке отсутствовали, причем температурный фактор ускорял деградацию: в Краснодарском крае разложение шло интенсивнее, чем в Рязанской области.

Дитианон, контактный фунгицид из класса хинонов, характеризовался очень высокими концентрациями в листьях (до 65,7 мг/кг в Самарской области), однако в плодах вещество практически не накапливалось. В большинстве опытов дитианон не обнаруживался уже на пятый день после обработки; в Рязанской области фиксировались лишь следы на пятый день с полным исчезновением к 10–15-му дню. В яблочном соке дитианон отсутствовал во всех пробах. Каптан, представляющий класс фталимидов, показал иную динамику. При четырехкратном применении в Московском регионе содержание в плодах в день последней обработки составляло 5,82–6,43 мг/кг, а затем наблюдалось плавное снижение: через 10 дней – 3,45–4,2 мг/кг, через 20 дней – 2,84–3,29 мг/кг, через 30 дней – 0,08–0,13 мг/кг, через 40 дней – 0,02–0,03 мг/кг. Даже на 40-й день в яблочном соке детектировались минимальные количества каптана (0,01 мг/кг) в пределах гигиенических нормативов. К моменту уборки урожая содержание трифлуксистробина, ципродинила и дитианона в плодах снижалось до уровня «не обнаружено» или «менее ПКО», а остатки каптана были минимальны и не превышали максимально допустимые уровни, что подтверждает безопасность применения изученных препаратов при соблюдении регламентов.

4.3. Влияние препаратов на разные стадии возбудителя парши яблони

Исследования механизмов действия фунгицидов на уровне инфекционных структур возбудителя включали оценку влияния препаратов на стадии развития патогена: телеоморфу (аскоспоровую) и анаморфу (конидиальную).

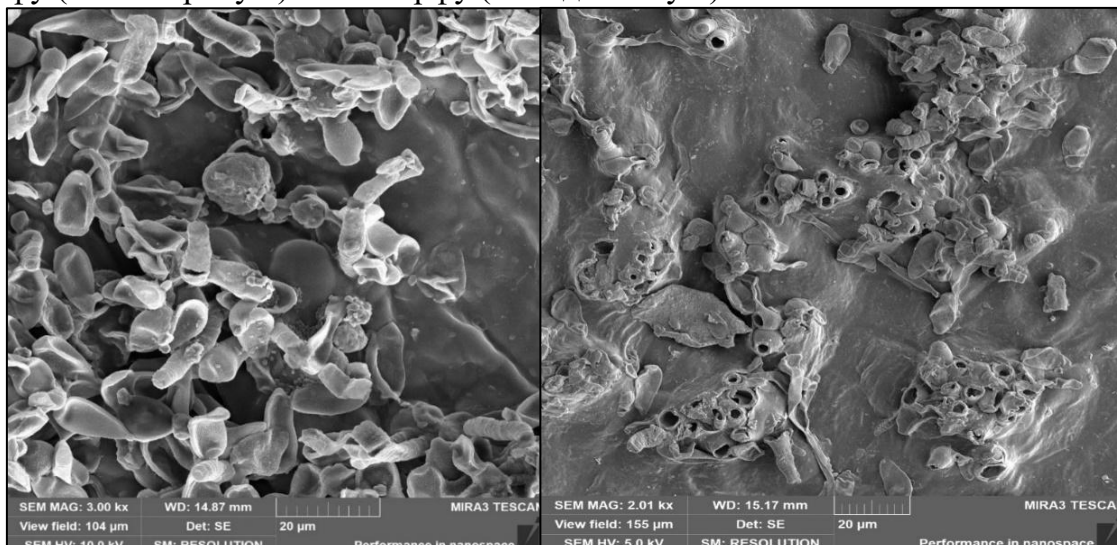


Рисунок 5. – Состояние конидий и конидиеносцев *Fusicladium dendriticum* на листьях яблони сорта Мантет (слева – контроль; справа – Мерпан, СП + Знаток, ВДГ)

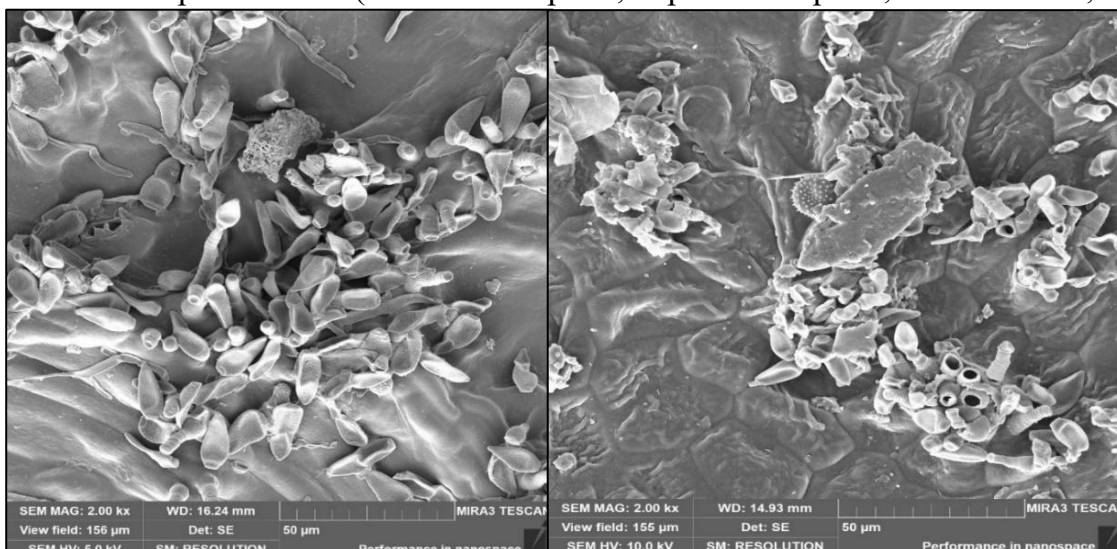


Рисунок 6. – Состояние конидий и конидиеносцев *Fusicladium dendriticum* на листьях яблони сорта Лобо (слева – контроль; справа – Мерпан, СП + Знаток, ВДГ)

Для оценки влияния на телеоморфу была проведена количественная оценка жизнеспособности аскоспор в перезимовавших листьях после вегетационных обработок. Результаты показали, что применение фунгицидов существенно снижало долю жизнеспособных спор по сравнению с контролем. На сорте Мантет в варианте с исследуемой схемой (каптан + трифлостробин) соотношение жизнеспособных аскоспор к нежизнеспособным составило 3,9% (5,0 против 124,6 в 10 полях зрения), в эталонном варианте – 4,1% (7,2 и 166,6), а в контроле – 6,6% (6,8 и 97,0). На сорте Лобо исследуемая схема обеспечила минимальный показатель – 2,0% (1,8 против 87,6), тогда как в эталонном варианте этот показатель составил 4,2% (16,8 и 381,4), а в контроле – 6,6% (14,2 и 201,0). Таким образом, исследуемые препараты продемонстрировали более выраженное ингибирующее действие на формирование жизнеспособных аскоспор, чем хозяйственная схема, особенно на сорте Лобо, что указывает на снижение первичного инфекционного потенциала патогена в следующем сезоне.

Для оценки влияния на анаморфную стадию провели растровое электронное микроскопирование листьев после обработок. В контрольных образцах обоих сортов отмечено обильное развитие конидиального спороношения: конидиеносцы формировали плотную сеть над поверхностью листа, были целыми, с четкими сегментами; конидии крупные, овальные или булавовидные, с целостной поверхностью, сохраняли тургор, располагались плотно с частыми наложениями, что указывало на высокую интенсивность спорообразования. В образцах после обработок схемой каптан + трифлуксистробин выявлены выраженные морфологические изменения: конидиеносцы часто были сломаны у поверхности листа с образованием отверстий, уцелевшие структуры укорочены, искривлены, с нарушенной целостностью поверхности; конидии были мелкими, сморщенными, с разрывами клеточной стенки и признаками утечки цитоплазмы, располагались разреженно. На сорте Лобо отмечена сходная картина, хотя исходная плотность спороношения в контроле была ниже, чем на Мантете.

ГЛАВА V. ВЛИЯНИЕ СИСТЕМ ЗАЩИТЫ ОТ ПАРШИ ЯБЛОНИ НА КАЧЕСТВЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЛИСТЬЕВ И ПЛОДОВ

5.1. Влияние препаратов и парши на элементный состав поверхности листьев и плодов

Анализ элементного состава листьев и кожуры плодов показал, что калий является наиболее чувствительным элементом к влиянию всех исследованных факторов – схемы защиты, сортовых особенностей и состояния здоровья участка листа. После трехкратного применения контактных препаратов содержание калия ранжировалось: контроль – 1,8%, обработки хозяйства – 1,3%, Мерпан, СП – 1,2%, Шрапнель, ВГ – 1,0%. При этом на пораженных паршой участках листьев содержание калия было стабильно выше, чем на здоровых. Содержание кальция было максимальным в вариантах с дитианомом (0,65%) и каптаном (0,64%) и минимальным в хозяйственном варианте (0,47%), что указывает на сортоспецифическое влияние применяемых средств защиты на этот элемент, играющий ключевую роль в стабилизации клеточных стенок. Углерод преобладал в вариантах с исследуемыми препаратами (81,1% и 80,8%) против контроля (79,0%), тогда как кислород, напротив, был выше в контроле (17,1%), что отражает интенсивность окислительных процессов при поражении.

Таблица 3. Содержание элементов в листьях в зависимости от поражённости участка инфекционными структурами парши яблони, Московская область, 2024 г.

Элемент	Содержание элемента, %					
	1 июля 2024 г.			26 июля 2024 г.		
	*p	Здоровый участок	Поражённый участок	p	Здоровый участок	Поражённый участок
C	0,00	82,57	78,62	0,00	81,82	79,61
O	0,00	15,96	17,31	0,73	16,76	16,89
Na	0,08	0,06	0,16	0,64	0,27	0,19
Mg	0,00	0,15	0,21	0,00	0,12	0,18
Al	0,32	0,22	0,21	0,31	0,25	0,31
Si	0,05	0,27	0,40	0,13	0,60	0,89
P	0,01	0,00	0,58	0,79	0,35	0,37
S	0,01	0,11	0,29	0,13	0,18	0,26
Cl	0,00	0,10	0,15	0,61	0,23	0,16
K	0,00	0,60	1,67	0,00	0,67	1,28
Ca	0,00	0,37	0,68	0,00	0,28	0,47
Fe	0,00	0,78	0,47	0,47	0,60	0,92

*p – уровень значимости

После двух обработок системными фунгицидами выявлено дальнейшее снижение калия во всех вариантах, кроме хозяйственного. В схеме с ципродинилом и дитианомом отмечено минимальное содержание калия (0,45%), тогда как в схеме с трифлуксистро-

бином и каптаном – повышенные содержание кальция и кислорода. Содержание магния на пораженных участках было выше (0,18%), чем на здоровых (0,12%). Выявлены существенные сортовые различия по содержанию фосфора (Лобо 0,59% > Мантет 0,30% ≈ Мелба 0,26%) и железа (Мелба 1,14% > Лобо 0,71% > Мантет 0,62%). Наличие значимых взаимодействий «вариант × сорт» и «вариант × состояние» для ключевых элементов подчеркивает, что реакция на препарат носит сортоспецифический характер и зависит от состояния здоровья поверхности листа.

В кожуре плодов преобладали углерод (70–85%), кислород (12–30%) и азот (до 10,5%). Сортовые различия наиболее значимы для азота, натрия, хлора и кремния. Варианты защиты существенно различались по содержанию азота: максимальное значение (9,77%) отмечено в схеме с каптаном и трифлуксистробином, минимальное (4,43%) – с дитианоном и ципродинилом. Содержание кислорода было наибольшим в хозяйственном варианте (24,28%), что указывает на более выраженные окислительные процессы; в исследуемых схемах этот показатель снижался до 16,06–18,82%. Анализ элементного состава кожуры в зависимости от степени поражения паршой показал закономерное снижение углерода (с 81,4% у здоровых до 68,6% у пораженных участков) и азота (с 18,17% до 7,52%), что отражает деградацию структурных компонентов и катаболизм белков. Содержание кислорода возрастало с 15,17% до 24,71%, свидетельствуя об активации окислительного стресса. Отмечено повышение натрия (с 0,19% до 0,37%) и кальция (с 0,39% до 0,83%) в пораженных тканях, тогда как алюминий был максимален в здоровых участках (0,33%) и снижался при поражении.

Таблица 4. Элементный состав (%) кожуры яблок в зависимости от применяемой системы защиты от парши яблони, Московская область, 2024 г.

Содержание элементов, %	Варианты опыта с различными системами защиты от парши яблони			
	Контроль	Мерпан, СП/Знаток, ВДГ	Шрапнель, ВГ/АгроШлем, ВДГ	Обработки хозяйства
C	75,67	76,84	73,72	71,3
N	6,45	9,77	4,43	7,34
O	20,64	18,82	22,65	24,3
Na	0,23	0,36	0,36	0,36
Mg	0,13	0,13	0,17	0,13
Al	0,07	0,15	0,12	0,08
Si	0,14	0,18	0,20	0,21
P	0,43	0,46	0,61	0,41
S	0,23	0,18	0,18	0,18
Cl	0,09	0,27	0,08	0,17
K	0,06	0,19	0,07	0,15
Ca	0,51	0,50	1,11	0,65
Fe	0,53	0,53	0,41	0,42

5.2. Влияние на физиологические показатели и совершенствование методик их определения

Апробирован экспресс-метод оценки физиологического состояния растений с использованием портативного флавонид- и хлорофиллметра Dualex, измеряющего индекс азотного баланса как соотношение содержания хлорофилла и флавоноидов. Прибор позволяет проводить измерения в полевых условиях без повреждения листовой ткани, что делает его удобным для регулярного мониторинга состояния яблони. В рамках исследования сравнили две методики: 6 измерений на 4 листьях (6×4) и 1 измерение на 30 листьях (30×1). Результаты показали, что метод 30×1 демонстрирует более высокую стабильность и меньшую вариабельность данных, хотя корреляция между показаниями N-тестера и спектрофотометрическим определением хлорофилла была умеренной для метода 6×4 ($p = 0,463$) и недостоверной для 30×1 ($p = 0,22$). Тем не менее, на основании

более низкой вариабельности данных метод 30×1 рекомендован для массовых скрининговых оценок, а метод 6×4 – для лабораторной верификации.

Таблица 5. Данные учёта распространённости и развития симптомов парши яблони на листьях и их сопоставление с индексом NBI по всем группам возрастов листьев

Сорт	Схема защиты	Дата учета: 03.07.2024		
		Индекс NBI по всем группам листьев	Распространенность парши, %	Развитие парши, %
Мелба	Мерпан, СП/Знаток, ВДГ	11,8	11,8	2,7
	Шрапнель, ВГ/АгроШлем, ВДГ	11,8	21,0	4,9
	Обработки хозяйства	9,8	47,6	12,7
	контроль	10,0	63,3	20,3
Мантет	Мерпан, СП/Знаток, ВДГ	10,6	35,9	10,0
	Шрапнель, ВГ/АгроШлем, ВДГ	10,0	34,6	10,2
	Обработки хозяйства	9,9	81,4	33,3
	контроль	9,9	79,7	37,9
Лобо	Мерпан, СП/Знаток, ВДГ	11,4	12,8	2,6
	Шрапнель, ВГ/АгроШлем, ВДГ	11,8	19,5	4,5
	Обработки хозяйства	11,8	50,7	15,3
	контроль	10,9	62,7	21,0

Изучение динамики NBI показало, что большее влияние оказывает фактор возраста листьев (24,7%, $p < 0,05$) по сравнению с факторами сорта (3,1%) и схемы защиты (1,7%). NBI возрастал от молодых листьев (позиции 1–4 от верхушечной почки) – 9,1 единицы через средние (5–9) – 10,3 к старым (10–14) – 13,0 единиц. Корреляция между содержанием хлорофилла и NBI была наиболее сильной у молодых листьев ($\rho = 0,91$), ослабевала у средних ($\rho = 0,75$) и вновь росла у старых листьев ($\rho = 0,81$). Концентрация флавоноидов была максимальной в листьях средней возрастной группы (2,02 мг/см²), что указывает на наибольшую физиологическую нагрузку в этой фазе. Содержание антоцианов было максимальным у молодых листьев (0,148 мг/см²) и снижалось с возрастом (0,088 мг/см² у старых), подтверждая их защитную роль на ранних этапах развития. На основе полученных данных рекомендовано использовать для оценки физиологического состояния листа среднего возраста (5–9 от верхушечной почки), что согласуется с методикой учетов парши. Корреляционный анализ выявил сильную прямую связь между хлорофиллом и NBI ($\rho = 0,93$, $p < 0,001$), отсутствие значимой связи между хлорофиллом и флавоноидами ($\rho = -0,05$) и выраженные обратные зависимости между хлорофиллом и антоцианами ($\rho = -0,93$), а также между антоцианами и NBI ($\rho = -0,90$). Измерения хлорофиллометром в разных частях листовой пластинки не выявили значимых различий ($p > 0,05$), что упрощает процедуру полевых измерений.

Динамика NBI в течение вегетации (июль – сентябрь) показала рост показателей у всех сортов, что отражает накопление азота. Статистически значимое влияние сорта подтверждено ($F=12,83-22,89$, $p < 0,0001$). По влиянию схем защиты: в июле максимальные значения NBI получены в вариантах с исследуемыми схемами (11,09±2,54 и 10,96±2,99), минимальные – в хозяйственной схеме (9,57±2,56) и контроле (9,74±2,52). К сентябрю различия усилились: схема с каптаном и трифлуксистробином обеспечила NBI 14,90±3,80, хозяйственная – 11,89±2,97 ($F=25,39$, $p < 0,0001$). Сорт Мелба показал максимальный прирост NBI при использовании схемы с каптаном и трифлуксистробином (+5,25), сорт Мантет – отзывчивость на обе исследованные схемы (+3,36–3,53), сорт Лобо – умеренный прирост с максимальным эффектом от схемы с дитианомом и ципродинилом (+2,53). Корреляционный анализ выявил обратную умеренную зависимость между NBI и распространенностью парши ($\rho = -0,615$, $p < 0,05$), а также между NBI и развитием болезни ($\rho = -0,601$, $p < 0,05$). Таким образом, NBI может служить интегральным индикатором физиологической устойчивости растений к парше.

5.3. Влияние парши на качество плодов и урожайность

Качество плодов сортов Мантет, Мелба и Лобо в 2024 году оценивали по комплексу показателей, включая среднюю массу, содержание сухого вещества, сахарно-кислотный индекс, содержание аскорбиновой кислоты и твердость. Наибольшее увеличение средней массы плодов отмечено у сорта Мантет, где прирост составил 21–26% относительно контроля, у сорта Лобо – 11–12%, у Мелбы – 9–13%. При этом содержание сухого вещества в вариантах с исследуемыми схемами было близко к контролю, что указывает на увеличение массы за счет питательных элементов, а не за счет воды. Сахарно-кислотный индекс у сорта Мантет в опытных вариантах возрос на 15–36% (до 12,4–14,7) по сравнению с контролем (10,8), у Лобо – на 16% (до 10,9), у Мелбы статистически значимых различий не выявлено. Содержание аскорбиновой кислоты увеличилось на 4–13% у Мантета, на 9% у Мелбы и на 24% у Лобо. Выявлена обратная зависимость: снижение сахарно-кислотного индекса сопровождалось увеличением твердости плодов (от 4,7 кг/см² у Мантета до 8,8 кг/см² у Лобо).

Таблица 6. Биохимические показатели плодов в зависимости от применяемых фунгицидных обработок против парши, Московская область, 2024 г.

Сорт яблони	Схема защиты от парши	Сухое вещество, %	Аскорбиновая кислота, мг/100 г	Сумма сахаров, %	Общая кислотность, %	С/к индекс
Мантет	Мерпан, СП/Знаток, ВДГ	14,85	4,05	8,83	0,60	14,7
	Штрапнель, ВГ/АгроШлем, ВДГ	14,24	4,40	8,93	0,72	12,4
	Обработки хозяйства	17,09	3,87	10,92	0,79	13,8
	Контроль	14,43	3,87	8,83	0,82	10,8
Мелба	Мерпан, СП/Знаток, ВДГ	15,88	4,22	8,65	0,77	11,2
	Штрапнель, ВГ/АгроШлем, ВДГ	15,88	4,22	9,10	0,75	12,1
	Обработки хозяйства	15,33	4,05	9,00	0,71	12,7
	Контроль	16,66	3,87	9,82	0,84	11,7
Лобо	Мерпан, СП/Знаток, ВДГ	15,94	3,52	8,21	0,75	10,9
	Штрапнель, ВГ/АгроШлем, ВДГ	15,35	3,52	8,21	0,75	10,9
	Обработки хозяйства	16,38	3,17	7,96	0,73	10,9
	Контроль	16,98	2,82	7,74	0,82	9,40

В контрольном варианте урожайность сорта Мантет составила 15,0 кг/дерево (1,3 т/га) с выходом первого сорта лишь 10%, нестандарт – 45%. Хозяйственная схема повысила урожайность до 17,2 кг/дерево (+14,6%), но первый сорт составил только 11%, нестандарт – 34%. Предложенные схемы обеспечили существенное улучшение: схема каптан + трифлуксистеробин дала 21,1 кг/дерево (+40,6% к контролю), первый сорт 54%, нестандарт 19%; схема дитианон + ципродинил – 20,6 кг/дерево (+37,3%), первый сорт 50%, нестандарт 15%. Статистически значимых различий между двумя опытными схемами не выявлено.

Экономическая оценка, выполненная с использованием среднерыночных оптовых цен Московской области 2025 года (1 сорт – 100 руб./кг, 2 сорт – 75 руб./кг, нестандарт – 15 руб./кг), подтвердила высокую эффективность предлагаемых систем защиты. Стоимость валовой продукции в контроле составила 65,9 тыс. руб./га, чистый доход – 10,9 тыс. руб./га, рентабельность – 19,8%. Хозяйственная схема с затратами на защиту 7,2 тыс. руб./га обеспечила стоимость продукции 85,8 тыс. руб./га, чистый доход 23,6 тыс. руб./га, рентабельность 38,0%. Предложенные схемы, несмотря на более высокие затраты на защиту (16,8 и 12,0 тыс. руб./га соответственно), обеспечили стоимость валовой продукции 140,7–141,5 тыс. руб./га, чистый доход 69,7–73,7 тыс. руб./га (в 6–7 раз выше контроля и в 3 раза выше хозяйственного эталона). Рентабельность составила 97,1% (схема с каптаном и трифлуксистеробином) и 110,0% (схема с дитианоном и ципродинилом). Себестоимость 1 кг плодов снизилась с 42,1 руб. в контроле до 37,4–39,1

руб. в опытных вариантах. Окупаемость дополнительных затрат составила 5,2 руб. на 1 вложенный рубль (схема с дитианомом и ципродинилом) и 3,5 руб. (схема с каптаном и трифлуксизобинилом) против 1,8 руб. в хозяйственном варианте. Предотвращенный ущерб составил дополнительно полученные 560–610 кг/га товарной продукции высшего качества. Применение исследуемых систем защиты не только обеспечивает биологическую эффективность против парши, но и существенно улучшает товарные и биохимические качества плодов, повышая урожайность на 37–41% и рентабельность производства до 110%, что позволяет рекомендовать обе системы для внедрения в производственных садах Московского региона.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании проведенных полевых и лабораторных исследований по установлению распространенности в Московском регионе микозов яблони и, в первую очередь парши, как доминирующей болезни, а также оптимизации мониторинга и схемы химической защиты от неё были сделаны следующие **Выводы**.

1. В яблоневых садах Московского региона в 2022–2024 гг. доминирующими заболеваниями были парша (*Venturia inaequalis*) с распространённостью до 100%, монилиальная плодовая гниль (*Monilinia fructigena*) с распространённостью до 42% и комплекс некрозно-раковых болезней (цитоспороз - *Cytospora* sp., чёрный рак - *Botryosphaeria stevensii*, поражения щелелистником обыкновенным - *Schizophyllum commune*) с распространённостью до 50%. Выявлены сортовые различия по полевой устойчивости к парше яблони.

2. Прогностическая модель с применением локальной метеостанции и платформы Agrokeeper достоверно отражала динамику созревания аскоспор и периоды риска конидиальной инфекции, что подтверждается высокой сходимостью прогнозов с фактическими сроками появления симптомов заболевания. Агрометеорологический анализ подтвердил наличие статистически значимых микроклиматических особенностей сада: (пониженные минимальные температуры и повышенное количество осадков по сравнению с данными региональной метеостанции).

3. Разработанный цифровой сервис на основе сверточной нейронной сети YOLOv10 для автоматизированной детекции и оценки площади поражения листьев паршой относительно площади листа показал высокую точность (Precision 93,2%, Recall 91,8%, mAP 92,5%). Сильная корреляция результатов оценки процента поражения паршой сервиса ($r=0,78$) с визуальными оценками эксперта и значение капшы Коэна ($\kappa=0,60$) свидетельствуют о принципиальной возможности применения метода для объективного и оперативного мониторинга, особенно на начальных этапах развития парши.

4. Биологическая эффективность системы последовательного применения «каптан + трифлуксизобинил» против парши на сорте Мантет на плодах составила 67,1%, система «дитианон + ципродинил» показала результат 57,2%, в то время как эффективность обработок хозяйства не превышала 12,4%. Электронно-микроскопический анализ подтвердил ингибирующее действие комбинации «каптан + трифлуксизобинил» обработок на конидиальное спороношение и снижение жизнеспособности аскоспор возбудителя. Обработки способствовали улучшению качества яблок: выросла средняя масса плодов (на 9–26% в зависимости от сорта), увеличилось содержание аскорбиновой кислоты (24% сорт Лобо) и улучшились вкусовые качества – рост сахарно-кислотного индекса на 15–36% у сорта Мантет.

5. Остаточные количества трифлуксизобина, ципродинила и дитианона к моменту уборки урожая в плодах и соке не обнаружены. Содержание остатков каптана было минимальным (0,02–0,03 мг/кг) и не превышало установленных максимально до-

пустимых уровней, что подтверждает безопасность применения изученных препаратов при соблюдении регламентов.

6. Поражение паршой вызывало существенные изменения элементного состава листьев и кожуры плодов и приводило к повышению содержания калия, кальция и магния в зоне очагов поражения на фоне снижения доли углерода, что отражает метаболические и структурные нарушения в тканях. Установлено различное достоверное влияние сортовой принадлежности яблони и применения фунгицидов на элементный состав листьев и кожуры плодов.

7. Апробирован экспресс-метод оценки индекса азотного баланса (NBI) и выявлена достоверная обратная корреляция NBI с распространённостью ($r = -0,615$) и развитием ($r = -0,601$) парши, что позволяет использовать данный показатель в качестве индикатора физиологической стабильности растений под давлением патогена.

8. Экономическая оценка подтвердила высокую эффективность предлагаемых систем защиты. Варианты Мерпан, СП/Знаток, ВДГ и Шрапнель, ВГ/АгроШлем, ВДГ обеспечили получение более 50% плодов первого сорта, рентабельность 97–110% и окупаемость дополнительных затрат 3,5–5,2 руб. на 1 вложенный рубль, что в 3–6 раз превышает показатели контроля и хозяйственного эталона. Данные системы рекомендованы для внедрения в садах Московского региона.

Предложения производству

Садоводческим хозяйствам Московской области и других регионов Нечерноземной зоны РФ, специализирующихся на возделывании яблони, рекомендуется внедрение следующих научно-обоснованных подходов к защите насаждений от парши и управлению фитосанитарным состоянием садов.

1. Для своевременного принятия решений о проведении защитных мероприятий необходимо использовать комплексный подход к фитосанитарному мониторингу, включающий агрометеорологическое прогнозирование и инструментальные методы оценки. Рекомендуется установка локальных автоматизированных метеостанций (например, КаироMini 2.1) непосредственно в зоне сада. Использование интеллектуальных платформ прогноза (Agrokeep), интегрированных с локальными метеоданными, позволит достоверно предсказывать динамику созревания аскоспор и периоды риска конидиальной инфекции. Применение цифрового сервиса на основе нейронной сети YOLOv10 для автоматизированной детекции и оценки площади поражения листьев паршой возможно использовать в качестве инструмента объективного и оперативного мониторинга.

2. Для сдерживания развития парши яблони, особенно в условиях повышенного инфекционного фона и эпифитотий, хозяйствам рекомендуется переход к комбинированным системам защиты от парши, основанным на чередовании контактных и системных фунгицидов. Доказана высокая эффективность двух схем последовательного применения препаратов, обеспечивших получение более 50% плодов первого сорта. Система №1: применение контактного фунгицида Мерпан, СП (500 г/кг каптана) в начальный период (после цветения и в фазу формирования завязи) с последующим применением системного препарата Знаток, ВДГ (500 г/кг трифлуксистеробина) в фазу развития плодов. Система №2: применение контактного фунгицида Шрапнель, ВГ (700 г/кг дитиано-на) с последующим применением системного препарата АгроШлем, ВДГ (750 г/кг ципродинила). При планировании защитных мероприятий необходимо учитывать сортовую восприимчивость к парше, при этом принимать во внимание, что максимальные показатели биологической эффективности фунгицидной защиты достигаются на наиболее устойчивых сортах.

Перспективы дальнейшей разработки и внедрения полученных результатов

Дальнейшее развитие исследований возможно в направлении цифровизации фитосанитарного мониторинга, изучения физиолого-биохимических механизмов устойчивости, проблем резистентности патогена. В области цифровых технологий перспективным представляется расширение функционала разработанного нейросетевого сервиса на базе YOLOv10. Планируется обучение модели для автоматической детекции симптомов парши не только на листьях, но и на плодах, а также для дифференциации парши от других распространённых пятнистостей (филлостиктоз, альтернариоз) и повреждений, вызываемых членистоногими. Выявленная в работе обратная корреляция индекса азотного баланса (NBI) с поражённостью листьев паршой открывает возможность использования этого показателя в качестве раннего индикатора физиологического стресса растений. Дальнейшие исследования с искусственным заражением позволят установить, насколько динамика NBI опережает появление визуальных симптомов, и определить пороговые значения индекса, сигнализирующие о начале скрытой инфекции. Это даст возможность оптимизировать сроки применения фунгицидов, повысив эффективность защитных мероприятий. Установленные методом энергодисперсионной спектроскопии различия в элементном составе листьев и кожуры плодов в зависимости от сорта, степени поражения и применяемых фунгицидов требуют более детального изучения. Представляет интерес выяснение роли макро- и микроэлементов (K, Ca, Mg, Si) в формировании механизмов полевой устойчивости сортов яблони к парше. Целесообразно провести сравнительный анализ динамики накопления этих элементов в тканях в течение вегетации у сортов с контрастной устойчивостью, а также оценить возможность индуцирования устойчивости путём применения некорневых подкормок, содержащих кремний и кальций, в комплексе с фунгицидными обработками. В связи с риском развития резистентности *Venturia inaequalis* к применяемым фунгицидам необходима организация систематического мониторинга чувствительности популяций патогена в условиях Московского региона. С использованием молекулярно-генетических методов (ПЦР-детекция точечных мутаций, таких как G143A для стробилуринов) возможно оценить частоту встречаемости резистентных форм и выявить тенденции изменения структуры популяций под влиянием различных систем защиты. Полученные данные лягут в основу разработки адаптивных антирезистентных стратегий, предусматривающих научно обоснованное чередование фунгицидов из разных химических классов в соответствии с рекомендациями FRAC. Апробация разработанных и улучшенных систем защиты на более широком сортименте, включая новые колонновидные сорта, а также в различных почвенно-климатических условиях Нечернозёмной зоны РФ позволит уточнить регламенты применения и адаптировать их к конкретным условиям хозяйств. Это будет способствовать внедрению результатов исследований в производственную практику и повышению эффективности и устойчивости садовых агроценозов.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ АВТОРОМ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ:

1. Касатов, И. С. Агроклиматический анализ условий развития парши яблони и фитопатологический мониторинг в плодовом саду Московской области / И. С. Касатов, О. О. Белошапкина, А. А. Хохлов // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. – 2025. – № 3. – С. 96-114. – DOI 10.26897/0021-342X-2025-3-96-114.

2. Касатов, И. С. Оптимизация метода определения азотного баланса в листьях яблони при оценке эффективности фунгицидов против парши / И. С. Касатов, О. О. Бе-

лошапкина // Садоводство и виноградарство. – 2025. – № 4. – С. 24–33. – DOI: 10.31676/0235-2591-2025-4-24-33.

3. Касатов, И. С. Влияние фунгицидов на разные стадии возбудителя парши яблони / И. С. Касатов, О. О. Белошапкина // Плодоводство и ягодоводство России. – 2025. – Т. 83. – С. 98–108. – DOI: 10.31676/2073-4948-2025-83-98-108.

4. Касатов, И. С. Эффективность фунгицидов и их комбинаций против парши яблони в условиях Московской области / И. С. Касатов // Агрохимический вестник. – 2025. – № 6. – С. 86–92. – DOI: 10.24412/1029-2551-2025-6-013.

Публикации в других изданиях:

5. Касатов, И. С. Элементный состав кожуры яблок в зависимости от поражения паршой, сорта и системы защиты / И. С. Касатов // Материалы Международной научной конференции молодых учёных и специалистов, посвящённой 160-летию Тимирязевской академии, Москва, 2–4 июня 2025 г. : сборник статей. Т. 1 [Электронный ресурс]. – Москва : Издательство РГАУ – МСХА, 2025. – С. 353–357.

6. Белошапкина, О. О. Влияние фунгицидов против парши яблони на качество плодов / О. О. Белошапкина, И. С. Касатов // Мониторинг и биологические методы контроля вредителей и патогенов древесных растений: от теории к практике : материалы Четвертой Всероссийской конференции с международным участием, Москва, 7–11 апреля 2025 г. – Москва, 2025. – С. 33–34.

7. Касатов, И. С. Содержание остаточных количеств дифеноконазола в элементах урожая семечковых и косточковых культур / И. С. Касатов, О. И. Рыбакова, О. О. Белошапкина // Научное обеспечение устойчивого развития субтропического растениеводства : материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 130-летию создания Сухумской садовой сельскохозяйственной станции и 30-летию образования ГНУ «Институт сельского хозяйства Академии наук Абхазии», Сухум, 13–15 ноября 2024 г. / под ред. Л. Я. Айба. – Сухум : ГНУ ИСХ АНА, 2024. – С. 147–153.

8. Касатов, И. С. Изучение биологической эффективности и динамики распада остаточных количеств ципродинила на семечковых культурах / И. С. Касатов, О. О. Белошапкина, А. Г. Мамонов, А. В. Попов // V Всероссийский конгресс по защите растений : сборник тезисов докладов, посвящается 300-летию Российской академии наук, Санкт-Петербург, 16–19 апреля 2024 года. – Санкт-Петербург : Всероссийский институт защиты растений, 2024. – С. 159.

9. Kasatov, I. S. Investigation of the chlorophylls and flavonoids content in apple leaves under conditions of various scab protection systems / I. S. Kasatov, A. A. Anisimov, O. O. Beloshapkina // BIO Web of Conferences. – 2024. – Vol. 139. – P. 04007. – DOI 10.1051/bioconf/202413904007.

10. Касатов, И. С. Динамика распада остаточных количеств фунгицидов в листьях и плодах яблони / И. С. Касатов, О. О. Белошапкина, О. И. Рыбакова // Материалы Международного молодежного научного форума "ЛОМОНОСОВ-2023" : Электронное издание, Москва, 10–21 апреля 2023 года / Члены редколлегии: Бобрик А.А., Алешковский И.А., Зимакова Е.И., Антипов Е.А., Андриянов А.В.. – Москва: ООО "МАКС Пресс", 2023.

11. Касатов, И. С. Биологическая эффективность системных препаратов против парши яблони / И. С. Касатов, О. О. Белошапкина // Наука и молодёжь: актуальные вопросы и пути инновационного развития АПК : материалы национальной научно-практической студенческой конференции. – [Белгород] : БГАУ имени В.Я. Горина, 2023. – С. 109–110.

Программа для ЭВМ:

12. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024689009 Российская Федерация. Цифровой сервис детекции болезней яблони: № 2024687750: заявл. 18.11.2024; опублик. 03.12.2024 / И. С. Касатов, М. Н. Степанцевич, Д. А. Абдрахимов; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет - МСХА имени К.А. Тимирязева».