

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ -
МСХА ИМЕНИ К.А. ТИМИРЯЗЕВА»

На правах рукописи

Касатов Илья Сергеевич

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

Специальность 4.1.3. Агротехнология, агропочвоведение, защита и карантин
растений

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата сельскохозяйственных наук

Научный руководитель:
Белошапкина Ольга Олеговна,
доктор сельскохозяйственных наук, профессор

Москва – 2026

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
ГЛАВА 1. Обзор литературы.....	13
1.1. Биологическая характеристика яблони и основы её агротехники	13
1.2. Основные вредители и болезни, отмеченные в садах.....	19
1.3. Парша яблони.....	24
1.3.1. История изучения болезни	24
1.3.2. Диагностические признаки парши яблони.....	30
1.4. Инфекционный цикл и условия заражения паршой	33
1.5. Защитные мероприятия против парши.....	36
1.5.1. Агротехнические методы	36
1.5.2. Селекция и использование устойчивых к парше сортов	38
1.5.3. Использование фунгицидов для защиты яблони от парши: стратегии, средства и научные основы оптимизации.....	40
ГЛАВА 2. Условия, объекты и методика исследований.....	56
2.1. Природно-климатические условия мест проведения исследований... ..	56
2.2. Погодные условия в годы исследований биологической эффективности фунгицидов	60
2.3. Объекты и методы исследований	63
2.3.1. Характеристика сортов яблони.....	65
2.3.2. Изучаемые фунгициды против парши	67
2.3.3. Патоген-возбудитель парши яблони	70
2.4. Методики исследований	70
2.4.1. Методика опытов по оценке биологической эффективности фунгицидов яблони и фитосанитарного мониторинга болезней яблони	70

2.4.2. Схема вариантов опыта с применением фунгицидов	73
2.4.3. Фитосанитарный мониторинг	75
2.4.4. Мониторинг распространённости и развития парши.....	77
2.4.5. Методика анализа метеоданных и прогнозирования развития парши	79
2.4.6. Методика обучения цифровой модели YOLO для оценки балла поражения паршой листьев яблони	80
2.4.7. Методика определения фотосинтетических пигментов	83
2.4.8. Методика оценки биохимических и качественных показателей плодов	84
2.4.9. Методика микроскопирования инфекционных структур <i>V. inaequalis</i>	84
2.4.10. Методика определения остаточных количеств действующих веществ фунгицидов	85
ГЛАВА 3. Мониторинг микозов яблони и прогнозирование развития парши	86
3.1. Результаты фитосанитарного мониторинга яблоневых садов в Московском регионе.....	86
3.2. Агрометеорологический мониторинг и динамика развития парши яблони	93
3.2.1. Агрометеорологический мониторинг и агро модель прогноза созревания аскоспор <i>V. inaequalis</i>	93
3.2.2. Фитопатологический мониторинг парши яблони	99
3.3. Разработка и апробация цифрового сервиса по определению степени поражённости паршой листьев яблони	104

ГЛАВА 4. Биологическая эффективность фунгицидов, их влияние на инфекционные структуры <i>V. inaequalis</i> и оценка содержания остаточных количеств действующих веществ в продукции	115
4.1. Биологическая эффективность фунгицидов против парши яблони..	115
4.2. Динамика разложения действующих веществ фунгицидов.....	121
4.3. Влияние препаратов на разные стадии возбудителя парши яблони .	129
4.3.1. Влияние препаратов на стадию телеоморфы возбудителя парши яблони	129
4.3.2. Влияние на анаморфную стадию возбудителя парши	131
ГЛАВА 5. Влияние систем защиты от парши яблони на качественные характеристики листьев и плодов.....	134
5.1. Влияние препаратов и парши на элементный состав поверхности листьев и плодов	134
5.2. Влияние на физиологические показатели и совершенствование методик их определения.....	143
5.3. Влияние парши на качество плодов и урожайность	154
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	163
ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВУ	166
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	168
ПРИЛОЖЕНИЕ А	197
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	201
ПРИЛОЖЕНИЕ В	202
ПРИЛОЖЕНИЕ Г.....	203

ВВЕДЕНИЕ

Яблоня является наиболее распространённой семечковой плодовой культурой в мире. По данным на 2024 год Российская Федерация занимает 5-е место в мире по площадям семечковых насаждений и 5-е место по валовому сбору яблок, при этом около 0,5 млн т товарных свежих яблок импортируется из-за рубежа.

Одним из ключевых факторов, ограничивающих продуктивность и качество урожая, остаётся поражение растений болезнями. Среди них доминирующую роль играет парша яблони, широко распространённая практически во всех регионах садоводства. В годы её массового развития потери товарной продукции могут достигать 60–100%. Ущерб от данного заболевания выражается не только в уменьшении урожайности и ухудшении товарных качеств плодов, но также в снижении их лёжкости.

Важным аспектом успешности защиты яблони является своевременный качественный фитосанитарный мониторинг парши для обеспечения максимальной эффективности применяемых средств в конкретных агроландшафтных условиях. Современные изменения климата, появление новых физиологических рас возбудителя *Venturia inaequalis* (Cooke) G. Winter и увеличение доли интенсивных садов требуют постоянного совершенствования методов прогнозирования и диагностики болезни. Традиционные визуальные оценки степени поражения листьев и яблок должны дополняться новыми инструментальными методами, которые обеспечат большую объективность результатов. Комплексная оценка, объединяющая полевые наблюдения, метеорологические данные, фенологические стадии развития растений и динамику спороношения патогена, позволяет более точно определять периоды высокого инфекционного риска и оптимизировать применение защитных мероприятий.

Эффективная защита яблони от парши должна основываться на комплексном подходе, адаптированных к условиям конкретных зон возделывания. Наиболее значимыми из них являются использование устойчивых

сортов, и применение химических средств защиты. Следует учитывать, что устойчивость сортов может меняться под воздействием отбора более агрессивных рас возбудителя, погодных и агротехнологических условий, что определяет необходимость регулярной полевой иммунологической оценки сортов. Распространённость парши в настоящее время остаётся высокой, несмотря на масштабное применение химических средств защиты, что подтверждает актуальность совершенствования систем защиты яблони в регионах её возделывания с экономической и экологической точек зрения. Снижение пестицидной нагрузки и формирование устойчивой фитосанитарной обстановки в агроценозах, является одним из приоритетных направлений современной аграрной науки. Оптимизация фунгицидного прессинга в садах возможна не только за счёт сокращения кратности обработок и норм расхода препаратов, а также вследствие замены традиционно используемых фунгицидов на более эффективные и уточнения их влияния на систему патоген-растение в конкретных погодно-климатических условиях.

Степень разработанности проблемы. 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 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. Работы 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 исследования З.А. Козловской, Т.А. Гашенко, Ю.Г. Кондратёнок (2017) выявили в популяции 14

генов вирулентности из 19 известных и 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. Значительный вклад в изучение чувствительности популяций внесли А.И. Насонов и Г.В. Якуба, впервые получившие значения ЭК50 боскалида и показавшие сохранение резистентности 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.

Цель исследования: оптимизировать систему защиты яблони от парши с учетом экотоксикологического влияния комплекса современных фунгицидов на возбудителя заболевания, а также на качественные и количественные характеристики урожая.

Задачи исследований:

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, трифлуксистрибина, 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 трифлуксистрибина), 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.

Методология и методы диссертационного исследования. При проведении работы использованы полевые и лабораторные методы исследований биологической эффективности пестицидов, общепринятые методики по определению остаточных количеств действующих веществ пестицидов в растительных образцах, а также методики проведения фитосанитарного мониторинга, биохимического анализа плодов, электронного микрофотографирования, которые подробно изложены в разделе «Материалы и методы» соответствующей главы диссертации. Апробированы методики экспресс-определения хлорофилла и антоцианов в листьях яблони и работа цифрового сервиса на основе сверточной нейронной сети и машинного зрения для оценки степени поражённости листьев паршой.

Положения, выносимые на защиту:

- 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 сортимента яблони.

- Применение новых фунгицидов на основе трифлуксистробина, 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.

- 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.

Степень достоверности и апробации результатов. Результаты и выводы работы получены в ходе полевых и лабораторных экспериментов и наблюдений, проведённых в 2022-2024 гг., научно обоснованы, достоверны и подтверждены статистической обработкой экспериментальных данных в программе Microsoft Excel. Для оценки достоверности различий между вариантами опыта применяли одно- и двухфакторный дисперсионный анализ (ANOVA). Уровень значимости при проверке статистических гипотез принимали равным $\alpha = 0,05$. Перед проведением параметрического анализа осуществляли проверку нормальности распределения количественных признаков с использованием критерия Шапиро–Уилка (при $n < 50$) и критерия Колмогорова–Смирнова (при $n \geq 50$). В случае отклонения распределения от нормального закона ($p < 0,05$) для сравнения выборок применяли непараметрические критерии: для двух независимых выборок — U-критерий Манна–Уитни, для трёх и более групп — H-критерий Краскела–Уоллиса. Оценку взаимосвязей между признаками проводили с помощью корреляционного анализа: при нормальном распределении — коэффициента корреляции Пирсона (r), при ненормальном — рангового коэффициента корреляции Спирмена (ρ).

Основные результаты работы доложены на: Международной научно-практической конференции «Коняевские чтения 2023 «От модернизации к

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

Результаты исследований были использованы для разработки регламентов применения пестицида АгроШлем, ВДГ для включения его в Государственный реестр пестицидов, зарегистрированных на территории Российской Федерации (номер государственной регистрации № 197-02-4740-1 от 28 ноября 2024 г.), а также пестицида Знаток, ВДГ (номер государственной регистрации № 126-02-3568-1 от 25 марта 2022 г.).

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

Публикации материалов исследований. 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 диссертации. Диссертация изложена на 203 страницах, состоит из введения, пяти глав основной части: обзор 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.

Благодарности. Автор благодарен научному руководителю, профессору, д.с.-х.н. О.О. Белошапкиной за наставничество в проведении исследований, поддержку на всех этапах работы, открытость к предложениям, профессионализм и педагогический талант; к.х.н., руководителю УНКЦ «Агроэкология пестицидов и агрохимикатов» Довгилевичу А.В. за предоставление возможности вести научную деятельность в рамках рабочих задач и поддержку на исследовательском пути; к.с.-х.н., доценту А.В. Соловьеву за помощь в выборе площадки для проведения полевого опыта и консультирование по особенностям культуры яблони; к.с.-х.н., доценту М.Н. Степанцевич за помощь в разработке метода автоматизированной оценки степени поражения листьев яблони паршой с использованием нейросетевых технологий; д.б.н., доценту Р.М. Хацаевой за помощь в проведении исследований с использованием электронного микрофотографирования; агроному А.А. Хохлову, студентам Н.В. Масловой и М. Карпову за помощь в полевых обследованиях; научным сотрудникам, инженерам и лаборантам УНКЦ «Агроэкология пестицидов и агрохимикатов» за помощь при анализе остаточных количеств действующих веществ пестицидов в листьях и плодах яблони.

ГЛАВА 1. Обзор литературы

1.1. Биологическая характеристика яблони и основы её агротехники

В структуре плодовых насаждений Российской Федерации семечковые культуры занимают лидирующее положение по площадям промышленного возделывания. Ключевой культурой этой группы является яблоня домашняя (*Malus domestica* Borkh.), на долю которой приходится более половины всех площадей, отведённых под многолетние плодовые насаждения в стране (Росстат, 2023).

С точки зрения ботанической систематики, яблоня относится к роду *Malus* Mill. семейства Розовые (*Rosaceae*). Данный род объединяет как дикорастущие, так и культурные виды, распространённые в умеренном поясе Северного полушария. Современные сорта являются результатом сложной гибридизации нескольких видов, прежде всего яблони лесной (*Malus sylvestris* Mill.), яблони низкой (*M. pumila* Mill.) и яблони ягодной (*M. baccata* (L.) Borkh.) (Козловская, 2015). Геном яблони домашней был полностью секвенирован в 2010 году, что подтвердило её аллополиплоидное происхождение (Velasco et al., 2010).

Яблоня представляет собой листопадное дерево, высота которого варьирует от 2–3 метров (на карликовых подвоях) до 10 метров и более в зависимости от подвоя, сорта и условий произрастания. Кора ствола имеет характерную трещиноватую текстуру. Форма кроны отличается значительным полиморфизмом — от плакучей и раскидистой до пирамидальной и колонновидной (Ториков и др., 2021). Листья с черешками, яйцевидной формы с заострённым концом и пильчато-городчатым краем.

Цветки собраны в щитковидные соцветия. Они актиноморфные, пятичленные, обычно белого или розового цвета, с сильным ароматом, привлекающим насекомых-опылителей. Яблоня является типичным энтомофилом, многие сорта требуют перекрёстного опыления.

Плод — яблоко (*malum*), представляющее собой многосемянный нераскрывающийся ложный плод, образующийся за счёт разрастания гипантия

(цветоложа). Плоды демонстрируют исключительное разнообразие по массе (от 5-10 г у диких форм до 600-700 г у крупноплодных сортов), форме, окраске (зелёной, жёлтой, красной или их комбинации), вкусу, химическому составу и срокам созревания (Лотова, 2002; Кочешкова 2022). Семена яйцевидные, коричневого цвета.

Плоды яблони обладают высокой пищевой и биологической ценностью, что определяет их значимость в структуре питания человека (Павел, Макаркина, 2022; Троско и др., 2025). Пищевая ценность обусловлена сбалансированным составом нутриентов, в который входят растворимые сахара (преимущественно фруктоза, глюкоза и сахароза), пищевые волокна (в среднем 1,2-2,5 г/100 г, включая пектины), органические кислоты (0,3-2,0%, в основном яблочная и лимонная), а также незначительное количество белков и жиров (Пусенкова и др., 2025; Солопов и др., 2024; Павел, Макаркина, 2022). Органолептические свойства — вкус и аромат — формируются комплексом сахаро-кислотного индекса (Троско и др., 2025), фенольных соединений и летучих ароматических веществ, многие из которых обладают доказанной антиоксидантной активностью (Макарова и др., 2018; Солопов и др., 2024).

Биологически активные компоненты яблок играют значительную роль в профилактике ряда заболеваний. Плоды являются важным источником полифенолов (флавоноидов, процианидинов, фенольных кислот) и аскорбиновой кислоты, которые в синергии проявляют антиоксидантный, противовоспалительный и капилляроукрепляющий (Р-витаминный) эффекты (Макарова и др., 2018). Пищевые волокна, особенно пектины, способны связывать и выводить из организма экзогенные токсины, в том числе тяжелые металлы, а также оказывать пребиотическое действие (Донченко, 2000). Минеральный состав представлен калием (около 120-200 мг/100 г), необходимым для регуляции водно-солевого баланса и работы сердечно-сосудистой системы, железом, магнием, фосфором и рядом микроэлементов (Скурихин, Тутельян, 2007). Содержание йода в семенах одного плода может покрывать значительную часть суточной

потребности, однако его доступность и безопасность при регулярном потреблении семян требуют дополнительного изучения.

Технологические свойства яблок, такие как лёжка и пригодность к переработке, являются сортовой характеристикой и варьируют в широких пределах. Наличие сортов различного срока созревания - летних, осенних и зимних – позволяет обеспечить круглогодичное потребление свежей продукции.

Продуктивное долголетие яблони является полигенным признаком, определяемым в первую очередь генотипом подвоя и агроклиматическими условиями. Деревья на семенных (сильнорослых) подвоях в условиях Центрального региона России могут сохранять хозяйственную продуктивность 40–50 лет. Интенсивные сады на клоновых слаборослых подвоях (М9, Р60 и их аналоги) характеризуются сокращенным жизненным циклом (15–20 лет) и ранним вступлением в плодоношение, что соответствует принципам экономически эффективного промышленного садоводства (Красова и др., 2021; Седов и др. 2009).

Продуктивность и морфология кроны яблони в значительной степени определяются двумя ключевыми признаками: пробудимостью почек (процент почек, дающих начало ростовым или генеративным образованиям) и способностью к побегообразованию (интенсивность ветвления из пробудившихся почек) (Программа и методика..., 1999; Дорошенко и др., 2023). Эти признаки являются генетически детерминированными и служат основой для сортовой классификации по типу плодоношения, что имеет принципиальное значение для выбора системы формирования кроны и обрезки (Перфильев, 2000; Трунов, 2019).

Рост и плодоношение яблони находятся в обратной коррелятивной зависимости, которая регулируется гормональным балансом (соотношением ауксинов, гиббереллинов и цитокининов). Чрезмерно сильный вегетативный рост, вследствие избыточного азотного питания или из-за неправильной обрезки, может подавлять закладку цветковых почек и замедлять вступление в плодоношение. Обратная ситуация — чрезмерная нагрузка урожаем — ослабляет ростовые процессы. Поэтому ключевой задачей современной агротехники является

поддержание баланса физиологического развития растения через регулирование минерального питания, водного режима и применение дифференцированных систем обрезки (Belhassine et al., 2019; Liang et al., 2020; Karim, 2022).

Яблоня является высокопродуктивной культурой. В интенсивных насаждениях на слаборослых подвоях (М9, Р60) урожайность может достигать 40-60 т/га и более уже на 4-5-й год после посадки, что в пересчете на одно дерево составляет 15-50 кг. На семенных подвоях в период полного плодоношения продуктивность отдельных деревьев зимостойких сортов может превышать 200-300 кг (Kowalczyk & Wach, 2011; Савина и др., 2023).

Экологические требования и устойчивость культуры варьируют в зависимости от комбинации подвоя и сорта. Для созревания большинства сортов, районированных в средней полосе России, необходима сумма активных температур выше $+10^{\circ}\text{C}$ в диапазоне $1600-2200^{\circ}\text{C}$. Яблоня отличается высокой адаптивностью к низким температурам в состоянии глубокого покоя. Зимостойкость зависит от сорта, подвоя, возраста дерева, условий предшествующей вегетации и агрофона. Специально выведенные сибирские и уральские сорта (например, на основе *Malus baccata*) способны выдерживать кратковременные морозы до $-45...-50^{\circ}\text{C}$, тогда как для большинства коммерческих сортов средней полосы критической является температура $-30...-35^{\circ}\text{C}$ (Batuyeva et al., 2016, Мурсалимова, 2015). Корневая система, особенно слаборослых клоновых подвоев, менее морозоустойчива и повреждается при температуре почвы $-11...-14^{\circ}\text{C}$, что требует обязательных мероприятий по защите корней в бесснежные зимы.

Для закладки промышленных садов непригодны пониженные элементы рельефа с застоем холодного воздуха и высоким уровнем грунтовых вод (менее 1,5-2,0 м для семенных и 1,0 -1,2 м для слаборослых подвоев, 1,6 м для сильнорослых подвоев). Переувлажнение и недостаточная аэрация почвы угнетают корневую систему, провоцируют развитие корневых гнилей, снижают морозостойкость и устойчивость к болезням древесины (Wilcox, 1993; Hampson et al., 2012).

В современном промышленном плодоводстве технология возделывания яблони дифференцируется на два принципиально различных направления — экстенсивное (традиционное) и интенсивное. Критерием их разграничения служит комплекс взаимосвязанных факторов: тип подвоя, схема размещения растений, система формирования кроны, сроки вступления в товарное плодоношение и общая продолжительность эксплуатации насаждений. Выбор конкретной технологической модели носит стратегический характер и обусловлен экономическими задачами и уровнем ресурсного обеспечения хозяйства (Причко и др., 2012; Григорьева, 2020).

Интенсивная технология, представляющая собой доминирующую мировую тенденцию, базируется на использовании слаборослых (карликовых и полукарликовых) клоновых подвоев. Генетически детерминированная ограниченная сила роста таких подвоев, в частности серии М (М9, М26) и отечественных аналогов (Р60, Р59), позволяет существенно увеличить плотность посадки — от 1,0 до 3,5 тысяч деревьев на гектар (Соколов, Алферов, 2016; Трунов и др., 2024). Это обеспечивает скороплодность, когда хозяйственно значимые урожаи формируются уже на 2–3-й год после закладки сада, и высокую совокупную продуктивность, достигающую 25–35 тонн с гектара (Муханин, Григорьева, 2026).

Экстенсивная, или традиционная, технология опирается на сильнорослые семенные подвои. Для таких насаждений характерна разреженная схема посадки (100–400 деревьев/га), формирование крупногабаритных крон по разреженно-ярусному или иному типу, а также длительный ювенильный период. Полное плодоношение наступает лишь на 8–12-й год, а общая продолжительность продуктивной жизни дерева может превышать 40–50 лет (Муханин, Григорьева, 2026). Продуктивность с единицы площади в экстенсивных садах существенно ниже (10–15 т/га), что компенсируется более высокой индивидуальной урожайностью взрослых деревьев и их повышенной адаптивностью к абиотическим стрессам, включая засуху и низкие температуры, благодаря мощной корневой системе. Данная модель менее требовательна к

первоначальным инвестициям, но в большей степени зависит от ручного труда, особенно при выполнении таких операций, как обрезка и уборка урожая.

На основании данных Росстата, раздела «Официальная статистика», подраздела «Сельское хозяйство, охота и лесное хозяйство» на момент 2022 г. Московская область являлась ведущим регионом Центрального федерального округа по производству плодово-ягодной продукции, занимая первое место по валовому сбору (1415,2 тыс. ц) и второе — по валовому сбору семечковых культур, основной из которых является яблоня (782,4 тыс. ц) (Росстат, 2022). Высокие производственные показатели обусловлены значительными площадями насаждений (16,5 тыс. га) и широким применением интенсивных технологий садоводства (табл. 1).

Таблица 1

Анализ посадок и урожайности плодово-ягодных насаждений и семечковых культур в Центральном федеральном округе РФ в 2022 г. по данным Росстата

Субъект	Площадь плодово-ягодных насаждений, тыс. га	Общая площадь семечковых культур, тыс. га	Валовой сбор урожая семечковых культур, тыс. центнеров
Российская Федерация	448,9	226,1	28 702,6
Центральный федеральный округ	120,9	72,9	5 103,5
Белгородская область	12,6	7,0	556,2
Брянская область	3,0	1,8	159,9
Владимирская область	5,7	2,6	139,2
Воронежская область	17,4	12,4	878,1
Ивановская область	1,9	0,7	23,1
Калужская область	4,4	2,9	161,1
Костромская область	1,3	0,3	19,0
Курская область	4,3	2,9	332,0
Липецкая область	11,1	8,0	718,6
Московская область	16,5	6,9	782,4
Орловская область	4,5	2,7	153,8
Рязанская область	4,6	2,7	123,8
Смоленская область	2,9	1,2	120,7
Тамбовская область	10,1	8,3	285,3
Тверская область	4,6	1,8	91,8
Тульская область	10,6	8,2	414,5
Ярославская область	4,2	1,7	119,0
г. Москва	1,1	0,5	24,9

В связи с этим любые научные исследования, направленные на повышение продуктивности, улучшение качества плодов и устойчивости насаждений яблони в данном регионе, носят прикладной характер и имеют высокую экономическую значимость для всего агропромышленного комплекса, обеспечивающего продовольственную безопасность столичного региона.

Агроклиматические условия Московской области представляют собой уникальную модель для исследований в области физиологии, селекции, иммунологии и агротехники яблони. Проведение экспериментов непосредственно в этом ведущем производственном регионе обеспечивает максимальную репрезентативность получаемых данных, будь то изучение адаптивного потенциала новых сортов, оптимизация схем питания, защиты или разработка ресурсосберегающих технологий возделывания. Результаты таких работ имеют первостепенное практическое значение для местных сельхозпроизводителей. Разработанные здесь технологические решения и рекомендации благодаря высокой доказательной базе, полученной в условиях реального крупнотоварного производства, могут быть успешно адаптированы и внедрены в других субъектах ЦФО, способствуя прогрессу всего плодородного кластера Центральной России.

1.2. Основные вредители и болезни, отмеченные в садах

Фитосанитарные риски представляют значительную угрозу продуктивности яблоневых садов. Более 100 видов вредителей и 50 возбудителей болезней могут наносить ущерб этой культуре. В отсутствие эффективной системы защиты потенциальные потери урожая от комплекса вредных организмов (парша, мучнистая роса, плодовая гниль, тли) в условиях России могут достигать 80-100% (Зубков, Антоненко, 2020). Экономический порог вредоносности и структура доминирующих видов значительно различаются по почвенно-климатическим зонам, что требует разработки региональных систем интегрированной защиты растений (Кочкина, Каширская, 2021; Григорьева и др., 2024).

Ниже приведено краткое описание основных вредителей и грибных заболеваний яблони, распространённых в Нечернозёмной зоне Российской Федерации.

Яблонный цветоед (*Anthonomus pomorum* L.) - отряд Жесткокрылые (Coleoptera), семейство Долгоносики (Curculionidae). Мелкий жук длиной 3,5–5,0 мм; окраска серо-коричневая с металлическим отливом; характерен длинный изогнутый хоботок. Зимует в почве и подстилке; весной при температуре +6...+10 выходит на кормовые растения. Самки откладывают яйца внутрь бутонов, прогрызая отверстия. Личинки развиваются внутри бутона, уничтожая генеративные органы. Приводит к массовому усыханию и опадению бутонов («колпачки»), снижению урожайности до 100 % при высокой численности.

Зелёная яблонная тля (*Aphis pomi* De Geer) - отряд Полужесткокрылые (Homiptera), семейство Тли (Aphididae). Бескрылые особи длиной 1,6 мм, окраска от светло-зелёной до жёлто-зелёной; крылатые расселительницы имеют тёмную голову и грудь. Размножается партеногенетически, даёт 10–15 поколений за сезон. Колонии заселяют молодые побеги и нижнюю сторону листьев. Высасывают соки, вызывают скручивание и деформацию листьев, снижают фотосинтез, выделяют падь, способствующую развитию сажистых грибов.

Яблонная плодожорка (*Cydia pomonella* L.) - отряд Чешуекрылые (Lepidoptera), семейство Листовертки (Tortricidae). Бабочка с размахом крыльев 15–20 мм; передние крылья серо-коричневые с перевязями и бронзовым пятном у вершины. Гусеница длиной 18–20 мм, светло-розовая, с коричневой головой. Даёт 1–2 поколения в год. Гусеницы вгрызаются в плоды, прокладывая ходы к семенной камере. Повреждает плоды (червивость), вызывает преждевременное опадение; потери урожая достигают 30–80 %.

Листовертки (сем. Tortricidae, виды: *Archips podana* Scopoli, *Pandemis ribeana* Hbn. и др.) - отряд Чешуекрылые (Lepidoptera), семейство Листовертки (Tortricidae). Бабочки с размахом крыльев 12–20 мм; окраска от желтовато-бурой до серо-коричневой. Гусеницы длиной 15–25 мм, зеленоватые или буроватые. Они скелетируют листья, оплетают их паутиной, могут повреждать бутоны и

плоды. Зимуют гусеницы младшего возраста в коконах под отслоившейся корой. Снижают ассимиляционную поверхность листьев, происходит деформация плодов и уменьшение массы урожая.

Яблонный плодовый пилильщик (*Hoplocampa testudinea* Klug) - отряд Перепончатокрылые (Hymenoptera), семейство Настоящие пилильщики (Tenthredinidae). Взрослое насекомое длиной 6–7 мм; тело чёрное с жёлтыми отметинами, прозрачные крылья. Личинка (ложногусеница) длиной 10–12 мм, беловато-жёлтая, с тёмной головой. Лёт имаго совпадает с цветением яблони. Самки откладывают яйца в цветки; личинки внедряются в завязи, прогрызают ходы к семенам. Преждевременное опадение завязей; при массовом размножении потери урожая достигают 50 %.

Филлостиктоз (бурая пятнистость листьев). Возбудителем заболевания является сумчатый гриб *Mycosphaerella pomi* (Pass.) Lindau (отдел Ascomycota), анаморфная стадия которого представлена видом *Phyllosticta mali* Prill. & Delacr. Источником первичной инфекции служат пикниды, сохраняющиеся на неразложившихся растительных остатках. В ходе вегетации патоген поражает листовую пластинку яблони, где формируются некротические зоны овальной формы. Цвет этих зон может варьироваться от серого или светло-жёлтого до насыщенно-бурого. Наличие тёмной границы по краю пятна не является строго обязательным признаком. При развитии заболевания на поверхности некрозов становятся различимы точечные пикниды чёрного цвета. Сильная степень поражения приводит к хлоротичности (пожелтению) листьев и их преждевременному опадению. Вторичное распространение гриба обеспечивают конидии, распространяющиеся с каплями дождя или воздушными потоками.

Мучнистая роса. Возбудитель - гриб *Podosphaera leucotricha* (Ellis & Everh.) E.S. Salmon, отдел Ascomycota. Патоген поражает молодые органы яблони — листья, побеги, бутоны, цветки и завязи. На их поверхности формируется светло-серый налёт с мучнистой консистенцией, который в процессе развития приобретает рыжеватый оттенок. Под влиянием инфекции поражённые листья развиваются замедленно и часто принимают форму лодочки, сгибаясь вдоль

главной жилки. Поражённые органы остаются в недоразвитом состоянии и впоследствии засыхают. Вследствие этого замедляется рост и снижается урожайность. Первичным источником инфекции служат клейстотеции, сохраняющиеся на поражённых тканях растений, и мицелий в почках. Вторичное распространение осуществляется конидиями, переносимыми ветром или капельной влагой.

Монилиоз. Возбудитель – грибы рода *Monilia*, отдел *Ascomycota*. Плодовая гниль семечковых культур (наиболее распространённая форма монилиоза) начинается с единичных бурых гниlostных очагов на поверхности плода. Очаги стремительно увеличиваются в размерах и со временем полностью охватывают весь плод. Мякоть плодов размягчается, а на её поверхности появляются серовато-белые подушечки — конидиальное спороношение. В поздней стадии плоды приобретают чёрную окраску и мумифицируются.

Млечный блеск. Заболевание, вызываемое грибом *Chondrostereum purpureum* (Pers.) Pouzar (отдел Базидиомикота), однако чаще всего болезнь имеет неинфекционную природу. Патоген поражает широкий круг плодовых культур, при этом наибольшую чувствительность проявляют яблоня, груша и слива. Болезнь распространена в регионах с холодными зимними периодами, преимущественно на деревьях, имеющих подмерзания древесины либо корневой системы. Первым проявлением служит посветление листовых пластинок, которые приобретают блестящую поверхность и характерный «молочный» отлив из-за отслоения эпидермиса. Рост таких листьев прекращается, а их края на поздних стадиях подвергаются некротизации. В дальнейшем на коре формируются тонкие кожистые плодовые тела гриба пластинчатой формы, достигающие 2–3 см в поперечнике. Резервацией инфекции служат мицелий, сохраняющийся в поражённых ветвях, а также плодовые тела, с которых базидиоспоры распространяются влагой и ветром, заражая ткани через ранения.

Чёрный рак. Возбудителем является аскомицет *Botryosphaeria stevensii* Shoemaker, (syn. *Sphaeropsis malorum* Peck.). Патоген поражает преимущественно кору скелетных ветвей и штамба, в меньшей степени — листья и плоды. На коре

формируется вдавленный участок, где ткань становится тусклее, приобретает окраску от буровато-фиолетовой до чёрной, впоследствии растрескивается и покрывается пикнидами, имеющими вид мелких бугорков. Отдельные фрагменты коры могут крошиться и отслаиваться, обнажая древесину. Поражённые плоды подвергаются гниению, чернеют, мумифицируются и также покрываются чёрными бугорками пикнид. На листьях заболевание проявляется в виде округлых пятен красновато-коричневого цвета; в центральной зоне таких пятен со временем появляются немногочисленные чёрные пикниды. Резервацией инфекции служат мицелий и пикниды, сохраняющиеся на поражённых растительных органах и их остатках. Распространение патогена осуществляется конидиями, которые переносятся водными каплями и воздушными потоками, проникая в растение через механические повреждения (Белошапкина и др., 2017).

Цитоспороз. Сохранение инфекции при цитоспорозе обеспечивается мицелием и пикнидами, локализованными в поражённой коре. Вторичное распространение патогена осуществляется конидиями, переносимыми с водой и ветром, которые проникают в ткани через поранения. Возбудителями заболевания выступают представители грибного рода *Cytospora* (отдел *Ascomycota*). Болезнь поражает побеги, ветви и штамбы лиственных пород деревьев. Кора в местах инфицирования теряет блеск, становится размочаленной, покрывается крупными пикнидами и засыхает. При этом окраска поражённой коры обычно остаётся неизменной по сравнению со здоровой; в отдельных случаях возможно появление красноватого оттенка. Сильное развитие болезни приводит к быстрому усыханию побегов и целых ветвей.

Обыкновенный (европейский) рак. Возбудителем обыкновенного (европейского) рака является аскомицет *Nectria galligena* Bres. (отдел *Ascomycota*). Заражение наблюдается у ослабленных деревьев, имеющих механические повреждения коры. Первичные симптомы проявляются в виде локальных вдавленных участков на поверхности коры небольшого размера. Далее происходит некроз поражённых тканей, сопровождающийся образованием глубоких трещин или гипертрофированных наплывов. Весной на отмерших

участках формируются характерные стромы округлой формы диаметром 1–2 мм, окрашенные в красновато-розовый цвет. Эти структуры несут перитеции и конидии, обеспечивающие репродукцию и распространение патогена. Резервация инфекции поддерживается за счёт сохранения мицелия и пикноспор в поражённых тканях. Перенос конидий осуществляется воздушными потоками и каплями воды, а внедрение в растение происходит преимущественно через раневые поверхности, выступающие воротами инфекции. (Белошапкина и др., 2017).

1.3. Парша яблони

Парша яблони, вызываемая сумчатым грибом *Venturia inaequalis* (Cooke) Wint. (отдел *Ascomycota*, класс *Dothideomycetes*, порядок *Dothideales*, семейство *Metacapnodiaceae*, род *Venturia*), с конидиальной стадией *Fusicladium dendriticum* (Wallr.) Fuck. (класс *Dothideomycetes*, порядок *Venturiales*, семейство *Venturiaceae*), представляет собой одну из самых опасных и распространённых болезней семечковых культур в зонах умеренного климата (Pikunova, 2019; MacHardy et al., 2001; Index Fungorum, 2026). Поражает как культурные, так и дикие виды яблони (Пересыпкин, 1989).

1.3.1. История изучения болезни

Первые упоминания о парше яблони как о распространённом заболевании встречаются в исторических источниках XV–XVI веков. Наиболее раннее достоверное свидетельство существования заболевания в Европе запечатлено на картине Караваджо «Ужин в Эммаусе» (1601 г.), где в корзине с фруктами изображено яблоко с характерными для парши повреждениями. В научной литературе первое описание анаморфной стадии гриба (*Spilocaea pomi*) было сделано шведским ученым Э. Фрисом в 1819 году. Систематическое положение возбудителя было определено позднее: в 1880 году Винтер поместил гриб в род *Venturia*, и с тех пор видовое название *Venturia inaequalis* (Cooke) G. Winter является общепринятым (Winter 1880, Bowen et al., 2011). Вплоть до XIX века

парша не рассматривалась как существенная проблема для садоводства, что объяснялось традиционной системой посадки яблонь на значительном расстоянии друг от друга в смешанных насаждениях. Развитие промышленного садоводства с рядовой посадкой генетически унифицированных деревьев создало благоприятные условия для массового распространения патогена. На начальных этапах изучения заболевания исследователи сосредоточились на описании морфологии возбудителя и его биологических особенностей (Komardina, 2006). Было установлено, что гриб имеет две стадии развития: телеоморфу (*Venturia inaequalis* (Cooke) Wint.) и анаморфу (*Fusicladium dendriticum* (Wallr.) Fuckel), а первичным источником инфекции весной служат аскоспоры, созревающие на опавших листьях (MacHardy et al., 2001).

Первыми химическими средствами, предложенными для борьбы с паршой, стали фунгициды на основе меди и серы (Schmitz et al., 2022; Медведева, 2023). Однако такие обработки наносили значительный ущерб листе яблони. Классическим примером ранних защитных средств стала бордоская жидкость (смесь медного купороса и извести), которая применяется в садоводстве до настоящего времени, хотя и с существенными ограничениями из-за фитотоксичности и несовместимости с другими препаратами (Акимов, 1980). Основополагающий вклад в изучение генетики взаимоотношений в системе «*V. inaequalis* – яблоня» внесли американские исследователи Висконсинского университета. Работы G.W. Keitt и M.H. Langford заложили фундамент для понимания генетической структуры популяций патогена и наследования патогенных свойств (Keitt, Langford, 1941). D.M. Boone и G.W. Keitt идентифицировали гены, контролирующие патогенность различных линий *V. inaequalis*, показав, что вирулентность к определенным сортам яблони наследуется как менделевский признак (Boone, Keitt, 1957). Параллельно E.B. Williams и J.R. Shay установили связь между генами патогенности и другими характеристиками гриба, включая морфологические и физиологические признаки (Williams, Shay, 1957). Эти исследования имели принципиальное значение для понимания расовой дифференциации патогена. Дальнейшее развитие это

направление получило в работах H.S. Bagga и D.M. Boone, изучавших гены патогенности применительно к различным видам яблони (Bagga, Boone, 1968). E.B. Williams и J. Kuc представили фундаментальный обзор механизмов устойчивости *Malus* к *V. inaequalis*, обобщив накопленные к тому времени знания о биохимических и генетических аспектах устойчивости (Williams, Kuc, 1969).

Проблема физиологических рас возбудителя парши яблони привлекала внимание многих исследователей. В 1930-е годы M. Schmidt в Германии и C.F. Rudloff проводили исследования изменчивости *V. inaequalis* на разных видах растений-хозяев (Rudloff, Schmidt, 1935). J.B. Julien и L.P.S. Spangelo в Канаде идентифицировали физиологические расы патогена и показали их дифференцированное взаимодействие с сортами яблони (Julien, Spangelo, 1957).

В Беларуси систематические исследования вирулентности возбудителя парши были начаты Н.А. Дорожкиным с соавторами, которые изучили внутривидовую неоднородность *V. inaequalis*, агрессивность различных штаммов и их распространение в условиях республики (Дорожкин и др., 1979). Эти работы создали основу для понимания популяционной структуры патогена в восточноевропейском регионе. Современные исследования вирулентности, проводимые З.А. Козловской, Т.А. Гашенко, Ю.Г. Кондратёнок, выявили в популяции парши яблони 14 генов вирулентности из 19 известных, установили увеличение генетического разнообразия популяции за последние 40 лет и идентифицировали новые гены вирулентности – p-10+, p-11+, p-14+ (Козловская и др., 2017).

Важным направлением современных исследований является изучение происхождения и эволюции *V. inaequalis*. Работы P. Gladieux с соавторами с использованием молекулярных маркеров выявили, что центр происхождения возбудителя парши находится в Центральной Азии – регионе, являющемся также центром происхождения яблони (Gladieux et al., 2010). Эти исследования продемонстрировали, что патоген эволюционировал совместно со своим хозяином на протяжении тысячелетий, и современная структура популяций отражает историю доместикировки и распространения яблони.

Международное исследование под руководством I. Mellon, J. Singh, A. Khan с использованием полногеномного секвенирования 54 изолятов из Северной Америки и их сравнения с 90 европейскими и центральноазиатскими изолятами показало, что географическая изоляция не привела к значимой дифференциации популяций между Северной Америкой и Европой/Центральной Азией (Mellon et al., 2023). Это свидетельствует о недавнем заносе патогена в Северную Америку и продолжающемся потоке генов между популяциями разных континентов. D. Papp с соавторами исследовали генетическую дифференциацию популяций *V. inaequalis* на сортах яблони, несущих различные гены устойчивости (Rvi3, Rvi5). Было установлено, что на частично устойчивых сортах формируются специализированные, генетически обособленные популяции патогена, что имеет важное значение для стратегий развертывания генов устойчивости (Papp et al., 2022).

Качественно новый этап в исследованиях химической защиты яблони от парши начался во второй половине XX века с появлением системных фунгицидов. В 1980-е годы началось внедрение фунгицидов класса ингибиторов биосинтеза эргостерола (IBE). Первым фунгицидом этой группы, выпущенным на рынок для борьбы с паршой, стал трифорин, затем последовали битертанол, фенаримол, тебуконазол, миклобутанил и другие. Эти препараты обладали лечебным действием, что принципиально отличало их от контактных фунгицидов. Однако уже через 10 лет интенсивного применения фунгицидов группы IBE исследователи столкнулись со снижением эффективности (Szkolnik, 1981; Shabi et al., 1981). В 1992–1993 годах были проведены обследования, выявившие изоляты *V. inaequalis*, устойчивые к IBE, а также снижение чувствительности к додину (Köller et al., 1999). Это стимулировало развитие нового направления исследований – изучения механизмов формирования устойчивости фитопатогенов к фунгицидам. С 1995 года началось тестирование, а с 1998 года – коммерческое применение фунгицидов класса QoI (стробилуринов), представлявших новую химическую группу с высокой эффективностью (Köller et al., 1999). Однако и в этом случае исследователи зафиксировали развитие резистентности: к циклу

2010–2011 годов эффективность крезоксим-метила существенно снизилась, а 73,8% изолятов *V. inaequalis* проявили к нему устойчивость.

В российской науке проблема химической защиты яблони от парши разрабатывалась многими исследователями. Фундаментальные аспекты устойчивости фитопатогенов к пестицидам рассматривались в работах В.А. Захаренко, который подчеркивал глобальный характер этой проблемы (Захаренко, 2022,2023). С.Л. Тютерев в своих исследованиях анализировал проблемы устойчивости фитопатогенов к новым фунгицидам и предлагал пути их преодоления (Тютерев, 2000, 2001). Значительный вклад в изучение чувствительности популяций *Venturia inaequalis* к фунгицидам внесли А.И. Насонов, Г.В. Якуба и соавторы (Насонов и др., 2024; Насонов, Якуба 2024). В их работах впервые в мире были получены значения ЭК50 боскалида для исходной популяции патогена и показано снижение чувствительности к исследуемым фунгицидам в садовых популяциях по сравнению с исходной. Исследователи также установили длительное сохранение резистентности к карбендазиму у *V. inaequalis* в Краснодарском крае. В Беларуси систематические исследования чувствительности возбудителя парши яблони к фунгицидам проводятся В.С. Комардиной, Е.В. Васей, Р.И. Плескацевич (Комардина и др., 2020). Ими установлено, что 4-кратное последовательное применение фунгицида Строби приводит к потере чувствительности гриба к крезоксим-метилу в 8,9 раза, методом PCR-RFLP выявлены изоляты с мутацией G143A, определяющей резистентность. Эти исследования имеют важное значение для разработки стратегий предотвращения резистентности.

Современные исследования направлены на оптимизацию систем защиты яблони от парши путем чередования фунгицидов с разными механизмами действия. В работах В.И. Ханова, Л.Г. Аршиновой, Е.В. Перцевой представлены результаты оценки системы защиты, составленной согласно диаграмме оценки комбинированного риска развития резистентности, разработанной Глобальной федерацией по фунгицидам (FRAC) (Ханов и др., 2024). Особое внимание уделяется изучению смесевых препаратов. Как показали исследования,

использование действующих веществ в виде смесевых препаратов с компонентами, имеющими другой механизм действия, обуславливает относительно невысокое смещение чувствительности к карбоксиадам (Комардина и др., 2020). Примером такого подхода является фунгицид Беллис, содержащий боскалид (ингибитор сукцинатдегидрогеназы) и пираклостробин (ингибитор дыхания митохондрий), что обеспечивает комплексное действие на патоген.

Исследования механизмов действия фунгицидов на разных уровнях организации живого составляют важное направление в разработке темы. Фундаментальные работы J.K. Bowen с соавторами представили всесторонний анализ молекулярных механизмов патогенеза *V. inaequalis* и взаимодействия гриба с растением-хозяином (Bowen, 2011). Установлено, что фунгициды класса SDHI (ингибиторы сукцинатдегидрогеназы) нарушают функционирование митохондриального дыхательного комплекса II, тогда как QoI-фунгициды блокируют перенос электронов в комплексе III (Насонов и др., 2024). Для оценки чувствительности патогена разработаны методы *in vitro*, позволяющие определять эффективную 50%-ю концентрацию (ЭК50) и фактор резистентности (Комардина и др., 2020). Влияние фунгицидов на организм яблони изучается в аспекте фитотоксичности и физиологических реакций. Отмечается, что применение некоторых фунгицидов может вызывать стресс у растений, для преодоления которого предлагается использовать смеси с минеральными удобрениями или регуляторами роста.

Фундаментальные исследования механизмов резистентности показали, что устойчивость *V. inaequalis* к фунгицидам может быть связана с различными молекулярными механизмами. Для стробилуринов (QoI) ключевым механизмом является точечная мутация G143A в гене цитохрома *b*, приводящая к замене аминокислоты и нарушению связывания фунгицида с мишенью (Stammler, 2024). Для бензимидазолов характерны мутации в гене тубулина, а для триазолов – механизмы, связанные с усилением работы транспортных систем и изменением структуры фермента-мишени (Насонов, 2024; Mubashir, 2025). Работы С. Lemaire

с соавторами и А. Feurtey с соавторами с использованием популяционно-генетических подходов показали, как поток генов между популяциями патогена из разных регионов и с разных хозяйств влияет на распространение аллелей устойчивости (Lemaire, 2011; Feurtey, 2021). Эти исследования подчеркивают необходимость глобального мониторинга резистентности и координации стратегий защиты.

Актуальность дальнейших исследований обосновывается продолжающейся эволюцией патогена и появлением новых устойчивых рас. Как отмечают исследователи, использование фунгицидов с узкоспецифичным механизмом действия может приводить к развитию устойчивости у патогена. Работы V. Caffier с соавторами по характеристике вирулентности референтных изолятов *V. inaequalis* на дифференцирующем наборе сортов *Malus* создали основу для стандартизации исследований взаимодействия патогена с различными генами устойчивости (Caffier et al., 2015). Важным направлением признается оптимизация систем защиты с учетом региональных особенностей и погодных условий. Развитие исследований по формированию современного ассортимента фунгицидов отражено в работах Л.Д. Гришечкиной, В.И. Долженко и соавторов (Гришечкина и др., 2020).

1.3.2. Диагностические признаки парши яблони

На молодых листьях парша яблони проявляется сначала в виде слабо выраженных, расплывчатых, желтоватых либо маслянистых пятен, которые спустя 2–4 дня темнеют и становятся оливково-зелёными или буроватыми по цвету, контрастно выделяясь на фоне здоровых тканей (Шкаликов и др., 2003; MacHardy, 1996; Holb et al., 2017). Форма пятен чаще округлая, размеры их варьируют от 2–3 мм до 1–2 см. Для ранней инфекции характерна хлоротическая или светлая кайма по периферии. При сильном инфекционном фоне или благоприятных погодных условиях пятна способны разрастаться и сливаться, покрывая значительную часть листовой пластинки, преимущественно по верхней стороне у яблони (Белешапкина и др., 2001).

В период активного спороношения поверхности пятен приобретают бархатистую текстуру благодаря густому конидиальному налёту тёмно-оливкового или серо-бурого оттенка. При сильном заражении отмечается засыхание, искривление, преждевременное опадение листьев, что уменьшает фотосинтетическую продуктивность дерева.

При микроскопировании на ранних этапах (увеличение $\times 15-20$) видны тонкие радиальные лучи мицелия гриба (Пересыпкин, 1989). Через 2-4 дня при подходящей влажности они покрываются слоем спор, окрашенных в оливковый цвет (Федорова, 1977). Осенью на отмирающих листьях формируются плодовые тела – псевдотеции диаметром 90-120 мкм, с продолговатыми сумками (40-70 \times 10-12 мкм), внутри которых – по 8 двухклеточных асимметричных аскоспор (13-17 \times 6-7 мкм, верхняя клетка крупнее) (Chamont, Gil, 2013;).

В эпидемиологическом отношении важно различать: источник первичной инфекции — аскоспоры, образующиеся в перитециях на опавших растительных остатках с осени, выбрасываемые ранней весной на листья и завязи (Касатов и др., 2025; Passey et al., 2017), источник вторичной инфекции — конидии, распространяющиеся в течение всего лета водой и ветром (Насонов, Якуба, 2024; Ayer, Carroll, Cox, 2020).

В благоприятные годы гриб может дать до 10 генераций конидиального спороношения. За счёт высокой динамики спороношения парша быстро распространяется в саду при малейшем наличии капельно-жидкой влаги (Касатов и др., 2025).

Конидиальная стадия *F. dendriticum* представлена скрученными, прямостоячими конидиеносцами (20 \times 40-45 мкм). Конидии — обратнобулавовидной, грушевидной или яйцевидной формы (13-30 \times 6-12 мкм), вначале одноклеточные, затем двухклеточные, оливковые (Пидопличко 1977; Пересыпкин, 1989). Спороношение напоминает бархатистый налёт (характерно для визуальной диагностики). Первые типичные симптомы на листьях развиваются через 2-3 недели после распускания почек. Наиболее подвержены заражению молодые листья (4-11 дней), в то время как листья старше 13-25 дней

практически невосприимчивы к парше, на старых мицелий часто погибает на ранних стадиях развития (Mouton, 2022; Белошапкина и др., 2014).

На плодах парша проявляется в виде тёмных, едва вдавленных пятен округлой формы, часто с узкой, светлой каймой (Седов, 1999; Касатов, Белошапкина, 2025). Поверхность поражённых зон также покрыта бархатистым налётом. В условиях высокого эпифитотийного распространения патогена и раннего заражения пятна растрескиваются, проникая в мякоть. Эти участки становятся кожистыми, нарушается рост и нормальная форма плода, иногда отмечается опробковение, трещины, развитые участки пробки (Дементьева, Выгонский, 1988). Молодые поражённые плоды деформируются, не прибавляют в массе, могут опадать преждевременно. Поздние ("складские") формы парши проявляются уже после уборки в период хранения, в виде мелких, зачастую малозаметных огрубевших пятен, особенно при тёплой и сырой погоде в предуборочный период (Кумахова и др., 2014).

На побегах яблони парша отмечается намного реже, чем у груши, и обычно только при эпифитотиях или на особо восприимчивых сортах. Характерно появление мелких вздутий и трещин, через которые выступает маслянистый, тёмный налёт конидий (Туманов, 2008). Кора становится бугристой и шелушится. Повреждаться могут черешки листьев, цветки, реже — плодоножки.

При дифференциальной диагностике диагноз дополнительно уточняется с помощью ПЦР-тестов на видоспецифические последовательности, а также микроскопии строения спор и псевдотеций, что позволяет дифференцировать *Venturia inaequalis* от схожих патогенов (например, *Alternaria*, *Gloeosporium*) (Должикова и др., 2018, Красова и др., 2020). Успешно начинают применяться современные цифровые методы мониторинга, включая спектральный анализ, компьютерное зрение и глубокое обучение на изображениях.

У большинства современных сортов подтверждается наибольшая восприимчивость к парше в молодом возрасте органов. Размеры пятен, особенности спороношения, а также интенсивность симптомов в значительной

степени зависят от генетической предрасположенности сорта и погодных условий в фазу инфицирования (Gladieux, 2010).

1.4. Инфекционный цикл и условия заражения паршой

Жизненный цикл возбудителя парши яблони, как факультативного сапротрофа, состоит из двух основных стадий: сапротрофная, или сумчатая (*Venturia inaequalis* (Cooke) Wint.), и конидиальная — паразитная (*Fusicladium dendriticum* (Wallr.) Fuck.) (Agrios, 2005; MacHardy, 1996). Сапротрофная фаза начинается осенью, когда происходит опадение и отмирание листьев, и продолжается до весны (Пересыпкин, 1989; Пидопличко, 1977). На поражённых растительных остатках, главным образом на опавших листьях, мицелий гриба прорастает сквозь погибшие ткани и формирует псевдотеции — плодовые тела сумчатой стадии, заметные невооружённым глазом как чёрные точки. Внутри этих образований последовательно формируются сумки с аскоспорами — половыми спорами *V. inaequalis*, что подтверждено многочисленными морфологическими и микроскопическими исследованиями (Федорова, 1977, Насонов и др. 2016; Насонов 2019). Процесс развивается постепенно: сумки возникают в конце зимы, а их созревание завершается уже весной. При этом на одном и том же листе наблюдается неодновременное созревание псевдотециев, что приводит к растянутому по времени периоду распространения инфекции.

По мере выхода деревьев из состояния зимнего покоя к весне в псевдотециях завершается формирование аскоспор. Дальнейшее развитие связано с их активным выбрасыванием под действием влаги — механизм освобождения спор представляет собой эволюционную адаптацию к погодным условиям весны. В умеренных широтах наибольшая интенсивность выброса спор нередко приходится на период с началом сокодвижения до массового распускания почек яблони, совпадая с фазой «зелёного конуса» (Агроатлас, 2026; Касатов, Белошапкина, Хохлов, 2025; Вахшех, 2015) Пик выбрасывания и заражения молодых листьев и завязей отмечается при обилии осадков и росы, причиной чему служит необходимость капельно-жидкой влаги для раскрытия и выброса

спор из псевдотециев. Характерно, что процесс выброса аскоспор может варьировать по времени от трёх до шести недель, в зависимости от погодных условий сезона, но основной пик приходится на период до конца цветения яблони. В отличие от ряда других патогенов, для *V. inaequalis* образование половой стадии (аскоспор) – биологически обязательный этап поддержки популяции и эпифитотического процесса (Пересыпкин, 1989).

Наблюдения в России и европейских странах свидетельствуют, что массовое заражение обычно отмечается после первого сильного весеннего дождя, который индуцирует мацерацию прошлогодней листвы и стимулирует выброс спор из псевдотециев (Jankowski, Masny, 2025; Alt, Kollar, 2010). При непостоянной погоде и чередовании засухи и дождей цикл выбрасывания аскоспор дробится (Gadoury et al., 1992). Экспериментально установлено, что максимальная интенсивность выброса спор *V. inaequalis* наблюдается в периоды затяжных осадков, а при жаркой и засушливой погоде заболевание может проявиться лишь спустя две-три недели после цветения, что обусловлено задержкой выброса аскоспор (Jankowski, Masny, 2025).

Аскоспоры, достигая поверхности молодых листьев и завязей, прорастают только при наличии капельно-жидкой влаги (Alt, Kollar, 2010). За счёт высокой биологической пластичности прорастание аскоспор возможно в диапазоне температур от 0,5 до 29 °С, но оптимальные значения составляют 13–25 °С (Защита растений, 2017). На практике выяснено, что при 6 °С прорастание аскоспор происходит в течение 13–18 часов, при 20–24 °С – за 4–6 часов, при 26 °С скорость прорастания несколько замедляется. Для проникновения в ткани листа аскоспоры используют не только естественные устьица, но и микроповреждения кутикулы, что повышает вероятность заражения в период активного роста побегов и листьев (Beloshapkina et al. 2014).

Период от инфицирования тканей до появления первых визуальных симптомов, инкубационный период, длится от 8 до 18 дней, в зависимости от температуры и влажности (Якуба, 2017). Иногда при холодной погоде он удлиняется до 25–30 суток (Насонов, Якуба, 2024). Развитие патогена может

затормаживаться в период засухи, но при возобновлении влажных условий вновь активизируется, что характерно для большинства фитопатогенных аскомицетов.

Исследования показывают, что в условиях мягких зим возбудитель способен сохраняться на поражённых ветвях и листьях не только в форме зачаточных плодовых тел, но и конидий или мицелия, что превращает дикорастущие яблони в источник ранней первичной инфекции (Насонов и др., 2024). В этой связи роль диких и малообрабатываемых садов в поддержании резерва инфекции *V. inaequalis* чрезвычайно велика.

После первичного весеннего заражения запускается паразитная конидиальная стадия цикла *Fusicladium dendriticum*, которая характеризуется образованием конидий парши яблони на поражённых листьях, плодах и побегах; именно эта стадия отвечает за многократное (до 10 поколений за сезон) вторичное заражение агроценоза (Иванова, Балыкина, 2019; Агроатлас, 2024). Конидии отличаются высокой чувствительностью к параметрам микроклимата: прорастают только при наличии воды и оптимальных температурах 16–22 °С, минимальный инкубационный период составляет 5–6 дней (Якуба, 2012; Агроэксперт, 2024). Повторные заражения происходят с каждой волной увлажнения, включая периодические ночные росы, осадки или туманы. Поэтому характер эпифитотий часто определяется не столько общей суммой осадков, сколько длительностью (часами и днями) поддержания влажной поверхности молодых органов растения (Якуба, 2012; Иванова, Балыкина, 2019).

Воздействие комплекса погодных факторов на проявление эпифитотий подтверждено моделями и многолетними полевыми наблюдениями в Западной и Восточной Европе, США и России (Агроатлас, 2024; Россельхозцентр, 2024). Особенное значение имеют продолжительные осадки весной (затяжная влажная весна) и дождливая, прохладная летняя погода. Как показали многолетние исследования, биологический резерв инфекции у *V. inaequalis* главным образом в виде запасённых аскоспор на прошлогодних листьях не всегда исчерпывается полностью (Якуба, 2012; Агроэксперт, 2024).

К началу лета и особенно к концу вегетационного периода интенсивность

эпидемии определяется как исходной величиной инфекционного фона (масса псевдотециев и конидий), так и погодными условиями весны и первой половины лета (Касатов и др., 2025). Современные данные показывают, что заболевание ограничивается при быстрой и сухой весне и значительно усиливается при длительном наличии влаги на растительных органах (Иванова, Балыкина, 2019).

Таким образом, основными источниками инфекции парши яблони признаются аскоспоры, перенесённые с прошлогодних опавших листьев, и конидии с поражённых органов в течение сезона. Степень развития болезни прежде всего зависит от наличия биологического резерва инфекции и погодных условий, определяющих длительность увлажнения поверхности листьев и плодов.

1.5. Защитные мероприятия против парши

Защита насаждений яблони от парши базируется на принципах интегрированного подхода, который предполагает сочетание различных методов (Баздырев, Третьяков, Белошапкина, 2025). Выбор и эффективность конкретных мероприятий определяются биологическими особенностями возбудителя, степенью восприимчивости сорта, возрастном растении и комплексом погодноклиматических факторов в течение вегетационного сезона. Наибольшее практическое значение в условиях промышленного садоводства имеют агротехнические приемы, направленные на создание неблагоприятных условий для развития патогена, и рациональное применение химических средств защиты. Одновременно с этим, фундаментальной основой долгосрочной стратегии является использование генетически устойчивых сортов (Ульяновская и др., 2023).

1.5.1. Агротехнические методы

Важнейшую роль в системе защиты играют агротехнические методы, позволяющие существенно снизить инфекционный потенциал в саду. Поскольку загущенные посадки с плохой аэрацией и освещенностью крон создают оптимальный микроклимат для заражения, ключевое значение приобретает

правильная планировка сада и формирующая обрезка (Кривко и др., 2024). Расположение рядов деревьев параллельно преобладающим ветрам и регулярная обрезка, направленная на прореживание кроны, усиливают проветриваемость и ускоряют высыхание листовой поверхности, что препятствует прорастанию конидий и аскоспор.

Крайне важным санитарным мероприятием является уничтожение основного источника первичной инфекции – опавших пораженных листьев, на которых зимуют псевдотеции возбудителя. Наиболее эффективна глубокая заделка листового опада в почву при осенней или ранневесенней обработке междурядий и приствольных кругов. Альтернативой может служить компостирование листы с обязательным её укрытием слоем почвы или торфа для обеспечения анаэробных условий, губительных для патогена. Как показывают исследования, обработка листового опада мочевиной или другими препаратами может значительно снижать запас инфекции (Porsche et al., 2017; Thakur, Sharma, 2013).

Применение удобрений рассматривается не только как способ повышения продуктивности, но и как фактор, опосредованно влияющий на устойчивость растений к болезням через изменение их физиологического состояния. Сбалансированное минеральное питание, в особенности фосфорно-калийное, способствует усилению защитных функций покровных тканей, более эффективному энергетическому обмену и, как следствие, повышает сопротивляемость инфекции. Сбалансированное минеральное питание, в особенности фосфорно-калийное, способствует усилению защитных функций и повышает сопротивляемость инфекции. Особое место занимают внекорневые подкормки (некорневые обработки) растворами фосфорно-калийных удобрений и микроэлементов. Данный приём, иногда определяемый как метод искусственной иммунизации, может оказывать выраженное фунгистатическое действие и положительно влиять на физиологическое состояние листового аппарата, затрудняя заражение (Рекомендации Россельхозцентра, 2024).

1.5.2. Селекция и использование устойчивых к парше сортов

Использование генетически устойчивых сортов является ключевым элементом экономически и экологически эффективной защиты яблони от парши (Седов, 2013; Лыжин, Савельева, 2017). Данная стратегия позволяет кардинально сократить зависимость от химических обработок, в то время как для защиты восприимчивых сортов может требоваться до 15 и более обработок за сезон. Устойчивые формы позволяют минимизировать их число или вовсе отказаться от фунгицидов. Однако долговечность и эффективность этого подхода целиком зависят от глубины понимания генетических основ устойчивости, многообразия сортимента и динамичной природы эволюционной «гонки вооружений» между растением-хозяином и патогеном (Лыжин, Савельева, 2017).

Генетическая архитектура устойчивости яблони к *V. inaequalis* сложна и включает два основных типа. Первый — моногенная (вертикальная) устойчивость, контролируемая главными генами (*Rvi*) (Седов, 2013). Наиболее широко в мировой селекции используется ген *Rvi6* (ранее *Vf*), интрогрессированный из *Malus floribunda* 821 (Лыжин, Савельева, 2017). Он кодирует белок, распознающий эффекторы патогена, и запускает комплексную защитную реакцию. Исследования последних лет раскрывают молекулярные механизмы работы *Rvi6*: его экспрессия повышена в листьях и плодах в период уязвимости к инфекции; активация гена приводит к перераспределению ресурсов с ростовых процессов на защитные (феномен «growth-defense trade-off»), усиливает активность антиоксидантных систем и накопление защитных осмолитов, поддерживая целостность клеточных мембран (Chen et al., 2025). Однако моногенная устойчивость уязвима: известны как минимум 7 рас патогена, способных преодолевать тот или иной *R*-ген. Например, расы 6 и 7 вирулентны к сортам, несущим только *Rvi6* (Masny, 2017, Должикова, 2024). Второй тип — полигенная (полевая, горизонтальная) устойчивость, основанная на совокупном действии многих генов с малым эффектом (Макаренко, 2015). Она не обеспечивает полного иммунитета, но значительно снижает развитие болезни

даже в эпифитотийные годы. Классическими примерами сортов с выраженной полевой устойчивостью являются Антоновка обыкновенная и Уэлси.

Современная селекционная стратегия направлена на преодоление ограничений обоих типов устойчивости через создание сортов с пирамидированными генами и комбинацией моногенной и полигенной устойчивости (Ульяновская и др., 2025; Фещенко, Юшков, 2024). Ярким примером является сорт Triumph (Триумф) селекции Университета Миннесоты (США), в генотип которого заложены два разных гена устойчивости от родителей Honeycrisp (Медовый хруст) и Liberty (Либерти), что существенно повышает генетический барьер для патогена (University of Minnesota, 2024). Активно исследуется и потенциал полиплоидии. Триплоидные сорта (с тремя наборами хромосом), созданные во Всероссийском НИИ селекции плодовых культур (ВНИИСПК), отличаются не только регулярным плодоношением и крупноплодностью, но и повышенной устойчивостью (Седов и др., 2015). Из 18 районированных триплоидных сортов шесть, включая Рождественское, обладают иммунитетом к парше (ВНИИСПК, 2024). Важным направлением является также поиск альтернативных генов устойчивости (*Rvi2*, *Rvi3*, *Rvi5*, *Vm*, *Vr* и др.) для их комбинирования в одном генотипе, что делает устойчивость более долговечной (Ульяновская и др., 2025; Шамшин и др., 2025).

Внедрение современных молекулярных методов, в частности ДНК-маркирования, революционизировало селекционный процесс (Фещенко, Юшков, 2024). Маркеры позволяют идентифицировать целевые гены (например, *Rvi6*) на ранних стадиях развития сеянца, задолго до плодоношения и без трудоемких фитопатологических испытаний (Шамшин и др., 2025). Это в разы ускоряет отбор и повышает его точность, позволяя эффективно пирамидировать гены (Ульяновская и др., 2025). Исследования также углубляются в биохимические основы устойчивости. Так, работа последних лет показала, что резистентность, обусловленная *Rvi6*, коррелирует со специфическими изменениями в профиле фенольных соединений в листьях, в частности с повышенным уровнем

процианидинового димера, что может являться частью защитного механизма (Chen et al., 2025).

В Российской Федерации селекционная работа по созданию иммунных к парше сортов ведется систематически. За период с 1977 по 2021 год во ВНИИСПК создано и районировано 25 иммунных сортов, среди которых Болотовское, Имрус, Веняминовское, Свежесть (Седов и др., 2019, 2022, 2025). Помимо иммунных, созданы и высокоустойчивые формы, сочетающие в себе несколько хозяйственно-ценных признаков. Перспективным направлением является селекция колонновидных сортов, из которых пять, включая Восторг и Гирлянду, также обладают иммунитетом к парше (Седов и др., 2022). Это открывает возможности для создания интенсивных, экологически ориентированных садов.

Таким образом, современная парадигма использования устойчивых сортов эволюционировала от простого внедрения отдельных иммунных форм к построению комплексных, научно обоснованных систем (Ульяновская и др., 2024). Такая система базируется на: 1) глубоком знании и мониторинге расового состава патогена в регионе; 2) использовании сортов с пирамидированными генами или комбинированной (моно- и полигенной) устойчивостью; 3) активном применении молекулярной селекции для ускорения и повышения точности отбора; 4) обязательной агроэкологической оценке стабильности устойчивости сорта в конкретных почвенно-климатических условиях. Только такой подход обеспечивает создание долговечных, адаптивных и высокопродуктивных сортов, составляющих основу устойчивого и рентабельного садоводства.

1.5.3. Использование фунгицидов для защиты яблони от парши: стратегии, средства и научные основы оптимизации

Эффективная химическая защита насаждений яблони от парши, вызываемой сумчатым грибом *V. inaequalis*, представляет собой сложную систему, эффективность которой определяется тремя ключевыми факторами: точностью выбора сроков обработок, адекватностью выбора применяемого фунгицида и

качеством обработки (Якуба, 1998; Бедловская, Кудяева, 2016). Система защиты должна быть основана на глубоком понимании биологии патогена, его взаимодействии с факторами среды и механизмами действия химических средств, что позволяет перейти от календарного принципа планирования обработок к интегрированной и научно обоснованной стратегии с элементами прогнозирования (Якуба, 1998; Бедловская, 2016; Иванова, 2019).

Выбору сроков обработки всегда предшествует качественный фитосанитарный мониторинг, при котором необходимо точно определить момент первичного заражения, источником которого являются аскоспоры, созревающие в псевдотециях на опавших листьях (Иванова, Балыкина, 2019). Процесс созревания спор в первую очередь зависит от температуры воздуха и начинается уже при +2°C. Однако их высвобождение (лёт) происходит лишь при увлажнении псевдотециев, причем продолжительность необходимого увлажнения варьирует от нескольких минут до 15 часов в зависимости от температуры, погоды и текущей влажности листьев. После вылета аскоспоры способны длительно сохранять жизнеспособность в условиях отсутствия влаги, но для прорастания и внедрения в ткани молодого листа им необходимо обязательное наличие капельно-жидкой влаги (росы, дождя) на его поверхности. Продолжительность увлажнения, требуемая для успешного заражения, напрямую зависит от температуры и описывается известной шкалой Миллса-Лапаржа (Mills, LaPlange), согласно которой при оптимальной температуре 16-24°C достаточно 9 часов увлажнения, тогда как при 5°C требуется более 24 часов (Peter, 2023). Таким образом, первое условие для обработки — совпадение трёх факторов: наличия зрелых аскоспор, увлажнения листовой поверхности и благоприятной температуры.

Получение точных локальных данных в реальном времени о температуре и продолжительности листового увлажнения является критически важным. Использование данных с удалённых метеостанций часто даёт погрешности, поэтому оптимальным решением становится установка специализированных метеодатчиков непосредственно в саду, которые более точно фиксируют

параметры микроклимата.

В процессе мониторинга важно своевременно выявить «критические периоды» заражения, когда применение фунгицидов с лечебным (куративным) или искореняющим действием будут наиболее эффективны. После прорастания споры гриба развиваются внутри тканей растения инкубационно в течение 7-15 дней и более до появления видимых симптомов (Кирющенко и др., 2013). Большинство современных системных фунгицидов проявляют максимальную активность именно в первые 72-96 часов после заражения, т.е. в период первичного роста мицелия внутри листа.

Для визуализации этой скрытой фазы был разработан метод химической индикации (Патент РФ №2127969, 1999; Tshmir, Kolesova, 1996). Суть метода заключается в обработке листьев специальным реактивом, который, взаимодействуя с метаболитами развивающегося патогена, вызывает появление видимых пятен еще до естественного проявления болезни. Этот подход позволяет точно идентифицировать начало и интенсивность заражения в каждом конкретном квартале сада, на каждом сорте, и служит биологически обоснованным сигналом для проведения лечебной обработки (Савельева и др., 2023; Савельева, 2008). Применение такого индикатора также эффективно для диагностики скрытой инфекции на плодах, закладываемых на хранение, что позволяет прогнозировать развитие «складской» парши.

Стратегия химической защиты строится с учётом цикличности развития патогена и может быть разделена на три этапа (Якуба, 2024; Насонов, Якуба, 2024).

Первый этап — защита от первичной аскоспоровой инфекции. Она начинается с момента созревания псевдотециев и продолжается до появления первых симптомов. Основная цель на этом этапе — не допустить образования первичных очагов болезни. Обработки носят профилактический характер (Ханов и др., 2024).

Второй, наиболее опасный этап, длится от появления первых пятен до истощения источника аскоспор (обычно до конца июня). В этот период

происходит одновременное заражение и аскоспорами, и конидиями, что приводит к развитию болезни в геометрической прогрессии. Химическая защита здесь должна быть наиболее интенсивной и может сочетать профилактические и лечебные обработки.

Третий этап (вторая половина лета) характеризуется распространением инфекции преимущественно конидиями. Интенсивность обработок на этом этапе напрямую зависит от успешности защитных мероприятий в первые два периода.

Выбор фунгицидов осуществляется на основе понимания их механизма действия и принадлежности к химическим классам. В современных системах защиты от парши применяются препараты контактного, системного и локально-системного (трансламинарного) действия (Ханов и др., 2024). Контактные фунгициды (например, на основе дитиокарбаматов, фталимидов) остаются на поверхности листьев и плодов и защищают только обработанные участки. Их эффективность в значительной степени зависит от качества покрытия и смыва осадками и уменьшается по мере увеличения листовых пластин и роста плодов. Системные препараты (из классов триазолов, стробилуринов, бензимидазолов, анилино-пиримидинов) проникают в ткани растения и перемещаются по нему, обеспечивая лечебное и защитное действие. Однако частое применение системных фунгицидов, особенно с единым механизмом действия, ведет к появлению резистентных штаммов патогена (Насонов, Якуба, 2024; Комардина и др., 2022; FRAC, 2026). В Европе и Северной Америке уже широко распространены штаммы *V. inaequalis*, устойчивые к бензимидазолам, стробилуринам, а также отмечается снижение чувствительности к некоторым ингибиторам деметилирования (DMI-фунгицидам) (Насонов и др., 2022). В связи с этим золотым стандартом стала стратегия антирезистентного управления, которая включает: обязательное чередование препаратов из разных химических групп с различными механизмами действия; применение готовых баковых смесей или комбинированных препаратов, содержащих два и более действующих вещества; интеграцию химических обработок с нехимическими методами (агротехнические приёмы, устойчивые сорта, биологические препараты).

В интенсивных садах при календарном подходе количество обработок против парши может достигать 12-16 за сезон (Якуба, Мищенко, 2022). Применение моделей прогноза инфекции, таких как RIMpro или отечественные разработки, а также использование метода химической индикации позволяет снизить количество опрыскиваний до 4-8 за сезон без потери эффективности, что ведёт к прямой экономии средств, снижению остаточных количеств пестицидов в продукции и уменьшению воздействия на агроценоз (Комардина, 2025). Особое значение имеет дифференцированный подход в зависимости от сортовой восприимчивости: для иммунных и высокоустойчивых сортов количество обработок минимизируется, тогда как для восприимчивых — сохраняется в полном объёме.

Системные фунгициды различных химических классов, обладающие защитным и лечебным (куративным) действием, позволяют осуществлять борьбу с патогеном в период его скрытого развития внутри тканей растения, что повышает общую эффективность и в определённой мере снижает пестицидную нагрузку за счёт сокращения числа обработок (Насонов, Якуба, 2024). Системные фунгициды наиболее эффективны на ранних стадиях инфицирования — в течение первых 3–4 дней, когда гриб находится на этапе формирования первичного мицелия. Для достижения максимального защитного эффекта критически важно точно прогнозировать инфекционные периоды. В практической фитопатологии для этой цели применяют два основных инструмента: классические модели, построенные на основе шкалы Миллса, и данные, получаемые с автоматических метеостанций, установленных в садах. Условием успешной реализации такой тактики выступает скорость реагирования: парк опрыскивающей техники должен быть рассчитан на оперативную обработку всех площадей — не позднее чем через 2–3 дня после наступления прогнозируемого критического периода (Комардина, 2025). Пропуск оптимального срока обработки, приводящий к формированию конидиального спороношения на листьях, значительно снижает эффективность защитных мероприятий. Это, в свою очередь, влечёт за собой потребность в дополнительных обработках, которые нередко требуют более высоких дозировок

препаратов и увеличивают общую нагрузку на агроценоз.

Установлено, что если к моменту завершения разлёта аскоспор поражено не более 0,5–1,0% листовой поверхности, можно говорить о подавлении первичного очага, и в ряде случаев минимизировать обработки в последующий период (Программа и методика сортоизучения, 1999). Традиционно первую ранневесеннюю обработку проводят в фенофазу «зелёного конуса» или «распускания почек» медьсодержащими контактными фунгицидами (например, Бордоская смесь, Хлорокись меди) (Защита растений от болезней, 2003). Эта мера направлена на снижение запаса первичной инфекции. В современных схемах, адаптированных к конкретным погодным условиям и сортовым особенностям, контактные препараты на основе меди, тирама или каптана применяют в самом начале разлёта аскоспор, что подтверждается полевыми исследованиями. Так, в опытах в Краснодарском крае первая обработка контактным медьсодержащим препаратом Индиго, КС была проведена в начале, сразу после начала зафиксированного лёта спор, что позволило эффективно защитить растения в период экстремально высоких осадков (Якуба, 2013).

Выбор между контактным и системным препаратом в конкретную обработку зависит от точности прогноза и фазы развития растения. Если с высокой долей вероятности известно о начале лёта спор и ожидаются осадки, оптимально применение стойких контактных фунгицидов. Однако в условиях нестабильной весенней погоды надёжные краткосрочные прогнозы редки, что обуславливает широкое распространение системных и локально-системных средств. Их применение требует глубокого знания специфики каждого действующего вещества. Например, фунгицид Хорус, ВДГ (750 г/кг ципродинила) наиболее эффективен при относительно низких температурах (от +3 °С до +15 °С), обладает высокой устойчивостью к смыву (через 2 часа после обработки) и проявляет наилучшую активность против парши на молодых листьях, что делает его оптимальным выбором для ранневесенних обработок в фенофазы от «розового бутона» до «конца цветения» (Государственный каталог пестицидов, 2026; Кочкина, Каширская, 2021). С другой стороны, триазолы (дифеноконазол,

тебуконазол) и стробилурины (крезоксим-метил, трифлуксистробин) наиболее полно раскрывают свой потенциал в период активной вегетации при достаточно развитой листовой поверхности, демонстрируя высокую эффективность на втором этапе развития болезни, когда происходит одновременное заражение и аскоспорами, и конидиями (Насонов, Якуба, 2024; Ханов и др., 2024).

В современном садоводстве стандартной практикой стало применение готовых комбинированных препаратов или баковых смесей, которые зачастую включают вещества как с системной, так и с контактной активностью (БЕЛЛИС®, 2026; Мерпан, СП, 2026). Например, на поздних этапах вегетации эффективны баковые смеси, сочетающие в себе фунгицид для контроля парши и минеральные удобрения для улучшения качества плодов (Якуба, 2013). Кроме того, некоторые фунгициды, к примеру, на основе каптана и стробилурины, помимо защиты в период вегетации, способствуют снижению уровня контаминации плодов возбудителями монилиоזה и других гнилей при хранении, выполняя фитосанитарную функцию.

Одним из критических факторов, определяющих успех химической защиты, является качество проведения самих опрыскиваний. Оно зависит от ряда агротехнических и технических условий: формирования и загущенности кроны деревьев (предпочтительны хорошо проветриваемые формирования типа «стройное веретено»), корректной настройки опрыскивателей (размер капель, скорость движения, равномерность покрытия), строгого соблюдения рекомендованных норм расхода препарата и рабочего раствора. Также важным является учёт влияния температуры воздуха на активность как патогена, так и фунгицида (Мерпан, СП, 2026; Хорус, ВДГ, 2026). Токсичность препаратов может варьировать в зависимости от температурного режима, что диктует необходимость учёта этого фактора при планировании обработок в разных агроклиматических зонах.

Анализ хронологии регистрации химических фунгицидов, применяемых против парши яблони, позволяет выявить исторические тенденции и оценить интенсивность создания новых средств (Вахшех, 2014). В представленной ниже

таблице 2 систематизированы данные о годах первичной регистрации или коммерческого внедрения ключевых органических ДВ, что служит основой для последующего обсуждения (Государственный каталог, 2026).

Данные таблицы наглядно демонстрируют волнообразный характер появления инноваций в области защиты яблони от парши. Чётко выделяются три исторических периода. Первый, «фундаментальный» период (1940-е – 1960-е годы), характеризуется внедрением базовых химических классов: дитиокарбаматов (тирам, каптан, цинеб), фталимидов (каптан) и производных гуанидина (додин) (Защита растений от болезней, 2003).

Эти препараты обладали преимущественно контактным, защитным действием и заложили основу профилактической стратегии борьбы с болезнью, что подробно освещено в фундаментальных трудах по фитопатологии (Левитин, 2025; Дьяков, Еланский, 2024). Второй, «революционный» период (1970-е – 1990-е годы) стал началом активного внедрения системных фунгицидов, изменивших парадигму защиты. Появление триазолов (дифеноконазол, тетраконазол), стробилуринов (крезоксим-метил, трифлуксистробин), анилинопиримидинов (ципродинил) и других классов обеспечило мощный лечебный эффект и длительную защиту растения (Багирова и др., 2012; Белошапкина и др., 2023). Однако интенсивное применение этих высокоэффективных веществ привело к ускоренному отбору резистентных штаммов *V. inaequalis*, что послужило толчком для следующего этапа. Классическим примером является повсеместное распространение устойчивости к бензимидазолам, впервые зафиксированное ещё в конце 1970-х годов и приведшее к полному исключению этой группы из арсенала средств защиты яблони (Насонов и др., 2022; Nowaska, 1991).

Третий, современный период (2000-е годы – по настоящее время) отмечен не количественным открытием новых химических классов, а качественным изменением подхода (FRAC, 2026). Как следует из таблицы 2, за последние 15 лет на рынке России появилось лишь три новых действующих вещества для борьбы с паршой яблони: пидифлуметофен (2016), флуопирам (2012 как часть комбинации) и флуксапироксад (2012 как часть комбинации). Этот факт красноречиво

свидетельствует о значительном усложнении и удорожании процесса разработки и регистрации новых молекул, отвечающих современным требованиям по эффективности, селективности и экологической безопасности.

Таблица 2

Список органических действующих веществ и их комбинаций в препаратах, используемых в защите яблони от парши и годы первичной регистрации (Государственный каталог пестицидов и агрохимикатов, 2026)

* Действующее вещество / Комбинация	Год (ы) регистрации
Тирам	1945
Каптан	1952
Меди хлорокись + Цинеб	-/1950
Додин	1956
Полидиметилдиаллиламмония хлорид	1957
Метирам	1958
Дитианон	1965
Пропинеб	1965
Триадимефон	1976
Дифеноконазол	1989
Тетраконазол	1990
Флудиоксонил	1993
Крезоксим-метил	1998
Пириметанил	1998
Ципродинил	1998
Трифлуксистробин	1999
Боскалид + Пиракlostробин	2003/2000
Дифеноконазол + Цифлуфенамид	2002
Пентиопирад	2003
Изопиразам + Дифеноконазол	2008/1989
Флутриафол	2011
Флуксапироксад + Дифеноконазол	2012/1989
Флуопирам + Пириметанил	2012/1998
Пидифлуметофен	2016

** для комбинированных препаратов указаны годы регистрации каждого компонента. Компонент, зарегистрированный позднее, определяет дату появления комбинации на рынке.*

Стратегия текущего периода стала основываться не столько на разработке принципиально новых молекул, сколько на оптимизации применения существующих через создание комбинированных препаратов. Преобладание в нижней части таблицы комбинаций (например, изопиразам+дифеноконазол,

флуксапироксад+дифеноконазол) является прямым ответом на проблему резистентности (FRAC, 2026). Комбинации ДВ с различными механизмами действия и разной химической природой (например, ингибитор сукцинатдегидрогеназы (SDHI) + стробилуринов или триазол) решают несколько задач: расширяют спектр действия, обеспечивают синергетический эффект, продлевают период защитного действия и, что наиболее важно, значительно затрудняют для патогена возможность выработать устойчивость сразу ко всем компонентам смеси. Современные комбинированные препараты рассматриваются как инструмент антирезистентной стратегии, позволяющий сохранить эффективность ключевых ДВ (Вахших, 2015).

На основании проведенного анализа можно сделать вывод, что, прежде всего, наблюдается значительное замедление темпов создания и внедрения принципиально новых действующих веществ. Если в XX веке новые химические классы фунгицидов появлялись регулярно, то за последние полтора десятилетия для борьбы с паршой яблони в России было зарегистрировано лишь три новых молекулы. Эта тенденция отражает глобальные вызовы, с которыми сталкивается химическая наука: исчерпание легко реализуемых химических решений, многократное ужесточение регуляторных и экологических требований к новым соединениям, а также рост стоимости и продолжительности процесса разработки и регистрации.

Ответом индустрии на эти вызовы и на растущую проблему резистентности патогена стала стратегия комбинирования уже известных действующих веществ (Насонов, Якуба, 2024; Ханов и др., 2024). Подавляющее большинство эффективных новинок, а не дженериков, последних лет представлено именно многокомпонентными препаратами, такими как комбинации стробилуринов или ингибиторов сукцинатдегидрогеназы (SDHI) с триазолами (Сидорова и др., 2023). Данный подход решает комплекс задач: обеспечивает синергетический эффект и более широкий спектр действия, удлиняет защитный период и, что наиболее значимо, создает для патогена высокий генетический барьер для развития резистентности, поскольку для его преодоления требуются одновременные

мутации в нескольких генах.

Параллельно происходит сдвиг в сторону технологичности препаратов. Разработка новых продуктов включает не только подбор эффективной формулы, но и создание высокоэффективных препаративных форм. Микроэмульсии, суспензионные концентраты и капсулированные формы обеспечивают лучшее удержание на листовой поверхности, устойчивость к смыванию осадками, контролируемое высвобождение действующего вещества и его эффективное проникновение в ткани растения (Вахших, 2014).

Анализ современного ассортимента фунгицидов, зарегистрированных против парши яблони, включающего 98 препаратов (Государственный каталог пестицидов, 2025), позволяет дать количественную характеристику текущего состояния рынка средств защиты (Приложение А). Из общего числа препаратов 85 позиций, или 86.7%, представляют собой химические фунгициды, в то время на долю биологических средств приходится лишь 13 препаратов, что составляет 13.3%. Данное соотношение отражает существующую фитосанитарную реальность, при которой биологические препараты, несмотря на активное развитие сегмента, пока не могут обеспечить сравнимый с химическими средствами уровень эффективности в условиях высокого инфекционного давления и эпифитотийного развития болезни. Также приведённые данные позволяют выявить тренды, определяющие направление развития системы химической защиты.

Основной вывод заключается в том, что отечественный комплекс производства СЗР демонстрирует значительный прогресс в области импортозамещения на уровне производства и формуляций готовых препаратов (Догадина и др., 2022). Локализация производства ряда ключевых действующих веществ (ДВ), таких как дифеноконазол, ципродинил и флутриафол, привела к формированию конкурентоспособного сегмента дженериков. Однако более значимым индикатором является активный переход российских компаний от производства однокомпонентных препаратов к разработке комплексных комбинированных формуляций. Появление на рынке продуктов типа Геката, КМЭ

(120 г/л дифеноконазола + 60 г/л тетраконазола) или Медея, МЭ (50 г/л дифеноконазола + 30 г/л флутриафола) свидетельствует о применении на практике принципа пирамидирования генов устойчивости в химической защите, что является краеугольным камнем современной антирезистентной стратегии (FRAC, 2026). Анонсированные разработки, например, трехкомпонентный фунгицид «Ривьера» (пираклостробин + тебуконазол + дифеноконазол), указывают на амбиции по созданию высокотехнологичных продуктов.

Однако из табличных данных видно, что сохраняется зависимость от иностранных научно-исследовательских центров в сфере открытия и первичного синтеза принципиально новых молекул. Все инновационные ДВ последнего поколения — пидифлуметофен, изопиразам, флуксапироксад — были созданы в лабораториях транснациональных корпораций («Сингента», «БАСФ», «Байер») (Сидорова и др., 2023). Российский рынок интегрируется в глобальные инновационные цепочки преимущественно на этапе коммерциализации и адаптации, получая доступ к оригинальным действующим веществам с временным лагом. Это воспроизводит модель «догоняющего развития», при которой разрыв в генерации новых знаний и технологий компенсируется активностью в области инжиниринга, формуляций и маркетинга (Догадина и др., 2022). Следовательно, текущая динамика импортозамещения, будучи позитивной, пока не решает полностью проблему обеспечения долгосрочной технологической и фитосанитарной безопасности.

Также можно отметить рост значимости сегмента биологических фунгицидов. Преобладание в этом сегменте отечественных разработок на основе штаммов *Bacillus subtilis*, *Pseudomonas asplenii* и *Trichoderma harzianum* (Алирин-Б, Ж; Гамаир, КС; Биокомпозит-Про, Ж) отражает наличие серьёзного национального научного задела в области агробιοтехнологий. Биопрепараты становятся важным инструментом для проведения превентивных защитных мероприятий, обработок в периоды малого количества осадков, снижения общей пестицидной нагрузки и удлинения жизненного цикла химических действующих веществ за счёт снижения риска резистентности. Биологический метод формирует

свою нишу в создании устойчивых и сбалансированных интегрированных систем защиты растений. Однако на данном этапе основным методом защиты остаётся химический метод.

Положительная динамика насыщения рынка средствами защиты от парши яблони делает его более структурированным и сегментированным, что дает сельхозпроизводителям больше выбора, но требует большей грамотности. Сформировались три основных сегмента: премиальный (импортные инновационные препараты), средний (отечественные комбинации и дженерики) и биологический (отечественные биопрепараты). Для эффективного и устойчивого применения этого арсенала необходимы грамотные резистентные стратегии, предотвращающие возникновение резистентности, основанные на чередовании препаратов с разными механизмами действия (Вахшех, 2014; Рекомендации Россельхозцентра, 2023).

Внедрение и применение эффективных систем химической защиты яблони от парши может повлечь за собой риск накопления их остаточных количеств в конечной продукции — плодах яблони. В этой связи научно обоснованный мониторинг остатков действующих веществ, проведение обязательных регистрационных испытаний, поиск синергетических эффектов между препаратами являются важными мероприятиями, обеспечивающими не только фитосанитарную, но и санитарно-гигиеническую безопасность продукции (Зинченко, 2012).

Современные аналитические протоколы, такие как QuEChERS в сочетании с хромато-масс-спектрометрией, позволяют осуществлять высокоточный многокомпонентный анализ (Pei et al., 2025). Данные мониторинга из ключевых регионов производства яблок подтверждают актуальность проблемы. Например, в Китае остатки пестицидов обнаруживаются более чем в половине проанализированных образцов, при этом наиболее часто встречаются именно фунгициды, используемые против парши (Wei et al., 2023). Аналогичные исследования в Турции выявили остатки в 64% образцов, а в 11% случаев было зафиксировано превышение максимально допустимых уровней (МДУ) (Hürriyet

Daily News, 2025). Некоторые действующие вещества (например, тирам, карбендазим) способны не только сохраняться на поверхности, но и проникать через кожуру во внешние слои мякоти яблока. Это подтверждает, что простое мытьё плодов может быть недостаточно для полного удаления остатков, а основным методом обеспечения безопасности является строжайшее соблюдение регламентов применения. Хотя оценки риска часто указывают на отсутствие непосредственной угрозы при хроническом воздействии в выявленных концентрациях, систематическое обнаружение остатков, включая вещества с потенциально опасными свойствами, однозначно диктует необходимость жёсткого регламентного контроля на всех этапах — от сада до потребителя (Pei et al., 2025). Превышение установленных МДУ ведёт к прямым экономическим убыткам вследствие отбраковки партий продукции, что особенно критично для экспортно-ориентированных хозяйств (Wei et al., 2023).

Фундаментальную основу для безопасного применения химических средств закладывают обязательные регистрационные испытания (Федеральный закон № 345-ФЗ, 2025; Ст. 8 ФЗ-109, 2024). Именно в ходе этих строго регламентированных полевых и лабораторных исследований устанавливаются ключевые параметры: сроки ожидания (период между последней обработкой и уборкой урожая), максимальная кратность применений и нормы расхода. Эти параметры рассчитываются таким образом, чтобы гарантировать, что остаточные количества действующего вещества на момент сбора урожая не превысят установленные гигиенические нормативы. Без прохождения полного цикла регистрационных испытаний, моделирующих реальные условия применения в конкретной почвенно-климатической зоне, невозможно легальное использование препарата. Дальнейшие научные изыскания направлены на оптимизацию этих регламентов, изучение влияния агротехнических и погодных факторов на скорость деградации пестицидов, а также на разработку более эффективных и экономичных методов анализа.

Поиск и использование синергетических эффектов при комбинировании различных действующих веществ или классов препаратов также могут помочь

снизить пестицидную нагрузку. Синергизм, проявляющийся в том, что совместное действие двух компонентов существенно превосходит сумму их эффектов, позволяет значительно снижать рекомендуемые дозы каждого из них (Filippini et al., 2010). Это напрямую ведёт к уменьшению потенциального объёма остатков в продукции и окружающей среде. Иллюстрацией такого подхода могут служить исследования по оценке эффективности различных формуляций фосфитов (калийных, кальциевых, медных) в контроле парши яблони. Их комбинирование с синтетическими фунгицидами или между собой может приводить к синергетическому взаимодействию, что позволяет либо снизить дозу химического препарата, либо продлить его защитное действие.

Необходимость постоянного совершенствования всей системы защиты вытекает из непостоянности всех составляющих данного процесса: изменчивости популяций патогена, появления новых химических средств, ужесточения нормативов безопасности и рыночных требований (Касатов, Белошапкина, Хохлов, 2025; Meteobot, 2018). Это совершенствование носит системный характер и включает несколько направлений. Во-первых, обязательной практикой должна стать научно обоснованная ротация препаратов с различными механизмами действия (Государственный каталог пестицидов, 2025; FRAC, 2026). Это основной инструмент сдерживания развития резистентности у популяций *V. inaequalis*, которая, в случае возникновения, напрямую ведёт к потере эффективности препаратов, вынужденному увеличению доз и кратности обработок, а, следовательно, и к росту риска накопления остатков. Во-вторых, внедрение прецизионных систем прогноза инфекции на основе моделей, учитывающих температуру и продолжительность увлажнения листового аппарата, позволяет перейти от календарного принципа обработок к целевым, что сокращает их общее количество без потери эффективности (Meteobot, 2018). В-третьих, последовательная интеграция химического метода с альтернативными способами защиты формирует основу устойчивого управления. Речь идет о закладке садов с использованием генетически устойчивых к парше сортов, применении биопрепаратов в критические периоды, строгом соблюдении

санитарных мероприятий (уничтожение опавшей листвы). Экономическая целесообразность комплексного подхода подтверждается расчётами: грамотно выстроенная система защиты позволяет снизить поражённость плодов с 50-80% до единичных процентов, предотвращая потери значительной части урожая и существенно повышая его товарный сорт и рыночную стоимость.

ГЛАВА 2. Условия, объекты и методика исследований

2.1. Природно-климатические условия мест проведения исследований

Полевые исследования биологической эффективности фунгицидов и фитосанитарный мониторинг проводили в 2022 г. в Мичуринском саду РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (г. Москва) и в 2023-2024 гг. в производственном саду ООО «Лучи Солнца» в Солнечногорском районе Московской области.

Мичуринский сад расположен в Москве на пологом (до 0,5-1 градуса) склоне южной экспозиции. Почва дерново-слабоподзолистая (гумуса 2,5 %), глубокопахотная, слабосуглинистая на моренном суглинке, слабокислая, среднеобеспечена азотом, фосфором и калием. Среднемесячная температура воздуха самого теплого месяца – июля, в среднем +17°C, самого холодного – января - 11°C. Период с положительными температурами длится в среднем 206-216 дней. Безморозный период продолжается 120-140 дней. Область относится к зоне достаточного увлажнения, годовая сумма осадков в среднем составляет 550-660 мм, при этом две трети осадков году выпадают в виде дождя. Устойчивый снежный покров образуется обычно в конце ноября. К концу зимы высота снежного покрова в среднем 30-45 см, а наибольший запас воды в снегу составляет 80-105 мм. По среднемноголетним данным, временное промерзание почв на территории области начинается в октябре, устойчивое – 15-20 ноября. В декабре глубина промерзания составляет 30-40 см, а в феврале и марте 50-80 см. К 20-25 апреля почва полностью оттаивает. Длительность устойчивой мерзлоты почв составляет 150-160 дней.

Исследуемый плодовый сад в хозяйстве ООО «Лучи Солнца» находится в Солнечногорском районе Московской области, который входит в округ дерново-подзолистых суглинистых почв Смоленско-Московской возвышенности, иногда различной степени смытости. Участок, на котором размещён яблоневый сад площадью 3,88 га, представлен западным склоном крутизной 4,0° и склоном южной экспозиции крутизной 1,5-3,0°. Присутствует открытая ложбина со стоком на запад. Почва – дерново-подзолистая маломощная слабогумусированная.

Механический состав – глинистый. По информации на момент закладки сада в 2017 году мощность гумусового горизонта 40-50 см. Плотность иллювиального горизонта (50-100 см) находится на уровне 1,55-1,56 г/см³. В среднем обменная кислотность участка «среднекислая». Обеспеченность азотом горизонта А1 средняя. Содержание подвижного фосфора в среднем высокое, обменного калия от низкого до среднего. Содержание гумуса в основном низкое.

Территория Солнечногорского района расположена на северо-западе Московской области и относится ко 2-му поясу умеренно-континентального климата (с относительно холодной зимой и тёплым летом). Сезонность проявляется достаточно чётко. На территории, где расположено предприятие, продолжительность периода с температурой выше +10°C составляет в среднем 120-135 дней, а сумма температур за это время 1900-2100°C. Среднегодовая температура воздуха 4-5°C, с колебаниями по отдельным годам в пределах от 2,0 до 7,2°C. Средняя температура самого тёплого месяца июля +19,3°C. Самым холодным месяцем в году является февраль -7,4°C. Вместе с тем, иногда в январе-феврале температура воздуха может значительно понижаться, что связано со вторжением арктических воздушных масс. Абсолютный многолетний максимум температуры воздуха составляет +37...+40°C. Абсолютный минимум составляет -37...-43°C. Средняя глубина промерзания почвы составляет 60-80 см. Высота снежного покрова бывает различной и находится в пределах 10-50 см. Разрушение устойчивого снежного покрова наблюдается в первой декаде апреля. Полное оттаивание почвы на глубину до 40 см приходится на вторую декаду апреля. Вероятность весенних заморозков сохраняется до второй декады апреля. Наступление первых осенних заморозков приходится на конец сентября. Вероятность возвратных заморозков существует до второй декады мая. В районе достаточно часто наблюдается резкое понижение температуры воздуха после глубоких и продолжительных оттепелей зимой, а также весенние возвратные заморозки.

ООО «Лучи Солнца» находится в зоне неустойчивого водообеспечения. За год выпадает 637 мм осадков, большая часть которых приходится на время

активной вегетации. В некоторые годы отмечается неравномерное распределение осадков, что служит причиной засушливых условий. За последние несколько десятилетий, летние засухи отмечаются каждые 3-4 года. Согласно средним многолетним данным, относительная влажность воздуха равна 79%. Отмечены колебания данного показателя в пределах 82-88% - осенью и весной, и 62-67% - летом. В засушливых условиях относительная влажность воздуха опускается до 50% и ниже.

Основную часть работ по определению динамики разложения остаточных количеств действующих веществ фунгицидов проводили в полевых опытах, заложенных в период 2018-2024 гг. в трёх почвенно-климатических зонах РФ, в которых проводились регистрационные испытания пестицидов для распространения регистрации на всю территорию России, и которые характеризуются следующими условиями:

1-я зона подзолистых и дерново-подзолистых почв таёжно-лесной области.

Климат **Центрального региона** возделывания культур – г. **Москва** и **Рязанская область** – умеренно-континентальный с $\sum t \geq 10^\circ\text{C}$ в диапазоне 1600–2000 $^\circ\text{C}$ и годовой суммой осадков 550–700 мм. Характерно превышение годового количества осадков над испаряемостью (коэффициент увлажнения $K_u > 1,0$), что формирует периодически промывной тип водного режима. Зима устойчиво холодная, с мощным снежным покровом; весна затяжная; лето умеренно тёплое. Почвообразование протекает в условиях промывного режима и кислой реакции среды под пологом хвойно-мелколиственных лесов. Формирующиеся подзолистые и дерново-подзолистые почвы имеют ясно выраженный элювиальный (подзолистый) горизонт вымывания, кислую реакцию ($\text{pH}_{\text{водн.}} 4,0–5,5$), низкую степень насыщенности основаниями и содержание гумуса в пахотном слое, как правило, не превышающее 1,5–2,5%. Повышенный фон увлажнения создаёт устойчивые предпосылки для развития грибных патогенов, требующих капельно-жидкой влаги.

2-я зона чернозёмов лесостепной и степной областей

Для **Центрально-Чернозёмного региона – Воронежская область** – ($\sum t \geq 10^\circ\text{C}$ 2200–2800°) характерен умеренно-континентальный климат с годовым количеством осадков 450–550 мм. Коэффициент увлажнения близок к единице или незначительно меньше её ($KУ \approx 0,9–1,0$), что определяет непромывной тип водного режима с периодическим возникновением атмосферных засух. Почвенный покров представлен типичными, выщелоченными и оподзоленными чернозёмами с мощным гумусовым профилем (гумус 6–10%, $pH_{\text{водн.}}$ 5,5–7,0).

Северо-Кавказский регион – Краснодарский край – ($\sum t \geq 10^\circ\text{C}$ 2800–4000°) отличается наиболее мягкими зимами и продолжительным тёплым периодом в европейской части России. Осадков выпадает 600–800 мм в год, но испаряемость высока, особенно в степной части. Почвы – мощные и обыкновенные чернозёмы, часто с повышенным содержанием гумуса (до 10–12%) и нейтральной реакцией.

Регион Поволжья – Самарская область – ($\sum t \geq 10^\circ\text{C}$ 2800–3400°) имеет выраженный континентальный климат с годовыми осадками 300–450 мм и высокой повторяемостью суховеев. Водный режим непромывной, засушливый. Преобладают обыкновенные и южные чернозёмы, часто солонцеватые, с меньшей мощностью гумусового горизонта. Общим лимитирующим фактором для всей зоны является дефицит продуктивной влаги в критические фазы развития растений.

3-я зона каштановых почв сухостепной области

Климат **региона Поволжья** в этой зоне – **Астраханская и Волгоградская области** – резко континентальный, с $\sum t \geq 10^\circ\text{C}$ 3400–4000° и годовым количеством осадков 200–350 мм. Коэффициент увлажнения значительно меньше единицы ($KУ < 0,5$), что формирует выпотной тип водного режима; характерны частые и интенсивные засухи и суховеи. Почвообразование происходит в условиях дефицита влаги и разрежённой злаково-полынной растительности. Формируются каштановые почвы, имеющие меньшую, чем у чернозёмов, мощность гумусового горизонта (гумус 2–4%), часто осложнённые солонцеватостью и солончаковатостью, с щелочной реакцией среды ($pH_{\text{водн.}}$ 7,5–8,5). Естественное

плодородие низкое. Устойчивое земледелие возможно преимущественно при условии орошения.

2.2. Погодные условия в годы исследований биологической эффективности фунгицидов

Анализ метеоданных за 2022 год, полученных на Метеорологической обсерватории им. В.А. Михельсона (РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева), в сравнении со средними многолетними значениями, позволяет охарактеризовать сезон как контрастный и аномальный, с выраженными периодами дефицита осадков и экстремально высоких температур (табл. 3).

Таблица 3

Метеорологические данные вегетационного периода 2022 г.
(по наблюдениям Метеорологической обсерватории им. В.А. Михельсона,
Москва, РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева)

Основные показатели	Месяцы, декады														
	май			июнь			июль			август			сентябрь		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
Температура воздуха, °С															
а) средняя многолетняя	10,1	12,2	13,5	14,4	16,2	17,3	17,7	18,5	18,3	17,3	14,4	15,3	13,5	10,9	8,8
б) текущего года	9,8	11	10,8	17,8	18,1	20,7	21,6	19,3	21,1	21,3	21,7	22,5	9,3	11,4	9,5
Осадки, мм															
а) средняя многолетняя	17	18	20	22	23	24	28	29	28	24	22	29	23	22	20
б) текущего года	4,5	23	34	14	26	1,9	35	5	50	2,5	0,1	1,2	8,3	25	41
Относительная влажность, %															
а) текущего года	50	59	62	65	67	57	62	65	69	66	57	55	75	82	89

Март оказался близким по температуре к многолетним значениям, но существенно более засушливым: при среднемесячной температуре, соответствующей климатической норме (-0,7°С), выпало лишь 13 мм осадков, что составило около трети от обычного количества. Это могло сдерживать начало активной вегетации и развитие патогена. Однако в апреле погодный режим сменился на прохладный и аномально влажный. Среднесуточные температуры находились в диапазоне от +2°С до +8°С, а осадки выпадали часто. Такой

устойчивый прохладный и влажный режим мог создать хорошие условия для созревания и начала вылета аскоспор *V. inaequalis*, что соответствует общим закономерностям развития патогена.

В 2023 году среднедекадные температуры мая варьировали от 9,8°C до 11,0°C, незначительно уступая многолетним показателям (10,1–13,5°C). Однако характер распределения осадков был неравномерным: первая декада была сухой (4,5 мм при норме 17 мм), вторая близка к норме (23 мм), а третья — избыточно влажной (34 мм при норме 20 мм). Прохладная и влажная третья декада, наложившись на уже создавшийся высокий инфекционный фон, создала исключительно благоприятные условия для первичного заражения паршой в период роста молодых листьев.

Резкий переход к аномально теплой погоде в 2023 г. произошел в июне. Средние температуры во второй и третьей декадах превысили многолетнюю норму на 1,9°C и 3,4°C соответственно, составив 18,1°C и 20,7°C. Июль и август продолжили эту тенденцию. В августе температура во всех декадах устойчиво превышала 21°C, достигая 22,5°C в третьей декаде. По данным Росгидромета, лето 2022 года в европейской части России стало одним из самых жарких за весь период инструментальных наблюдений. Осадки в этот период носили выражено конвективный характер: обильные ливни сменялись периодами острого дефицита. Критически засушливым выдался август, когда суммарное количество осадков за месяц составило лишь около 3,8 мм при многолетней норме 75 мм, что на фоне высоких температур привело к формированию сильной атмосферной и почвенной засухи.

К яблоневому саду ООО «Лучи Солнца» ближайшей является метеостанция № 27417, расположенная в 13 км в г. Клин, данные которой использовали (табл. 4).

Агрометеорологические условия вегетационного периода 2023 года характеризовались значительной контрастностью, что повлияло на фенологическое развитие яблони и эпидемиологическую обстановку по распространению парши яблони. Начало весны (апрель) было аномально тёплым:

средние температуры по декадам превышали многолетнюю норму на 2,2–4,2°C. Однако отмечен дефицит осадков: в первые две декады апреля осадки полностью отсутствовали, а в третьей составили лишь 3 мм при норме 15 мм. Низкая влажность в этот ключевой период, совпадающий с распусканием почек и обнажением соцветий, могло сдерживать первичное заражение аскоспорами, для которого необходима капельно-жидкая влага. Май также характеризовался температурными контрастами: холодная первая декада (отклонение -3,8°C) сменялась тёплыми второй и третьей.

Таблица 4

Метеорологические данные вегетационного периода 2023-2024 г.
(по наблюдениям метеостанции № 27417, г. Клин)

Основные показатели	Месяцы, декады														
	май			июнь			июль			август			сентябрь		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
Температура воздуха, °C															
а) средняя многолетняя	10	12,1	13,5	14,4	16,2	17,3	17,7	18,5	18,3	17,6	16,3	15,1	12,8	10,6	8,7
б) 2023	6,2	14	14	13,7	16,4	17,4	19,4	15,8	18,1	22,2	19,5	14,7	14,2	12,9	15,1
в) 2024	6,1	11	17,5	18,9	19	18,8	22	22,5	18,3	17	16,8	18,5	17,3	17,3	12,4
Осадки, мм															
а) средняя многолетняя	17	18	20	22	23	25	28	29	28	26	25	25	21	20	20
б) 2023	0	1	24	24,6	0	35,7	9,8	118	28,2	0,1	16,7	5,3	8,7	2,5	4,3
в) 2024	18,8	6,5	12	16,5	69	33,6	63	20	43	20,8	26	10,6	0	0,6	26,2

Однако майские заморозки привели к повреждениям и деформации молодых листьев. Дефицит осадков сохранялся в первую половину месяца (0 и 1 мм), но третья декада принесла 24 мм. Это создало риск заражения в период завершения цветения и начала роста завязей. Наиболее благоприятные для эпифитотии парши условия сложились во второй половине лета. Вторая декада июля выдалась чрезвычайно дождливой (118 мм при норме 29 мм). Сочетание обильных дождей со средней температурой около 16°C (лишь на 2,7°C ниже нормы) создало продолжительный инфекционный период для массового образования и распространения конидий. Август и сентябрь были, напротив,

засушливыми, особенно первая декада августа и вторая декада сентября, что должно было сдерживать развитие болезни в конце сезона.

В вегетационный период 2024 года погодные условия были иными и потенциально более опасными для раннего развития парши (табл. 4). Апрель был не только аномально тёплым (отклонения $+4,1...+8,0^{\circ}\text{C}$), но и значительно более влажным, чем в 2023 году. Осадки выпадали во все декады (соответственно 17,2, 23,2 и 17,7 мм), обеспечивая достаточное увлажнение. Хотя ГТК в первой декаде (1,85) был ниже многолетней нормы (9,23) из-за очень высоких температур, фактическое наличие осадков в период распускания почек и выдвигания бутонов создавало высокий риск первичных инфекций. Май был прохладным, особенно в первые две декады (отклонения $-3,9$ и $-1,1^{\circ}\text{C}$), и с частыми заморозками, что замедлило темпы развития растения. Осадки в мае распределялись неравномерно, создавая переменный инфекционный фон. Ключевым отличием от 2023 года стали условия лета. Июнь и июль 2024 были существенно теплее нормы (например, вторая декада июля $+4,0^{\circ}\text{C}$). Осадки носили эпизодический, но интенсивный характер: так, во второй декаде июня выпало 69 мм, а в первой декаде июля — 63 мм. Эти ливневые дожди, чередующиеся с тёплыми периодами, создавали идеальные условия для множественных повторных заражений паршой в течение всего периода роста плодов. Однако конец вегетации – сентябрь – был крайне засушливым, особенно первые две декады (0,0 и 0,6 мм осадков), что могло ограничить развитие парши на созревающих плодах.

2.3. Объекты и методы исследований

В рамках диссертационного исследования решалась задача оптимизации защитных мероприятий против парши яблони. Экспериментальная часть была выполнена в 2022 году на базе Мичуринского сада РГАУ-МСХА в условиях естественного инфекционного фона. Объектами исследования послужили сорта яблони Мантет, Мелба и Антоновка обыкновенная, различающиеся по степени устойчивости к парше. Для оценки защитных мер применяли пестициды,

обладающие разными действующими веществами и отличающиеся механизмами действия.

Исследования в 2023-2024 гг. проводили в Солнечногорском районе Московской области в ООО «Лучи Солнца» в яблоневом саду 2017-2018 года посадки, где в качестве посадочного материала были использованы сортовые саженцы на подвое 54-118, схема посадок 5,0 x 2,5 м (800 деревьев / га) на площади 3,88 га.

Полевую часть опытов по изучению динамики разложения действующих веществ пестицидов проводили на сортах яблони, указанных в таблице 5

Таблица 5

Сорта яблони в опытах по исследованию динамики разложения остаточных количеств действующих веществ пестицидов в период 2018-2024 гг.

Препарат	Год	Сорт		
		Почвенно-климатические зоны		
		1 зона	2 зона	3 зона
Знаток, ВДГ (500 г/кг трифлористробина)	2018	Синап Белорусский	Ренет Симиренко	Интерпраз
	2019	Синап Белорусский	Антоновка	Фуджи
АгроШлем, ВДГ (750 г/кг ципродинила)	2022	Виктор	Россошанское полосатое	Кубанское багряное
	2023	Дочь Вагнера	Штрифель	Кубанское багряное
Шрапнель, ВГ (700 г/кг дитианона)	2023	Имплант	Анис	Фуджи
	2024	Елена	Солнышко	Фуджи
Мерпан, СП (500 г/кг каптана)	2022	Мантет	-	-
	2023	Мантет	-	-

Маршрутные фитопатологические мониторинговые визуальные обследования в течение вегетации в ООО «Лучи Солнца» проводили на 18 сортах яблони: Антоновка обыкновенная, Баргузин, Беркутовское, Валюта, Ветеран, Дарк Идол, Имрус, Красное раннее, Лигол, Лобо, Мантет, Мелба, Орловим, Папировка, Полосатое Орловское, Рождественская, Уэлси, Ханни Крисп. Полевые испытания биологической эффективности фунгицидов проводили на сортах Мантет, Мелба и Лобо.

2.3.1. Характеристика сортов яблони

Ниже приведена краткая характеристика сортов яблони, на которых оценивали биологическую эффективность фунгицидов для защиты яблони от парши в полевых условиях.

Мантет. Сорт канадского происхождения, выведенный в 1928 году на опытной станции в Мордене (Манитоба) путём естественного опыления сеянцев старинного русского сорта Грушовка московская. Деревья среднерослые, достигающие высоты 4–5 метров, с редкой овальной кроной и мощными скелетными ветвями, направленными вверх. Крупные зелёные листья имеют удлиненно-эллиптическую форму с блестящей поверхностью. Плоды средней величины, массой до 180 граммов, округло-продолговатой конической формы с небольшой ребристостью в верхней части. Основная окраска зеленовато-жёлтая, покровная — ярко-красный крапчато-полосатый румянец на оранжево-красном фоне. Мякоть белая, сочная, нежная, ароматная, с десертным сладким вкусом и едва заметной кислинкой. Период созревания приходится на конец июля — конец августа. Сорт отличается скороплодностью, начало плодоношения наступает на 3–4 год после посадки. Урожайность в молодом возрасте стабильная, но с возрастом начинает чередоваться по годам. Существенными недостатками являются короткий период хранения плодов (10–15 дней) и быстрое перезревание. Хозяйственная ценность определяется ранним созреванием и превосходными десертными качествами плодов. Характеризуется средней зимостойкостью и сильной восприимчивостью к парше. (Мантет, ВНИИСПК, 2026)

Мелба. Сорт канадской селекции, выведенный в конце XIX века. Деревья характеризуются как среднерослые, достигающие высоты 3–4 метра, с округлой, среднераскидистой кроной диаметром до 7 метров. Листья светло-зелёные, часто с желтоватым оттенком, продолговатой формы с городчатыми краями. Плоды выше среднего размера (90–150 г), округло-конической формы, слегка приплюснутые. Основная окраска желтовато-зелёная, с ярким полосатым румянцем красного цвета, занимающим до половины поверхности. Кожица гладкая, блестящая, с восковым налётом. Мякоть снежно-белая, мелкозернистая,

хрустящая, очень сочная. Вкус десертный, сладкий с приятной кислинкой, оценивается на 4,5–4,7 балла по 5-балльной шкале. Характерен интенсивный аромат, напоминающий карамель. Срок созревания позднелетний: в южных регионах — конец июля — середина августа, в средней полосе — вторая половина августа — начало сентября. Урожайность высокая, с одного взрослого дерева собирают до 120–150 кг плодов. Начало плодоношения наступает на 4–5 год после посадки. Зимостойкость средняя, деревья выдерживают температуры до –29...–34°C. Хранение плодов непродолжительное: в холодильнике до 1–2 месяцев, в комнатных условиях 2–3 недели. Хозяйственная ценность определяется высокими вкусовыми качествами плодов, их товарностью и транспортабельностью. Сорт обладает слабой устойчивостью и восприимчив к поражению паршой. (Мелба, ВНИИСПК, 2026)

Лобо. Сорт представляет собой результат селекционной работы канадских специалистов, полученный в 1906 году путём свободного опыления сеянцев сорта Макинтош. Дерево характеризуется как среднерослое, достигающее высоты 3–4 метра, с вертикально-овальной кроной в молодом возрасте, которая с течением времени трансформируется в широкоокруглую и разреженную. Побеги средней толщины, с тёмно-коричневой корой вишнёвого оттенка, слегка изогнутые и коленчатые. Листья преимущественно яйцевидной формы с сердцевидным основанием, морщинистые, матовые, зелёного цвета. Плоды этого осеннего сорта крупные, массой 100–200 граммов, с формой, варьирующей от уплощённо-округлой до округло-конической. Поверхность плодов гладкая, покрыта сильным восковым налётом. Основная окраска желтовато-зелёная, практически полностью перекрытая ярким малиново-красным румянцем. Мякоть белая, мелкозернистая, сочная, с приятным кисло-сладким вкусом. Лобо отличается высокой урожайностью — до 200 кг с дерева, скороплодностью (плодоношение начинается на 3–4-й год после посадки) и стабильной продуктивностью. Хозяйственная ценность сорта определяется высокими товарными и вкусовыми качествами плодов, хорошей транспортабельностью,

стабильностью урожаев и декоративностью дерева в период плодоношения. Сорт обладает слабой устойчивостью к поражению паршой. (Лобо, ВНИИСПК, 2026)

Антоновка обыкновенная. Старинный русский сорт народной селекции, получивший широкое распространение во второй половине XIX века и до настоящего времени занимающий ведущее положение в сортименте яблони Центральной России. Деревья характеризуются как сильнорослые, достигающие значительных размеров, с овальной кроной, которая с возрастом становится шаровидной. Листья ярко-зелёные, продолговато-яйцевидные, с пильчато-городчатой зазубренностью краёв и морщинистой поверхностью. Плоды средней и выше средней величины (120–150 г, максимум до 300 г), форма изменчива от плоскоокруглой до овально-конической. Поверхность гладкая, с заметными рёбрами. Основная окраска зеленовато-жёлтая при съеме, становится соломенно-жёлтой при хранении. Мякоть желтоватая, сочная, кисло-сладкая, с повышенным содержанием витамина С. Срок созревания — середина сентября, в северных регионах считается зимним, в южных — позднеосенним. Урожайность высокая, до 20 тонн с гектара. Начало плодоношения наступает на 6–7 год после посадки. Хранение плодов возможно до 90 дней, при обработке антиоксидантами — до 120 дней. Агротехнические характеристики включают высокую зимостойкость и неприхотливость к условиям выращивания. Хозяйственная ценность определяется высокими товарными качествами плодов, их пригодностью для потребления в свежем виде и различных видов переработки. Сорт обладает средней устойчивостью (относительно устойчив) к парше. В годы с умеренным развитием парши Антоновка может практически не поражаться, а в эпифитотийные годы степень поражения остается значительно ниже, чем у восприимчивых сортов (Седов, 2005).

2.3.2. Изучаемые фунгициды против парши

Раёк, КЭ (250 г/л дифеноконазола) (группа G1 по FRAC) — системный фунгицид из класса триазолов с выраженным профилактическим и лечебным действием. Дифеноконазол ингибирует фермент C14-деметилазу (CYP51),

блокируя синтез эргостерола — ключевого компонента клеточной мембраны гриба. Препарат обладает системной активностью, быстро проникает в листья и плоды, защищая как обработанные, так и отрастающие части растения. Эффективен в широком диапазоне фаз — от «розового бутона» и начала цветения до периода роста плодов, обеспечивая длительный защитный эффект до 2–3 недель. Препарат устойчив к смыванию осадками, хорошо совмещается с контактными фунгицидами, что делает его важным элементом интегрированных схем защиты. Производитель АО фирма «Август».

Мерпан, СП (500 г/кг каптана) (группа M04 по FRAC) — контактный фунгицид профилактического действия из класса фталимидов. Каптан ингибирует ферментативные процессы грибов за счёт реакции с SH-группами ферментов, что нарушает процессы клеточного дыхания и метаболизма. Препарат образует устойчивую к смыванию защитную плёнку, обеспечивающую защиту растений в течение 7–10 дней, используется преимущественно в ранние фазы вегетации (распускание почек, розовый бутон, после цветения) и хорошо совместим с системными фунгицидами в интегрированных схемах защиты. Обладает низким риском развития резистентности. Производитель — ООО «Адама Рус».

Знаток, ВДГ (500 г/кг трифлуксистробина) (группа 11 по FRAC) — системно-контактный фунгицид из класса стробилуринов с выраженным профилактическим и антиспоруляционным действием. Трифлуксистробин ингибирует митохондриальное дыхание патогенов, блокируя перенос электронов в комплексе III, что приводит к прекращению роста и спорообразования гриба. Препарат характеризуется быстрым проникновением в кутикулу и перераспределением по поверхности листьев в виде паров, обеспечивая длительный защитный эффект до 10–14 дней. Эффективен при профилактических обработках в период активного роста листьев и плодов, устойчив к смыванию осадками и хорошо совместим с системными триазольными фунгицидами. Обладает высоким риском резистентности, необходимо чередовать с фунгицидами из других классов. Производитель ООО «Шанс».

Шрапнель, ВГ (700 г/кг дитианона) (группа 9 по FRAC) — контактный фунгицид профилактического действия из химического класса хинонов, предназначенный для защиты яблони и других плодовых культур от парши, альтернариоза, монилиоза и различных пятнистостей листьев. Дитианон ингибирует активность тиольных ферментов грибов, нарушая процессы дыхания и клеточного обмена, что предотвращает прорастание спор и развитие мицелия на поверхности растений. Препарат обладает выраженным защитным эффектом, создаёт прочную водостойчивую плёнку, сохраняющую эффективность в течение 7–10 дней даже после выпадения осадков. Используется преимущественно профилактически в начале вегетации и в периоды повышенного инфекционного фона, совместим с большинством системных фунгицидов (кроме щелочных растворов. Производитель ООО «Агрохим-XXI».

АгроШлем, ВДГ (750 г/кг ципродинила) (группа M9 по FRAC) — системный фунгицид из химического класса анилинопиримидинов с выраженным профилактическим и лечебным действием. Ципродинил ингибирует синтез и секрецию гидролитических ферментов, необходимых для проникновения патогена в ткани растения, а также нарушает синтез аминокислот и обмен метионина, что приводит к подавлению прорастания спор и роста мицелия. Препарат быстро проникает в ткани листьев и плодов, обеспечивая длительный защитный эффект до 10–14 дней, особенно эффективен при обработках в фазу формирования и роста плодов. Ципродинил сохраняет активность при умеренных осадках, хорошо совмещается с контактными препаратами. Производитель ООО «Агрохим-XXI».

Сочетание системных и контактных препаратов позволяет реализовать принцип двойного барьера и повысить продолжительность защитного эффекта.

Выбор препаратов для исследования был сделан с учётом ситуации на российском рынке средств защиты растений. Фунгицид Знаток, ВДГ (500 г/кг трифлуксистеробина) - первый отечественный препарат на основе трифлуксистеробина, недавно вышедший на рынок. На момент закладки опыта в 2022 году было всего 2 разрешённых к применению препарата на основе каптана,

у одного из которых истек срок регистрации в ближайшие 4 года. Однако были сообщения об активном использовании препаратов на основе каптана на юге России. Тенденции в регистрации новых пестицидов показали, что в 2023-2025 гг. активно стали проводиться регистрационные испытания новых отечественных продуктов на основе каптана крупными фирмами по производству СЗР, что подтверждает актуальность выбранного направления.

2.3.3. Патоген-возбудитель парши яблони

Возбудителем парши яблони выступает сумчатый гриб *Venturia inaequales* (Cooke) Wint., имеющий конидиальную стадию *Fusicladium dendriticum* (Wallr.) Fuckel. Подробные сведения о его биологических и экологических характеристиках, а также данные о микроскопическом строении изложены в разделах 1.3 и 1.4 Обзора литературы.

2.4. Методики исследований

2.4.1. Методика опытов по оценке биологической эффективности фунгицидов яблони и фитосанитарного мониторинга болезней яблони

Для проведения закладки опыта по оценке биологической эффективности фунгицидов против парши яблони и фитосанитарного мониторинга в 2022 г. в Мичуринском саду был выбран квартал площадью 1 га, с высаженными на нём разновозрастными деревьями яблони, выровненными по типу подвоя. Яблони размещались рядами по 33 дерева, годы посадки варьировали от 2011 до 2020 гг. Фоновых фунгицидных обработок в данном квартале не проводили, что обеспечило наличие высокого инфекционного фона. Агротехнические мероприятия включали в себя весеннюю обрезку, двукратную междурядную обработку почвы в период вегетации почвофрезой Керланд К1400 на глубину 10 см. Для подавления однолетних и многолетних сорняков между деревьями применяли гербицид Торнадо, ВР (360 г/л глифосата кислоты) из расчета 4-6 л/га. В мае вносили компостируемый навоз из расчета 40 т/га.

Полевые исследования в 2023-2024 гг. проводили на территории промышленного яблоневого сада в ООО «Лучи Солнца» 2016 года посадки, где в качестве посадочного материала были использованы сортовые саженцы на подвое 54-118, схема посадок 5x2,5 м (800 деревьев/га). Агротехнические мероприятия включали в себя ранневесеннюю обрезку в конце марта – начале апреля, прополку междурядий, окашивание раз в 2-3 недели приствольных кругов, полив в засушливые периоды.

Опыт закладывали по методике полевых опытов, принятой в регистрации фунгицидов, в пятикратной повторности, где каждое дерево принималось за отдельную повторность (Методические указания..., 2009). Размещение делянок — последовательное, между вариантами опыта оставляли деревья без обработок, чтобы не допустить сноса препаратов в процессе опрыскивания. Учетные деревья находились в центре рядов для исключения краевого эффекта. Деревья помечали ламинированными номерами с цветовой индикацией по вариантам опыта. Учётные ветви с 4-х сторон дерева (2 ветви со стороны междурядий, 2 между деревьями) помечали полипропиленовым шпагатом для учёта симптомов парши яблони (рис. 1).



Рисунок 1. – Маркировка деревьев по номерам с цветовой индикацией вариантов опыта - слева). Учётная ветвь для учёта симптомов парши – справа (ориг.)

В хозяйстве осуществляли фоновые обработки инсектицидами с периодичностью раз в две недели. В середине и конце апреля выполнили профилактическое опрыскивание всех деревьев, в том числе опытных и

контрольных вариантов, — сначала препаратом Бордоская жидкость, ВСК (172 г/л меди сульфата трёхосновного) в фазе «зелёный конус», а затем препаратом Полирам ДФ, ВДГ (700 г/л метирама) в фазе «мышинное ушко». При этом строго соблюдали регламенты применения, рекомендованные производителями средств защиты растений.

Обработку исследуемыми фунгицидами выполняли с использованием аккумуляторного ранцевого опрыскивателя Greenworks G40BPSK8. Расход рабочей жидкости составлял 1000 л/га и корректировался с учётом возраста и габитуса растений. Опрыскивания проводили при благоприятных погодных условиях: скорость ветра не превышала 3 м/с, что обеспечивало равномерное распределение рабочего раствора по поверхности листьев. Рабочую жидкость готовили непосредственно перед применением в баке опрыскивателя. Для определения pH воды использовали универсальную индикаторную бумагу — показатель составил 7,0 (нейтральная среда) (рис. 2). Обработки проводили в утренние или вечерние часы при температуре воздуха не выше +25 °С (Баздырев, Г.И., 2025).



Рисунок 2. – Определение pH воды для рабочего раствора - слева. Ранцевый опрыскиватель Greenworks – справа (ориг.).

Для определения динамики разложения остаточных количеств действующих веществ в листьях и плодах яблони для исследуемых фунгицидов

полевые опыты во всех зонах закладывали на делянках площадью 30 м², расположенных рандомизированно в однократной повторности. Обработку проводили вне зависимости от биологических регламентов применения, отсчитывая от даты предполагаемой уборки урожая заявленный изготовителем срок ожидания препарата для определения даты последней обработки. Фаза развития в момент последней обработки - рост плодов. В день обработки отбирали либо листья, либо плоды, далее отбирали плоды по схеме, описанной в МУК (Долженко и др., 2024). Отбор образцов для определения остаточных количеств препаратов осуществляли в соответствии с МУК (Унифицированные правила..., 1983). Растительные образцы помещали в двойные пакеты с этикетками и транспортировали менее, чем за 4 часа к месту расположения морозильников. Замораживали при температуре - 18°C и далее хранили при этой же температуре в морозильной камере до дня анализа.

2.4.2. Схема вариантов опыта с применением фунгицидов

В 2022 году схема опытов была построена на отдельном применении препаратов. В фазу формирования завязей 16 июня провели первую обработку опытных растений всеми препаратами. Далее с интервалом 15-16 дней (2 июля, 18 июля, 2 августа) в соответствии с регламентами производителя обработали фунгицидами Мерпан, СП (500 г/кг каптана), Шрапнель, ВГ (700 г/кг дитианона) и Раёк, КЭ (250 г/л дифеноконазола). Вторую обработку препаратом Знаток, ВДГ (500 г/кг трифлуксистробина) провели 18 июля 2022 г. Нормы применения фунгицидов приведены в таблице 6.

В 2023 году препараты также применяли отдельно. Четырёхкратное опрыскивание фунгицидом Мерпан, СП с нормой применения 3 кг/га и Шрапнель, ВГ с нормой применения 0,7 кг/га проводили 01.06, 12.06, 22.06 и 03.07.2023. Двукратная обработка препаратами Знаток, ВДГ (0,14 кг/га) и АгроШлем, ВДГ (0,2 кг/га) была проведена 01.06.2023 и 12.06.2023 года. Первые признаки парши на листьях в виде желтоватых пятен без налета были отмечены 09.06.2023, примерно через неделю после первого опрыскивания опытными

фунгицидами. В связи с резким нарастанием распространенности и развития парши 14 июля руководством сада было принято решение провести фоновую обработку препаратом Раёк, КЭ (250 г/л дифеноконазола). Контрольные варианты также были обработаны, что обеспечило возможность корректно продолжить опыт.

Таблица 6

Регламенты применения фунгицидов и даты обработок

Вариант/препарат	Норма применения	Кратность	Даты обработок				
			2022	2023	2024		
Знаток, ВДГ (500 г/кг трифлуксизобин а)	0,14 кг/га	2	16.06.2022; 18.07.2022	01.06.2023; 12.06.2023			
АгроШлем, ВДГ (750 г/кг ципродинила)	0,2 кг/га		-				
Раёк, КЭ (250 г/л дифеноконазола)	0,2 л/га	4	16.06.2022; 02.07.2022; 18.07.2022; 02.08.2022	-			
Мерпан, СП (500 г/кг каптана)	3 кг/га			01.06.2023; 12.06.2023;			
Шрапнель, ВГ (700 г/кг дитианона)	0,7 кг/га			22.06.2023; 03.07.2023			
Шрапнель, ВГ (700 г/кг дитианона) / АгроШлем, ВДГ (750 г/кг ципродинила)	0,7 кг/га /0,2 кг/га	3+2			31.05.2024; 10.06.2024; 21.06.2024 - Шрапнель, ВГ; 01.07.2024; 12.07.2024 - АгроШлем, ВДГ		
Мерпан, СП (500 г/кг каптана) / Знаток, ВДГ (500 г/кг трифлуксизобин а)	3 кг/га /0,14 кг/га				-	-	31.05.2024; 10.06.2024; 21.06.2024 - Мерпан, СП; 01.07.2024; 12.07.2024 - Знаток, ВДГ
Обработки хозяйства: Медея, МЭ + Раёк, КЭ (эталон)	1 л/га /0,2 л/га				2+1		
Контроль (обработка водой)	-	Опрыскивание водой при каждом сроке применения фунгицидов					

В 2024 году схему опытов составили для того, чтобы изучить комбинированное последовательное применение контактных и системных

фунгицидов в сравнении с принятой в хозяйстве системой защиты от болезней. В ходе исследования были заложены четыре варианта опыта:

- Принятая в хозяйстве система защиты яблони от болезней: Медея, МЭ (50 г/л дифеноконазола + 30 г/л флутриафола) 1 л/га – 5 июня 2024 г.; Раёк, КЭ (250 г/л дифеноконазола) 0,2 л/га – 19 июня 2024 г., Медея, МЭ 1 л/га – 8 июля 2024 г.;

- Предлагаемая схема защиты №1: контактный фунгицид Мерпан, СП (500 г/кг каптана) трёхкратно - 3 кг/га (31.05.2024, 10.06.2024, 21.06.2024); системный фунгицид Знаток, ВДГ (500 г/кг трифлуксистробина) двукратно - 0,14 кг/га (01.07.2024, 12.07.2024);

- Предлагаемая схема защиты №2: контактный фунгицид Шрапнель, ВГ (700 г/кг дитианона) трёхкратно - 0,7 кг/га (31.05.2024, 10.06.2024, 21.06.2024); системный фунгицид ЦипАгро, ВДГ (750 г/кг ципродинила) двукратно - 0,2 кг/га (01.07.2024, 12.07.2024);

- Контрольный вариант: растения обрабатывали водой в дни, совпадающие с датами обработок в исследуемых схемах защиты.

Статистическая обработка полученных о биологической эффективности результатов проведена методами дисперсионного и корреляционного анализов (Доспехов Б.А., 1985) с использованием пакета прикладных статистических программ Excel 2007 и надстройки AgCStat 2012 для статистической оценки и анализа результатов полевых и лабораторных опытов.

2.4.3. Фитосанитарный мониторинг

В рамках исследования 2022 г. учёты болезней проводили сплошным методом в основные фенофазы: 1) фаза «зелёного конуса»; 2) цветение; 3) образование завязей; 4) рост плодов. В промежутках между ними с периодичностью раз в 1–2 недели делали обследования, направленные на раннее выявление признаков заболеваний.

Для проведения мониторинга заболеваний проводили маршрутные обследования, используя визуальный (глазомерный) метод, оценка поражённости

давалась в баллах. Распространённость и развитие болезней рассчитывались по стандартным формулам:

$$1. P = (n \times 100) : N;$$

$$2. R = (\sum n \times b) \times 100 : N \times K;$$

где P – распространённость болезни, %; R – развитие болезни, %; n – количество больных растений (листьев, плодов) в пробе, штук; N – общее количество больных и здоровых растений (листьев, плодов) в пробе, штук; $\sum n \times b$ – сумма произведений числа больных растений (органов) (n) на соответствующий им балл поражения (b), штук \times балл; K – высший балл учётной шкалы (Методические указания, 2009).

Уточняющие определения родового состава фитопатогенных грибов осуществляли с использованием методов влажной камеры, микробиологического на искусственной питательной среде (КГА с антибиотиком) и при микроскопировании по методу раздавленной капли (Белошапкина и др., 2024; Кирай, 1974).

В 2023-2024 гг. фитопатологический мониторинг мучнистой росы, пятнистостей листьев, а также комплекса некрозно-раковых поражений ветвей и штамбов яблони осуществляли в конце лета 24.08.2023 и 23.08.2024. Мониторинг плодовой гнили провели в те же даты для большей части сортов, за исключением Мантета, Папировки и Красного раннего, плоды которых были убраны в первой декаде августа. Особенности мониторинга парши яблони на листьях и плодах описаны в п. 2.4.4.

Учёты наиболее распространённых болезней яблони в саду проводили по представленным ниже методикам.

Филлостиктоз. Осматривали по 40 листьев на 5-ти деревьях каждого сорта (по 10 листьев с каждой из 4-х сторон). Для определения степени поражения листьев использовали четырёхбалльную шкалу: 0 – отсутствие поражения; 1 – поражено до 10% поверхности листа; 2 – поражено 11-25% поверхности листа; 3 – поражено 26-50% поверхности листа; 4 – пятна занимают более 50% поверхности листа.

Мучнистая роса яблони. Учёт вторичной инфекции мучнистой росы определяли визуально по степени поражения учётных деревьев (5 шт. каждого сорта) в целом по четырёхбалльной шкале из стандартной методики [ссылка на МУК].

Плодовая гниль яблони. Осматривали по 35 плодов на 5-ти деревьях каждого сорта. Учёт проводили в период массового проявления болезни на плодах. Степень поражения определяли по пятибалльной шкале из стандартной методики.

Черный рак, обыкновенный рак и цитоспороз яблони. Осматривали по 10 деревьев каждого сорта, равномерно распределённых в насаждениях. Оценка поражённости деревьев болезнями давали глазомерно по наличию или отсутствию симптомов поражения скелетных ветвей и/или штамба. Результаты записывали в таблицу и рассчитывали степень распространённости болезни по стандартной формуле.

2.4.4. Мониторинг распространённости и развития парши

В 2022 г. учёты парши яблони провели 2 июля, 18 июля через 2 недели после 1-й и 2-й обработок. Учёт 28 августа был проведён для оценки последствий применённых фунгицидов. Использовали визуальный (глазомерный) 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. Эффективность фунгицидов оценивали дифференцированно — по степени поражения листьев, плодов и в совокупности, что позволило дать многоуровневую характеристику результативности исследуемых схем.

Для оценки интенсивности поражения паршой руководствовались разработанной 5-балльной фотошкалой: 0 – отсутствие поражения; 1 – поражено 1-10% поверхности листа; 2 – поражено 11-25% поверхности листа; 3 – поражено 26-50% поверхности листа, пятна крупные с тёмным налётом гриба; 4 – пятна

занимают более 50% поверхности листа; крупные, сливающиеся, с тёмным налётом спороношения гриба.

Для учёта поражённости плодов руководствовались следующей шкалой: 0 – плоды здоровые; 1 – пятна на плодах мелкие, единичные, часто опробковевшие; 2 – пятна на плодах единичные (2-3), диаметром 5 мм, со слабым налетом спороношения или старые опробковевшие; 3 – пятна в значительном количестве, крупные (5-10 мм), сливающиеся, с тёмным налётом спороношения, возможны трещины; 4 – пятна многочисленные, крупные (10 мм и более), местами сливающиеся, с тёмным налётом спороношения, на плодах возможны глубокие трещины (Касатов, 2023; Касатов 2025) (рис. 3).

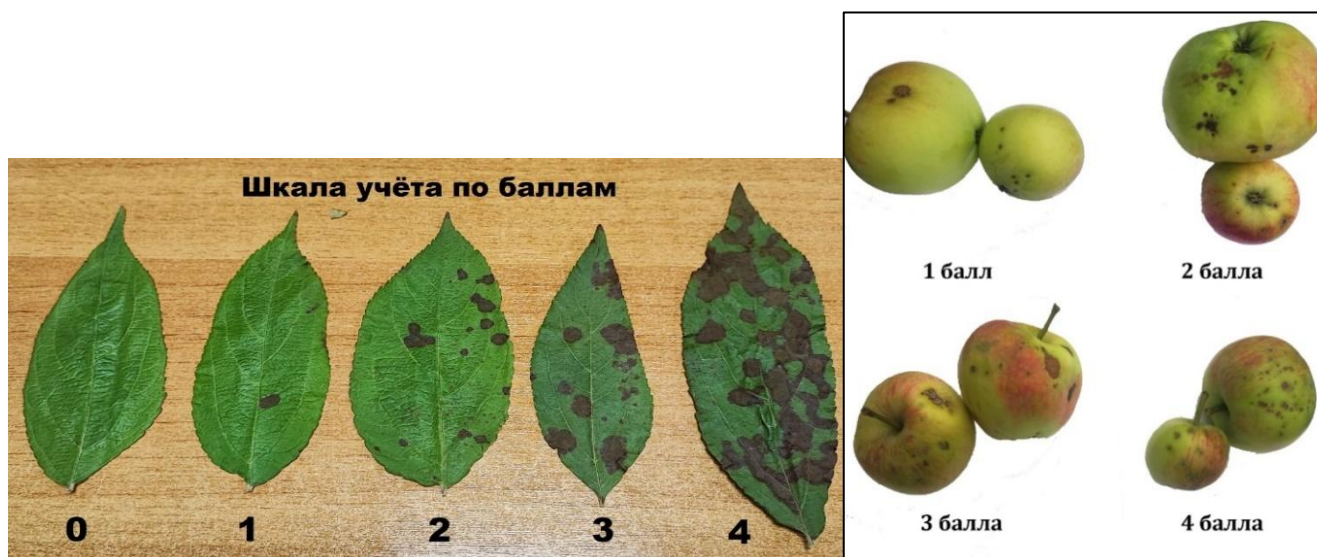


Рисунок 3. – Фотошкалы оценки интенсивности поражения паршой листьев и плодов яблони (ориг.).

Для наглядного представления табличных результатов исследования и упрощения последующего анализа данных использовали механизм условного форматирования в программе Microsoft Excel. Этот метод даёт возможность автоматически корректировать оформление ячеек в зависимости от содержащихся в них числовых значений (Кузнецов, 2025). В рамках визуализации была применена цветовая градация от зелёного к красному: ячейки с наименьшими показателями выделялись зелёным цветом, а с наибольшими — красным. Подобное цветовое кодирование наглядно отражает динамику нарастания распространённости и развития заболевания, позволяя оперативно выявлять

участки с высокой степенью поражения.

2.4.5 Методика анализа метеоданных и прогнозирования развития парши

В качестве источника эталонных данных среднемесячной температуры воздуха, минимальных температур, суммарных осадков и расчётного ГТК за два полных вегетационных сезона 2023 и 2024 гг. были использованы показания метеостанции № 27417, г. Клин (расположенной в 13 км от сада) из архивов Всемирной Метеорологической Организации. В качестве локального источника пользовались данными, зарегистрированными станцией КаiproMini 2.1 (Макушин, 2019), установленной в пределах производственного сада. ГТК рассчитывали по формуле Сеянинова (Сеянинов Г.Т., 1928, Переведенцев Ю.П., 2012), позволяющей интегрально оценить сочетание температурного параметра и влагообеспечения. Отдельно был выполнен анализ частоты, продолжительности и интенсивности весенних заморозков с учётом влияния на развитие парши яблони.

Прогностические модели для *V. inaequales* (Cooke) Wint. строили на основе параметров температурного окна (10–18 °C), продолжительности смачивания поверхности листа (>10 ч), и инкубационного периода на базе полученных через локальную метеостанцию данных и инструментов прогноза интеллектуальной платформы Agrokeeper (Касатов, 2025). Анализировали эпизоды, соответствующие высокому, среднему и низкому уровню риска развития парши. Сравнение проводили с реальными данными учётов парши на сортах яблони Мантет, Мелба и Лобо.

Для оценки нормальности распределения данных погодных условий по показателям локальной метеостанции применяли критерий Шапиро–Уилка, который показал, что выборки не соответствуют нормальному распределению ($p < 0,05$). Это обусловило использование непараметрического критерия Манна–Уитни для независимых выборок.

В ходе исследования использовали два источника метеорологических данных. В качестве эталонных выступили архивные сведения метеостанции № 27417 (г. Клин), находящейся в 13 км от сада, из фондов Всемирной

Метеорологической Организации. Данные охватывали два полных вегетационных сезона 2023 и 2024 гг. и включали показатели среднемесячной температуры воздуха, минимальных температур и суммарных осадков, а также расчётный гидротермический коэффициент (ГТК). Локальные данные регистрировала метеостанция КаироMini 2.1 (Макушин, 2019), размещённая в пределах производственного сада. ГТК рассчитывали по методике Селянинова (Селянинов Г.Т., 1928; Переведенцев Ю.П., 2012), которая позволяет интегрально оценить соотношение температуры и влагообеспеченности. Дополнительно выполнили анализ весенних заморозков — их частоты, продолжительности и интенсивности с учётом влияния этих явлений на развитие парши яблони.

Для построения прогностических моделей развития *V. inaequales* (Cooke) Wint. учитывали три ключевых параметра: температурный диапазон 10–18 °С, продолжительность смачивания листовой поверхности свыше 10 часов и инкубационный период. Базу данных формировали на основе показаний локальной метеостанции и прогнозов интеллектуальной платформы Agrokeep (Касатов, 2025). Моделирование включало оценку эпизодов с высоким, средним и низким риском развития парши с последующим сопоставлением результатов с фактическими данными учётов заболевания на сортах Мантет, Мелба и Лобо.

При статистической обработке данных о погодных условиях сначала проверили нормальность распределения по критерию Шапиро–Уилка, который выявил несоответствие выборок нормальному закону ($p < 0,05$). В связи с этим для сравнения независимых выборок использовали непараметрический критерий Манна–Уитни.

2.4.6. Методика обучения цифровой модели YOLO для оценки балла поражения паршой листьев яблони

Для определения парши на листьях яблони и вычисления процентного соотношения поражённых участков к общей площади листа была использована модель компьютерного зрения YOLOv10 (Kutyrev et al., 2025). На территории сада Солнечногорского района в 2024 г. собрали обучающий датасет. Для съёмки

использовали камеру мобильного телефона Xiaomi 11T Pro с разрешением 2252x4000 при дневном освещении с расстояния 0,1–0,3 м.

Датасет, состоящий из 1000 изображений, был структурирован путём разделения на три независимых набора данных для обеспечения оптимального баланса классов и снижения вероятности переобучения модели. Наибольшую часть (800 изображений) составил тренировочный набор, который служил основой для непосредственного обучения модели и настройки её параметров. Для контроля качества обучения и своевременного выявления признаков переобучения использовали валидационный набор данных объёмом 100 изображений: он позволил оценить производительность модели на каждом этапе обучения без влияния на процесс настройки параметров. Завершающим этапом стала итоговая оценка эффективности обученной модели на тестовом наборе из 100 изображений. Этот набор использовался исключительно для независимой проверки обобщающей способности модели, что обеспечивало объективность полученных результатов.

Для разметки изображений использовали инструмент CVAT (Computer Vision Annotation Tool) (Reim et al., 2024). Для хранения данных о проведенной разметке использован формат JSON (JavaScript Object Notation). Каждый лист в фокусе изображения выделяли по контуру. Дополнительно обозначали контуры пятен парши для последующей оценки относительной площади поражения листа.

Модель была реализована с использованием фреймворка PyTorch 2.0. Обучение проводилось с использованием оптимизатора AdamW, который эффективно регулирует веса модели (Ablation study, 2025). Для предотвращения переобучения использовались дропаут слои и аугментация данных (сдвиги, повороты, изменения яркости). Входные изображения подавались в модель с разрешением 640x640 пикселей, чтобы сохранить баланс оптимального соотношения между детализацией и вычислительными затратами (Касатов и др., 2024).

Для анализа точности сервиса цифрового зрения для оценки симптомов листовой формы парши яблони проведено сравнение результатов относительно

визуальных учетов по пятибалльной фитопатологической шкале. Для апробации метода использована выборка, включающая 179 фотографий симптомов парши, которые охватывают три категории поражения: листья со сливающимися пятнами, листья с отдельными пятнами и здоровые листья без симптомов. Для каждого образца фиксировали тип поражения, отношение площади пятна поражения к общей площади листа и балл визуальной оценки. Далее рассчитывали процент поражения, определенный цифровым методом, балл цифровой оценки и визуальный процент поражения.

Для описания тенденций и вариабельности оценок применены методы описательной статистики. Оценка силы и направления линейной связи между двумя методами выполнена с помощью коэффициента корреляции Пирсона (r) с последующим расчетом коэффициента детерминации (R^2), интерпретируемого как доля дисперсии цифровых оценок, объясняемая вариацией визуальных оценок наблюдателя, проводившего визуальные учёты (Vock et al., 2008). Ключевым методом оценки согласия между методами стал анализ по Бланду-Альтману, который позволяет разделить систематическую и случайную составляющие ошибки. Дополнительно для каждого наблюдения вычислялись абсолютная ошибка и ее среднее значение, дающее интуитивно понятную оценку средней величины расхождения в процентах поражения. Для оценки классификационной точности сервиса при отнесении листьев к конкретным баллам фитопатологической шкалы использован анализ матрицы ошибок. Для учета возможных случайных совпадений при классификации применен коэффициент каппа Коэна, который показывает степень согласия между методами за вычетом доли случайных совпадений и интерпретируется согласно общепринятой шкале: значения менее 0,40 соответствуют слабому согласию, 0,41–0,60 — умеренному, 0,61–0,80 — существенному. Дополнительно проведен стратифицированный анализ с расчетом перечисленных метрик отдельно для различных типов пятен (сливающиеся, отдельные, здоровые листья), что позволило выявить факторы, влияющие на точность цифровой диагностики.

2.4.7. Методика определения фотосинтетических пигментов

Для оптимизации методики оценки азотного баланса листьев яблони в 2024 г. в рамках основных исследований был проведен опыт, включающий четыре варианта в пятикратной повторности (каждое дерево – повторность).

Количественное определение фотосинтетических пигментов провели 3 июля после проведения обработок системными препаратами в вариантах с исследуемыми схемами защиты от парши с использованием классической методики экстрагирования 100 % ацетоном (25 мл из 0,1 г навески листьев) с последующим анализом полученной вытяжки с помощью спектрофотометра СФ-104 (Россия) в трехкратной повторности (Holm, 1954, Sautkina, 2022, Дымова, 2019).

Измерения портативным флавоноид- и хлорофиллметром Dualex (Force-A, Франция) (N-тестером) с последующим вычислением индекса азотного баланса растений (NBI) (Гиниятуллин, 2022) проводили на 30 листьях каждого варианта 3 июля и 3 сентября для сравнения состояния листьев в момент применения средств защиты растений и после окончания защитного эффекта фунгицидов (Kasatov и др., 2024; Касатов, Белошапкина, 2025).

Статистическую обработку результатов осуществляли с помощью программ Excel 2007 и надстройки AgCStat 2012 для статистической оценки и анализа результатов полевых и лабораторных опытов. Для выявления взаимосвязей между фотосинтетическими параметрами листьев яблони был проведён анализ по методу Спирмена, что обусловлено отклонением распределений всех исследуемых показателей от нормального закона, установленным по результатам теста Шапиро–Уилка ($p < 0,05$ для всех переменных). Для анализа различий в содержании флавоноидов, хлорофиллов и антоцианов между группами по возрасту листьев был использован критерий Краскела–Уоллиса, который подходит для сравнения более двух независимых выборок при ненормальном распределении данных.

2.4.8. Методика оценки биохимических и качественных показателей плодов

Измерения качественных параметров плодов урожая 2024 г. провели в начале сентября. Среднюю массу плодов определяли на аналитических весах с точностью до 0,1 г, взвешивая по 25 яблок из каждого варианта. Твёрдость плодов оценивали твердомером модели FT 327 с наконечником площадью 1 см². Сухое вещество, сахара, аскорбиновую кислоту и общую кислотность определяли по общепринятым методикам (ГОСТ 28561-90, ГОСТ 8756.13-87; Ягодин, 1987, Петербургский, 1968).

Для обработки результатов измерения массы плодов и их твердости использовали двухфакторный дисперсионный анализ в программе Excel 2007 и надстройку AgCStat 2012. Для биохимических показателей качества плодов осуществляли расчёт среднего значения по трём повторностям измерений.

2.4.9. Методика микроскопирования инфекционных структур *V. inaequalis*

Материалом для исследования в 2024 г. послужили плоды трёх сортов яблони: Мантет, Мелба и Лобо. Оценка элементного состава кожуры проводили методом энергодисперсионной спектроскопии (ЭДС) с помощью приставки к электронному микроскопу Tescan MIRA3 LMH – AZtecOne X-act. Для изучения в СЭМ пробы кожуры яблок фиксировали в 10%-ом нейтральном формалине, промывали в дистиллированной воде, проводили через спирты возрастающей концентрации (от 30 до 100%) и ацетон. Далее высушивали в критической точке на установке Leica EM CPD300. Для создания токопроводящей поверхности, образцы напыляли золотом на установке S150A Sputter Coater (Хацаева Р.М., 2018). При анализе результатов, полученных методом энергодисперсионной спектроскопии, проводили серию однофакторных дисперсионных анализов (ANOVA), выполненных для каждого химического элемента, по трём независимым факторам.

Весной 2025 года из-под приствольных кругов деревьев сортов Мантет и Лобо в вариантах с применением каптана + трифлуксистробина, хозяйственными обработками и контролем отобрали перезимовавшие листья с развивающейся на

них телеоморфной (аскоспоровой) стадией парши яблони. Листья каждого варианта в пятикратной повторности помещали во влажную камеру. Аскоспоры при созревании перитециев улавливали предметным стеклом, смазанным вазелином и далее накрывая покровным стеклом учитывали в полях зрения светового микроскопа ADF B50 при увеличении x40. При подсчёте аскоспор рассчитывали $НСР_{0,05}$.

2.4.10. Методика определения остаточных количеств действующих веществ фунгицидов

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 (ВЭЖХ) и газовой хроматографии (ГХ) с использованием соответствующих детекторов:

- Трифлуксистробин – МУК 4.1.1232-03;
- Каптан – МУК 4.1.2455-09;
- Ципродинил – МУК 4.1.1026-01;
- Дитианон – МУК 4.1.1424-03.

Отобранные пробы листьев и плодов были доставлены в лабораторию в замороженном виде и далее хранились в морозильной камере при температуре – 18°C. Перед анализом пробы листьев измельчали ножницами, а пробы плодов - при помощи лабораторной терки. Сок получали прямым отжимом.

Обработку данных проводили с использованием электронных таблиц программ Excel 2007. Используемые методики прошли процесс валидации в аналитической лаборатории и соответствуют критериям валидационных характеристик, установленных Директивой ЕС №SANTE/11945/2015 (European Commission, 2015).

ГЛАВА 3. Мониторинг микозов яблони и прогнозирование развития парши

3.1. Результаты фитосанитарного мониторинга яблоневых садов в Московском регионе

Изменения климата существенно влияют на все отрасли экономики, особенно сельское хозяйство, которое напрямую зависит от климатических условий. По данным Института глобального климата и экологии, более 65% всех наблюдений оказались в среднем за год выше климатической нормы, например, среднегодовая температура выросла на 1°C на территории России (Ранькова и др., 2022). Подобные изменения способствуют формированию новых более агрессивных популяций фитопатогенов, непосредственно влияют на условия их перезимовки, способствуют расширению с юга на север ареала традиционно более теплолюбивых видов, продлению периодов вредоносности. В связи с этим необходимо регулярное проведение фитосанитарных мониторингов в целях своевременного и обоснованного принятия решений об обработках и недопущения экономически значимых потерь урожая.

Фитосанитарный мониторинг в Мичуринском саду РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева в 2022 г. начали с оценки заболеваний коры весной до распускания листьев. В результате в конце апреля 2022 г. на опытной деланке были обнаружены деревья, поражённые патогенами родов *Nectria* (P=2%), *Diplodia (Sphaeropsis)* (P=8%), *Schizophyllum* (P=24%), *Chondrostereum* (P=2%), *Cytospora* (P=20%).

Хондростереум (*Chondrostereum purpureum* (Pers.) Pouzar), возбудитель инфекционного млечного блеска (рис. 4), и щелелистник (*Schizophyllum commune* Fr.), вызывающий белую гниль древесины (рис. 5), являются раневыми факультативными паразитами и здоровые деревья не поражают, однако на опытной деланке были условия, способствующие их широкому распространению – регулярные повреждения нижних частей ствола и корней в результате культивации междурядий и окашивания триммером при высокой плотности

посадки, отсутствие защитных обработок.

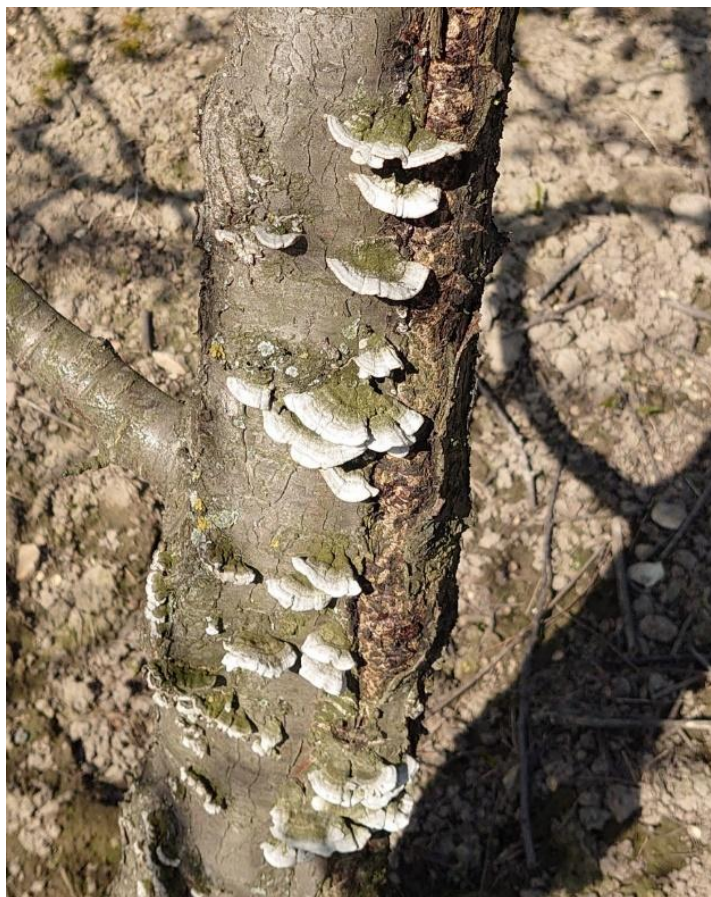


Рисунок 4. – Плодовые тела хондростереума на штамбе яблони (ориг.)

До появления листьев на деревьях также хорошо заметны прошлогодние мумифицированные плоды, с которых были выделены культуры грибов из родов *Monilia* и *Cladosporium*. Из 50 обследованных растений мумии были обнаружены в кроне 3-х деревьев, а прошлогодняя мумифицированная падалица, служащая первичным источником заражения *Monilinia fructigena* (Pers.) Honey, обнаруживалась под большинством деревьев разных сортов.

Обследование, проведённое в фазу окрашивания бутонов, показало значительную распространённость в насаждениях мучнистой росы яблони (*Oidium farinosum* Cooke (телеоморфа *Podosphaera leucotricha* (Ellis & Everh.) E.S. Salmon). Максимальной распространённости заболевание достигло к фазе формирования завязей, её значение составило 18%. Погодные условия в 2022 году с частыми осадками в апреле и отсутствие защитных обработок повлияли на интенсивное развитие весной данного заболевания. Следует отметить, что налёт мицелия и спороношения наблюдался в основном именно на соцветиях и

практически не переходил на вегетативные части растений. Дальнейшее распространение, вероятно, было сдержано начавшимися сильными дождями.



Рисунок 5. – Мумифицированный плод яблони, поражённый монилиозом (ориг.)

При учётах в фазы полного цветения (06.05.2022) и образования завязей (20.05.2022) новых признаков заболеваний выявлено не было. Следующее обследование в фазу смыкания чашелистиков (07.06.2022) показало, что наиболее поражённые мучнистой росой побеги и плодовые образования яблонь усохли. Признаков монилиального ожога на яблонях выявлено не было.

Также в фазу смыкания чашелистиков были обнаружены первые признаки поражения растений паршой яблони (*Venturia inaequalis* (Cooke) G. Winter). Повторное обследование проводили через 7 дней, при этом симптомы заболевания явно обнаруживались на листьях и формирующихся плодах. Следующее обследование, проведенное в фазу образования черешковой ямки, показало, что симптомы парши отчётливо проявлялись на листьях, и в меньшей степени на плодах. Вначале обследования проводили глазомерно оценивая симптоматику поражённых листьев и плодов, дальнейшие – согласно

рекомендуемой методике по разработанной фотошкале. Методика обследования по парше приведена подробно в главе 2.

В ходе мониторинговых учётов 2023–2024 гг. на территории яблоневого сада в Солнечногорском районе были выявлены различные заболевания с некрозно-раковыми поражениями ветвей и штамбов (рис. 6). Среди них диагностированы: цитоспороз (*Cytospora carphosperma* Fr.), чёрный рак (*Botryosphaeria stevensii* Shoemaker) и обыкновенный нектриозный рак (*Neonectria* sp.). На отдельных деревьях зафиксировано заражение полипоровым грибом щелелистником обыкновенным (*Schizophyllum commune* Fr.), который в последние годы активно распространяется в Московском регионе, поражая древесные декоративные культуры, такие как липа, клён и вяз. На двух соседних деревьях сорта Баргузин в кроне обнаружены побеги с листьями, демонстрирующими типичные признаки млечного блеска. На коре этих экземпляров выявлены единичные мелкие сухие сероватые плодовые тела, предположительно принадлежащие грибу хондростереум пурпурный (*Chondrostereum purpureum* (Pers.) Pouzar), вызывающему разрушение коры и древесины.

Анализ выборки из 10 деревьев каждого сорта показал, что наибольшую степень комплексного поражения патогенами продемонстрировал сорт Рождественское: у него зафиксированы поражения сразу тремя упомянутыми возбудителями с частотой 40 % по каждому. Сорта Валюта, Мантет и Мелба характеризовались высокой распространённостью чёрного рака: до 50 % у Валюты, 40 % — у Мантета и 30 % — у Мелбы. У Антоновки обыкновенной отмечены симптомы обыкновенного нектриозного рака с показателем распространённости $P=20\%$.

Выявленная динамика распространения некрозно-раковых заболеваний указывает на необходимость корректировки агротехнических мероприятий. В частности, требуется усовершенствовать схемы и методы санитарной обрезки. В хозяйстве практикуется обрезка без дезинфекции инструмента. Кроме того, целесообразно усилить контроль за качеством посадочного материала и оптимизировать размещение новых деревьев, размещая их в посадочных ямах на

удалении от мест, где ранее росли поражённые и выкорчеванные из-за болезни растения.

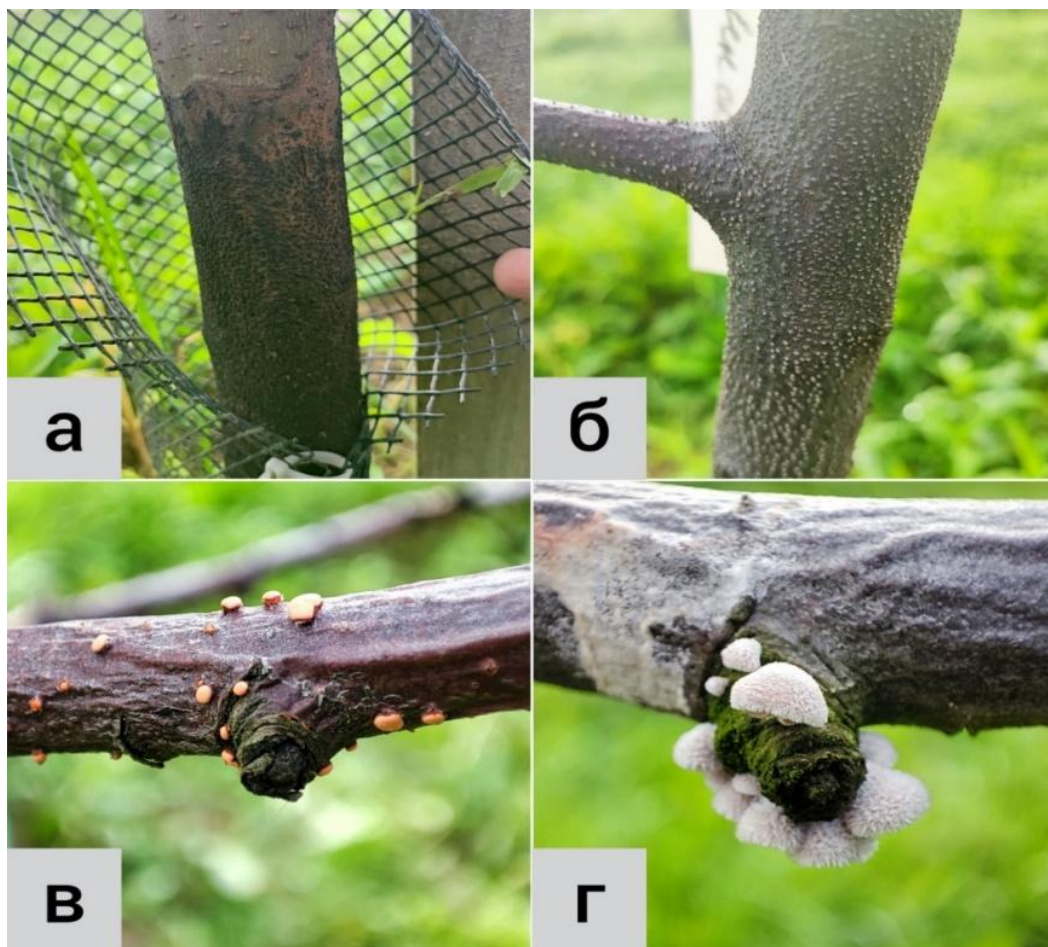


Рисунок 6. – Некрозно-раковые поражения штамба и ветвей яблони: а - чёрный рак; б – цитоспороз; в - обыкновенный нектриозный рак; г – щелелистник обыкновенный (ориг.)

На плодах яблони разных сортов были отмечены массовые поражения монилиозной плодовой гнилью (*M. fructigena* (Pers.) Honey) с характерными симптомами в виде мягкой коричневой гнили и плотно-слизистого бело-серого налёта спороношения (рис. 7). Из-за перепадов влажности воздуха образовывались микротрещины в коже плодов, при этом выделяющиеся капли сока привлекали ос (сем. *Vespidae*), разносивших конидии гриба-возбудителя. Это усилило заражённость плодов разных сортов яблони в 2023 г.: распространённость на Мантете была 21,1 %, развитие 12,2 %, на Антоновке обыкновенной 20,6 % и 9,8 %, соответственно, на Лобо 17,1 % и 9,9 %, на Ханни Крисп - 17,7 % и 9,5 %.

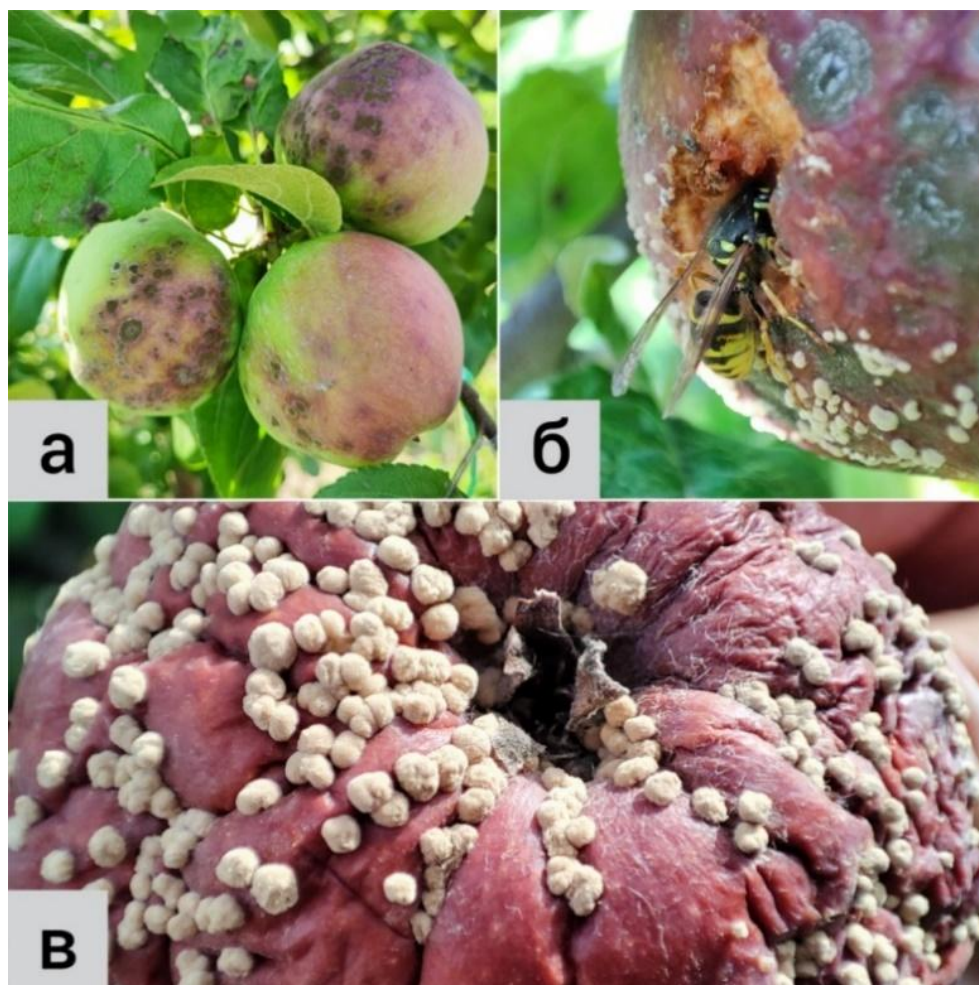


Рисунок 7. – Болезни плодов: а – парша; б – комплексное поражение монилизом и паршой с повреждением осой; в – спороношение монилиальной плодовой гнили (ориг.)

В 2024 году отмечено усиление интенсивности развития плодовой гнили на яблонях. У сорта Мантет показатели распространённости и развития заболевания составили 42,3 % и 22,2 %, соответственно, у Мелбы — 23,4 % и 11,7 %, у Лобо — 22,9 % и 10,1 %, а у Антоновки — 32 % и 13,8 %. Особенно заметным оказался рост показателей у деревьев сорта Красное раннее, где значения достигли 21,7 % по распространённости и 9,4 % по развитию болезни. Примечательно, что в 2023 году этот сорт демонстрировал высокую устойчивость к заболеванию. Некоторые сорта, включая Папировку, Валюту, Дарк Идол и Орловим, в течение двух лет проявляли стабильную восприимчивость к плодовой гнили. В то же время сорта Имрус, Уэлси и Полосатое Орловское характеризовались низкими уровнями поражения, что позволяет рассматривать их как перспективные для включения в адаптивные схемы создания устойчивых плодовых садов.

Проведённый мониторинг подтвердил, что плодовая гниль остаётся одним из наиболее значимых компонентов патогенного комплекса яблони, особенно в условиях повышенной влажности и при наличии механических повреждений плодов.

Отдельного внимания заслуживает филлостиктоз листьев яблони. Несмотря на то, что его выраженность существенно уступает парше, заболевание регистрируется ежегодно и способно наносить ощутимый ущерб за счёт снижения ассимиляционной поверхности листовой пластинки при благоприятных для возбудителя условиях. Были случаи, когда симптомы филлостиктоза обнаруживались на листьях, одновременно поражённых паршой (рис. 8).

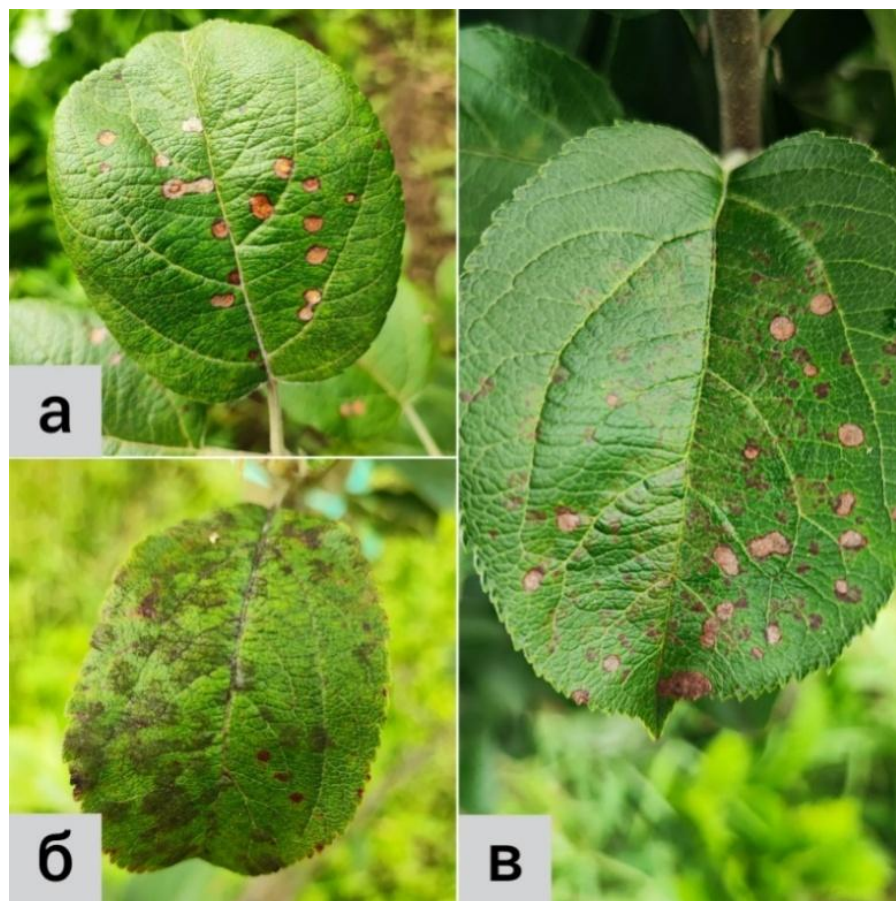


Рисунок 8. – Пятнистости листьев: а – филлостиктоз; б – парша; в – совместное поражение филлостиктозом и паршой (ориг.)

По результатам фитопатологического мониторинга в 2023 году максимальная поражённость филлостиктозом отмечена у трёх сортов яблони: Баргузин (22,5 % распространённости и 12,8 % развития), Беркутовское (15 % и 8 %) и Рождественское (15,5 % и 7,3 %). Другие исследованные сорта

продемонстрировали минимальную восприимчивость к возбудителю.

В 2024 году общий уровень поражения филлостиктозом остался на прежнем уровне, но сорт Папировка показал резкий скачок заболеваемости: распространённость (P) составила 53,5 %, развитие (R) — 25 %. Это, скорее всего, связано с неблагоприятными погодными факторами в июле–августе и особенностями генетической устойчивости сорта. В то же время у сортов Дарк Идол, Имрус, Орловим, Полосатое Орловское, Уэлси и Ханни Крисп признаки филлостиктоза отсутствовали в оба года наблюдений.

Помимо филлостиктоза и парши, в исследуемые сезоны отмечали поражения яблони мучнистой росой, особенно выраженные на сортах Ветеран и Мантет. Патоген проявлялся в виде мучнисто-белого налёта на листьях и побегах, что вызывало угнетение прироста и снижение товарной ценности плодов.

В 2023 году сорт Ветеран показал распространённость мучнистой росы 15,5 % при развитии 14,5 %, что указывает на существенную локальную нагрузку. У Мантета показатели были умеренными — 11,5 % и 8,5 %. В 2024 году произошло некоторое усиление: у Ветерана распространённость возросла до 19,5 %, развитие — до 15,6 %; у Мантета — до 15 % и 9,9 %. Несмотря на невысокие абсолютные значения, кумулятивный эффект заболевания при регулярных вспышках требует учёта при планировании защитных мероприятий.

3.2. Агрометеорологический мониторинг и динамика развития парши яблони

3.2.1. Агрометеорологический мониторинг и агромодель прогноза созревания аскоспор *V. inaequalis*

Агроклиматические условия весны 2023 года отличались экстремально низкими температурами в первой половине марта, что вызвало значительное смещение сроков наступления фенологических фаз у яблони, в том числе сокодвижения и распускания почек. Апрель характеризовался аномальной сухостью: гидротермический коэффициент (ГТК) не превышал 0,5, что создавало неблагоприятные условия для начала активизации парши яблони. Дефицит влаги ограничивал выброс и заражающую способность зрелых аскоспор, поскольку их

жизнедеятельность напрямую зависит от продолжительности увлажнения субстрата.

В отличие от предыдущего года, вегетационный сезон 2024-го начался с умеренно прохладного марта, а в апреле наблюдалось более интенсивное повышение температуры и рост количества осадков. К третьей декаде апреля ГТК достиг значения 2,66 — это соответствует условиям, благоприятным для активной споруляции и первичных заражений возбудителем парши. При наличии первичных инокулюмов такие агроклиматические параметры способствовали формированию продолжительных инфекционных окон. Высокая влажность в сочетании с температурным диапазоном 12–18 °С значительно повышала вероятность успешного заражения молодых листьев.

Значимым фактором стресса, как для растений, так и для патосистемы в целом, послужили весенние заморозки. В 2023 году вегетационный период начался только 28 апреля, при этом заморозки наблюдались с 30 апреля по 9 мая. Наиболее опасным днём стал 7 мая, когда температура достигла -5 °С.

В 2024 году вегетация началась 3 апреля и длилась 163 дня, но уже с 4 апреля были зафиксированы эпизоды заморозков до -3,4 °С. Эти низкие температуры приходились на фенологические фазы бутонизации и начала раскрытия листьев, что повышало проницаемость тканей и делало их уязвимыми к негативным факторам.

Существенное влияние на состояние растений и патосистемы оказали весенние заморозки. В 2023 году начало вегетации пришлось на 28 апреля, при этом период заморозков охватывал даты с 30 апреля по 9 мая, а пик пришёлся на 7 мая (-5 °С). В 2024 году начало вегетации было более ранним — 3 апреля, общая её продолжительность составила 163 дня. Но уже 4 апреля зафиксированы заморозки до -3,4 °С, которые совпали с фазами бутонизации и начального раскрытия листьев (рис. 9, 10). Это повышало проницаемость растительных тканей и усиливало их восприимчивость к негативным внешним воздействиям.

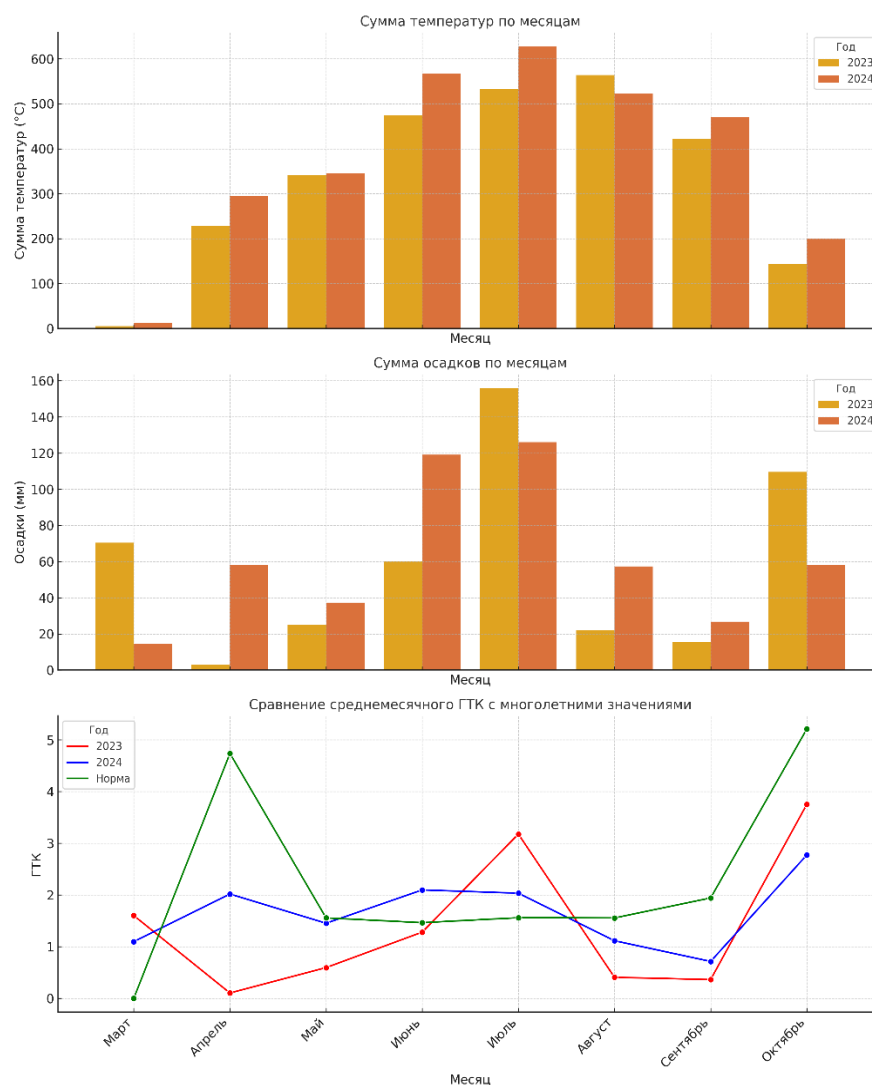


Рисунок 9. – Климатические условия (сумма температур, осадков) и сравнение ГТК с многолетними значениями в плодовом саду по данным метеостанции №27417 (Московская область, Солнечногорский район, 2023-2024 гг.)

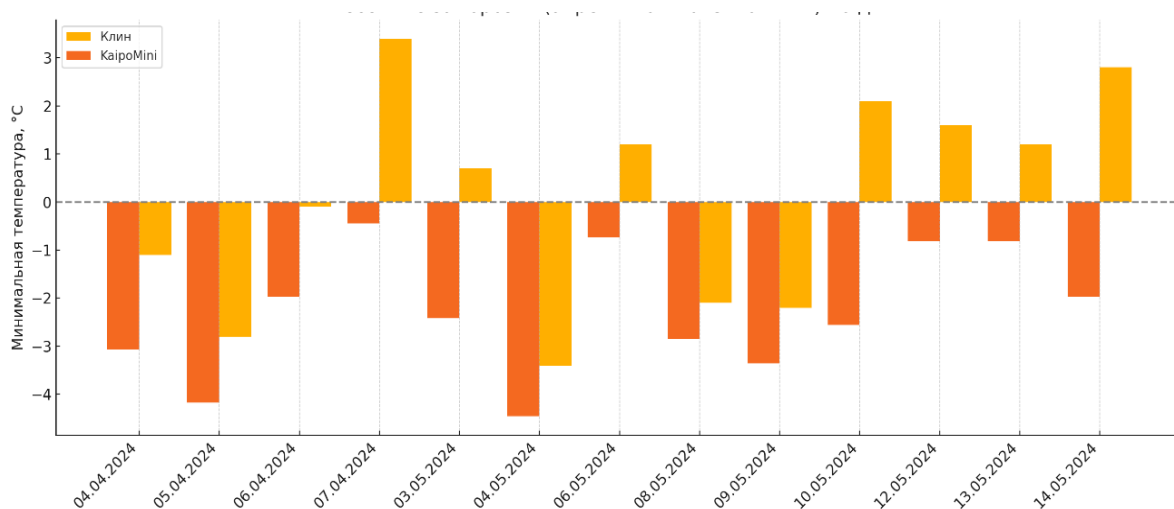


Рисунок 10. – Динамика весенних заморозков в плодовом саду (Московская область, Солнечногорский район, 2024 г.)

Для оценки расхождений в метеорологических данных между государственной метеостанцией № 27417 (г. Клин) и локальной станцией КаироMini 2.1, размещённой в центре сада, был проведён сравнительный анализ ежедневных показателей среднесуточной температуры, минимальной температуры воздуха и количества осадков за 2023–2024 гг. Статистическую проверку различий выполняли с использованием непараметрического критерия Манна–Уитни. Результаты показали, что среднесуточные температуры в центральной части сада были в среднем на 1,3 °С ниже, чем на региональной станции. Однако данное различие не достигло уровня статистической значимости при заданном уровне $\alpha = 0,05$ ($p = 0,058$). В то же время минимальная температура, зафиксированная станцией КаироMini, оказалась статистически значимо ниже данных метеостанции г. Клина — на 2,1 °С ($p = 0,0015$). Этот факт подтверждает наличие локального охлаждающего эффекта, который, вероятно, обусловлен особенностями рельефа и наличием окружающей сад лесной растительности. Кроме того, анализ осадков выявил, что их суммарное количество, зарегистрированное локальной станцией, превышало показатели стационарной метеостанции на 73,4 мм ($p = 0,000048$). Это свидетельствует о повышенной влажности в пределах сада, что создаёт более благоприятные условия для развития инфекционных заболеваний растений даже на фоне относительно благополучных метеоусловий в регионе (Касатов, Белошапкина, Хохлов, 2025). Во второй половине весны и начале лета складывались условия, благоприятные для вторичных заражений конидиями возбудителя парши. Продолжительные периоды с высокой влажностью, выпадающие осадки и температуры в пределах 15–20 °С создавали типичную предрасположенность для эпифитотий. С учётом совпадения ключевых эпидемиологически значимых факторов становится обоснованным применение прогностических моделей, базирующихся на данных локального метеомониторинга.

Для оценки развития парши на стадии первичного заражения аскоспорами использовали агромодель интеллектуальной платформы Agrokeep. В её основе — температурные и гидрометеорологические данные, регистрируемые локальной

метеостанцией КаiproMini 2.1. Модель анализировала периоды увлажнения листьев, их продолжительность и соответствие температурным условиям, необходимым для активации аскоспор *V. inaequalis* (Касатов, Белошапкина, Хохлов, 2025).

Биологические особенности прорастания аскоспор *V. inaequalis* предполагают обязательное наличие свободной влаги на листовой поверхности и температурный диапазон 5–24 °С. Оптимальные условия для прорастания наблюдаются при 16–24 °С. При этом существует обратная зависимость между температурой и необходимой длительностью увлажнения: для инфицирования при 6 °С требуется не менее 25 часов увлажнения, а при 24 °С — всего 6 часов. Продолжительность инкубационного периода варьирует от 6 до 21 суток, сокращаясь до 9–17 суток при умеренно тёплых условиях (18–20 °С), что ускоряет цикл развития патогена. Агромодель интеллектуальной платформы Agrokeep, используемая для прогнозирования развития парши яблони (*V. inaequalis*), весной 2024 года предсказала раннее появление первичных симптомов инфекции (рис. 11).



Рисунок 11. – Агромодель интеллектуальной платформы Agrokeep, прогнозирующая созревание аскоспор *V. inaequalis* на основе данных локальной метеостанции в 2024 г. в яблоневом саду Солнечногорского района Московской области. Зелёным цветом отмечены низкоинтенсивные периоды начала и конца развития сезона первичной инфекции, жёлтый цвет – созрели 50-55% аскоспор, красный цвет – созревание 95-100% аскоспор.

Первый сигнал о благоприятных условиях для начала сезона заражения был получен 2 апреля, последующие сигналы — 3 и 17 мая. Согласно модели 10% спор должны были быть зрелыми к 22 мая, 20% - к 26 мая, 55% - к 1 июня, 95% - к 9 июня, и 100% - к 15 июня. Окончание выброса аскоспор прогнозировалось на 16 июня. Таким образом, модель указывала на длительный инфекционный период с пиком в конце мая-начале июня. Визуальные наблюдения в саду показали, что первые симптомы парши — жёлтые маслянистые пятна на листьях — появились в первой декаде мая (в фазу цветения), что подтверждает заражение в конце апреля — начале мая, совпадающее с одним из прогнозируемых периодов риска.

К 29 мая на сорте Мантет без применения фунгицидов распространённость достигла 50 %, указывая на множественные заражения в течение месяца, тогда как модель прогнозировала только 20 % зрелых спор. Это может свидетельствовать либо о недооценке интенсивности заражения, либо о высокой восприимчивости сорта. На сортах Мелба и Лобо показатели (21–24 %) хорошо соответствовали прогнозу. К середине июня 100% аскоспор были зрелыми, и новые заражения первичной инфекцией, вероятно, уже не происходили, а на листьях продолжали развиваться симптомы от заражений, произошедших в мае.

Мы сопоставили прогноз модели развития конидиальной (анаморфной) стадии парши яблони с фактическими данными мониторинга. В конце мая-начале июня близилось окончание инкубационного периода аскоспоровой стадии (телеоморфной). Хотя модель конидиальной стадии в этот момент ещё не демонстрировала значительной активности, условия влажности к началу июня начали создавать предпосылки развития вторичных инфекций. В первой декаде июня модель предсказывала несколько эпизодов с уровнями риска от «низкого» до «среднего», обусловленных увлажнением продолжительностью до 35 часов при температурах 15–16 °С. Эти прогнозы были подтверждены ростом фактической поражённости у Мантета до 58,2 % уже к 21 июня. Таким образом, диагностируемые моделью инфекционные окна в начале лета адекватно предвосхищали нарастание симптомов в течение 7–10 дней, что соответствует биологической длительности инкубационного периода *V. inaequalis*.

Наиболее точное соответствие между прогнозными данными агромоделей и фактическими наблюдениями было зафиксировано в июле. Уже 1 июля распространённость парши на сорте Лобо достигла 62,7 %, а к 12 июля на всех трёх исследуемых сортах была отмечена интенсивная эпифитотия, причём максимальная распространённость зафиксирована на сорте Мантет — до $R = 90,3\%$. В дальнейшем развитие болезни сопровождалось соответствующими прогнозами модели о высоком риске заражения в августе. Начиная с 14 августа агромодель фиксировала «высокий» уровень риска с ожидаемым появлением симптомов к 26–29 августа. Эти расчёты полностью подтвердились результатами визуальных наблюдений: к 23 августа все сорта демонстрировали практически полную поражённость листьев (до 100 %), что свидетельствует об успешном развитии позднелетней волны инфекции.

Полученные данные демонстрируют, что агромодель корректно отражает интенсивность и хронологию развития заражений конидиями на протяжении всего вегетационного сезона. Это подтверждает её практическую ценность как инструмента оперативного фитосанитарного мониторинга. Использование модели позволяет эффективно планировать и своевременно корректировать схемы фунгицидной защиты, учитывая текущие погодные условия в режиме реального времени и предупреждая пики эпифитотийного развития болезни, что в конечном итоге способствует повышению эффективности защитных мероприятий.

3.2.2. Фитопатологический мониторинг парши яблони

Исследование биологической эффективности фунгицидов против парши сопровождалось систематическим фитопатологическим мониторингом. Обобщение данных по поражённости листьев яблони различных сортов за 2023–2024 гг. позволило выявить выраженную зависимость интенсивности эпифитотии от агроклиматических условий. В более тёплом и влажном 2024 году наблюдалось значительное усиление развития болезни (рис. 12).

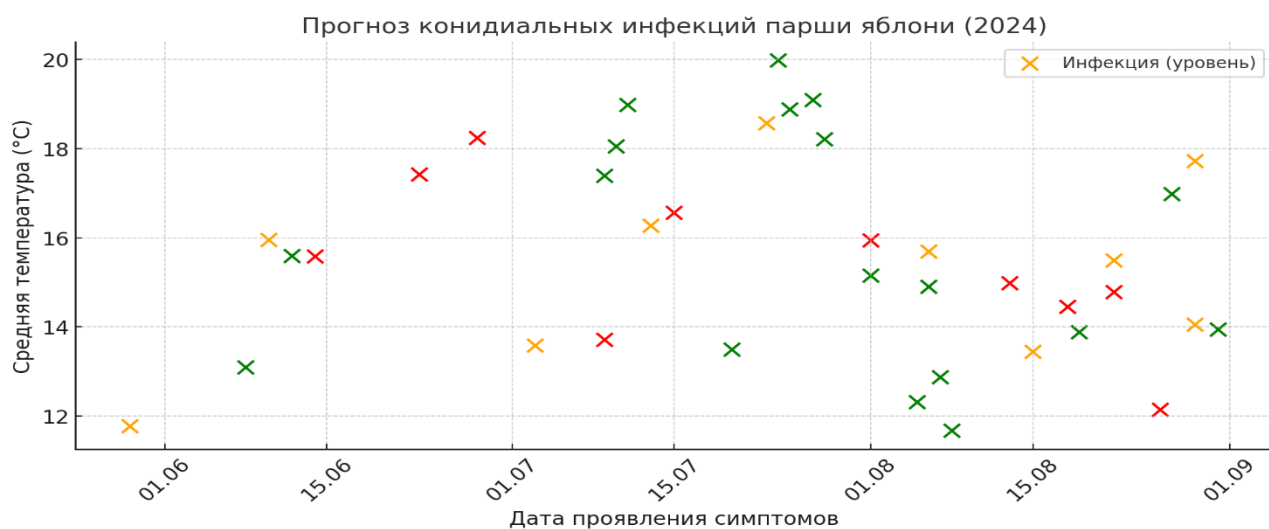


Рисунок 12. – Прогнозируемые даты проявления симптомов парши яблони и соответствующие им средние температуры, при этом цвет точек обозначает прогнозируемый уровень конидиальной инфекции: зелёный — низкий, оранжевый — средний, красный — высокий.

Наибольшую восприимчивость к парше яблони в 2024 году проявили сорта Лобо, Мантет и Мелба. У всех трёх распространённость болезни достигала или приближалась к 100 %, при этом степень развития заболевания превышала 76 %. При сопоставлении с данными 2023 года прослеживается существенный рост интенсивности поражения. В частности, на сорте Лобо в предыдущем сезоне распространённость парши фиксировалась на уровне 53,5 %, а развитие — 23 %, что наглядно демонстрирует влияние агрометеорологических условий на динамику эпифитотийного процесса.

Сорт Дарк Идол продемонстрировал высокую восприимчивость к парше: в 2024 году распространённость заболевания составила 54 %, а степень развития — 27,4 %. Сорт Красное раннее показал отчётливую прогрессирующую динамику по обоим показателям: если в 2023 году распространённость достигала 30 %, а развитие — 13,4 %, то в 2024-м значения возросли до 58,5 % и 29,1 % соответственно.

В противоположность этим сортам, Имрус и Орловим проявили высокую устойчивость к патогену — в обоих сезонах показатели поражения оставались нулевыми, что позволяет рассматривать их как практически иммунные к парше. К группе относительно устойчивых сортов, характеризующихся минимальной

динамикой роста поражённости по годам, отнесены Беркутовское, Валюта, Рождественское и Ханни Крисп.

Результаты фитопатологического мониторинга подтвердили прогнозы развития парши яблони, сделанные на основе анализа агрометеорологических условий. В 2024 году рост поражённости большинства сортов был обусловлен сочетанием повышенной влажности, благоприятным температурным режимом и более ранним началом вегетации. Эти условия способствовали активному первичному заражению весной и создали предпосылки для интенсивного развития вторичных инфекций в летний период (Касатов, Белошапкина, Хохлов, 2025).

Табличные данные по динамике распространённости и развития парши на сортах Мантет, Мелба и Лобо за два сезона наглядно демонстрируют различия в нарастании заболевания (рис. 13). В 2024 году показатели поражённости значительно превышают значения 2023 года, что подтверждает ключевую роль агроклиматических факторов в развитии эпифитотии.

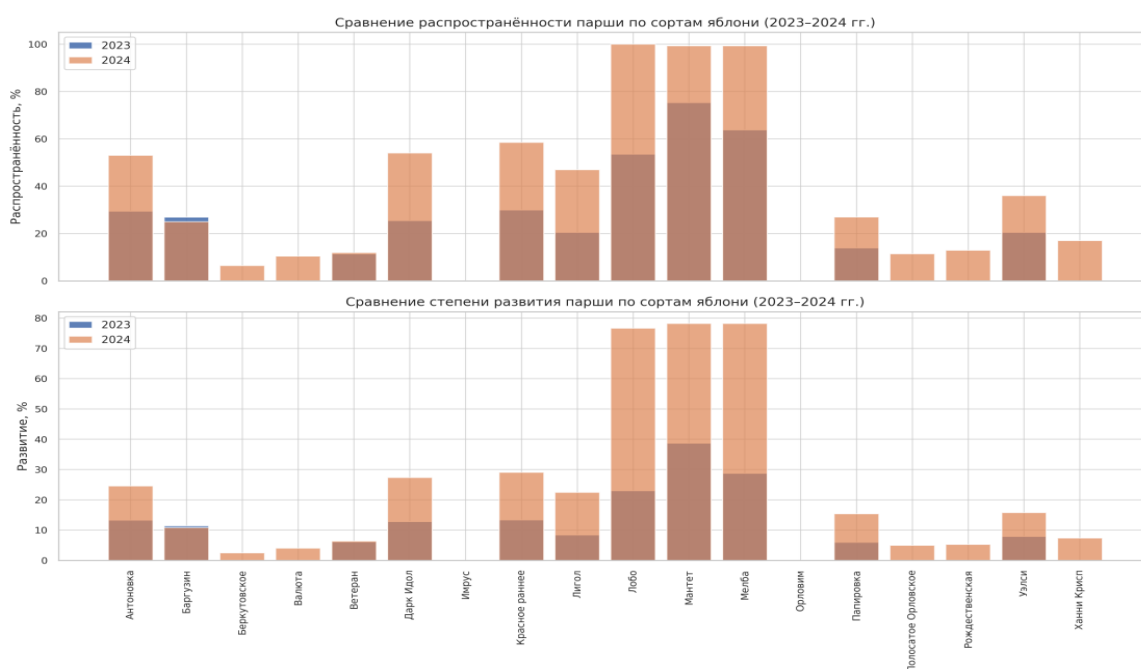


Рисунок 13. – Поражение паршой листьев яблони разных сортов по годам (Московская область, Солнечногорский район, 2023-2024 гг.)

В 2023 году развитие инфекции происходило умеренно и с запаздыванием. Среди всех сортов наиболее уязвимым оказался Мантет: к началу августа

распространённость парши у него превысила 90 %, а развитие заболевания достигла 42 %. В целом же уровень поражённости в этот период был заметно ниже, чем в 2024 году, что особенно проявилось у сортов Лобо и Мелба. Метеорологический анализ подтвердил, что сложившиеся весной и в первой половине лета агроклиматические условия были неблагоприятны для активного развития парши. Ситуация сильно изменилась в 2024 году, когда заболевание приняло эпифитотийный характер. Уже к 1 июля распространённость парши превышала 60 % по всем сортам, а к середине августа достигала 100 %, в том числе у сорта Лобо, ранее проявлявшего относительную устойчивость. Ускорение развития болезни наблюдалось с конца июня, а максимальные показатели (свыше 60 %) были зафиксированы к 23 августа. Эта динамика чётко соотносится с агроклиматическими параметрами сезона — повышенной влажностью, оптимальными температурами и частыми осадками в период активного роста вегетативных органов растений (табл. 7, 8).

При оценке вредоносности парши яблони важно учитывать не только поражение листового аппарата, но и динамику развития болезни на плодах, так как именно снижение их товарного качества определяет экономические потери от заболевания.

Таблица 7

Сравнение распространённости парши на листьях яблони
(Московская область, 2023-2024 гг.)

Дата учета	2023 г.			2024 г.			Дата учета
	Распространённость парши по сортам яблони						
	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	-	-	-	-

В 2023 году наиболее высокие показатели на плодах были зафиксированы у

сорта Мантет: по данным учёта от 10 августа распространённость парши составила 91,3 %, развитие — 53,4 %. Сорта Мелба и Лобо продемонстрировали близкие значения несколько позже — к 24 августа: распространённость — 87,1 %, развитие — 53,7 %.

Таблица 8

Сравнение развития парши на листьях яблони
(Московская область, 2023-2024 гг.)

2023 г.				2024 г.			Дата учета
Дата учета	Развитие парши по сортам яблони						
	Мантет	Мелба	Лобо	Мантет	Мелба	Лобо	
-	-	-	-	20,6	4,7	5,2	29.05.2024
-	-	-	-	14,6	4,9	4	10.06.2024
22.06.2023	20,7	18,1	8,6	26,4	11,6	1,9	21.06.2024
28.06.2023	22,8	14,8	11,4	37,9	20,3	21	01.07.2024
13.07.2023	22,4	16,1	20,5	45	31,5	17,8	12.07.2024
28.07.2023	29,2	19,4	25,2	41,3	33,6	38,9	26.07.2024
10.08.2023	41,9	26,3	18	59,4	50,1	50,7	09.08.2024
24.08.2023	44,4	34,1	23,5	62,6	62,6	61,3	23.08.2024
07.09.2023	38,2	31,3	20,7	-	-	-	-

Сезон 2024 года отличался более ранним началом и ускоренным нарастанием поражения плодов (рис. 14). Уже к 21 июня у Мантета распространённость достигла 30,6 %, у Мелбы — 20,2 %, у Лобо — лишь 2,9 %, что указывает на разную восприимчивость сортов.

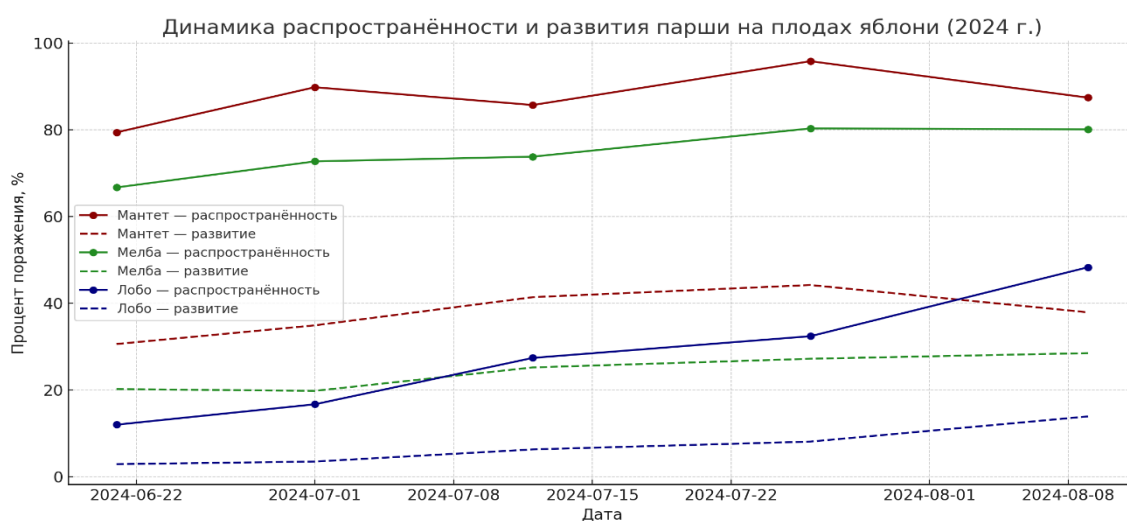


Рисунок 14. – Динамика распространённости и развития парши на плодах яблони, 2024 г.

К 26 июля развитие болезни достигло пиковых значений: у Мантета

распространённость составила 95,8 %, развитие — 44,2 %; у Мелбы — 80,3 % и 27,2 % соответственно; у Лобо — 32,4 % и 8,1 %. У сорта Мантет первые признаки поражения фиксировались на 2–3 недели раньше, чем у Лобо, что подчёркивает необходимость ранней диагностики заболевания и своевременного применения фунгицидных профилактических обработок завязей. Это особенно критично в условиях высокого инфекционного фона, когда вероятность массового заражения существенно возрастает.

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

Использование алгоритмов компьютерного зрения и моделей машинного обучения представляет собой одно из перспективных направлений экспресс-диагностики болезней растений (Lee, 2011; Khirade, 2015; Liu, 2017). Разработки в этой области ориентированы на классификацию патологий по визуальным признакам, фиксируемым на цифровых изображениях (Mahlein, 2016)

Современные свёрточные нейронные сети зарекомендовали себя как наиболее эффективные модели для распознавания биологических объектов среди всего многообразия архитектур нейронных сетей (Sladojevic, 2016; Терещенко, 2021). Для решения задачи обнаружения объектов на изображениях и видео в реальном времени был выбран алгоритм YOLO (You Only Look Once). Данная свёрточная архитектура выполняет комплексную обработку визуальных данных: не только идентифицирует присутствующие на изображении объекты, но и определяет их пространственное расположение через предсказание ограничивающих прямоугольников (bounding boxes), а также присваивает соответствующие классы. В исследовании использован метод трансферного обучения (Transfer Learning), который позволяет адаптировать предварительно обученные модели к новой задаче с меньшими вычислительными затратами и сокращённым объёмом обучающих данных (Karmokar, 2015; Rahman, 2020).

При проведении визуальных учётов поражения листьев паршой яблони интерпретация результатов во многом зависит от опыта исследователя и его

состояния. Для более точного и объективного мониторинга симптомов парши яблони на листьях нами разработан цифровой сервис детекции на основе машинного обучения, включая свёрточные нейронные сети. Он содержит функционал по загрузке и обработке фотографий листьев яблони с последующим их анализом с помощью нейронных сетей. Сервис включает в себя возможность аналитики полученных результатов и предоставляет информацию о процентном соотношении здоровых и поражённых участков листьев, которую потом можно перевести в баллы в соответствии с выбранной шкалой ранжирования.

Процесс обучения был организован с использованием графического ускорителя NVIDIA A100, что обеспечило высокую скорость обработки данных; полный цикл обучения, составивший 50 эпох, занял приблизительно 2 часа.

Процесс оптимизации параметров модели был основан на стратегии постепенного разогрева (warm-up), при которой начальное значение скорости обучения (learning rate) было установлено на относительно высоком уровне для активного исследования пространства весов с последующим плавным снижением для точной подстройки и сходимости. Был выбран оптимальный размер пакета (batch size), равный 16, что позволило балансировать между стабильностью градиентного спуска и эффективным использованием видеопамяти. Кривые обучения, отслеживающие динамику функции потерь (loss) как на обучающей, так и на валидационной выборках, демонстрируют устойчивую сходимость модели без выраженных признаков переобучения (рис. 15).

После завершения обучения была проведена комплексная оценка качества модели на независимой тестовой выборке. Итоговые метрики, представленные в таблице, подтверждают высокую эффективность разработанного решения (табл. 9).

Значение метрики Precision (Точность), равное 93,2%, указывает на низкий уровень ложных срабатываний модели: подавляющее большинство предсказанных ею областей парши действительно являются поражённой тканью. Значение Recall (Полнота) в 91,8% свидетельствует о способности модели

обнаруживать подавляющее большинство истинных поражений на листьях, минимизируя пропуски. Ключевой для задач детекции и сегментации метрикой является mAP (средняя точность по всем порогам уверенности), достигшая 92,5%, что отражает стабильно высокую точность модели в целом. Гармоническое среднее F-score, также составившее 92,5%, подтверждает сбалансированность модели по критериям точности и полноты.

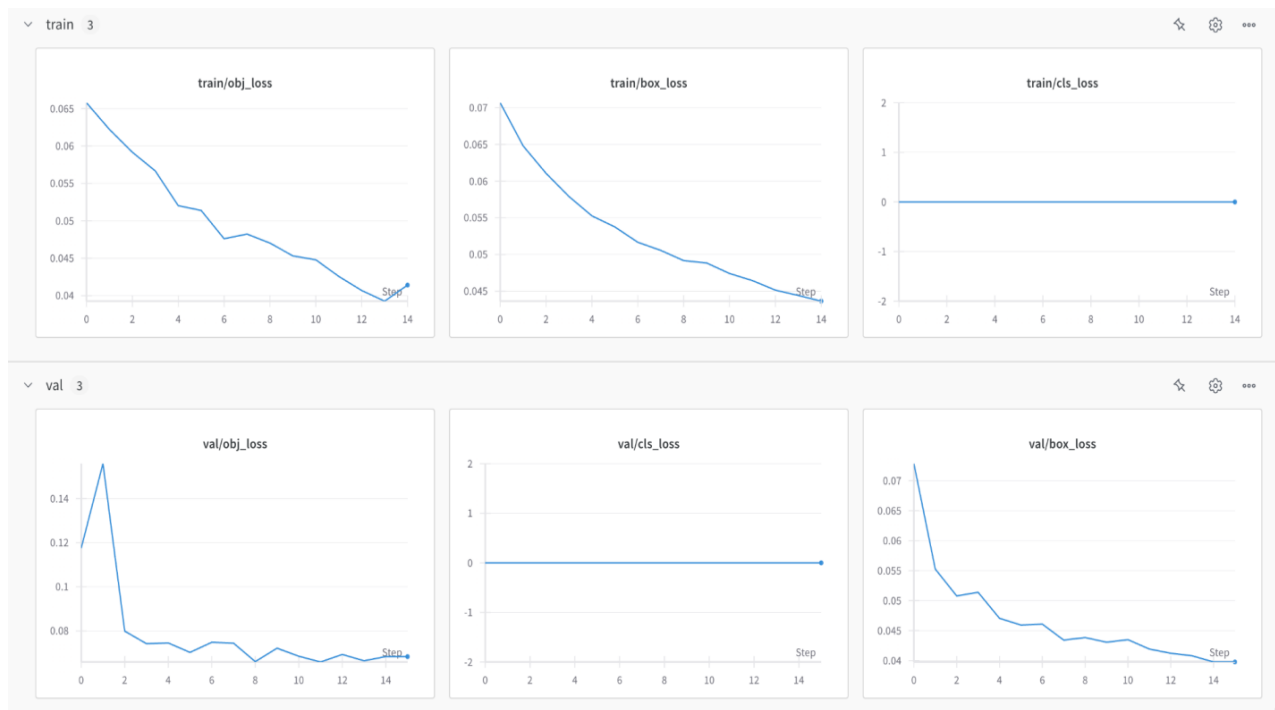


Рисунок 15. – Кривые обучения, отображающие динамику функции потерь (loss) на обучающей и валидационной выборках.

Полученные результаты, выраженные в показателях, принятых в научном сообществе компьютерного зрения, объективно демонстрируют надежность и высокую эффективность модели YOLOv10 в задаче автоматизированного выявления парши. Достигнутый уровень точности создает прочную основу для последующего расчета площадей поражения, описанного в предыдущих разделах. Для дальнейшего повышения обобщающей способности модели перспективными направлениями являются увеличение объема и разнообразия обучающей выборки, а также улучшение качества размеченных данных.

Метрики на тестовой выборке при комплексной оценке качества модели

Метрика	Значение
Precision	93,2%
Recall	91,8%
mAP	92,5%
F-score	92,5%

Наилучшая точность достигнута на изображениях с чёткими признаками парши с явно выраженными пятнами заболевания (рис. 16). Ошибки возникали при сложных фонах, тенях или при симптомах заболевания, когда парша распространена на всю площадь листа, поражает лист по жилкам или не имеет спороношения и проявляется лишь в небольшом хлорозе.

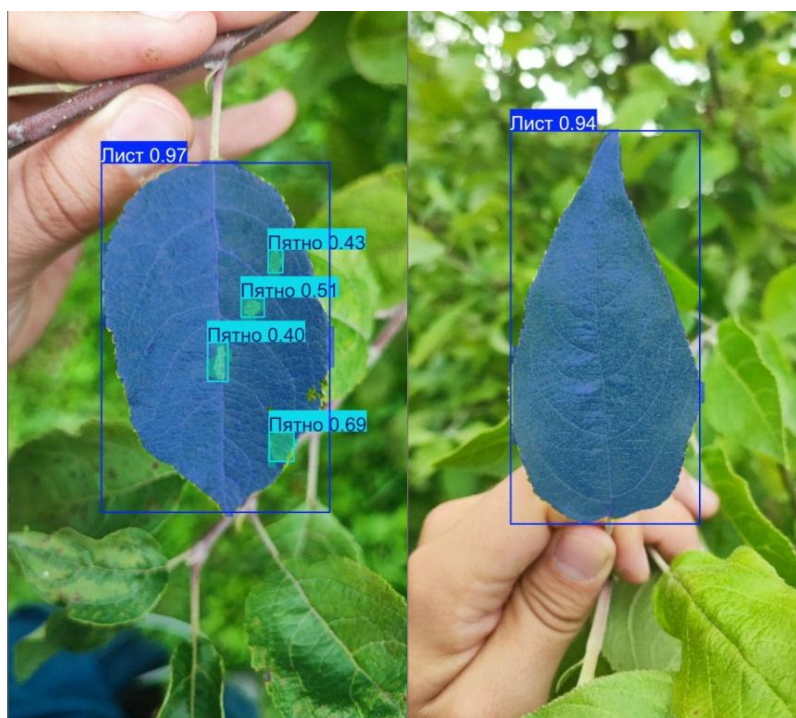


Рисунок 16. – Пример определения цифровым сервисом области листа и пятна поражения паршой яблони (ориг.)

Полученные результаты оценки фотографий учётных листьев (179 шт.) характеризуются значительной гетерогенностью, что отражает реальное разнообразие в полевых условиях (табл.10). Среднее значение цифрового процента поражения по всей совокупности составило 14,2% при стандартном отклонении 21,9%, тогда как средний визуальный процент поражения оказался несколько выше - 17,8 % со стандартным отклонением 24,2%. Медианные

значения составили 3,6% для цифровой оценки и 5,5% для визуальной, что свидетельствует о преобладании в выборке образцов с низкой степенью поражения. Диапазон варьирования цифровых оценок составил от 0% до 98,7%, в то время как визуальные оценки охватывали интервал от 0% до 75%. Важно отметить, что максимальные значения визуальных оценок ограничены верхней границей пятого балла, которая в используемой шкале соответствует 75% поражения, что является средним процентом диапазона оценки в 4 балла (от 51% до 100% поражения).

Таблица 10

Общая характеристика выборки учётных листьев (N = 179)

Показатель	Цифровой процент	Визуальный процент	Разность (ошибка)	Абсолютная ошибка
Среднее	14,2%	17,8%	-3,6%	8,2%
Медиана	3,6%	5,5%	0,0%	2,2%
Стандартное отклонение	±21,9%	±24,2%	±16,7%	±14,7%
Минимум	0%	0%	-70,9%	0%
Максимум	98,7%	75%	+60,7%	70,9%

Коэффициент корреляции Пирсона между цифровыми и визуальными оценками составил 0,78, что свидетельствует о наличии сильной положительной линейной связи между сравниваемыми методами. Коэффициент детерминации R^2 , равный 0,61, указывает на то, что 61 % дисперсии цифровых оценок объясняется вариацией визуальных оценок, что является достаточно высоким показателем для методов такого рода. Оставшиеся 39 % дисперсии обусловлены факторами, специфичными для цифрового анализа, включая особенности алгоритмов сегментации изображений, влияние условий освещения, а также ошибки идентификации листьев и пятен. Полученное значение корреляции превышает аналогичный показатель для выборки, ограниченной только листьями со сливающимися пятнами, где коэффициент составлял 0,70, что демонстрирует

улучшение согласованности методов при расширении спектра анализируемых образцов.

Для оценки степени согласия между методами и выявлением систематических расхождений использовали метод Бланда-Альтмана, часто применяемый при сравнении измерительных процедур в медицине и биологии (Yellareddygarı et al., 2017). Средняя разность между цифровыми и визуальными оценками, характеризующая систематическую ошибку, составила -3,6% с 95-процентным доверительным интервалом от -6,0% до -1,2% (табл. 11). Отрицательное значение указывает на тенденцию цифрового сервиса к некоторому занижению степени поражения относительно экспертных оценок, однако хоть величина этого смещения является статистически значимой, но практически остаётся небольшой. Стандартное отклонение разностей достигло 16,7 %, что определило достаточно широкие пределы согласия: нижний предел составил минус 36,3 процента, верхний - плюс 29,1 процента. Ширина интервала в 65,4 процентных пункта означает, что для 95 % наблюдений расхождение между методами может находиться в этом диапазоне. Эта величина указывает на ограниченную применимость цифрового сервиса для точной индивидуальной оценки каждого отдельного листа.

Таблица 11

Анализ ошибок по средней разности между цифровыми и визуальными оценками парши (по методу Бланда-Альтмана)

Показатель	Значение	95% доверительный интервал
Систематическая ошибка (Bias)	-3,6%	(-6,0%; -1,2%)
Стандартное отклонение ошибки	±16,7%	—
Нижний предел согласия (LOA)	-36,3%	—
Верхний предел согласия (LOA)	+29,1%	—
Ширина пределов согласия	65,4%	—

Исследование направленности ошибок показало, что в 46,4% случаев наблюдается точное совпадение цифровых и визуальных оценок, что во многом

обусловлено присутствием в выборке большого количества здоровых листьев. Завышение цифровых оценок относительно экспертных зафиксировано в 23,5% наблюдений, тогда как занижение - в 30,2% случаев. Таким образом, при наличии расхождений сервис несколько чаще склонен к занижению оценки поражения, что согласуется с отрицательным значением систематической ошибки. Средняя абсолютная ошибка по всей выборке составила 8,2% со стандартным отклонением 14,7 %, что является приемлемым показателем, но его интерпретация требует учёта значительной доли здоровых образцов, что определяет применимость цифрового метода в условиях слабого и среднего распространения парши яблони.

Наиболее информативным представляется анализ точности в зависимости от степени поражения, классифицированной по пятибалльной шкале. Для здоровых листьев, соответствующих нулевому баллу и составляющих 91 наблюдение, средняя абсолютная ошибка минимальна и равна 0,8% со стандартным отклонением 2,0%, что свидетельствует о высокой надежности идентификации здоровых листьев. Для листьев с 1 баллом, соответствующих поражению в среднем до 5,5 %, средняя абсолютная ошибка возрастает до 4,1% при стандартном отклонении 4,6%, что можно считать удовлетворительным результатом. Ухудшение точности наблюдается для второго балла, соответствующего 18% поражению, где средняя абсолютная ошибка достигает 9,7% со стандартным отклонением 8,2%. Для третьего балла, соответствующего 38% поражению, ошибка увеличивается до 20,3%, а для четвёртого балла, соответствующего 75% поражению, достигает 25,6% (табл. 12). Таким образом, выявляется чёткая закономерность: с увеличением степени поражения точность цифровой оценки закономерно снижается, причем наиболее проблемными являются средние и высокие уровни поражения.

Для оценки способности сервиса правильно относить листья к соответствующим баллам поражения была построена матрица ошибок классификации. Из 91 здорового листа 83 были правильно идентифицированы как 0 балл, что дает полноту 91 процент и точность 94% для этого класса. Из 28 листьев первого балла правильно классифицирован 21, полнота составила 75 %,

однако точность оказалась существенно ниже - 48 %, поскольку в первый балл ошибочно попало 14 листьев второго балла и 8 здоровых листьев. Наиболее проблемным оказался второй балл: из 30 листьев правильно классифицировано только 8, что дает крайне низкую полноту 27%, при точности 47 %. Для третьего балла из 20 листьев верно определено 9, полнота 45 %, точность 50 %. Для четвертого балла из 10 листьев правильно классифицировано 6, полнота 60%, точность 50%. Взвешенная средняя точность классификации составила 72%, полнота 70%, а общая точность классификации достигла 70,9 %.

Таблица 12

Средняя абсолютная ошибка (MAE) по баллам поражения паршой яблони

Балл визуальной оценки	Средний процент диапазона балла визуальной оценки	Количество наблюдений	Средняя абсолютная ошибка	Стандартное отклонение
Балл 0	0%	91	0,8%	±2,0%
Балл 1	5,5%	28	4,1%	±4,6%
Балл 2	18%	30	9,7%	±8,2%
Балл 3	38%	20	20,3%	±17,8%
Балл 4	75%	10	25,6%	±21,4%
Все классы	—	179	8,2%	±14,7%

Ключевым показателем, учитывающим возможные случайные совпадения, является коэффициент каппа Коэна, который составил 0,60. Согласно общепринятой интерпретации, значения каппы в диапазоне 0,41-0,60 соответствуют умеренному согласию, а значения 0,61-0,80 - существенному согласию. Полученное значение 0,60 находится на верхней границе умеренного согласия и вплотную приближается к порогу существенного. Это свидетельствует о том, что, несмотря на выявленные проблемы с классификацией средних баллов, общее согласие между цифровым сервисом и экспертной визуальной оценкой является достаточно высоким и практически достигает уровня, который в научной литературе считается приемлемым для валидации новых методов диагностики.

Раздельный анализ по типам пятен выявил существенные различия в точности цифровой оценки (табл. 13). Для листьев со сливающимися пятнами, представляющими наибольшую сложность для автоматического анализа, средняя абсолютная ошибка составила 21,5% при корреляции 0,70 и систематической ошибке -8,7%. Для листьев с отдельными пятнами, которые легче поддаются сегментации, ошибка существенно ниже - 13,5%, корреляция несколько выше - 0,72, а систематическая ошибка составляет -2,1%, практически приближаясь к нулю. Для здоровых листьев, как уже отмечалось, ошибка минимальна и составляет 0,8%. Таким образом, тип пятен является важным фактором, определяющим точность работы сервиса, причем сливающиеся пятна, характерные для сильного поражения или при слабоспороносящих очагах проявления парши, либо спороношении вдоль прожилок, создают наибольшие трудности для алгоритмов анализа изображений.

Таблица 13

Анализ точности цифровой оценки по типу пятен парши яблони

Тип пятен	N	MAE	Корреляция (r)	Систематическая ошибка
Сливающиеся пятна	30	21,5%	0,70	-8,7%
Отдельные пятна	58	13,5%	0,72	-2,1%
Без симптомов	91	0,8%	1,00*	0%
Все типы	179	8,2%	0,78	-3,6%

**Для здоровых листьев корреляция формально равна 1, так как все значения 0*

С биологической точки зрения, полученные результаты свидетельствуют о принципиальной возможности использования цифрового анализа изображений для оценки поражения яблони паршой, однако с определенными ограничениями. Высокая точность идентификации здоровых листьев и листьев с начальными симптомами имеет важное практическое значение для ранней диагностики и мониторинга распространения болезни. Проблемы с оценкой средних и высоких степеней поражения, особенно при сливающихся пятнах, требуют дальнейшего совершенствования алгоритмов, возможно, с использованием методов машинного

обучения на расширенных обучающих выборках. Широкие пределы согласия по методу Бланда-Альтмана указывают на то, что для индивидуальной оценки каждого конкретного листа цифровой сервис пока не может полностью заменить эксперта, однако для популяционных оценок, усредненных по значительным выборкам, его применение вполне оправдано (табл. 14).

На основании проведенного статистического анализа можно сформулировать следующие основные выводы. Цифровой сервис демонстрирует сильную корреляцию с визуальными оценками и приемлемую среднюю абсолютную ошибку, особенно на здоровых и слабо пораженных листьях. Коэффициент каппа Коэна, равный 0,60, указывает на умеренное согласие, близкое к существенному, что является хорошим показателем для автоматизированных систем такого рода. Основной проблемой остается недостаточно точная классификация листьев со средними баллами поражения, где наблюдается наибольшая путаница между соседними классами. Тип пятен существенно влияет на точность: отдельные пятна оцениваются значительно лучше сливающихся.

Таблица 14

Итоговые метрики точности цифрового метода определения симптомов парши на листьях

Метрика	Значение	Оценка
Средняя абсолютная ошибка (MAE)	8,2%	● Хорошо
MAE только для пораженных листьев (баллы 1-4)	13,2%	● Умеренная точность
Систематическая ошибка (Bias)	-3,6%	● Незначительное занижение
Корреляция Пирсона (r)	0,78	● Сильная
Общая точность классификации (Accuracy)	70,9%	● Удовлетворительно
Каппа Коэна (κ)	0,60	● Умеренное согласие (на границе существенного)
95% пределы согласия	-36% до +29%	● Широкие

Для практического применения рекомендуется использовать сервис для скрининговых оценок и мониторинга больших выборок, при этом для ответственных решений, требующих высокой точности индивидуальной диагностики, целесообразно сочетать цифровой анализ с выборочным экспертным контролем, особенно для образцов со средними и высокими степенями поражения. Дальнейшее совершенствование алгоритмов должно быть направлено на улучшение идентификации сливающихся пятен и повышение точности разграничения смежных баллов в средней части шкалы поражения.

ГЛАВА 4. Биологическая эффективность фунгицидов, их влияние на инфекционные структуры *V. inaequalis* и оценка содержания остаточных количеств действующих веществ в продукции

4.1. Биологическая эффективность фунгицидов против парши яблони

Погодные условия вегетационных сезонов 2023-2024 гг. благодаря своим отличиям позволили оценить влияние фунгицидов при разной интенсивности инфекционного фона парши яблони в Московском регионе. В 2023 году условия первой половины июня были очень благоприятны по количеству осадков и температуре для развития парши, поэтому при учёте было отмечено много светло-зелёных пятен на листьях – до 65% на сорте Мантет. Далее последовала более сухая неделя, и симптомы не активно развивались, при этом показатель развития болезни был в диапазоне 15-30%. Заметное нарастание развития парши началось с третьей декады июля и достигло пика к концу августа, после чего пошло на спад. В 2024 году отмечена эпифитотия парши, а первые признаки заражения отмечены в фазу цветения. Стремительное нарастание как развития, так и распространённости болезни шло в течение всего сезона от начала июня (5-20%) до конца августа (80%). Начиная с августа, почти перестаёт быть значима сортовая устойчивость к парше на незащищённых контрольных вариантах.

Сорт Мантет проявил в рамках опытов максимальную чувствительность к патогену, превосходя развитие парши на листьях на сорте Мелба в начале июня в 1,6 раза (2023-2024 гг.), находясь на схожем уровне по поражённости в 2022 г. При сравнении с сортом Лобо, максимальная разница при учёте в июне 2024 г. составила 10 раз, однако потом сравнялась под давлением высокого инфекционного фона (рис. 17). В среднем в 3,6 раз меньшее развитие парши отмечено по сравнению с Антоновкой обыкновенной в 2022 г. Вероятно, это связано с морфологическими особенностями кутикулы и тканевого строения плодов, предрасполагающими к быстрому проникновению инфекции у сорта Мантет (Касатов, Белошапкина, 2025).

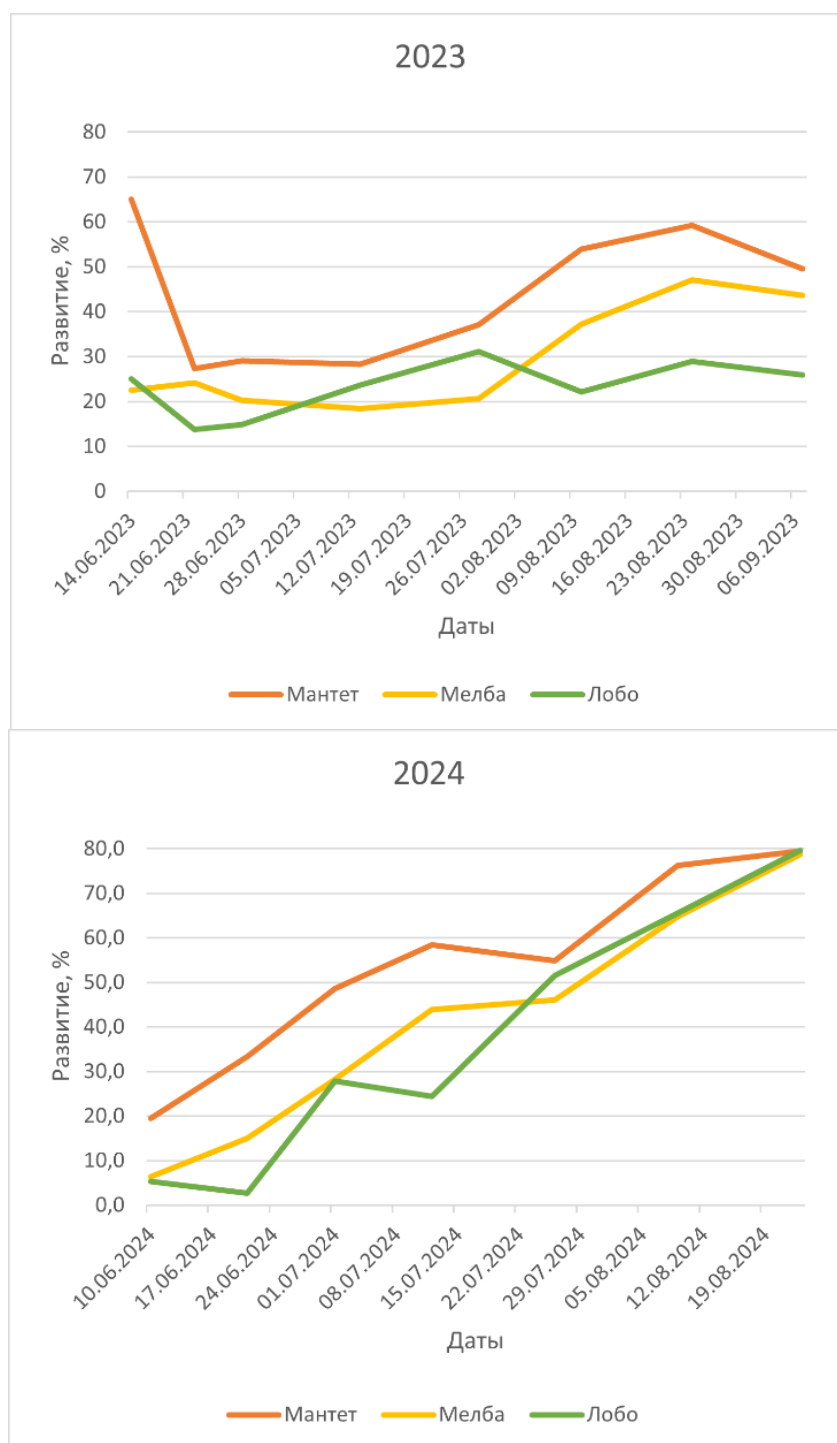


Рисунок 17. – Развитие парши яблони в контрольных вариантах 2023-2024 гг.

Статистическая обработка результатов распространённости и развития парши яблони в 2022 г. показала, что учёты в июле не выявили достоверного влияния применения фунгицидов на поражённость листьев. 2 августа отмечено достоверное снижение уровней распространённости и развития на 60% в варианте

с препаратом Знаток, ВДГ относительно контроля. Биологическая эффективность эталона Раёк, КЭ находилась на уровне 63%.

Учёт 28 августа показал более значительные отличия между вариантами. Раёк, КЭ на сорте Мантет снижал развитие парши на 61%, на сорте Мелба на 84%, на сорте Антоновка обыкновенная на 91%. Фунгицид Знаток, ВДГ на сорте Мелба имел биологическую эффективность 77%. Препараты Мерпан, СП и Шрапнель, ВГ на сорте Антоновка обыкновенная показали биологическую эффективность на конец августа на уровне 81% и 100%, соответственно, что объясняется в первую очередь высокой устойчивостью сорта. Развитие парши на Антоновке обыкновенной в вариантах с обработками фунгицидами не превышало 10-15%. Средние значения по учётам на листьях приведены в таблице 15.

В связи с частым применением в хозяйстве препаратов на основе дифеноконазола в 2023 г. в схеме опыта препарат Раёк (250 г/л дифеноконазола) был заменён на АгроШлем, ВДГ (750 г/кг ципродинила), чтобы в дальнейшем составить комбинации, которые бы отличались своим составом препаратов от обработок хозяйства.

Средние показатели распространённости и развития парши на листьях по сортам были следующими: Мантет – 63% и 43%, Мелба – 58% и 29%, Лобо – 58% и 23%. По результатам учётов парши на листьях наиболее эффективным из фунгицидов оказался Знаток, ВДГ, который обеспечил снижение развития болезни в среднем по сортам на 35-46% с максимальным значением до 81%. Относительно других вариантов опыта Знаток, ВДГ имеет наименьшее стандартное квадратическое отклонение средних значений, что свидетельствует о более стабильном эффекте. Препараты Мерпан, СП и АгроШлем, ВДГ на треть снижали развитие парши на листьях, при этом наиболее существенные результаты зафиксированы во второй половине лета. Фунгицид Шрапнель, ВГ показал сильную разницу по эффективности в зависимости от сорта яблони. При биологической эффективности 9% на сорте Мантет, на других сортах она составила 30-42%. Можно предположить, что препарат лучше работает в условиях средней интенсивности инфекционного фона. В целом системные препараты проявляли

лечебно-защитный эффект раньше, чем контактные, особенно на сортах Мантет и Мелба (табл.15). Применение системных препаратов оказывало в том числе куративное действие. На месте пятен парши на листьях отмечено рубцевание тканей и отсутствие нового спороношения.

Таблица 15

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 трифлуксистеробина)	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 трифлуксистеробина)	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 трифлуксистеробина)	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)

Оценить развитие симптомов на плодах в динамике в условиях 2023 г. не представилось возможным. Однократный учёт был проведён перед съёмом урожая 10 августа на сорте Мантет. В контрольном варианте получены значения развития болезни на уровне 61%. Биологическая эффективность исследуемых

фунгицидов составила 29-37% в вариантах с ципродинилом и дитианоном и 53-58% в вариантах с каптаном и трифлуксистербином. Это позволяет утверждать о снижении развития парши яблок вдвое по сравнению с контрольным вариантом. Однако, для получения товарных плодов высокого качества это недостаточный результат, поэтому в следующем году были составлены комбинации контактных и системных препаратов и оценена эффективность полученных систем защиты яблони от парши (табл. 16).

Таблица 16

Развитие и биологическая эффективность фунгицидов против парши яблони на плодах (среднее значение за сезон \pm стандартное квадратическое отклонение (минимум–максимум) (Московская область, 2022-2024 гг.)

Развитие, % (2023 г.)			
Препарат\Сорт яблони	Мантет	Мелба	Лобо
Шрапнель, ВГ (700 г/кг дитианонона)	43,2	-	-
Знаток, ВДГ (500 г/кг трифлуксистербина)	38,2	-	-
Мерпан, СП (500 г/кг каптана)	28,4	-	-
АгроШлем, ВДГ (750 г/кг ципродинила)	25,6	-	-
Контроль	61,18	-	-
НСР _{0,05}	11,06	-	-
Биологическая эффективность, % (2024 г.)			
Препарат\Сорт яблони	Мантет	Мелба	Лобо
Шрапнель, ВГ (700 г/кг дитианонона) / АгроШлем, ВДГ (750 г/кг ципродинила)	57,2 \pm 5,6 (49,8–64,6)	57,7 \pm 1,9 (55,7–60,1)	92,1 \pm 6,2 (82,8–100,0)
Мерпан, СП (500 г/кг каптана) / Знаток, ВДГ (500 г/кг трифлуксистербина)	67,1 \pm 4,2 (62,5–72,1)	65,6 \pm 4,9 (58,60–71,9)	79,7 \pm 10,0 (69,2–89,2)
Обработки хозяйства (эталон)	12,4 \pm 9,86 (0,0–24,5)	21,9 \pm 12,4 (5,8–40,4)	62,3 \pm 7,2 (52,6–69,7)

В условиях 2024 года при оценке уровня поражённости листьев яблони паршой отмечена высокая биологическая эффективность комбинированных схем применения фунгицидов в сравнении с хозяйственной системой защиты. В рамках экспериментальных схем проводили три обработки контактными препаратами после цветения и в фазу формирования завязи, после чего следовали две обработки препаратами с системным действием в фазу развития плодов. 29 мая провели учёт перед первой обработкой исследуемыми препаратами. На сорте

Мантет степень развития парши в 4 раза превосходила этот показатель мониторинга на сортах Мелба и Лобо.

На сорте Мантет хозяйственная схема защиты от парши обеспечила биологическую эффективность по листьям 35,6% в первой декаде июня, однако далее показатели резко снижались до 11% в июле и 9% в августе. В половине случаев после расчёта $НСР_{0,05}$ эффект обработок хозяйственного варианта оказывался недостоверен и неотличим от контроля. Возможно, показатели относительно высокой биологической эффективности в начале июня были следствием фоновых ранневесенних обработок. В противоположность этому, в вариантах с предложенными системами защиты от праша биологическая эффективность оставалась стабильной при этом различия между схемами не были ярко выражены: от 71% в июне до 45-49% в конце августа, со средними значениями 64-66% в июле, когда риск развития инфекции особенно высок.

На сорте Мелба хозяйственные обработки показали низкую эффективность по сравнению с исследуемыми схемами, однако результаты статистически достоверны и находились в пределах 19-58%. Применение исследуемых схем защиты на этом сорте позволило достичь максимальной эффективности в июле (90%), при этом даже к концу августа она не опускалась ниже 81% в случае схемы Мерпан, СП / Знаток, ВДГ и 67% в схеме Шрапнель, ВГ / АгроШлем, ВДГ. На сорте Лобо эффективность хозяйственной схемы была стабильно низкой в пределах 21-37%.

Применение каптана и трифлуксистеробина показало более устойчивый эффект, с диапазоном эффективности против симптомов на листьях 52-91% на протяжении всего лета. В начале лета наблюдалась более низкая эффективность на фоне применения контактного препарата, затем подавление развития парши составило 88% с просадкой в середине июля в период активного развития болезни.

Система на основе дитианона и ципродинила при учётах в июне не дала достоверно отличающихся от контроля результатов, однако в начале июля

продемонстрировала достоверную биологическую эффективность 80%. После чего был её рост до 87% в конце июля и откат к показателю 79% к концу лета.

В 2024 году были проведены пять учётов парши на плодах, что дало возможность проследить динамику поражённости. У сорта Мантет в период с конца июня по начало августа биологическая эффективность производственной схемы достоверно отличалась от контроля только при учёте в середине июля, где её значение составило 18%, что свидетельствует об отсутствии достаточной защиты плодов от парши. Напротив, обработки каптаном и трифлуксистербином обеспечивали биологическую эффективность от 62% до 72%, а обработки дитианомом и ципродинилом снижали развитие на 49-64%. У сорта Мелба в хозяйственном варианте защита была нестабильной. Биологическая эффективность снизилась с показаний конца июня 40% до недостоверных значений 5-22% в июле и августе. Использование исследуемых схем обеспечивало высокую и устойчивую защиту, с биологической эффективностью на уровне 58–71% (Мерпан, СП/Знаток, ВДГ) и 55-60 (Шрапнель, ВГ/АгроШлем, ВДГ) в течение всего вегетационного периода. Сорт Лобо в контрольном варианте демонстрировал минимальные показатели развития болезни. Развитие плавно нарастало от 3% в июне до 18% в августе, что указывает на относительную устойчивость сорта. При этом производственная схема обеспечила умеренную защиту (52-69%), тогда как препараты Мерпан, СП/Знаток, ВДГ снизили развитие парши на плодах по сравнению с контролем на 69-89%. Препараты Шрапнель, ВГ/АгроШлем, ВДГ обеспечили максимальную эффективность на сорте Лобо – 82-100%, что является наивысшим показателем среди всех вариантов и сортов.

4.2 Динамика разложения действующих веществ фунгицидов

Одним из ключевых аспектов регистрационных испытаний средств защиты растений, наряду с оценкой их биологической эффективности, является изучение динамики разложения действующих веществ в обрабатываемых культурах и объектах окружающей среды. Скорость и характер распада действующих веществ фунгицидов определяют не только продолжительность защитного действия, но и

сроки безопасного выхода людей на обработанные участки, а также возможность получения продукции, соответствующей санитарно-гигиеническим нормативам. В условиях интенсивного ведения садоводства, где для надежной защиты яблони от парши требуется многократное применение препаратов различных химических классов, контроль за накоплением и последующим разложением их остатков становится необходимым условием для разработки регламентов применения, гарантирующих как эффективность, так и безопасность. В связи с этим в рамках проведённых исследований была поставлена задача оценить динамику содержания остаточных количеств четырех фунгицидов (трифлуксизобина, ципродинила, дитианона и каптана) преимущественно в плодах и яблочном соке в различных почвенно-климатических зонах РФ в течение 2018–2024 годов. Полученные результаты позволяют оценить скорость деградации каждого из действующих веществ, выявить влияние региональных факторов на этот процесс и дать рекомендации по оптимизации схем защиты с учётом требований безопасности.

В таблице 17 представлены результаты изучения динамики разложения действующих веществ изучаемых фунгицидов в листьях, плодах и соке яблони по вариантам опыта, включающим контрольные и обработанные делянки в различных регионах за 2018–2024 гг. Данные демонстрируют, что на момент последней обработки (день 0 для листьев или плодов) содержание фунгицидов варьировало в широких пределах в зависимости от препарата, региона и года. Максимальные значения в листьях наблюдались для ципродинила (до 57,4 мг/кг в Рязанской области, 2022 г.) и дитианона (до 65,7 мг/кг в Самарской области, 2024 г.), что свидетельствует о высокой степени покрытия листовой поверхности и формировании эффективного защитного слоя контактными и мезосистемными препаратами. Для трифлуксизобина, обладающего системной активностью, стартовые концентрации в листьях были ниже, но также значимы (2,5–36,0 мг/кг), что отражает его перераспределение внутри тканей. Каптан, применяемый четырёхкратно, накапливался в плодах уже к моменту последней обработки, достигая 5,82–6,43 мг/кг в опытах в г. Москва. Контрольные образцы во всех

случаях и во все сроки отбора оставались чистыми (действующие вещества не обнаружены), что подтверждает отсутствие фонового загрязнения и корректность постановки опытов.

Таблица 17

Результаты изучения динамики разложения действующих веществ изучаемых фунгицидов в листьях, плодах и соке яблони (2018–2024 гг.)

Препарат	Место закладки опыта	Годы исследований	Анализируемый объект	Содержание определяемого вещества в анализируемом объекте, мг/кг (л)				
				Сроки отбора проб				
				0-й день	5-й день	10-й день	15-й день	20-й день
Знаток, ВДГ (500 г/кг трифлуксис-тробина)	г. Москва	2018	Листья	4	-	-	-	-
			Плоды	-	0,03	Менее ПКО**	ПКО*	Нет***
			Сок	-	-	-	-	Нет
		2019	Листья	2,5	-	-	-	-
			Плоды	-	Менее ПКО	0,04	0,03	Нет
			Сок	-	-	-	-	0,03
	Воронежская область	2018	Листья	3,9	-	-	-	-
			Плоды	-	0,08	Нет	Нет	Нет
			Сок	-	-	-	-	Нет
		2019	Листья	36	-	-	-	-
			Плоды	-	0,48	0,67	0,58	0,2
			Сок	-	-	-	-	0,07
	Астраханская область	2018	Листья	ПКО	-	-	-	-
			Плоды	-	0,05	Нет	Нет	Нет
			Сок	-	-	-	-	Нет
		2019	Листья	36	-	-	-	-
			Плоды	-	0,48	0,67	0,58	0,2
			Сок	-	-	-	-	0,07
				0-й день	8-й день	15-й день	25-й день	35-й день
ЦипАгро, ВДГ (750 г/кг ципродинала)	Рязанская область	2022	Листья	57,4	-	-	-	-
			Плоды	-	0,53	Менее ПКО	Нет	Нет
			Сок	-	-	-	-	Нет
		2023	Листья	35,7	-	-	-	-
			Плоды	-	Менее ПКО	Нет	Нет	Нет
			Сок	-	-	-	-	Нет
	Краснодарский край	2022	Листья	31,8	-	-	-	-
			Плоды	-	0,54	Нет	Нет	Нет
			Сок	-	-	-	-	Нет
		2023	Листья	5,98	-	-	-	-
Плоды	-		Менее ПКО	Нет	Нет	Нет		

			Сок	-	-	-	-	Нет
	Волгоградская область	2022	Листья	15,5	-	-	-	-
			Плоды	-	Нет	Нет	Нет	Нет
			Сок	-	-	-	-	Нет
		2023	Листья	22,4	-	-	-	-
			Плоды	-	Нет	Нет	Нет	Нет
			Сок	-	-	-	-	Нет
				0-й день	5-й день	10-й день	15-й день	20-й день
Шрапнель, ВГ (700 г/кг дитианона)	Рязанская область	2023	Листья	54,6	-	-	-	-
			Плоды	-	Менее ПКО	Менее ПКО	Нет	Нет
			Сок	-	-	-	-	Нет
		2024	Листья	20,4	-	-	-	-
			Плоды	-	Нет	Нет	Нет	Нет
			Сок	-	-	-	-	Нет
	Самарская область	2023	Листья	55,5	-	-	-	-
			Плоды	-	Нет	Нет	Нет	Нет
			Сок	-	-	-	-	Нет
		2024	Листья	65,7	-	-	-	-
			Плоды	-	Нет	Нет	Нет	Нет
			Сок	-	-	-	-	Нет
	Астраханская область	2023	Листья	49,6	-	-	-	-
			Плоды	-	Нет	Нет	Нет	Нет
			Сок	-	-	-	-	Нет
2024		Листья	33,8	-	-	-	-	
		Плоды	-	Нет	Нет	Нет	Нет	
		Сок	-	-	-	-	Нет	
				0-й день	10-й день	20-й день	30-й день	40-й день
Мерпан, СП (500 г/л каптана)	г. Москва	2023	Плоды	5,82	3,45	2,84	0,08	0,03
			Сок	-	-	-	-	0,01
		2024	Плоды	6,43	4,2	3,29	0,13	0,02
			Сок	-	-	-	-	0,01

ПКО - предел количественного определения; **Менее ПКО – следовые количества; *Нет – действующие вещества фунгицидов не обнаружены.*

Трифлуксистербин - действующее вещество препарата Знаток, ВДГ, относится к классу стробилуринов, обладающих мезостемной активностью. Проведённые в 2018–2019 годах исследования в Московской, Воронежской и Астраханской областях показали, что максимальное содержание трифлуксистербина закономерно фиксируется в листьях в день последней обработки. В опытах 2018 года в г. Москва это значение составило 4,0 мг/кг, в Воронежской области в том же году оно было близким - 3,9 мг/кг. В 2019 году

наблюдалась существенная вариабельность: в Московской области содержание в листьях составляло 2,5 мг/кг, в то время как в Воронежской и Астраханской областях оно достигало 36,0 мг/кг. Столь значительные различия, вероятно, связаны с разницей в нормах расхода рабочей жидкости, сорбционными свойствами листовой поверхности, зависящими от опушенности и возраста листьев, а также с погодными условиями в момент обработки. Более высокие концентрации в южных регионах могут быть следствием более интенсивного испарения капель раствора с поверхности листа, приводящего к концентрированию действующего вещества.

Динамика разложения трифлуксистеробина в плодах яблони демонстрировала чёткую зависимость от временных параметров и региональных агроклиматических условий. В Московской области в 2018 году уже на пятый день после последней обработки содержание вещества в плодах составляло 0,03 мг/кг, что ниже исходных концентраций в листьях. К десятому дню уровень содержания снижался до значений «менее ПКО», на пятнадцатый день фиксировалось значение «ПКО» — то есть нахождение на пределе количественного определения. Полное исчезновение остатков трифлуксистеробина в плодах отмечено на двадцатый день. В Воронежской области в 2018 году снижение количества действующего вещества происходило ещё быстрее: на пятый день остаточное содержание составляло 0,08 мг/кг, а уже к десятому дню вещество не обнаруживалось в анализируемых образцах. Однако в опытах 2019 года в том же регионе трифлуксистеробин детектировался в плодах вплоть до двадцатого дня после обработки (0,2 мг/кг). Это может быть связано с более засушливыми условиями вегетационного периода 2019 года, которые замедляют процессы метаболизма действующего вещества. Результаты астраханских опытов 2018 года показали наличие препарата на уровне ПКО в день обработки и снижение его содержания до 0,05 мг/кг на пятый день, после чего вещество в растительных образцах не выявлялось. Анализ яблочного сока, отобранного на двадцатый день после обработки во всех регионах исследования, не выявил

присутствия трифлуксистербина, что подтверждает его низкую миграционную способность в жидкую фракцию и безопасность продуктов переработки.

Ципродинил (препарат ЦипАгро, ВДГ) — фунгицид из класса анилинопиримидинов, обладающий защитным и лечащим действием. Исследования, проведённые в 2022–2023 годах в Рязанской области, Краснодарском крае и Волгоградской области, выявили высокие стартовые концентрации в листьях, достигавшие 57,4 мг/кг в Рязани (2022 г.) и 31,8 мг/кг в Краснодаре (2022 г.). Это указывает на эффективное формирование препаратом защитного слоя. Динамика разложения в плодах показала отчётливую зависимость от температуры. В Рязанской области (2022 г.) на 8-й день после обработки содержание составляло 0,53 мг/кг, а к 15-му дню снижалось до уровня «менее ПКО». В Краснодарском крае в том же году при сходной начальной концентрации на 8-й день (0,54 мг/кг) полное разложение наступало уже к 15-му дню, что, вероятно, обусловлено более высокой скоростью гидролиза и микробиологической деструкции в условиях повышенных температур. В Волгоградской области в 2022 году, несмотря на большие остатки в листьях (15,5 мг/кг), в плодах уже на 8-й день после обработки ципродинил не обнаруживался, что может свидетельствовать либо о более быстром метаболизме в тканях местного сорта, либо о влиянии специфических почвенно-климатических факторов. Важно отметить, что во всех опытах с ципродинилом, включая анализ сока на поздних сроках (25–35 дней), остатки действующего вещества отсутствовали, что гарантирует безопасность употребления как свежих плодов, так и продуктов их переработки.

Дитианон (препарат Шрапнель, ВГ) представляет собой контактный фунгицид из класса хинонов, характеризующийся низкой системной активностью и высокой скоростью фотолиза. Исследования 2023–2024 годов в Рязанской, Самарской и Астраханской областях подтвердили эти свойства. Максимальные концентрации в листьях были очень высокими (от 20,4 до 65,7 мг/кг), что типично для пленкообразующих контактных препаратов. Однако в плодах динамика разложения была стремительной. На 5-й день после последней обработки в

Астраханской области (2023) в плодах дитианон не обнаруживался, хотя в листьях в день обработки его содержание составляло 49,6 мг/кг. В Рязанской области в 2023 году на 5-й день после обработки в плодах фиксировались лишь следы («менее ПКО»), а к 10-15-му дню вещество полностью отсутствовало. В Самарской области (2023–2024) остатки в плодах не обнаруживались во все сроки отбора, начиная с 5-го дня. Столь быстрое исчезновение дитианона из плодов при высоких концентрациях на листьях объясняется его локализацией преимущественно на поверхности и интенсивным разрушением под действием солнечного света и атмосферной влаги. Отсутствие дитианона в пробах сока на всех сроках подтверждает его неспособность проникать вглубь тканей и накапливаться в продуктах переработки. С точки зрения защиты растений, быстрая деградация дитианона означает необходимость строгого соблюдения кратности обработок для поддержания защитного эффекта, однако с позиций безопасности это является положительным фактором, так как гарантирует отсутствие остатков в урожае к моменту сбора.

Каптан (препарат Мерпан, СП) — контактный фунгицид из класса фталимидов, широко применяемый в интенсивных технологиях возделывания яблони. Особенностью каптана является его способность к накоплению при многократных обработках и относительно медленная деградация. Исследования, проведённые в г. Москва в 2022–2023 годах при четырёхкратной схеме применения, показали, что в день последней обработки содержание каптана в плодах составляло 5,82–6,43 мг/кг. В динамике наблюдалось плавное снижение концентрации: 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, и через 40 дней — 0,02–0,03 мг/кг. Столь длительное сохранение остаточных количеств в плодах коррелирует с высокой и пролонгированной биологической эффективностью каптана против парши, особенно в периоды вторичной инфекции. Даже на 40-й день после обработки в яблочном соке детектировались минимальные количества каптана (0,01 мг/кг), что свидетельствует о частичном переходе вещества в жидкую фракцию при переработке. Однако эти уровни находятся на пределе количественного

определения и, согласно гигиеническим нормативам, не превышают максимально допустимых уровней для данной культуры. Тем не менее, полученные данные акцентируют внимание на необходимости строгого соблюдения сроков ожидания (периода от последней обработки до сбора урожая) при использовании каптана, особенно в программах, направленных на получение продукции для детского и диетического питания.

Сопоставление полученных данных по остаточным количествам с результатами оценки биологической эффективности, приведёнными в предыдущих разделах, позволяет сделать ряд важных обобщений. Высокие начальные концентрации всех изученных фунгицидов в листьях и плодах в день обработки обеспечивают максимальный защитный эффект в первые 5–10 дней после применения, что критически важно для подавления первичной инфекции и защиты молодого прироста. Для трифлуксистробина и ципродинила период эффективной защиты, коррелирующий с наличием детектируемых остатков в плодах, составляет около 10–15 дней, после чего их содержание снижается до следовых количеств или полностью исчезает. Дитианон, несмотря на очень высокие концентрации на листьях, крайне быстро деградирует в плодах, что ограничивает его защитное действие по плодам 5–7 днями, но при этом гарантирует отсутствие остатков к уборке. Каптан, напротив, демонстрирует пролонгированное действие, сохраняясь в плодах в значимых количествах до 30–40 дней, что обеспечивает длительную защиту, но требует особого контроля за соблюдением сроков ожидания.

С точки зрения безопасности для человека, полученные результаты подтверждают заявленные регистрантом регламенты применения. К моменту уборки урожая, который в зависимости от региона и сорта наступает через 20–40 дней после последней обработки, содержание трифлуксистробина, ципродинила и дитианона в плодах снижается до уровня «не обнаружено» или «менее ПКО». Для каптана остаточные количества к 40-му дню минимальны и не превышают установленных МДУ. Анализ яблочного сока показал, что даже те незначительные остатки, которые могут присутствовать в плодах, в большинстве

случаев не переходят в жидкую фракцию или переходят в количествах, не представляющих опасности. Это подтверждает, что технологическая переработка является дополнительным барьером, снижающим потенциальные риски.

Сравнительный анализ по регионам показывает, что в условиях более высоких температур и инсоляции (Краснодарский край, Астраханская область) скорость деградации всех препаратов, как правило, выше, чем в более умеренной зоне (Московская, Рязанская области). Эти данные подтверждают необходимость учёта погодных условий года и региональных особенностей при планировании стратегии защиты яблоневых садов и подчёркивают актуальность применения технологических приёмов, направленных на пролонгацию защитного эффекта, например, использование прилипателей.

4.3. Влияние препаратов на разные стадии возбудителя парши яблони

4.3.1. Влияние препаратов на стадию телеоморфы возбудителя парши яблони

Возбудитель парши яблони характеризуется наличием двух стадий развития в жизненном цикле: телеоморфы (сумчатой, половой) и анаморфы (конициальной, бесполой). Телеоморфа относится к отделу *Ascomycota*, классу *Dothideomycetes*, порядку *Dothideales*, семейство *Metacapnodiaceae*, род *Venturia* и имеет современное название *Venturia inaequalis* (Cooke) G. Winter. Эта стадия играет ключевую роль в жизненном цикле патогена как источник первичной инфекции. Основным источником первичной инфекции служат опавшие поражённые листья яблони. Именно в тканях листового опада, накопившегося под деревьями за вегетационный период, происходит половой процесс и формирование покоящихся структур патогена. После опадения листьев грибница *V. inaequalis* переходит к сапротрофному образу жизни в мезофилле листа, что необходимо для завершения цикла развития.

В ходе исследования жизнеспособности аскоспор, полученных в 2025 году, установлено, что применение как исследуемых, так и эталонных фунгицидов существенно снижало долю жизнеспособных спор по сравнению с контролем

(Белошапкина, Касатов, 2025). Для сорта Мантет в варианте с обработками исследуемыми препаратами количество жизнеспособных аскоспор составило 5,0 шт., тогда как нежизнеспособных — 124,6 шт., при общем количестве 129,6 шт. в 10 полях зрения и соотношении жизнеспособных спор к нежизнеспособным - 3,9%. В эталонном варианте с обработками хозяйства зафиксировано 7,2 шт. аскоспор жизнеспособных и 166,6 шт. нежизнеспособных, что соответствует соотношению 4,1%. В контрольном варианте количество жизнеспособных аскоспор было выше — 6,8 шт., при наличии 97,0 шт. нежизнеспособных и соотношении 6,6 % (табл. 18).

Таблица 18

Влияние обработок фунгицидами на состояние аскоспор парши на перезимовавших листьях (Московская область, 2024 г.)

Сорт	Вариант	Общее количество, шт.	Жизнеспособные аскоспоры, шт.	Не жизнеспособные аскоспоры, шт.	Соотношение жизнеспособных к не жизнеспособным аскоспорам, %
Мантет	Мерпан, СП + Знаток, ВДГ	129,6	5,0	124,6	3,9
	Обработки хозяйства	173,8	7,2	166,6	4,1
	Контроль	103,8	6,8	97,0	6,6
НСР _{0,05}			6,9	100,1	
Лобо	Мерпан, СП + Знаток, ВДГ	89,4	1,8	87,6	2,0
	Обработки хозяйства	398,2	16,8	381,4	4,2
	Контроль	215,2	14,2	201,0	6,6
НСР _{0,05}			12,8	210,5	

Аналогичная тенденция выявлена и для сорта Лобо. В варианте с исследуемыми препаратами жизнеспособных аскоспор отмечено лишь 1,8 шт., при 87,6 шт. нежизнеспособных, что при общем количестве 89,4 шт. составило 2,0 %. В эталонном варианте показатели были выше — 16,8 и 381,4 шт. (398,2 шт. всего), при соотношении 4,2%. В контроле зарегистрировано 14,2 шт. жизнеспособных и 201,0 шт. не жизнеспособных аскоспор (215,2 шт. всего) с соотношением 6,6%.

Полученные данные свидетельствуют о выраженном ингибирующем действии обработок, проводимых в период вегетации, на жизнеспособность аскоспор. Для обоих сортов минимальные значения доли жизнеспособных спор зафиксированы в вариантах с исследуемыми препаратами, причём у сорта Лобо этот показатель был в два раза ниже, чем у сорта Мантет. Обработки хозяйства также обеспечили снижение жизнеспособности, однако их эффективность была ниже, чем у исследуемых препаратов. Таким образом, применение исследуемых фунгицидов продемонстрировало более выраженный эффект в подавлении жизнеспособности аскоспор, особенно на сорте Лобо, что указывает на перспективность их использования для повышения биологической эффективности защитных мероприятий против парши яблони.

4.3.2 Влияние на анаморфную стадию возбудителя парши

Анаморфная стадия – *Fusicladium dendriticum* (Wallr.) Fuck. (класс *Dothideomycetes*, порядок *Venturiales*, семейство *Venturiaceae*). Эта стадия является источником вторичной инфекции и обеспечивает массовое размножение патогена в течение вегетационного периода и отвечает за вторичные заражения. Конидии образуются на свежих пятнах парши, появившихся в результате первичного заражения аскоспорами или более ранними конидиями. Спороношение может продолжаться в течение всего сезона. Цикл "заражение – образование новых конидий" при оптимальных условиях может составлять всего 8–12 дней, что обеспечивает быстрое нарастание инфекции.

После проведения всех обработок фунгицидами 26 июля 2024 г. с деревьев сорта Мантет и Лобо отобрали листья с контрольного варианта и варианта с последовательными обработками Мерпан, СП + Знаток, ВДГ для электронного микрофотографирования и оценки состояния инфекционных структур *F. dendriticum*. Препараты изучали в растровом электронном микроскопе Tescan Vega TS5130MM после соответствующей пробоподготовки (Хацаева, 2018).

На снимках с контрольных образцов сорта Мантет отмечалось обильное развитие конидиального спороношения (рис. 18). Конидиеносцы формировали

плотную сеть над поверхностью листа, были целыми, хорошо развитыми, с чётко различимыми сегментами. Конидии имели овальную или булавовидную форму, были в большинстве крупные до 9x30 мкм, отличались целостной гладкой или слабо шероховатой поверхностью, в значительной степени сохраняли тургор и морфологическую правильность. Их расположение было плотным, с частым наложением спор друг на друга, что указывает на высокую интенсивность спорообразования и отсутствие ограничивающего воздействия на развитие патогена.

После проведения обработок количество грибных структур на поверхности листьев значительно снизилось. Конидиеносцы на снимках часто были сломаны у самой поверхности листа, а на их месте оставались углубления или отверстия. Уцелевшие структуры были укороченными, искривлёнными и с нарушенной целостностью поверхности. Конидии, встречающиеся на обработанных листьях, были в большинстве своём мелкими 5-7x18-23 мкм, сморщенными, нередко с разрывами клеточной стенки и признаками утечки цитоплазмы, что свидетельствует о сильном ингибирующем воздействии фунгицидов на развитие анаморфной стадии *F. dendriticum*.

В контрольных образцах сорта Лобо также фиксировалось наиболее интенсивное развитие конидиального спороношения, хотя его плотность была ниже, чем на пятнах сорта Мантет. Отличий по морфологическому строению структур гриба между контрольными вариантами различных сортов не отмечено.

В варианте с обработками фунгицидами конидиеносцы встречались редко и часто были обломаны у основания, оставляя после себя характерные отверстия. Конидии располагались разреженно, значительная их часть имела неправильную форму, была сплющена и с частично разрушенной клеточной стенкой, что указывает на резкое снижение репродуктивной способности патогена под действием последовательного применения препаратов Мерпан, СП + Знаток, ВДГ (рис 18,19).

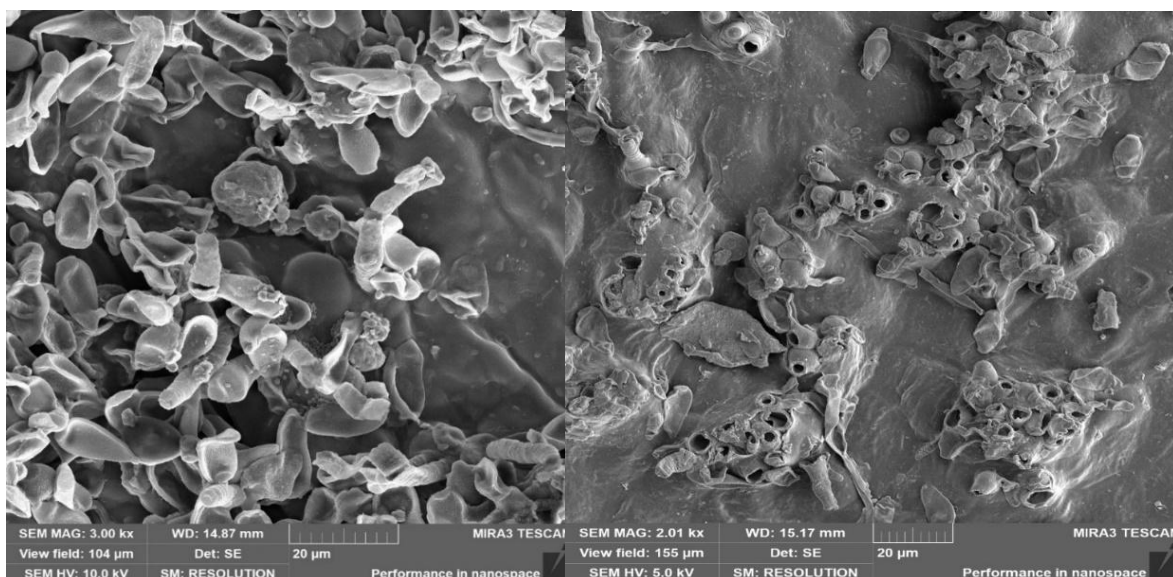


Рисунок 18. – Состояние конидий и конидиеносцев *Fusicladium dendriticum* на листьях яблони сорта Мантет (слева – контроль; справа – обработки Мерпан, СП + Знаток, ВДГ) (ориг.)

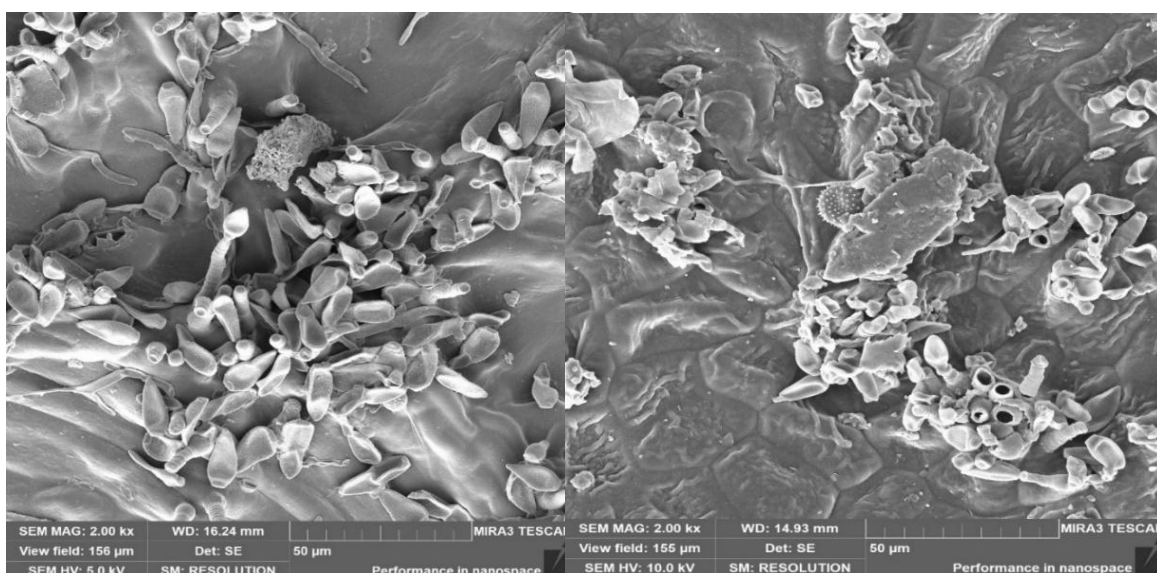


Рисунок 19. – Состояние конидий и конидиеносцев *Fusicladium dendriticum* на листьях яблони сорта Лобо (слева – контроль; справа – обработки Мерпан, СП + Знаток, ВДГ) (ориг.)

Сходная картина повреждения грибных структур после применения фунгицидов ранее была описана в исследованиях Вахшеха (2014) на тех же сортах яблони, что подтверждает воспроизводимость наблюдаемых морфологических изменений конидиальной стадии возбудителя парши.

ГЛАВА 5. 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

Одним из недооценённых источников информации о состоянии листа в условиях патогенного стресса и фунгицидного воздействия является элементный состав. Энергодисперсионный рентгеновский анализ (ЭДС), сопрягаемый с электронной микроскопией, обеспечивает полуколичественную оценку распределения макро- и микроэлементов на поверхности и в приповерхностных слоях листа при малых навесках, с быстрым временем анализа. Методологические обзоры подтверждают валидность и аналитические возможности ЭДС для растительных тканей (Scimesa и др., 2018).

В контексте повышения устойчивости яблони к парше существенное значение имеют макроэлементы калий, кальций и магний, которые участвуют в различных физиологических процессах растения. Калий способствует укреплению клеточных стенок, регулирует осмотическое давление и водный баланс растительных тканей, активирует ферменты углеводного обмена и протеолитические ферменты, участвует в синтезе аминокислот и АТФ. Кальций стабилизирует структуру клеточных стенок и регулирует их проницаемость, формируя дополнительные барьеры против проникновения патогенов и повышая механическую прочность тканей. Магний, являясь структурным компонентом хлорофилла и участвуя в процессах фотосинтеза, опосредованно влияет на общее состояние растения и его защитные реакции. Взаимодополняя друг друга, эти элементы формируют комплексный механизм защиты, где калий регулирует поступление кальция и магния в ткани растения, обеспечивая оптимальное функционирование всех систем метаболизма и повышая общую жизнестойкость растительного организма, что выражается в улучшении качества плодов и оптимизации работы защитных механизмов растения. При этом дефицит любого

из указанных элементов приводит к ослаблению иммунитета растения и повышению его восприимчивости к патогенам (Wang и др., 2013).

Многофакторный анализ проб после трехкратного применения контактных исследуемых препаратов Шрапнель, ВГ и Мерпан, СП, с факторами «схема защиты × сорт × состояние» показал, что калий является наиболее чувствительным элементом к влиянию всех факторов: варианта, сорта и состояния здоровья участка. Их влияние оказалось значимыми, как и ключевые взаимодействия. По средним значениям К ранжирование вариантов составило: контроль - 1,8%; обработки хозяйства - 1,3%; Мерпан, СП - 1,2%; Шрапнель, ВГ - 1,0%. По состоянию участков калий стабильно выше на поражённых фрагментах. В связи с этим можно сделать предположение о том, что при поражении паршой яблони гриб активно потребляет калий вместе с растворимыми питательными веществами из листьев растения.

Для кальция значимым было влияние всех факторов, а также взаимодействие «вариант × сорт», что указывает на сортоспецифическое влияние применяемых средств защиты растений. Максимальные значения Са на этом сроке приходились на Шрапнель, ВГ (0,65%) и Мерпан, СП (0,64%), в контроле содержалось 0,59%, а минимальные значения наблюдались в варианте с обработками хозяйства (0,47%).

Содержание углерода было выше в вариантах с испытываемыми препаратами Шрапнель, ВГ 81,1% и Мерпан, СП (80,8%; обработки хозяйства (80,5%) и контроль (79%) демонстрировали меньшие значения. Кислород на этом сроке был выше в контроле (17,1%), а в варианте Шрапнель, ВГ снижался до 16,2%. Обратная пропорциональная зависимость углерода и кислорода отражает интенсивность окислительных процессов в связи с поражённостью листьев инфекцией и разрушением тканей.

Для фосфора наиболее высокие значения наблюдались в варианте Мерпан, СП (0,74%), тогда как в остальных вариантах они практически не различались. Кремний и алюминий также варьировали по вариантам, причём на 1 июля для Si максимальные значения отмечались в варианте с препаратом Мерпан, СП (0,50%),

минимальные —Шрапнель, ВГ (0,25%); для Al — максимум при применении Мерпан, СП (0,26%) и минимум на обработках хозяйства (0,14%). Сера демонстрировала более высокие значения на контроле (0,37%) по сравнению с обработками хозяйства (0,23), а обработанные Мерпан, СП и Шрапнель, ВГ варианты занимали промежуточное значение. Отмечено стабильное содержание железа во всех вариантах (0,57-0,59%), кроме обработанного хозяйством, где его количество снизилось до 0,32% (табл.19).

Таблица 19

Содержание элементов в листьях после обработки контактными фунгицидами Шрапнель, ВГ и Мерпан, СП (Московская область, 2024 г.)

Элемент	Содержание элемента, % ± стандартная ошибка			
	Шрапнель, ВГ (700 г/кг дитианона)	Мерпан, СП (500 г/кг каптана)	Контроль	Обработки хозяйства
C	81,14±0,52	79,58±0,35	78,98±0,38	80,16±0,26
O	16,19±0,38	17,06±0,25	17,11±0,28	16,98±0,19
Na	0,08±0,02	0,11±0,03	0,10±0,03	0,29±0,10
Mg	0,17±0,01	0,21±0,01	0,20±0,01	0,20±0,01
Al	0,18±0,02	0,26±0,02	0,25±0,02	0,14±0,01
Si	0,25±0,02	0,50±0,06	0,45±0,06	0,30±0,03
P	0,54±0,06	0,74±0,05	0,54±0,04	0,52±0,03
S	0,27±0,02	0,32±0,01	0,37±0,03	0,23±0,01
Cl	0,12±0,01	0,13±0,01	0,15±0,01	0,13±0,02
K	1,01±0,08	1,20±0,09	1,80±0,13	1,25±0,07
Ca	0,65±0,06	0,64±0,04	0,57±0,04	0,47±0,03
Fe	0,58±0,08	0,57±0,06	0,59±0,08	0,32±0,07

26 июля, когда после контактных препаратов провели 2 обработки системными фунгицидами АгроШлем, ВДГ и Знаток, ВДГ структура влияний факторов оказалась схожа, хотя меньше стала достоверность различий.

Средние значения К снизились во всех вариантах относительно анализа 1 июля, за исключением варианта с обработками хозяйства: контроль 1,4%; обработки хозяйства 1,25%; трифлуксистробин 1,06%; ципродинил 0,45%.

Содержание углерода зависело от варианта и состояния листа, причём на здоровых участках С был выше, а среди вариантов наибольшие значения соответствовали АгроШлем, ВДГ (81,9%) и обработкам хозяйства (81,9%), тогда

как у препарата Знаток, ВДГ и контроля значения были ниже (79,5% и 79,6% соответственно).

Для кислорода значим был фактор варианта и взаимодействие «вариант × сорт»: максимальные значения отмечены при трифлуксистробине (17,8%), минимальные — в обработках хозяйства (15,3%). Магний на 26 июля прежде всего зависел от фактора поражённости паршой: на поражённых участках содержание Mg было выше - 0,18% против 0,12% у здоровых. В зависимости от сортовых различий достоверно изменялось содержание железа: на 26 июля у Мелбы Fe достигал 1,14%, у Лобо — 0,71%, у Мантета — 0,62% (табл. 20).

Таблица 20

Содержание элементов в листьях после обработок контактными и системными фунгицидами (Московская область, 2024 г.)

Элемент	Содержание элемента, %			
	Шрапнель, ВГ (700 г/кг дитианона) + АгроШлем, ВДГ (750 г/кг ципродинила)	Мерпан, СП (500 г/кг каптана) + Знаток, ВДГ (500 г/кг трифлуксистробина)	Контроль	Обработки хозяйства
C	81,94±0,56	79,47±0,35	79,64±0,77	81,90±0,60
O	16,16±0,39	17,8±0,27	17,27±0,44	15,28±0,46
Na	0,36±0,19	0,13±0,02	0,08±0,02	0,18±0,06
Mg	0,15±0,02	0,16±0,01	0,18±0,01	0,17±0,01
Al	0,22±0,05	0,32±0,04	0,32±0,07	0,27±0,06
Si	0,64±0,14	0,84±0,11	1,12±0,37	0,66±0,17
P	0,31±0,05	0,43±0,06	0,33±0,05	0,36±0,04
S	0,31±0,04	0,25±0,03	0,30±0,03	0,21±0,02
Cl	0,44±0,29	0,12±0,02	0,07±0,01	0,14±0,04
K	0,45±0,06	1,06±0,10	1,40±0,19	1,25±0,17
Ca	0,33±0,03	0,47±0,03	0,36±0,04	0,35±0,04
Fe	0,75±0,19	0,61±0,09	1,22±0,18	1,10±0,21

Влияние сорта проявлялось отчётливо и для ряда элементов было доминирующим или сопоставимым по силе с влиянием фактора применения фунгицидов. При анализе 26 июля хорошо различались фосфор по сортам (Лобо 0,59% > Мантет 0,30% ≈ Мелба 0,26%) и железо (Мелба 1,14% > Лобо 0,71% > Мантет 0,62%). При анализе данных проб 1 июля существенное влияние оказывали взаимодействия фактора сорта с вариантами обработок и состоянием листьев. Наличие значимых взаимодействий «вариант × сорт» и «вариант ×

состояние» для ключевых элементов (К, Са, С, О, Mg, Si) подчёркивает, что реакция на препарат носит сортоспецифический характер и зависит от состояния здоровья поверхности листа (табл. 21).

Таблица 21

Содержание элементов в листьях в зависимости от сорта яблони (Московская область, 2024 г.)

Элемент	Содержание элемента, %							
	1 июля 2024 г.				26 июля 2024 г.			
	*p	Лобо	Мантет	Мелба	p	Лобо	Мантет	Мелба
С	0,00	81,60	79,80	78,37	0,10	80,07	81,31	80,09
О	0,00	15,38	16,73	18,54	0,10	17,14	16,28	17,17
Na	0,28	0,12	0,20	0,08	0,10	0,37	0,08	0,13
Mg	0,00	0,14	0,21	0,24	0,35	0,17	0,15	0,17
Al	0,96	0,21	0,21	0,21	0,01	0,34	0,20	0,37
Si	0,19	0,42	0,38	0,31	0,33	0,93	0,64	0,87
P	0,00	0,45	0,68	0,57	0,00	0,59	0,30	0,26
S	0,01	0,31	0,28	0,23	0,04	0,32	0,26	0,19
Cl	0,04	0,15	0,12	0,13	0,01	0,47	0,08	0,13
K	0,00	0,81	1,66	1,47	0,00	1,34	0,97	0,55
Ca	0,00	0,69	0,43	0,62	0,00	0,48	0,37	0,28
Fe	0,06	0,60	0,41	0,40	0,02	0,71	0,62	1,14

*Примечание здесь и далее: p — уровень значимости.

Полученные данные последовательно демонстрируют, что сезонный фактор в середине лета сопровождается сдвигом поверхностного элементного профиля листьев: увеличением Fe и Si и снижением Са и Р при умеренном росте С. На этом фоне схемы обработок формируют различный «элементный след»: на 01.07 контактные препараты, особенно дитианон, ассоциированы с более высокими С и Са, а каптан — с повышенным Р; на 26.07 системные препараты дифференцируются по влиянию на К, Са и О — ципродинил снижает содержание К, а в варианте с трифлуксистробинотом отмечено повышение Са и О.

Независимо от срока и схемы защиты, поражённые паршой участки листа характеризуются повышением К, Са и Mg, тогда как доля С у них ниже (табл. 22). Существенные сортовые различия, а также взаимодействия «вариант × сорт» и «вариант × состояние» указывают, что интерпретация элементных сдвигов и выбор оптимальной схемы защиты должны учитывать особенности сорта и реальное состояние здоровья листьев – поражение их болезнями, скорее всего не

только паршой, в значительной мере может оказывать влияние на элементный состав.

Таблица 22

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.		
	р	Здоровый участок	Поражённый участок	р	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

В кожуре яблок при обобщённом анализе данных всех вариантов обработок доминировали углерод, кислород и азот, что отражает органическую природу тканей — преобладание целлюлозы, пектинов и других полисахаридов, а также метаболитов, содержащих азот. В среднем содержание углерода составляло 70–85%, кислорода — 12–30%, азота — до 10,5%. Магний, натрий, кремний, железо, алюминий, фосфор и хлор встречались в меньших количествах (от 0,05 до 2%). Микроэлементы вроде цинка, брома и молибдена фиксировались эпизодически, преимущественно в поражённых тканях (рис.20).

Однофакторный дисперсионный анализ позволил установить статистически значимое влияние сортовых характеристик яблони на содержание восьми химических элементов в кожуре плодов. Наибольшая степень различий выявлена для азота ($p < 0,00001$): сорт Мантет показал максимальное содержание (15,64 %), сорт Мелба — минимальное (4,66 %). Значимость различий также подтверждена для натрия ($p = 0,00001$), хлора ($p = 0,001$) и кремния ($p = 0,01$), что может

указывать на сортовую специфику формирования защитных структур кожуры. Для железа, алюминия, фосфора и кислорода различия оказались умеренно значимыми ($p < 0,05$). Конкретные показатели демонстрируют следующую картину: содержание железа варьирует от 0,39 % у Мелбы до 0,64 % у Мантета, кислорода — от 17,22 % у Мантета до 20,76 % у Лобо (рис. 20). Следует вывод, что сортовые особенности яблони оказывают заметное влияние на накопление как макро-, так и микроэлементов, особенно в аспектах, связанных с азотным обменом, ионным транспортом и механизмами антиоксидантной защиты растительных тканей.

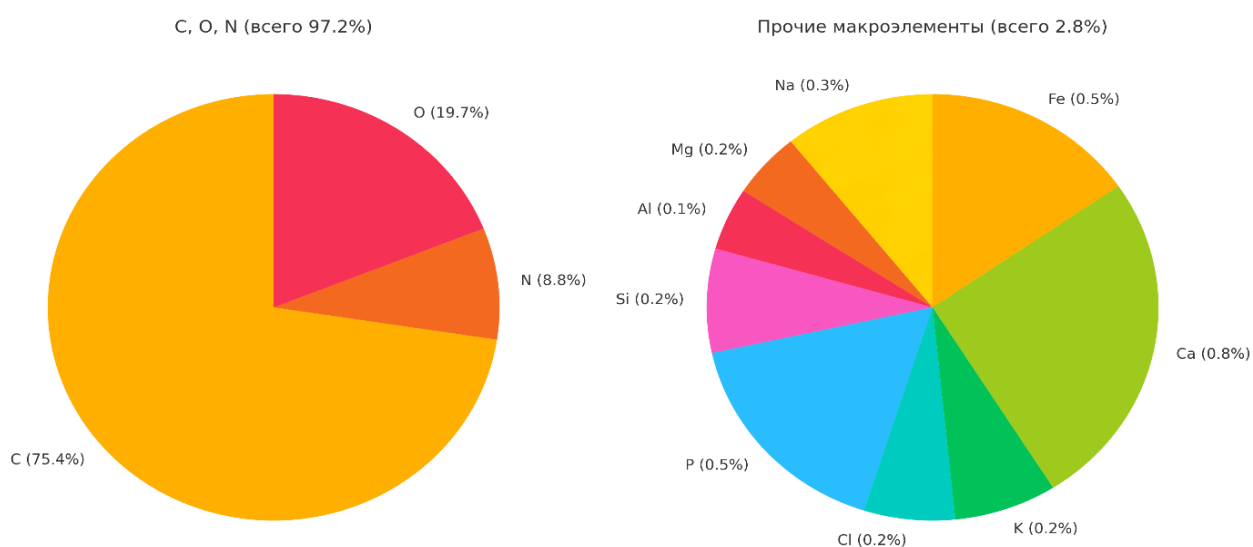


Рисунок 20. – Содержание элементов (%) в кожуре яблок. Слева - углерод, кислород и азот – в сумме 97,2% от общего содержания элементов. Справа – остальные макроэлементы. (Московская область, 2024 г.)

Варианты систем защиты яблони от парши существенно различаются по содержанию ряда химических элементов. Наиболее выраженные различия зафиксированы по содержанию азота ($p = 0,00001$): его максимальное среднее значение (9,77 %) наблюдалось в варианте с применением препаратов Мерпан, СП и Знаток, ВДГ, тогда как в варианте с использованием Шрапнель, ВГ и АгроШлем, ВДГ содержание азота снижалось до 4,43 %. Высокая достоверность различий также отмечена для кислорода ($p = 0,00008$). Наибольшее содержание этого элемента (24,28 %) было выявлено в варианте с обработками хозяйства, что может свидетельствовать о протекании выраженных окислительных процессов.

При использовании разных систем защиты уровень кислорода снижался до диапазона 16,06–18,82 %. Значимые различия зафиксированы и по содержанию хлора ($p = 0,004$), максимальные значения которого зарегистрированы в варианте со схемами Шрапнель, ВГ / АгроШлем, ВДГ. Это может быть интерпретировано как ответная реакция растений на применение указанных пестицидов. Умеренно значимые различия выявлены для алюминия ($p = 0,03$) и магния ($p = 0,04$). При этом варианты с исследуемыми схемами защиты характеризовались более высоким уровнем содержания магния в тканях (табл. 23).

Таблица 23

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	0,2	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	0,5	1,11	0,65
Fe	0,53	0,53	0,41	0,42

Анализ элементного состава в зависимости от степени поражения листьев паршой показал, что наиболее высокие различия наблюдаются по содержанию углерода, кислорода и азота, что соответствует основным структурным и метаболическим изменениям в тканях плодов. Концентрация углерода, доминирующего во всех образцах, последовательно снижалась при усилении поражения: 81,4 % в здоровых участках, 81,1 % в деформированных и 68,6 % в поражённых. Это указывает на деградацию структурных компонентов клеточных стенок, включая воски и пектины, под действием патогена.

Аналогичная тенденция прослеживалась и для азота, входящего в состав белков, аминокислот и нуклеиновых кислот: его содержание уменьшалось с 18,17

% в здоровой коже до 10,34 % в деформированной и до 7,52 % в поражённой ткани. Эти цифры свидетельствуют о процессах катаболизма и снижении метаболической активности клеток. Противоположная динамика наблюдалась для кислорода: его доля возрастала с 15,17 % в здоровой коже до 24,71 % в поражённой, что отражает активацию окислительных процессов и развитие окислительного стресса при инфицировании.

Изменения в содержании микроэлементов были менее выражены, но имели статистическую значимость. Концентрация магния, играющего важную роль в фотосинтезе и энергетическом обмене, возрастала с 0,11 % до 0,22 % в деформированных тканях. Уровень натрия, участвующего в поддержании ионного баланса, повышался с 0,19 % до 0,37 % в поражённых участках. Содержание алюминия, напротив, было максимальным в здоровых тканях (0,33 %) и снижалось до 0,11 % как в деформированных, так и в поражённых образцах. По остальным микроэлементам значимые различия не зафиксированы (табл. 24).

Таблица 24

Элементный состав (%) кожуры яблок в зависимости от поражения паршой (Московская область, 2024 г.)

Содержание элементов, %	Категории участков, выделенных на коже яблок		
	Здоровый	Деформированный	Поражённый
C	81,39	81,13	68,55
N	18,17	10,34	7,52
O	15,17	15,72	24,71
Na	0,19	0,33	0,37
Mg	0,11	0,22	0,15
Al	0,33	0,11	0,11
Si	0,22	0,18	0,27
P	0,39	0,61	0,53
Cl	0,13	0,18	0,22
K	0,04	0,13	0,24
Ca	0,39	1,09	0,83
Fe	0,5	0,45	0,48

Анализ данных исследования подтвердил, что на элементный состав кожуры плодов оказывают влияние степень поражения паршой, сорт яблони и применяемые защитные мероприятия. Наибольшие различия в содержании элементов наблюдаются между здоровыми и поражёнными участками покровных

тканей, причём наиболее значимые изменения затрагивают уровни углерода, кислорода, азота, натрия, магния и алюминия. Такая динамика прямо отражает биохимические и структурные перестройки, происходящие в тканях под воздействием патогена. Использование комплексных схем защиты с применением фунгицидов, содержащих каптан/трифлуксистербин и дитианон/ципродинил, способствует снижению окислительных процессов. Сортовая принадлежность также вносит существенный вклад в формирование элементного состава кожуры. Особенно ярко это прослеживается в показателях, ассоциированных с азотным обменом, ионным транспортом и функционированием антиоксидантных механизмов.

5.2. Влияние на физиологические показатели и совершенствование методик их определения

Объективная и быстрая оценка физиологического состояния растений приобретает ключевое значение для оптимизации защитных мероприятий в садоводстве. В качестве биохимических маркеров могут выступать показатели содержания хлорофилла, антоцианов и флавоноидов в листьях. Хлорофилл служит прямым индикатором фотосинтетической активности, в то время как флавоноиды и антоцианы синтезируются в ответ на стрессовые воздействия и выполняют защитные функции. Развитие парши яблони провоцирует усиление синтеза флавоноидов, которые действуют как фитоалексины — соединения, участвующие в ограничении распространения инфекции и повышении устойчивости растения к патогену. Одним из наиболее информативных интегральных показателей является индекс азотного баланса (NBI, Nitrogen Balance Index), определяемый как соотношение содержания хлорофилла и уровня флавоноидов. Он даёт возможность оценить как степень физиологического стресса, так и уровень метаболической активности листа. Современные портативные устройства, такие как Dualex и Multiplex, позволяют измерять NBI в полевых условиях без повреждения листовой ткани, что делает этот метод идеальным для регулярного мониторинга состояния насаждений.

Увеличение частоты эпифитотий парши требует комплексного подхода: не только разработки эффективных схем защиты, но и совершенствования методов инструментальной оценки физиологического состояния растений. В 2024 году, на фоне более интенсивного инфекционного фона по сравнению с 2023 годом и выраженного развития парши, появилась уникальная возможность апробировать методику оценки азотного баланса в листьях яблони, подтвердив её практическую значимость для современного садоводства.

В рамках исследования проведена оценка изменчивости индекса азотного баланса (NBI) — показателя, отражающего соотношение содержания хлорофиллов и флавоноидов, — в зависимости от сортовой специфики яблони и применяемых схем фунгицидной защиты от парши. Анализ результатов измерений NBI проводился с использованием двух методик: в 6 точках на 4 листьях (6×4); в 1 точке на 30 листьях (30×1).

Результаты показали, что метод 30×1 демонстрирует более высокую стабильность и меньшую вариабельность данных (см. табл. 25). Например, для варианта «Лобо + Шрапнель, ВГ / АгроШлем, ВДГ» стандартное отклонение при методе 30×1 составило 2,82, тогда как метод 6×4 показал разброс 1,52. Это исключение: в большинстве случаев разброс результатов у метода 30×1 либо сопоставим, либо ниже, чем у 6×4. Так, в варианте «Лобо + Мерпан, СП / Знаток, ВДГ» стандартное отклонение для метода 30×1 — 2,45, а для метода 6×4 — 4,12 (почти вдвое выше). В случае «Лобо + контроль» метод 30×1 даёт стандартное отклонение 1,99, тогда как 6×4 — 2,63. Эти данные подтверждают более высокую стабильность метода 30×1.

Средние значения NBI между методами различаются незначительно. Например, для системы защиты с препаратами «Шрапнель, ВГ / АгроШлем, ВДГ» на сорте Мантет среднее значение NBI при 30×1 составило 11,49, а при 6×4 — 14,79 (табл. 25). Однако, когда ключевым критерием выступает надёжность и воспроизводимость результатов, метод с 30 измерениями на разных листьях предоставляет менее разбросанные данные, что снижает вероятность искажений и повышает достоверность оценки физиологического состояния растений.

Значения индекса NBI листьев яблони, полученные двумя методами: 30 измерений в 1 точке на каждом листе и 6 измерений на каждом из 4-х листьев

Сорт	Схема защиты	Среднее NBI (30×1)	Стандартное отклонение (30×1)	Среднее NBI (6×4)	Стандартное отклонение (6×4)
Лобо	Мерпан, СП/Знаток, ВДГ	11,21	2,45	11,96	4,12
	Шрапнель, ВГ/АгроШлем, ВДГ	11,54	2,82	11,95	1,52
	Обработки хозяйства	11,61	2,15	12,04	1,33
	Контроль	10,93	1,99	10,31	2,63
Манте т	Мерпан, СП/Знаток, ВДГ	11,49	2,77	14,79	3,03
	Шрапнель, ВГ/АгроШлем, ВДГ	11,56	3,62	14,2	2,99
	Обработки хозяйства	8,2	2,04	9,88	1,67
	Контроль	8,8	2,76	10,29	2,52
Мелба	Мерпан, СП/Знаток, ВДГ	10,58	2,37	11,79	2,31
	Шрапнель, ВГ/АгроШлем, ВДГ	9,79	2,04	11,07	1,77
	Обработки хозяйства	8,9	2,14	11,66	3,04
	Контроль	9,49	2,32	10,06	2,41

Для проверки точности экспресс-метода полученные с помощью N-тестера данные индекса NBI были сопоставлены с результатами спектрофотометрического определения пигментов (сумма хлорофиллов а и в в мг/г сырой массы). Статистическая обработка подтвердила наличие умеренной корреляции ($\rho = 0.463$, $p = 0.129$) между измерениями, полученными с помощью N-тестера (метод 6×4), и данными спектрофотометра. Слабая положительная корреляция между измерениями по методу 30×1 и данными спектрофотометра ($\rho = 0.22$, $p = 0,497$) оказалась недостоверной. Хотя ни один из методов не даёт достоверной корреляции на уровне $p < 0.05$, метод 6×4 всё же обеспечил более надёжное приближение к реальной связи с содержанием хлорофилла по сравнению с 30×1. Причина может быть в том, что для лабораторных исследований методом 6×4 с помощью N-тестера и пробоподготовки для спектрофотометрического определения пигментов использовали одни и те же листья. На основании этого объяснения считаем, что метод 30×1 является полезным для массовых скринингов, при которых необходимо проводить измерения в большом количестве повторностей.

Для определения оптимального возраста листьев для оценки азотного баланса листьев 3 июля в каждом варианте схемы защиты от парши и на каждом сорте были проведены измерения NBI листьев трех возрастных групп (верхушечные, средние и базальные). Результаты трёхфакторного дисперсионного анализа выявили достоверное преобладающее влияние фактора возраста листьев (24,7%, $p < 0,05$) на NBI по сравнению с влиянием сорта яблони (3,1%, $p = p < 0,05$), схемы защиты (1,7%, $p < 0,05$) и взаимодействием исследуемых факторов (табл. 26). Достоверным оказалось влияние взаимодействия возраста листа и сорта (2,9%, $p < 0,05$) и схемы защиты с сортом (1,8%, $p < 0,05$).

Таблица 26

Значения содержания растительных пигментов и NBI в зависимости от возрастной группы листьев

Растительные пигменты	Статистические показатели	Группы листьев по расположению от верхушечной почки		
		с 1-го по 4-й	с 5-го по 9-й	с 10-го по 14-й
Хлорофилл, мг/см ²	Среднее значение	16,95	20,67	23,48
	Стандартное отклонение	3,14	5,03	4,84
Флавоноиды, мг/см ²	Среднее значение	1,87	2,02	1,86
	Стандартное отклонение	0,15	0,15	0,25
Антоцианы, мг/см ²	Среднее значение	0,148	0,116	0,088
	Стандартное отклонение	0,033	0,046	0,061
Индекс NBI	Среднее значение	9,11	10,34	12,99
	Стандартное отклонение	1,90	2,73	3,59

Также мы выявили закономерность изменения индекса NBI в зависимости от расположения листьев на побеге относительно верхушечной почки. NBI возрастает по мере удаления от верхушки: у наиболее молодых листьев (позиции с первого по четвёртый) среднее значение составило 9,1 единицы, в средней возрастной группе (с пятого по девятый лист) показатель увеличился до 10,3 единиц, а у более старых листьев (с десятого по четырнадцатый) достиг 13,0 единиц. Подобная динамика, по всей видимости, обусловлена двумя процессами: накоплением хлорофилла в тканях листа и формированием градиента освещённости, при котором более молодые листья создают естественное

затенение для расположенных ниже.

Корреляционный анализ выявил неодинаковую степень взаимосвязи между содержанием хлорофилла и индексом NBI в различных возрастных группах листьев. Максимально тесная связь у молодых листьев (позиции 1–4): коэффициент ранговой корреляции Спирмена достиг значения $\rho = 0,91$ при уровне значимости $p < 0,001$, что подтверждает наличие выраженной прямой зависимости между рассматриваемыми параметрами. В средней возрастной группе (листья 5–9) сила связи ослабевала, хотя и сохранялась на статистически достоверном уровне ($\rho = 0,75$, $p < 0,001$). В группе старых листьев (10–14) наблюдалась тенденция к повторному усилению корреляционной зависимости — коэффициент Спирмена составил $\rho = 0,811$ при $p < 0,001$.

Анализ содержания флавоноидов показал иную картину распределения: пиковые концентрации данного класса соединений ($2,02 \text{ мг/см}^2$) отмечены в средней возрастной группе листьев (5–9 от верхушки побега). В остальных категориях зафиксированы более низкие показатели: $1,87 \text{ мг/см}^2$ для молодых листьев (1–4) и $1,86 \text{ мг/см}^2$ — для старых (10–14). Статистическая обработка данных с применением непараметрического критерия Краскела-Уоллиса подтвердила значимость межгрупповых различий ($H = 295,07$, $p < 0,0001$), что указывает на влияние возрастного фактора на уровень накопления флавоноидов в тканях листа. Полученные результаты позволяют предположить, что листья средней возрастной категории испытывают наибольшую физиологическую нагрузку, которая может быть обусловлена сочетанием повышенной уязвимости к парше и интенсивных метаболических процессов, характерных для данной фазы развития листа.

Выполненные исследования оптических параметров листьев яблони мы проводили в рамках программы изучения воздействия фунгицидов на физиологическое состояние растений при поражении паршой. Методические рекомендации по оценке биологической эффективности пестицидов также предлагают проводить учёты на листьях среднего возраста. Такой выбор продиктован особенностями развития возбудителя парши: при температуре 18–

23°C инкубационный период заболевания составляет около 10 дней. В этот временной интервал молодые листья (1–4 от верхушечной почки) могут не успеть подвергнуться заражению, а на старых листьях (10–14 от верхушки) распространение патогена существенно замедляется вследствие увеличения жёсткости и утолщения кутикулы покровных тканей.

Также по разным группам возрастов листьев провели количественное определение содержания антоцианов. Максимальные средние показатели накопления антоцианов зафиксированы в самой молодой возрастной группе — 0,148 мг/см². Это существенно превышает аналогичные значения для листьев среднего возраста (0,116 мг/см²) и зрелых листьев (0,088 мг/см²). Подобное распределение согласуется с физиологической функцией антоцианов, которые активно участвуют в защите молодых тканей от различных стрессовых воздействий, включая избыточное световое излучение и окислительный стресс.

В старых листьях внимания заслуживает высокая дисперсия содержания антоцианов - стандартное отклонение достигает 0,061. Такая вариабельность может быть обусловлена накоплением разнонаправленных факторов влияния на поздних этапах онтогенеза листа: изменениями микроклиматических условий, воздействием патогенов, колебаниями минерального питания и другими внешними и внутренними факторами.

Комплексный анализ массива данных (1080 наблюдений), полученных с помощью N-тестера при измерении содержания хлорофиллов, антоцианов и флавоноидов, позволил оценить взаимосвязи между этими биохимическими показателями.

Установлена достоверная сильная прямая корреляция между концентрацией хлорофиллов и значением индекса NBI ($\rho = 0,93$, $p < 0,001$). Данный результат закономерен, поскольку индекс NBI по своей сути является производной величиной от содержания хлорофиллов. В то же время отсутствие значимой связи между уровнем хлорофиллов и содержанием флавоноидов ($\rho = -0,05$, $p < 0,001$) подчёркивает методологическую ценность использования индекса NBI. Это объясняется функциональной ролью флавоноидов, которые, поглощая часть

светового потока, создают своего рода «световую завесу» для хлорофилла в мезофилле, потенциально снижая его фотосинтетическую эффективность.

В ходе исследования выявлены выраженные обратные зависимости: между содержанием хлорофилла и антоцианов ($\rho = -0,93$, $p < 0,001$) и между уровнем антоцианов и индексом NBI ($\rho = -0,90$, $p < 0,001$). Эти данные говорят о том, что по мере нарастания фотосинтетической активности и старения листа происходит закономерное снижение концентрации антоцианов — соединений, более востребованных на ранних этапах развития для защиты уязвимых тканей.

Дополнительно проведённое исследование на листьях с пятого по девятый от верхушечной почки не выявило статистически значимых различий ($p > 0,05$) между результатами измерений хлорофиллометром в верхней, средней и нижней частях листовой пластинки. Величина влияния этого фактора на показатель не превышала 1 %. Следовательно, для оперативной диагностики физиологического состояния растений достаточно выполнять точечные измерения в любой части листа, что существенно упрощает процедуру сбора данных и исключает необходимость строгого выбора зоны измерения.

Для изучения динамики изменения индекса NBI в зависимости от сортовых особенностей яблони и применяемой системы защиты от парши были выполнены соответствующие измерения на листьях с пятого по девятый от верхушечной почки в два временных периода — 3 июля и 3 сентября (см. табл. 27).

В ходе июльского мониторинга выявлены существенные различия по индексу NBI между исследуемыми сортами яблони. Максимальные значения зафиксированы у сорта Лобо - среднее составило $11,33 \pm 2,36$. Ниже оказался индекс у сорта Мантет ($10,01 \pm 3,21$), при этом отмечена наибольшая вариабельность данных. Подобная дисперсия может быть обусловлена более интенсивным поражением листьев паршой в сравнении с остальными сортами. Минимальные показатели NBI зарегистрированы у сорта Мелба ($9,69 \pm 2,28$). Статистическая обработка данных подтвердила значимость межсортовых различий. Результаты дисперсионного анализа продемонстрировали высокое значение критерия Фишера: $F=12,83$ при $p < 0,0001$, что свидетельствует о

достоверном влиянии сортовых особенностей на исследуемый показатель (табл. 27).

Таблица 27

Средние значения индекса азотного баланса (NBI) и стандартное отклонение в зависимости от сорта яблони и схемы защиты от парши

Сорт	Схема защиты	NBI (среднее значение \pm стандартное отклонение)	
		Дата учета: 03.07.2024	Дата учета: 03.09.2024
Мелба	Мерпан, СП/Знаток, ВДГ	10,58 \pm 2,37	12,98 \pm 2,22
	Шрапнель, ВГ/АгроШлем, ВДГ	9,79 \pm 2,04	12,2 \pm 2,4
	Обработки хозяйства	8,9 \pm 2,14	10,83 \pm 1,73
	контроль	9,49 \pm 2,32	12,14 \pm 2,55
Мантет	Мерпан, СП/Знаток, ВДГ	11,49 \pm 2,77	18,33 \pm 3,72
	Шрапнель, ВГ/АгроШлем, ВДГ	11,56 \pm 3,62	15,08 \pm 2,39
	Обработки хозяйства	8,2 \pm 2,04	11,46 \pm 3,73
	контроль	8,8 \pm 2,76	12,75 \pm 2,94
Лобо	Мерпан, СП/Знаток, ВДГ	11,21 \pm 2,45	13,38 \pm 2,68
	Шрапнель, ВГ/АгроШлем, ВДГ	11,54 \pm 2,82	14,07 \pm 2,56
	Обработки хозяйства	11,61 \pm 2,15	13,39 \pm 2,56
	контроль	10,93 \pm 1,99	11,19 \pm 2,59

Второй учёт, проведённый 3 сентября 2024 года после завершения сбора урожая, выявил тенденцию к повышению индекса NBI у всех изучаемых сортов. Это является следствием накопления азота и завершения активной вегетативной фазы растений. Максимальное значение NBI в осенний период зарегистрировано у сорта Мантет (14,41 \pm 4,14). Сорт Лобо продемонстрировал стабильные показатели (13,01 \pm 2,79), сохранив лидирующие позиции по среднему уровню NBI на протяжении всего вегетационного цикла. Сорт Мелба также показал рост индекса (12,04 \pm 2,35), однако его значения по-прежнему оставались ниже, чем у остальных сортов. Дисперсионный анализ данных подтвердил статистическую значимость межсортовых различий: $F=16,79$ при $p < 0,0001$. Полученные результаты также подтверждают существенное влияние сортовых характеристик на физиологическое состояние листьев по завершении вегетационного периода.

В ходе исследования также оценивали влияние различных схем фунгицидной защиты на индекс NBI. В июле максимальные средние значения NBI зафиксированы при использовании препаратов Мерпан, СП / Знаток, ВДГ,

где показатель составил $11,09 \pm 2,54$, а также при применении Шрапнель, ВГ / АгроШлем, ВДГ со значением $10,96 \pm 2,99$. В контрольных условиях и при применении хозяйственной схемы показатели оказались статистически ниже и составили $9,74 \pm 2,52$ и $9,57 \pm 2,56$ соответственно. Эти различия могут отражать неодинаковую реакцию растений на химический состав используемых фунгицидов. Результаты дисперсионного анализа подтвердили достоверное влияние схем защиты на азотный метаболизм в начальной фазе вегетации, о чём свидетельствует значение критерия Фишера $F=8,09$ при уровне значимости $p < 0,0001$.

Осенний учёт выявил усиление различий между вариантами. Наибольшие значения индекса NBI в этот период были зафиксированы при использовании Мерпан, СП / Знаток, ВДГ — показатель достиг $14,90 \pm 3,80$. За ней следовала схема Шрапнель, ВГ / АгроШлем, ВДГ с результатом $13,78 \pm 2,71$. Контрольный вариант показал значение $12,02 \pm 2,75$, а хозяйственная схема защиты — $11,89 \pm 2,97$. Примечательно, что даже контрольный вариант в осенний период показал заметный рост индекса NBI относительно июльских данных. Скорее всего это обусловлено сезонной динамикой перераспределения пигментов. Статистическая значимость межгрупповых различий в осенний период возросла: значение критерия Фишера составило $F=19,82$ при $p < 0,0001$, что подчёркивает выраженное влияние применяемых защитных мероприятий на физиологическое состояние растений к концу вегетационного цикла.

Анализ средних значений NBI с учётом комбинации факторов «сорт × схема × дата» позволил выявить различия в отклике сортов на фунгицидные обработки. Сорт Мантет продемонстрировал наибольший прирост индекса при использовании схемы Шрапнель, ВГ / АгроШлем, ВДГ - рост составил $+3,53$. Положительная динамика отмечена и при обработке Мерпаном, СП / Знатком, ВДГ, где прирост достиг $+3,36$. Сорт Мелба показал максимальный эффект при применении каптана с трифлуксистробином — прирост составил $+5,25$, что является наивысшим показателем среди всех комбинаций факторов. Также значимый прирост зафиксирован при использовании схемы Шрапнель, ВГ /

АгроШлем, ВДГ (+2,77), тогда как в контрольных условиях увеличение оказалось существенно ниже и составило лишь +1,87. Сорт Лобо, характеризующийся стабильно высокими исходными значениями NBI, продемонстрировал более умеренные изменения. Максимальный прирост индекса (+2,53) был достигнут при обработке препаратами Шрапнель, ВГ / АгроШлем, ВДГ, в то время как контрольный вариант практически не изменился, показав прирост всего +0,25. Этот факт подчёркивает роль защитных мероприятий в поддержании физиологической устойчивости даже у сортов, изначально демонстрирующих стабильные показатели.

Обобщая полученные результаты, можно заключить, что наибольшую отзывчивость на исследуемые схемы защиты проявили сорта Мелба, особенно при обработке фунгицидами Мерпан, СП / Знаток, ВДГ, и Мантет, показавший положительную реакцию на обеих исследуемых системах защиты. Сорт Лобо, обладая изначально высокими значениями NBI, показал менее выраженный прирост индекса, однако его реакция на применяемые средства защиты от парши достоверно превосходила контрольный вариант. Хозяйственная система защиты на основе дифеноконазола оказывает умеренное положительное воздействие на сорт Лобо, но уступает по эффективности у сортов Мантет и Мелба относительно показателей в контрольных вариантах. Учитывая потенциальную способность дифеноконазола провоцировать резистентность патогенов при частом использовании, целесообразно рассмотреть возможность ротации фунгицидов, оптимизацию сроков и норм обработок, а также включение препаратов с альтернативным механизмом действия для повышения эффективности защитных мероприятий.

Двухфакторный дисперсионный анализ подтвердил статистически достоверное влияние обоих исследуемых факторов на показатели индекса NBI (табл. 28). Расчётными значениями критерия Фишера $F=4,30$ при уровне значимости $p < 0,001$ также подтверждается факт взаимодействия между влиянием сорта и применяемыми схемами защиты растений (табл. 28). Из этого следует

вывод о неодинаковой восприимчивости различных сортов яблони к используемым фунгицидам.

Таблица 28

Сравнительная таблица результатов двухфакторного дисперсионного анализа учётов индекса азотного баланса (NBI)

Фактор	Дата учета: 03.07.2024		Дата учета: 03.09.2024	
	F	p	F	p
Сорт	14.42	9.6×10^{-7}	22.89	4.6×10^{-10}
Система защиты	9.15	7.6×10^{-6}	25.39	7.0×10^{-15}
Взаимодействие Сорт×Система защиты	4.30	3.4×10^{-4}	10.40	1.3×10^{-10}

К завершению вегетационного периода все анализируемые факторы усиливают своё воздействие. Если в июле уже фиксировались статистически значимые различия по влиянию сорта и их реакции на применяемые схемы защиты, то к осеннему периоду эти расхождения приобретают ещё более отчётливый характер. Особенно заметно увеличивается роль фактора фунгицидных обработок, а также взаимодействия между сортом и схемой защиты.

Для оценки взаимосвязи между физиологическим состоянием листьев и степенью поражения паршой мы провели корреляционный анализ. В его рамках сопоставляли усреднённые значения индекса азотного баланса (NBI), рассчитанные по всем группам листьев в ходе учёта 3 июля, с показателями распространения и развития заболевания. Мониторинг проводился на учётных ветвях, где детально осматривали от 15 до 30 листьев на каждой ветви по всей её длине, что обеспечило репрезентативность выборки (табл. 29).

Результаты корреляционного анализа выявили наличие обратной умеренной зависимости между уровнем NBI и интенсивностью проявления заболевания. В частности, коэффициент корреляции между индексом NBI и распространением парши составил $\rho = -0,615$ при уровне значимости $p < 0,05$. Сходная закономерность прослеживается и в соотношении между NBI и развитием парши: соответствующий коэффициент корреляции равен $\rho = -0,601$ при $p < 0,05$, подтверждая наличие статистически значимой обратной зависимости (табл. 29).

Полученные данные позволяют заключить, что более высокий уровень азотного баланса в листьях яблони сопряжён с меньшей восприимчивостью растений к парше.

Таблица 29

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	Распространение парши, %	Развитие парши, %
Мелба	Мерпан, СП/Знаток, ВДГ	11,81	11,8	2,7
	Шрапнель, ВГ/АгроШлем, ВДГ	11,84	21	4,9
	Обработки хозяйства	9,84	47,6	12,7
	контроль	10,01	63,3	20,3
Мантет	Мерпан, СП/Знаток, ВДГ	10,62	35,9	10
	Шрапнель, ВГ/АгроШлем, ВДГ	9,96	34,6	10,2
	Обработки хозяйства	9,86	81,4	33,3
	контроль	9,90	79,7	37,9
Лобо	Мерпан, СП/Знаток, ВДГ	11,39	12,8	2,6
	Шрапнель, ВГ/АгроШлем, ВДГ	11,82	19,5	4,5
	Обработки хозяйства	11,81	50,7	15,3
	контроль	10,94	62,7	21

Полученные результаты свидетельствуют о том, что индекс NBI может быть использован как индикатор физиологической стабильности растений в условиях патогенного давления. Это открывает перспективы его применения в интегрированных системах мониторинга фитосанитарного состояния яблоневых садов.

5.3. Влияние парши на качество плодов и урожайность

Для объективной оценки влияния исследуемых систем защиты на качественные и количественные характеристики урожая проведено сравнительное исследование ряда показателей: массы и твёрдости плодов, содержания сухого вещества, аскорбиновой кислоты, суммы сахаров и общей кислотности.

Средняя масса плодов в варианте с принятой в хозяйстве системы защиты практически не отличалась от значений контрольного варианта. Наибольшие показатели массы яблок отмечены в вариантах с использованием исследуемых

систем фунгицидов, хотя различия между ними не достигли статистической значимости. Наиболее выраженные изменения отмечены у сорта Лобо: в вариантах с комбинациями фунгицидов получены самые крупные плоды со средней массой 170 г, что на 11–12 % превышает показатели контрольного и хозяйственного вариантов. У сорта Мантет прирост массы оказался ещё более существенным и составил 21–26 %, а для сорта Мелба зафиксирован прирост в диапазоне 9–13 % (рис. 21).

При столь значительном увеличении массы плодов у сорта Мантет содержание сухого вещества оставалось близким к контрольному уровню. Это позволяет сделать вывод о том, что прирост массы обусловлен не повышением сочности плодов, а увеличением общего количества питательных элементов. У сорта Мантет в варианте с хозяйственной системой обработок содержание сухого вещества достигло 17 %, что на 18 % выше контрольного значения. Подобное превышение может быть связано с повышенным содержанием дисахаридов, что, в свою очередь, указывает на несколько меньшую степень спелости яблок в данном варианте.

Для оценки вкусовых характеристик плодов рассчитан сахарно-кислотный индекс. У сорта Мантет в вариантах с применением исследуемых систем обработки индекс возрос на 15–36 % относительно контроля и варьировал в диапазоне 12,4–14,7, что говорит о положительном влиянии защитных мероприятий против парши на вкусовые качества яблок. У сорта Лобо сахарно-кислотный индекс увеличился на 16 %, до уровня 10,9. Это указывает на преобладание кислого вкуса. В сочетании с высоким показателем твёрдости это позволяет сделать заключение, что плоды данного сорта не достигли достаточной степени зрелости для употребления в свежем виде. Однако в процессе промышленной переработки кислый вкус можно скорректировать путём добавления соответствующих компонентов. У сорта Мелба не выявлено статистически значимого влияния применяемых обработок на сахарно-кислотный индекс, что может указывать на меньшую отзывчивость данного сорта на

применение фунгицидов в контексте формирования вкусовых качеств плодов (табл. 30).

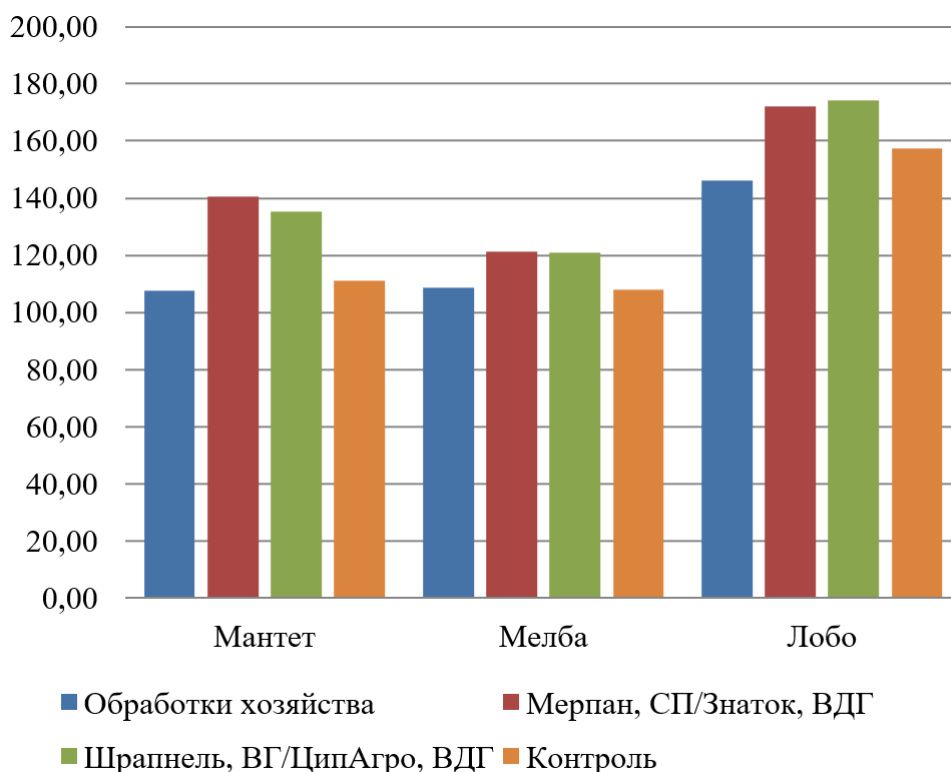


Рисунок 21. – Влияние препаратов на среднюю массу плода яблони, г

Таблица 30

Биохимические показатели плодов в зависимости от применяемых фунгицидных обработок против парши (2024, Солнечногорский район, Московская область)

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
	Шрапнель, 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
	Шрапнель, 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
	Шрапнель, 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 рамках опыта была выявлена связь между сахарно-кислотным индексом и твёрдостью плодов. Уменьшение индекса в среднем по сорту до 12,9 (Мантет), 11,9 (Мелба), 10,6 (Лобо) сопровождалось увеличением твёрдости плодов, соответственно, до 4,7 кг/см² – у Мантета, до 6,4 кг/см² у Мелбы и самая высокая твёрдость плодов отмечена у Лобо - 8,8 кг/см².

По всем сортам в вариантах с опытными системами защиты от парши наблюдалось увеличение содержания аскорбиновой кислоты в яблоках, которая является важным витамином для человека. На сортах Мантет и Мелба содержание этого витамина выросло на 4-13% и 9%, соответственно, а на сорте Лобо - на 24%. В абсолютном выражении содержание аскорбиновой кислоты составило в среднем 4 мг/100 г в плодах сортов Мантет и Мелба и 3,2 мг/100 г - в яблоках сорта Лобо.

Достоверной разницы по влиянию на качественные характеристики плодов между предлагаемыми системами защиты сортам между вариантами не отмечено, поэтому в рамках данного исследования нет возможности сделать вывод в пользу какой-то одной из них.

В результате проведенного полевого опыта в 2024 г. были получены данные, характеризующие влияние различных систем химической защиты на продуктивность яблони сорта Мантет. Анализ показал существенные различия между вариантами как по величине урожая, так и по его качественным характеристикам. В таблице 31 представлены основные показатели урожайности и сортность плодовой продукции в зависимости от применяемых фунгицидных обработок.

Как следует из данных таблицы 31, наименьшие показатели продуктивности зафиксированы в контрольном варианте. Урожайность составила 15,0 кг с одного дерева, что при пересчете на гектарную площадь, исходя из плотности стояния 87 деревьев на гектар конкретного сорта Мантет в хозяйстве, соответствует 1,3 тонны с гектара. При этом качество полученной продукции оказалось крайне низким: лишь 10% плодов были отнесены к первому сорту, 45% – ко второму, а оставшиеся 45% составила нестандартная продукция, непригодная для

реализации в свежем виде без предварительной переработки. Высокий процент нестандарта обусловлен, главным образом, сильным поражением плодов паршой, что визуально проявлялось в виде многочисленных темных пятен, деформации и растрескивания поверхности, большим количеством падалицы в контрольном варианте (табл. 31).

Таблица 31

Влияние обработок фунгицидами на урожайность яблони сорта Мантет (Солнечногорский район, Московская область, 2024 г.)

Вариант опыта	Урожай с 1 дерева		Выход плодов по сортам, %		
	кг	% к контролю	1 сорт	2 сорт	Нестандарт
Мерпан, СП/Знаток, ВДГ	21,1	+40,6	54	27	19
Шрапнель, ВГ/АгроШлем, ВДГ	20,6	+37,3	50	35	15
Обработки хозяйства - эталон	17,2	+14,6	11	55	34
Контроль (без обработки)	15	-	10	45	45
НСР _{0,05}	1,3				

Принятая в хозяйстве система защиты обеспечила повышение урожайности до 17,2 кг с дерева (1,50 т/га), что на 14,6% превысило уровень контроля. В качественном отношении продукция в данном варианте характеризовалась незначительным увеличением доли первого сорта до 11%, при этом основная масса урожая (55%) была отнесена ко второму сорту. Доля нестандартных плодов оставалась достаточно высокой, составляя 34%, что свидетельствует о недостаточной эффективности хозяйственной системы защиты в условиях повышенного инфекционного фона.

Значительно более высокие результаты получены в варианте с последовательным применением препаратов Шрапнель, ВГ/АгроШлем, ВДГ. Урожайность здесь достигла 20,6 кг с дерева или 1,79 т/га, что превысило контрольный показатель на 37,3%. Качественные характеристики урожая в этом варианте значительно улучшились: половина плодов (50%) соответствовала требованиям первого сорта, 35% были отнесены ко второму сорту, и лишь 15% продукции признано нестандартной. Столь существенное улучшение товарных

качеств плодов можно объяснить эффективным контролем развития парши на протяжении всего периода вегетации. Максимальная урожайность зафиксирована в варианте с использованием фунгицидов Мерпан, СП и Знаток, ВДГ, составив 21,1 кг с дерева (1,84 т/га), что на 40,6% выше контроля. Данный вариант также характеризовался наилучшими показателями выхода плодов высшего товарного сорта – 54% урожая было отнесено к первому сорту. Доля второго сорта в этом варианте составила 27%, нестандартной продукции – 19%. Статистически значимых различий между вариантами с предложенными системами защиты не выявлено.

Дальнейший анализ включал экономическую оценку эффективности изучаемых систем защиты, результаты которой представлены в таблице 32. В связи с отсутствием фактических данных о ценах реализации в конкретном хозяйстве, экономические расчеты выполнены с использованием среднерыночных оптовых цен на плодовую продукцию, сложившихся в Московской области в 2025 году (1 сорт – 100 руб./кг, 2 сорт – 75 руб./кг, нестандарт – 15 руб./кг). Общие затраты на защиту сада для каждого варианта определялись суммированием стоимости израсходованных препаратов и технологических издержек на проведение всех запланированных опрыскиваний. Так, для варианта Шрапнель, ВГ/АгроШлем, ВДГ итоговая сумма в 12 тыс. рублей на гектар сложилась из стоимости двух фунгицидов или их аналогов, рассчитанной на гектарную норму, и затрат на выполнение технологических операций. Для варианта Мерпан, СП/Знаток, ВДГ затраты составили 16,8 тыс. рублей на гектар. Стоимость применения препаратов Раёк, КЭ и Медея, МЭ, применяемые в системе защиты хозяйства, составила 7,2 тыс. рублей на гектар.

Анализ данных таблицы 32 свидетельствует о том, что все изучаемые системы защиты обеспечивают получение положительного экономического эффекта по сравнению с контролем. Наименьшие показатели экономической эффективности отмечены в контрольном варианте, где отсутствие обработок привело к минимальной урожайности (1,3 т/га) и крайне низкому выходу товарной продукции. Стоимость валовой продукции в контроле составила 65,9

тыс. руб./га, при этом чистый доход не превысил 10,9 тыс. руб./га, а уровень рентабельности производства оказался минимальным – 19,8%.

Таблица 32

Экономическая эффективность применения различных систем защиты яблони сорта Мантет

Экономические показатели		Мерпан, СП/Знаток, ВДГ	Шрапнель, ВГ/АгроШлем, ВДГ	Обработки хозяйства - эталон	Контроль (без обработки)
Урожай с 1 дерева, кг	1 сорт	11,4	10,3	1,9	1,5
	2 сорт	5,7	7,2	9,5	6,8
	Не стандарт	4,0	3,1	5,8	6,8
	Итого	21,1	20,6	17,2	15
Стоимость валовой продукции с 1 га, руб.	1 сорт	99128	89610	16460	13050
	2 сорт	37173	47045	61727	44044
	Не стандарт	5232	4032	7632	8809
	Итого	141532	140688	85819	65903
Затраты на защиту от парши, руб./га		16800	12000	7200	0
Производственные затраты на 1 га, руб.		71800	67000	62200	55000
Чистый доход, тыс. руб.		69732	73688	23619	10903
Себестоимость 1 кг, руб.		39,1	37,4	41,6	42,1
Дополнительный чистый доход, руб.		58830	62785	12716	
Рентабельность производства, %		97,1	110,0	38,0	19,8
Окупаемость дополнительных затрат, руб.		3,5	5,2	1,8	-
Предотвращенный ущерб, кг/га	1 сорт	989,4	880	39,2	-
	2 сорт	-105,3	46	271	-
	Не стандарт	-274,1	-366	-90,2	-
	Итого	610	560	220	-
Затраты на 1 рубль товарной продукции, руб.		0,51	0,48	0,72	0,83

Применение хозяйственной системы защиты позволило увеличить стоимость валовой продукции до 85,8 тыс. руб./га, что на 30% выше контроля. Чистый доход в этом варианте достиг 23,6 тыс. руб./га, а рентабельность повысилась до 38,0%. Однако, несмотря на превышение контрольных показателей, данный вариант уступает по экономической эффективности

предлагаемым схемам защиты, что объясняется недостаточно высоким выходом плодов первого сорта (всего 11%) и сохранением значительной доли нестандартной продукции (34%).

Наиболее высокие экономические результаты получены в вариантах с применением предлагаемых систем защиты. В варианте с использованием препаратов Мерпан, СП и Знаток, ВДГ стоимость валовой продукции с гектара достигла 141,5 тыс. руб., в варианте Шрапнель, ВГ/АгроШлем, ВДГ – 140,7 тыс. руб., что более чем в 2 раза превышает аналогичный показатель контроля. Несмотря на более высокие затраты на защиту растений (16,8 и 12,0 тыс. руб./га соответственно против 7,2 тыс. руб./га в эталоне), данные варианты обеспечили максимальный чистый доход – 69,7 и 73,7 тыс. руб./га, что в 6–7 раз выше контроля и в 3 раза выше хозяйственного эталона. Рассчитанные показатели рентабельности подтверждают высокую экономическую эффективность предлагаемых систем защиты. В варианте Мерпан, СП/Знаток, ВДГ рентабельность составила 97,1%, в варианте Шрапнель, ВГ/АгроШлем, ВДГ – 110,0%, тогда как в контроле данный показатель не превысил 19,8%, а в эталоне – 38,0%. Существенно снизилась и себестоимость производства 1 кг плодов: с 42,1 руб. в контроле до 37,4–39,1 руб. в опытных вариантах, что обусловлено как ростом урожайности, так и улучшением сортовой структуры продукции.

Важным показателем, характеризующим эффективность дополнительных вложений в средства защиты, является окупаемость дополнительных затрат. Наибольшее значение этого показателя отмечено в варианте Шрапнель, ВГ/АгроШлем, ВДГ – 5,2 руб. чистого дохода на каждый дополнительно вложенный рубль, в варианте Мерпан, СП/Знаток, ВДГ – 3,5 руб., в эталоне – лишь 1,8 руб. Расчет предотвращенного ущерба показал, что применение эффективных систем защиты позволило дополнительно сохранить и получить товарной продукции высшего качества в объеме 560–610 кг/га по сравнению с контролем. Интегральный показатель эффективности производства – затраты на 1 рубль товарной продукции – составил в контроле 0,83 руб., в эталоне 0,72 руб., тогда как в предлагаемых вариантах он снизился до 0,48–0,51 руб., что

свидетельствует о более рациональном использовании материально-денежных средств.

Экономическая оценка подтверждает, что применение исследуемых систем защиты Мерпан, СП/Знаток, ВДГ и Шрапнель, ВГ/АгроШлем, ВДГ является не только биологически эффективным, но и экономически целесообразным. Обеспечивая получение более 50% плодов первого сорта и высокую рентабельность (97–110%), данные системы могут быть рекомендованы для внедрения в производственных садах Московского региона.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании проведенных полевых и лабораторных исследований по уточнению распространенности в Московском регионе микозов яблони и, в первую очередь парши, как доминирующего заболевания, 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 каппы 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 + трифлуксистербин» 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 + трифлуксистербин» 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 трифлуксистербина, 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 допустимых 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.

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 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 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 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 повышения устойчивости путём применения подкормок в комплексе с фунгицидными обработками. Апробация разработанных систем защиты на более широком сортименте, а также в различных почвенно-климатических условиях Нечернозёмной зоны РФ позволит уточнить регламенты применения и адаптировать их к условиям хозяйств.

ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВУ

Садоводческим хозяйствам Московской области и других регионов Нечерноземной зоны РФ, специализирующихся на возделывании яблони, рекомендуется внедрение следующих научно обоснованных подходов к защите садов 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. Цифровой сервис на основе нейронной сети YOLOv10 возможно использовать для автоматизированной детекции и оценки площади поражения листьев паршой 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:

Схема защиты №1: применение контактного фунгицида Мерпан, СП (500 г/кг каптана) 3 кг/га трёхкратно в начальный период (после цветения и в фазу формирования завязи) с последующим применением системного препарата Знаток, ВДГ (500 г/кг трифлуксистробина) 0,14 кг/га двукратно в фазу развития плодов.

Схема защиты №2: применение контактного фунгицида Шрапнель, ВГ (700 г/кг дитианона) 0,7 кг/га трёхкратно с последующим применением системного

препарата АгроШлем, ВДГ (750 г/кг ципродинила) 0,2 кг/га двукратно. 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.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Акимов, В. И. Влияние фунгицидов и удобрений на рост и пораженность розеточностью яблони в условиях Запорожской области: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.07 / В. И. Акимов. – Москва, 1980. – 18 с. – URL: <https://rucont.ru/efd/39988> (дата обращения: 04.03.2026).
2. Багирова, С. Ф. Фундаментальная фитопатология / С. Ф. Багирова, В. Г. Джавахия, Ю. Т. Дьяков [и др.]. – Москва: Красанд, 2012. – 508 с. – ISBN 978-5-396-00406-1.
3. Баздырев, Г. И. Интегрированная защита растений от вредных организмов: учебное пособие / Г. И. Баздырев, Н. Н. Третьяков, О. О. Белошапкина. – Москва: ИНФРА-М, 2025. – 302 с. – (Высшее образование). – ISBN 978-5-16-006469-7.
4. Бедловская, И. В. Биоэкологическое обоснование защиты яблони от парши в условиях ОАО «Сад-Гигант» / И. В. Бедловская, Е. А. Кудаева // Научный журнал КубГАУ. – 2016. – № 61. – С. 74–79. – DOI: 10.21515/1999-1703-61-74-79.
5. БЕЛЛИС®, ВДГ [Электронный ресурс] // Группа компаний «Виктория». – URL: <https://vicgroup.ru/catalog/bellis/> (дата обращения: 08.03.2026).
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. Белошапкина, О. О. Защита растений от болезней / О. О. Белошапкина, В. А. Шкаликов, И. В. Горбачев [и др.]. – Москва: Колос, 2001. – 245 с. – ISBN 978-5-9532-0767-6.
8. Белошапкина, О. О. Иммунологическая оценка устойчивости к парше сортов яблони в зависимости от особенностей микроструктуры эпидермы листа и

плода / О. О. Белошапкина, Т. Х. Кумахова, Н. Н. Вахшех // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. – 2014. – № 4. – С. 52–63.

9. Белошапкина, О. О. Фитопатология: учебник / О. О. Белошапкина, А. П. Глинушкин, Ф. С. Джалилов [и др.]. – Москва: ИНФРА-М, 2023. – 288 с. – ISBN 978-5-16-009862-3.

10. Белошапкина, О. О. Фитосанитарный мониторинг и методы идентификации фитопатогенов: учебное пособие для вузов / О. О. Белошапкина, Ф. Б. Ганнибал, Р. И. Тараканов [и др.]. – Москва: Ай Пи Ар Медиа, 2024. – 128 с. – ISBN 978-5-4497-4003-8.

11. Вахшех, И. Н. Н. Совершенствование защиты яблони и груши от парши: дис. ... канд. биол. наук: 06.01.11 / Вахшех Имад Наваф Найф. – Москва, 2015. – 138 с.

12. Гиниятуллин, Р. Х. Содержание фотосинтетических пигментов в листьях «здоровых» и «ослабленных» деревьев тополя бальзамического (*Populus balsamifera* L.), произрастающих в условиях промышленного загрязнения (Республика Башкортостан, Стерлитамакский промышленный центр) / Р. Х. Гиниятуллин, Р. С. Иванов, О. В. Тагирова, А. Ю. Кулагин // Самарский научный вестник. – 2022. – Т. 11, № 1. – С. 43–48. – DOI: 10.55355/snvt2022111104.

13. ГОСТ 28561-90. Продукты переработки плодов и овощей. Методы определения сухих веществ или влаги. – Введ. 1991–07–01. – Москва: Издательство стандартов, 1990. – 10 с.

14. ГОСТ 8756.13-87. Продукты переработки плодов и овощей. Методы определения сахаров. – Введ. 1988–07–01. – Москва: Издательство стандартов, 1988. – 12 с.

15. Государственный каталог пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации. – Москва: Минсельхоз России, 2026.

16. Григорьева, Л. В. Совершенствование схем интегрированной защиты саженцев яблони в питомнике в условиях ЦЧР [Электронный ресурс] / Л. В. Григорьева, Л. В. Бобрович, Н. Г. Белов, С. И. Григорьев // Вестник Воронежского

государственного аграрного университета. – 2024. – Т. 17, № 4 (79). – С. 80–88. – URL: <https://agris.fao.org/search/zh/records/67e13e09677d8be0233caec5> (дата обращения: 04.03.2026).

17. Григорьева, Л. В. Современные технологии размножения и возделывания садовых культур (интенсивная технология производства клоновых подвоев яблони в горизонтальном отводковом маточнике с применением органического субстрата) [Электронный ресурс]: учебное пособие / Л. В. Григорьева. – Воронеж: Мичуринский ГАУ, 2020. – 71 с. – ISBN 978-5-94664-428-0. – URL: <https://e.lanbook.com/book/202022> (дата обращения: 04.03.2026).

18. Гришечкина, Л. Д. Развитие исследований по формированию современного ассортимента фунгицидов / Л. Д. Гришечкина, В. И. Долженко, О. В. Кунгурцева, Т. И. Ишкова, С. Д. Здрожевская // *Агрохимия*. – 2020. – № 9. – С. 32–47.

19. Дементьева, М. И. Болезни плодов, овощей и картофеля при хранении / М. И. Дементьева, М. И. Выгонский. – Москва: Агропромиздат, 1988. – 231 с.

20. Должикова, М. А. ДНК-генотипирование гибридного фонда яблони ВНИИСПК на присутствие гена Vf устойчивости к парше / М. А. Должикова, А. В. Пикунова, Е. Н. Седов, З. М. Серова // *Вестник российской сельскохозяйственной науки*. – 2018. – № 3. – С. 49–54. – DOI: 10.24411/2312-6701-2018-10304.

21. Должикова, М. А. Поражение паршой (*Venturia inaequalis* (Cooke) G. Winter) яблони (*Malus domestica* Borkh.) некоторых сортов с геном Vf (Rvi6) на территории Орловской области / М. А. Должикова, Т. В. Янчук, А. М. Галашева [и др.] // *Аграрный вестник Урала*. – 2024. – Т. 24, № 11. – С. 1396–1405. – DOI: 10.32417/1997-4868-2024-24-11-1396-1405.

22. Донченко, Л. В. Технология пектина и пектинопродуктов: учебное пособие / Л. В. Донченко. – Москва: ДеЛи, 2000. – 255 с.

23. Дорожкин, Н. А. Внутривидовая неоднородность возбудителя парши яблони *Venturia inaequalis* (Cooke) Wint. в Белоруссии / Н. А. Дорожкин, С. И.

Гриценко, В. А. Самусь // Микология и фитопатология. – 1979. – Т. 13, № 6. – С. 496–502.

24. Дорошенко, Т. Н. Агробиологические аспекты ускоренного выращивания разветвленных саженцев яблони [Электронный ресурс] / Т. Н. Дорошенко, А. П. Задорожный, Л. Г. Рязанова [и др.] // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2023. – № 106. – С. 90–93. – DOI: 10.21515/1999-1703-106-90-93.

25. Дымова, О. В. Фотосинтетические пигменты в растениях природной флоры таежной зоны европейского северо-востока России / О. В. Дымова, Т. К. Головки // Физиология растений. – 2019. – Т. 66, № 3. – С. 198–206. – DOI: 10.1134/S0015330319030035.

26. Дьяков, Ю. Т. Фитопатология: учебное пособие для СПО / Ю. Т. Дьяков, С. Н. Еланский. – Москва: Юрайт, 2024. – 238 с. – ISBN 978-5-534-09185-4.

27. Егоров, Е. А. Государственное регулирование рынка плодовой продукции как фактор обеспечения устойчивости отраслевого производства / Е. А. Егоров, Ж. А. Шадрина, Г. А. Кочьян // Садоводство и виноградарство. – 2018. – № 3. – С. 11–15. – DOI: 10.25556/VSTISP.2018.3.14168.

28. Захаренко, В. А. Агрохимические аспекты химической безопасности пестицидов / В. А. Захаренко // Агрохимия. – 2022. – № 1. – С. 50–57.

29. Захаренко, В. А. Особенности развития технологий защиты растений в агроэкосистемах в условиях рыночной экономики России / В. А. Захаренко // Агрохимия. – 2023. – № 8. – С. 45–57.

30. Защита растений: фитопатология и энтомология / О. О. Белошапкина, В. В. Гриценко, И. М. Митюшев, С. И. Чебаненко. – Ростов-на-Дону: Феникс, 2017. – 477 с. – ISBN 978-5-222-27848-2.

31. Зинченко, В. А. Химическая защита растений: средства, технология и экологическая безопасность: учебное пособие для вузов / В. А. Зинченко. – Москва: КолосС, 2012. – 248 с. – ISBN 978-5-9532-0790-4.

32. Зубков, А. В. Оценка фитосанитарного состояния и проблемы защиты многолетних насаждений в садоводстве / А. В. Зубков, В. В. Антоненко // Вестник Российской сельскохозяйственной науки. – 2020. – № 6. – С. 32–36.

33. Иванова, О. В. Развитие парши яблони в Крыму / О. В. Иванова, Е. Б. Балыкина // Биология растений и садоводство: теория, инновации. – 2019. – № 148. – С. 96–108. – DOI: 10.25684/NBG.scbook.148.2019.10.

34. 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.

35. 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.

36. 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.

37. 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.

38. 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.

39. Касатов, И. С. Оптимизация метода определения азотного баланса в листьях яблони при оценке эффективности фунгицидов против парши / И. С. Касатов, О. О. Белошапкина // Садоводство и виноградарство. – 2025. – № 4. – С. 24–33. – DOI: 10.31676/0235-2591-2025-4-24-33.

40. 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.

41. 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.

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

43. Кирай, З. Методы фитопатологии / З. Кирай, З. Клемент, Ф. Шоймоши, И. Вереш; пер. с англ. – Москва: Колос, 1974. – 272 с. – С. 178–179.

44. Кирющенко, Е. Н. Оценка коллекции сортов яблони по устойчивости к парше в условиях Белгородской области / Е. Н. Кирющенко, Н. В. Шаптала, В. В. Языкова, В. Н. Сорокопудов // Современное садоводство. – 2013. – № 4 (8). – С. 12–18.

45. Козловская, З. А. Вирулентность популяции возбудителя парши яблони / З. А. Козловская, Т. А. Гашенко, Ю. Г. Кондратёнок // Известия Национальной академии наук Беларуси. Серия аграрных наук. – 2017. – № 3. – С. 63–70.
46. Козловская, З. А. Селекция яблони в Беларуси / З. А. Козловская. – Минск: Беларуская навука, 2015. – 457 с.
47. Комардина, В. С. Оценка чувствительности возбудителя парши яблони – гриба *Venturia inaequalis* к крезоксим-метилу различными методами / В. С. Комардина, Е. В. Васеха, Р. И. Плескачевич // Защита растений. – 2020. – № 44. – С. 96–103.
48. Комардина, В. С. Чувствительность возбудителя парши яблони гриба *Venturia inaequalis* к крезоксим-метилу в промышленных садах Беларуси / В. С. Комардина, Е. В. Васеха, Р. И. Плескачевич // Защита растений. – 2022. – Т. 46. – С. 103–110. – DOI: 10.47612/0135-3705-2022-46-103-110.
49. Кочешкова, Т. В. Яблони в коллекции Ботанического сада МГУ / Т. В. Кочешкова, П. Г. Андреева; отв. ред. В. В. Чуб. – Москва: Издательство Московского университета, 2022. – 207 с. – ISBN 978-5-19-011734-9.
50. Кочкина, А. М. Биологическая эффективность систем защиты насаждений яблони от парши и плодовой яблонной / А. М. Кочкина, Н. Я. Каширская // Достижения науки и техники АПК. – 2021. – Т. 35, № 7. – С. 45–49. – DOI: 10.53859/02352451_2021_35_7_45.
51. Красова, Н. Г. Оценка исходного материала генофонда яблони по устойчивости к парше / Н. Г. Красова, А. В. Пикунова, А. М. Галашева // Вестник российской сельскохозяйственной науки. – 2020. – № 6. – С. 49–54. – DOI: 10.30850/vrsn/2020/6/49-54.
52. Красова, Н. Г. Продуктивность и долговечность яблони на клоновых подвоях в условиях средней полосы России / Н. Г. Красова, А. М. Галашева, З. Е. Ожерельева // Садоводство и виноградарство. – 2021. – № 3. – С. 5–12. – DOI: 10.31676/0235-2591-2021-3-5-12.

53. Кривко, Н. П. Плодоводство : учебное пособие для вузов / Н. П. Кривко, Е. В. Агафонов, В. В. Чулков, В. В. Турчин, Е. М. Фалынский, В. Б. Пойда. – 4-е изд., стер. – Санкт-Петербург: Лань, 2024. – 416 с. – (Высшее образование). – ISBN 978-5-507-48647-2.

54. Кузнецов, Г. В. Excel: условное форматирование с помощью формул / Г. В. Кузнецов // Вестник Уфимского государственного нефтяного технического университета. – 2025. – № 3. – С. 12–18.

55. Кумахова, Т. Х. Особенности ультраскульптуры и микобиоты поверхности плодов яблони при созревании и хранении / Т. Х. Кумахова, О. О. Белошапкина, А. В. Бабоша, А. С. Рябченко // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. – 2014. – Вып. 3.

56. Левитин, М. М. Защита растений. Сельскохозяйственная фитопатология: учебное пособие для СПО / М. М. Левитин. – 3-е изд., испр. и доп. – Москва: Юрайт, 2025. – 278 с. – ISBN 978-5-534-21021-7.

57. Лобо [Электронный ресурс] // Всероссийский научно-исследовательский институт селекции плодовых культур (ВНИИСПК): [сайт]. – Орёл, [б.г.]. – URL: <https://vniispk.ru/varieties/lobo> (дата обращения: 16.03.2026).

58. Лотова, Л. И. Морфология и анатомия высших растений / Л. И. Лотова. – Москва: Эдиториал УРСС, 2000. – 528 с.

59. Лыжин, А. С. Молекулярно-генетический анализ сортов яблони по генам устойчивости к парше / А. С. Лыжин, Н. Н. Савельева // Аграрная Россия. – 2017. – № 7. – С. 8–14.

60. Макаренко, С. А. Оценка селекционного фонда яблони с выделением источников полигенной устойчивости к парше [Электронный ресурс] / С. А. Макаренко // Плодоводство и виноградарство Юга России. – 2015. – № 35(5). – С. 13–27. – URL: <http://journalkubansad.ru/pdf/15/05/02.pdf> (дата обращения: 07.03.2026).

61. Макарова, Н. В. Сравнительные исследования содержания фенольных соединений, флавоноидов и антиоксидантной активности яблок разных сортов /

Н. В. Макарова, Д. Ф. Валиулина, О. И. Азаров, А. А. Кузнецов // Химия растительного сырья. – 2018. – № 2. – С. 113–120.

62. Макушин, А. Н. Применение интеллектуальных систем мониторинга *Kaïros* для прогнозирования развития болезней и вредителей растениеводческой продукции / А. Н. Макушин, С. А. Васильев, А. З. Брумин // Инновационные достижения науки и техники АПК : сборник научных трудов Международной научно-практической конференции, Самара, 11–12 декабря 2019 г. – Самара : РИО Самарского ГАУ, 2019. – С. 503–506.

63. Мантет [Электронный ресурс] // Всероссийский научно-исследовательский институт селекции плодовых культур (ВНИИСПК) : [сайт]. – Орёл, [б.г.]. – URL: <https://vniispk.ru/varieties/mantet> (дата обращения: 16.03.2026).

64. Медведева, А. Обработка яблони весной от парши и мучнистой росы [Электронный ресурс] / А. Медведева // AgroXXI.ru. – 21 марта 2023. – URL: <https://www.agroxxi.ru/zhurnal-agromir-xxi/stati-rastenievodstvo/obrabotka-jablони-vesnoi-ot-parshi-i-muchnistoi-rosey.html> (дата обращения: 04.03.2026).

65. Мелба [Электронный ресурс] // Всероссийский научно-исследовательский институт селекции плодовых культур (ВНИИСПК): [сайт]. – Орёл, [б.г.]. – URL: <https://vniispk.ru/varieties/melba> (дата обращения: 16.03.2026).

66. Мерпан, СП [Электронный ресурс] // ГлавАгроном. – URL: <https://glavagronom.ru/pesticides/fungitsidyi-merpan-adama> (дата обращения: 08.03.2026).

67. Методические указания по регистрационным испытаниям пестицидов в части биологической эффективности: Общая часть: инструктивно-методическое издание / В. И. Долженко, А. Б. Лаптиев, А. С. Голубев [и др.]. – Москва: ФГБНУ «Росинформагротех», 2024. – 60 с.

68. Методические указания по регистрационным испытаниям фунгицидов в сельском хозяйстве / М-во сел. хоз-ва РФ, РАСХН, ГНУ ВНИИЗР. – Санкт-Петербург: Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений РАСХН, 2009. – 379 с.

69. МУК 4.1.1026-01. Определение остаточных количеств ципродинила в воде, почве, яблоках, грушах и косточковых методом газожидкостной хроматографии: методические указания: утв. Минздравом России 15.10.2001. – Москва: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2002.

70. МУК 4.1.1232-03. Определение остаточных количеств каптана в яблочном соке методом газожидкостной хроматографии: методические указания: утв. Минздравом России 16.03.2003. – Москва: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2003.

71. МУК 4.1.1232-03. Определение остаточных количеств трифлуксистрибина в воде, почве, яблоках и его метаболита ЦГА 321113 в воде и почве газохроматографическим методом: методические указания: утв. Минздравом России 16.03.2003. – Москва: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2003.

72. МУК 4.1.1424-03. Определение остаточных количеств дитианона в воде, почве, яблоках, зерне и зеленой массе зерновых колосовых культур методом высокоэффективной жидкостной хроматографии: методические указания: утв. Минздравом России 24.06.2003. – Москва: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2007

73. Мурсалимова, Г. Р. Перспективный сорт слаборослого подвоя [Электронный ресурс] / Г. Р. Мурсалимова // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2015. – № 4 (54). – С. 52–54. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/perspektivnyy-sort-slaboroslogo-podvoya> (дата обращения: 04.03.2026).

74. Муханин, И. В. Современные системы ведения интенсивных садов яблони [Электронный ресурс] / И. В. Муханин, Л. В. Григорьева // Ассоциация садоводов России (АППЯПМ). – URL: <http://asprus.ru/blog/modern-systems-of-intensive-apple-orchards/> (дата обращения: 04.03.2026).

75. Насонов, А. И. Длительное сохранение резистентности к карбендазиму у *Venturia inaequalis* в Краснодарском крае (Россия) / А. И. Насонов,

Г. В. Якуба, Е. В. Лободина // Микология и фитопатология. – 2022. – Т. 56, № 5. – С. 374–378. – DOI: 10.31857/S0026364822050087.

76. Насонов, А. И. Новый способ получения культуры *Venturia inaequalis* из аскоспор / А. И. Насонов // Микология и фитопатология. – 2019. – Т. 53, № 1. – С. 46–48. – DOI: 10.1134/S0026364819010094.

77. Насонов, А. И. Получение аскоспоровой культуры гриба *Venturia inaequalis* в лабораторных условиях / А. И. Насонов, Г. В. Якуба, И. И. Супрун // Микология и фитопатология. – 2016. – Т. 5, вып. 2. – С. 131–132.

78. Насонов, А. И. Устойчивость возбудителя парши яблони к химическим фунгицидам / А. И. Насонов, Г. В. Якуба // Микология и фитопатология. – 2024. – Т. 58, № 2. – С. 91–107. – DOI: 10.31857/S0026364824020018.

79. Насонов, А. И. Чувствительность исходной и садовых популяций *Venturia inaequalis* к фунгицидам класса ингибиторов сукцинатдегидрогеназы (SDHI) / А. И. Насонов, Г. В. Якуба, И. Л. Астапчук, Н. А. Марченко // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. – 2024. – Т. 16, № 1. – С. 189–210. – DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-1-707.

80. Никитин, А. Л. Влияние режимов хранения на качество яблок [Электронный ресурс] / А. Л. Никитин, М. А. Макаркина // Плодоводство и виноградарство Юга России. – 2011. – № 7(1). – С. 117–126. – URL: <http://journalkubansad.ru/pdf/11/01/12.pdf> (дата обращения: 06.03.2026).

81. Павел, А. Р. Формирование некоторых компонентов химического состава плодов яблони под влиянием факторов среды / А. Р. Павел, М. А. Макаркина // Вестник аграрной науки. – 2020. – № 6(87). – С. 18–24.

82. Пат. 2127969 Российская Федерация, МПК А01G 7/00. Способ заблаговременного прогноза грибных заболеваний растений / Цымбал А. А., Колесова Д. А., Цымбал М. М.; заявитель и патентообладатель Всероссийский научно-исследовательский институт биологической защиты растений. – № 97119275/13; заявл. 11.11.1997; опубл. 27.03.1999. – 8 с.

83. Переведенцев, Ю. П. Агроклиматические ресурсы Ульяновской области и их влияние на урожайность зерновых культур / Ю. П. Переведенцев, Р. Б. Шарипова, Н. А. Важнова // Вестник Удмуртского университета. Серия Биология. Науки о Земле. – 2012. – Вып. 2. – С. 120–126.
84. Пересыпкин, В. Ф. Сельскохозяйственная фитопатология / В. Ф. Пересыпкин. – 4-е изд., перераб. и доп. – Москва: Агропромиздат, 1989. – 480 с.
85. Перфильев, В. Е. О количественных показателях, характеризующих структуру кроны яблони / В. Е. Перфильев // Селекция, семеноводство и сортовая агротехника в садоводстве: сборник научных трудов. – Мичуринск: ВНИИС им. И. В. Мичурина, 2000. – С. 42–45.
86. Петербургский, А. В. Практикум по агрономической химии / А. В. Петербургский. – Москва: Колос, 1968. – 496 с.
87. Пидопличко, Н. М. Грибы — паразиты культурных растений. Определитель. Т. 2: Грибы несовершенные / Н. М. Пидопличко. – Киев: Наукова думка, 1977. – 300 с.
88. Причко, Т. Г. Технология возделывания интенсивных садов яблони в малых формах хозяйствования: учеб.-метод. литература / Т. Г. Причко, Е. В. Ульяновская, В. П. Попова. – Краснодар: ФГБНУ "Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия", 2012. – 65 с.
89. Программа и методика сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур / под общ. ред. Е. Н. Седова. – Орел: ВНИИСПК, 1999. – 608 с.
90. Пусенкова, Л. И. Перспективы технологической переработки яблок сортов и гибридов селекции Республики Башкортостан / Л. И. Пусенкова, А. Д. Заграничная, О. Ю. Калужина // Ползуновский вестник. – 2025. – № 1. – С. 68–75.
91. Рекомендации по применению фунгицидов в интенсивных садах яблони [Электронный ресурс] // ФГБУ «Россельхозцентр» по Краснодарскому краю. – 2023. – URL: <https://rosselhoccenter.ru/> (дата обращения: 08.03.2026).

92. Савельева, Н. Н. Генетические источники комплекса ценных признаков яблони для селекционного использования в ЦЧР / Н. Н. Савельева, А. Н. Юшков, А. С. Земисов, В. В. Чивилев, Н. В. Борзых // Бюллетень Государственного Никитского ботанического сада. – 2023. – № 148. – С. 49–55. – DOI: 10.25684/0513-1634-2023-148-49-55.

93. Савельева, Н. Н. Хозяйственно-биологическая и экономическая оценка иммунных к парше сортов яблони в условиях Центрально-Черноземного региона России: дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.05 / Савельева Наталья Николаевна. – Мичуринск-научоград РФ, 2008. – 165 с.

94. Савина, О. В. Выращивание яблонь колонновидной формы на разных типах подвоев / О. В. Савина, Л. Ф. Ильичев, А. М. Савина, Н. В. Байдова, С. И. Пентегов // Вестник КрасГАУ. – 2023. – № 12. – С. 58–66. – DOI: 10.36718/1819-4036-2023-12-58-66.

95. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024689009 Российская Федерация. Цифровой сервис детекции болезней яблони / И. С. Касатов, М. Н. Степанцевич, Д. А. Абдрахимов; правообладатель ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева». – № 2024687750; заявл. 18.11.2024; дата регистрации 03.12.2024. – 1 с.

96. Седов, Е. Н. Антоновка обыкновенная / Е. Н. Седов // Помология. Т. 1. Яблоня / под общ. ред. Е. Н. Седова. – Орел: ВНИИСПК, 2005. – С. 156–163.

97. Седов, Е. Н. Интенсивный яблоневоый сад на слаборослых вставочных подвоях / Е. Н. Седов, Н. Г. Красова, А. А. Муравьев, М. В. Палий, З. М. Серова. – Орел: ВНИИСПК, 2009. – 175 с.

98. Седов, Е. Н. Какова яблоня, таковы и яблоки [Электронный ресурс] / Е. Н. Седов // Наука и жизнь. – 2013. – № 1. – URL: <https://nkj.ru/archive/articles/23143/> (дата обращения: 07.03.2026).

99. Седов, Е. Н. Конвейер сортов яблони, их устойчивость к парше и биохимическая характеристика плодов: итоги 60 лет селекционных исследований

/ Е. Н. Седов, М. А. Макаркина, Г. А. Седышева, З. М. Серова // Сельскохозяйственная биология. – 2015. – № 5. – С. 115–118.

100. Седов, Е. Н. Новые диплоидные, триплоидные, иммунные к парше и колонновидные сорта яблони в совершенствовании сортимента / Е. Н. Седов, Т. В. Янчук, С. А. Корнеева // Вестник российской сельскохозяйственной науки. – 2022. – № 1. – С. 25–31. – DOI: 10.30850/vrsn/2022/1/25-31.

101. Седов, Е. Н. Результаты 70-летней работы по созданию новых сортов яблони и внедрению их в производство / Е. Н. Седов, Т. В. Янчук, С. А. Корнеева // Вестник российской сельскохозяйственной науки. – 2025. – № 5. – С. 46–51. – DOI: 10.7868/S3034519725050089.

102. Седов, Е. Н. Роль селекции яблони в биологизации производства плодов / Е. Н. Седов, З. М. Серова, Т. В. Янчук, С. А. Корнеева // Вестник аграрной науки. – 2019. – № 4(79). – С. 24–29.

103. Сеянинов, Г. Т. О сельскохозяйственной оценке климата / Г. Т. Сеянинов // Труды по сельскохозяйственной метеорологии. – 1928. – Вып. 20. – С. 165–177.

104. Сигнализационное сообщение № 36 от 10.06.2024 г. Корневые гнили [Электронный ресурс] // Российский Сельскохозяйственный центр. – 10.06.2024. – URL: <https://rosselhoccenter.ru/ob-uchrezhdenii/filialy/tsentralnyy-okrug/voronezhskaya-oblast/signalizatsionnoe-soobshchenie-35-ot-10-06-2024-g-kornevye-gnili/> (дата обращения: 07.03.2026).

105. Сидельникова, А. С. Статистические показатели современного размещения садоводства в Российской Федерации / А. С. Сидельникова, В. Б. Попова // Наука и Образование. – 2025. – Т. 8, № 4. – ISSN 2541-7851.

106. Скурихин, И. М. Таблицы химического состава и калорийности российских продуктов питания: справочное издание / И. М. Скурихин, В. А. Тутельян. – Москва: ДеЛи принт, 2007. – 276 с.

107. Солопов, Д. Ю. Оценка яблок с позиции проектирования продуктов для здорового питания / Д. Ю. Солопов, А. Ю. Меделяева, Е. И. Попова, Ю. В.

Трунов, С. А. Брюхина // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. – 2024. – № 2. – С. 112–118.

108. Сорт: Яблоня — Патриот [Электронный ресурс] // Всероссийский НИИ селекции плодовых культур. – URL: <https://vniispk.ru/varieties/patriot> (дата обращения: 08.03.2026).

109. Статья 8. Государственная регистрация пестицидов и агрохимикатов [Электронный ресурс] // Федеральный закон от 19.07.1997 № 109-ФЗ (ред. от 28.12.2024) «О безопасном обращении с пестицидами и агрохимикатами». – URL: https://base.garant.ru/11900732/31de5683116b8d79b08fa2d768e33df6/#block_8 (дата обращения: 08.03.2026).

110. Терещенко, С. Н. Классификация внекорневых заболеваний яблоневого культур методами компьютерного зрения / С. Н. Терещенко, А. А. Перов, А. Л. Осипов // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. – 2021. – Т. 13, № 3. – С. 103–118. – DOI: 10.12731/2658-6649-2021-13-3-103-118.

111. Ториков, В. Е. Выращивание семечковых плодовых культур [Электронный ресурс]: учебное пособие для вузов / В. Е. Ториков, С. Д. Айтжанова, С. Н. Евдокименко, Ф. Ф. Сазонов. – Санкт-Петербург: Лань, 2021. – 168 с. – ISBN 978-5-8114-7707-4. – URL: <https://e.lanbook.com/book/176866> (дата обращения: 02.03.2026).

112. Трапман, М. Модель для яблок: Эффективная борьба с яблочной паршой с помощью моделей RIMpro [Электронный ресурс] / М. Трапман // Meteobot. – 08.03.2018. – URL: <https://meteobot.com/ru/model-dlya-yablok/> (дата обращения: 08.03.2026).

113. Троско, Е. С. Влияние биохимических показателей на органолептические качества натуральных яблочных соков / Е. С. Троско, Ю. С. Гунина, О. Ю. Михайлова, Е. В. Скороспелова // Ползуновский вестник. – 2025. – № 3. – С. 145–152.

114. Трунов, А. Ю. Оценка динамики продуктивности яблони в интенсивных садах [Электронный ресурс] / А. Ю. Трунов, Ю. В. Трунов, С. А. Брюхина, А. Ю. Меделяева // Вестник Мичуринского государственного аграрного

университета. – 2024. – № 1 (72). – С. 45–51. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-dinamiki-produktivnosti-yabloni-v-intensivnyh-sadah> (дата обращения: 04.03.2026).

115. Трунов, Ю. В. Плодоводство : учебное пособие для вузов / Ю. В. Трунов, Е. Г. Самощенко, Т. Н. Дорошенко [и др.] ; под ред. Ю. В. Трунова. – Москва: КолосС, 2019. – 415 с.

116. Туманов, Ю. П. Биоэкологическое обоснование системы защиты яблони от основных болезней в условиях Северо-Западного региона России: дис. ... канд. биол. наук: 06.01.11 / Ю. П. Туманов. – Великие Луки, 2008. – 196 с.

117. Тютерев, С. Л. Проблемы устойчивости фитопатогенов к новым фунгицидам / С. Л. Тютерев // Вестник защиты растений. – 2001. – № 1. – С. 38–53.

118. Тютерев, С. Л. Физиолого-биохимические основы управления стрессоустойчивостью растений в адаптивном растениеводстве / С. Л. Тютерев // Вестник защиты растений. – 2000. – № 1. – С. 11–23.

119. Ульяновская, Е. В. Маркерный отбор перспективного сортового и селекционного материала яблони / Е. В. Ульяновская, Е. А. Чернуцкая, Т. В. Богданович [и др.] // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агронимия и животноводство. – 2025. – Т. 20, № 3. – С. 344–353. – DOI: 10.22363/2312-797X-2025-20-3-344-353.

120. Ульяновская, Е. В. Оценка генетического разнообразия и формирование идентифицированной коллекции для ускорения селекции яблони / Е. В. Ульяновская, Е. А. Чернуцкая, Т. В. Богданович, И. М. Балапанов // Бюллетень Государственного Никитского ботанического сада. – 2023. – № 148. – С. 76–80. – DOI: 10.25684/0513-1634-2023-148-76-80.

121. Унифицированные правила отбора проб сельскохозяйственной продукции, пищевых продуктов и объектов окружающей среды для определения остаточных количеств пестицидов: методические указания: утв. М-вом здравоохранения СССР 15.08.1983. – Москва, 1983. – 41 с.

122. Федеральная служба государственной статистики (Росстат). Площадь плодово-ягодных насаждений [Электронный ресурс] // Сельское хозяйство, охота и лесное хозяйство. – URL: https://rosstat.gov.ru/enterprise_economy (дата обращения: 03.03.2026).

123. Федеральный закон от 31.07.2025 № 345-ФЗ «О внесении изменений в статьи 1 и 10 Федерального закона "О безопасном обращении с пестицидами и агрохимикатами"» [Электронный ресурс] // Официальный интернет-портал правовой информации. – URL: <http://publication.pravo.gov.ru/document/0001202507310012> (дата обращения: 08.03.2026).

124. Федорова, Р. Н. Парша яблони / Р. Н. Федорова. – Ленинград: Колос, 1977. – 64 с.

125. Фещенко, Е. М. Использование ДНК-маркеров в селекции яблони для выявления генетических источников устойчивости к парше (*Venturia inaequalis* (Cooke) G. Winter) / Е. М. Фещенко, А. Н. Юшков // Плодоводство и ягодоводство России. – 2024. – Т. 78. – С. 45–56. – DOI: 10.31676/2073-4948-2024-78-45-56.

126. Ханов, В. И. Регуляция фитопатогенной инфекции в яблонном саду в условиях лесостепи Самарской области / В. И. Ханов, Л. Г. Аршинова, Е. В. Перцева // Плодоводство и ягодоводство России. – 2024. – Т. 77. – С. 91–101. – DOI: 10.31676/2073-4948-2024-77-91-101.

127. Хацаева, Р. М. Морфофункциональные адаптации органов пищеварения полорогих (Bovidae): монография / Р. М. Хацаева. – Москва: КМК, 2018. – 334 с.

128. Хорус, ВДГ [Электронный ресурс] // OZ.by. – URL: <https://oz.by/plantprotectionproducts/more101400189.html> (дата обращения: 08.03.2026).

129. Шамшин, И. Н. Анализ генов устойчивости к парше и бактериальному ожогу у сортов яблони селекции Свердловской селекционной станции садоводства с использованием молекулярных маркеров / И. Н. Шамшин, Д. Д.

Тележинский, А. В. Шлявас // Биотехнология и селекция растений. – 2025. – Т. 8, № 2. – С. 45–54. – DOI: 10.30901/2658-6266-2025-2-04.

130. Шкаликов, В. А. Защита растений от болезней / В. А. Шкаликов, О. О. Белошапкина, Д. Д. Букреев, И. В. Горбачев. – Москва: КолосС, 2003. – 255 с.

131. Яблоневым садам Кубани угрожает эпифитотия парши [Электронный ресурс] / Я. Власова // Агроэксперт. – 22 апреля 2024. – URL: <https://agroexpert.press/rasteniya/yablonevym-sadam-kubani-ugrozhaet-epifitotiya-parshi/> (дата обращения: 07.03.2026).

132. Ягодин, Б. А. Практикум по агрохимии / Б. А. Ягодин, И. П. Дерюгин, Ю. П. Жуков [и др.]; под ред. Б. А. Ягодина. – Москва: Агропромиздат, 1987. – 512 с.

133. Якуба, Г. В. Адаптивные изменения возбудителя парши яблони в условиях погодных стрессов [Электронный ресурс] / Г. В. Якуба // Защита и карантин растений. – 2012. – № 6. – С. 42–45. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/adaptivnyye-izmeneniya-vozbuditelya-parshi-yablони-v-usloviyah-pogodnyh-stressov> (дата обращения: 07.03.2026).

134. Якуба, Г. В. В условиях эпифитотии: как защитить яблоню от парши [Электронный ресурс] / Г. В. Якуба // Щелково Агрохим. – 2024. – URL: <https://betaren.ru/news/v-usloviyakh-epifitotii-kak-zashchitit-yablonyu-ot-parshi/> (дата обращения: 08.03.2026).

135. Якуба, Г. В. Особенности конидиогенеза возбудителя парши яблони в чистой культуре [Электронный ресурс] / Г. В. Якуба // Научный журнал КубГАУ. – 2017. – № 131(07). – URL: <http://sm.kubsau.ru/en/authors/6574> (дата обращения: 07.03.2026).

136. Якуба, Г. В. Особенности формирования функциональной структуры микопатоккомплексов яблони и сливы в условиях усиления абиотического и антропогенного воздействий / Г. В. Якуба, И. Г. Мищенко // Magarach. Виноградарство и виноделие. – 2022. – Т. 24, № 3. – С. 256–263. – DOI: 10.35547/im.2022.92.33.010.

137. Якуба, Г. В. Экологизация защиты яблони от парши в южном садоводстве на основе биологических особенностей возбудителя болезни: дис. ... канд. биол. наук: 06.01.11 / Г. В. Якуба. – Краснодар, 1998. – 150 с.
138. Якуба, Г. В. Экологизированная защита яблони от парши в условиях климатических изменений: монография / Г. В. Якуба. – Краснодар: ГНУ СКЗНИИСиВ РАСХН, 2013. – 213 с. – ISBN 978-5-98272-092-4.
139. Agrios, G. N. Plant Pathology / G. N. Agrios. – 5th ed. – Amsterdam: Elsevier Academic Press, 2005. – 922 p.
140. Alt, S. Hydrodynamics of raindrop impact stimulate ascospore discharge of *Venturia inaequalis* / S. Alt, A. Kollar // Fungal Biology. — 2010. — Vol. 114, № 4. — P. 320–324. — DOI: 10.1016/j.funbio.2010.01.009.
141. Ayer, K. Apple Scab (*Venturia inaequalis*) [Электронный ресурс]: Fruit Fact Sheet / K. Ayer, J. Carroll, K. Cox // Cornell CALS. – May 2020. – URL: <https://cals.cornell.edu/integrated-pest-management/outreach-education/fact-sheets/apple-scab-fruit-fact-sheet> (дата обращения: 06.03.2026).
142. Bagga, H. S. Genes for pathogenicity in *Venturia inaequalis* appraised by their phenotypic expressions in the host / H. S. Bagga, D. M. Boone // Phytopathology. – 1968. – Vol. 58, № 7. – P. 961–966.
143. Batuyeva, Yu.M. Response of Some *Malus Mill.* Species Representatives to Extreme Low Temperatures in Baikal Siberia [Электронный ресурс] / Yu.M. Batuyeva, M.V. Bakhanova, M.A. Rachenko // Journal of Stress Physiology & Biochemistry. – 2016. – Vol. 12, № 2. – P. 27–31. – URL: http://jspb.ru/issues/2016/N2/JSPB_2016_2_27-31.html (дата обращения: 04.03.2026).
144. Belhassine, F. Impact of Within-Tree Organ Distances on Floral Induction and Fruit Growth in Apple Tree: Implication of Carbohydrate and Gibberellin Organ Contents / F. Belhassine, S. Martinez, S. Bluy, D. Fumey, J. J. Kelner, E. Costes, B. Pallas // Frontiers in Plant Science. – 2019. – Vol. 10. – P. 1233. – DOI: 10.3389/fpls.2019.01233.
145. Beloshapkina, O.O. Immunological assessment of apple varieties in terms of their scab resistance in relation to leaf and fruit microstructure / O.O. Beloshapkina,

T.Kh. Kumakhova, N.N. Wahsheh // *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. – 2014. – № 4. – P. 52–63.

146. Bock, C. H. Characteristics of the Perception of Different Severity Measures of Citrus Canker and the Relationships Between the Various Symptom Types / C. H. Bock, P. E. Parker, A. Z. Cook, T. R. Gottwald // *Plant Disease*. – 2008. – Vol. 92, № 6. – P. 927–939. – DOI: 10.1094/PDIS-92-6-0927.

147. Boone, D. M. The inheritance of pathogenicity in *Venturia inaequalis* (Cke.) Wint. / D. M. Boone, G. W. Keitt // *Phytopathology*. – 1957. – Vol. 47, № 7. – P. 403–409.

148. Bowen, J. K. *Venturia inaequalis*: the causal agent of apple scab / J. K. Bowen, C. H. Mesarich, V. G. Bus, R. M. Beresford, K. M. Plummer, M. D. Templeton // *Molecular Plant Pathology*. – 2011. – Vol. 12, № 2. – P. 105–122.

149. Caffier, V. Virulence Characterization of *Venturia inaequalis* Reference Isolates on the Differential Set of *Malus* Hosts / V. Caffier, A. Patocchi, P. Expert, M.-N. Bellanger, C.-E. Durel, M. Hilber-Bodmer, G. A. L. Broggin, R. Groenwold, V. G. M. Bus // *Plant Disease*. – 2015. – Vol. 99, № 3. – P. 370–375. – DOI: 10.1094/PDIS-07-14-0708-RE.

150. Chamont, S. *Venturia inaequalis*: Description du champignon [Электронный ресурс] / S. Chamont, F. Gil // *e-phytia: l'encyclopédé en protection des plantes*. – INRAE, 2013. – URL: <https://ephytia.inrae.fr/fr/C/16238/Hyp-encyclopedia-en-protection-des-plantes-Description-du-champignon> (дата обращения: 06.03.2026).

151. Chen, A. Rvi6-mediated defense mechanisms against apple scab / A. Chen, H. Guo, H. Jiang [и др.] // *BMC Plant Biology*. – 2025. – Vol. 25. – Article 1137. – DOI: 10.1186/s12870-025-07117-1.

152. European Commission. Method Validation and Quality Control Procedures for Pesticide Residues Analysis in Food and Feed: Document No. SANTE/11945/2015. – Brussels: European Commission, Directorate General for Health and Food Safety, 2015. – 42 p.

153. Feurtey, A. Threat to Asian wild apple trees posed by gene flow from domesticated apple trees and their pestified pathogens / A. Feurtey, E. Guitton, M. de Gracia Coquerel, L. Duvaux [et al.] // *Molecular Ecology*. – 2021. – Vol. 30, № 15. – P. 3745–3761. – DOI: 10.1111/mec.15981.
154. Filippini, L. Synergistic Mixtures and/or Compositions With a High Fungicidal Activity [Электронный ресурс] / L. Filippini, M. Gusmeroli, S. Mormile, C. Garavaglia, L. Mirena // *FreePatentsOnline*. – 05.08.2010. – URL: <https://FreePatentsOnline.com/y2010/0197495.html> (дата обращения: 08.03.2026).
155. FRAC (Fungicide Resistance Action Committee) [Электронный ресурс] // *CropLife International*. – URL: <https://www.frac.info/> (дата обращения: 08.03.2026).
156. Gadoury, D. M. Disparity Between Morphological Maturity of Ascospores and Physiological Maturity of Asci in *Venturia inaequalis* / D. M. Gadoury, R. C. Seem, D. A. Rosen-Berger [et al.] // *Plant Disease*. – 1992. – Vol. 76, № 3. – P. 277–282. – DOI: 10.1094/PD-76-0277.
157. Gladieux, P. Gene flow between divergent *Venturia inaequalis* lineages in apple orchards / P. Gladieux [et al.] // *New Phytologist*. – 2010. – Vol. 187. – P. 187–199.
158. Gladieux, P. Host-specific differentiation among populations of *Venturia inaequalis* in Europe / P. Gladieux, V. Caffier, M. Devaux, B. Le Cam // *Phytopathology*. – 2010. – Vol. 100, № 10. – P. 1056–1064.
159. Hampson, C.R. Tolerance of Vineland apple rootstocks to waterlogging and *Phytophthora* infestation / C.R. Hampson, P. Randall, P. Sholberg // *Canadian Journal of Plant Science*. – 2012. – Vol. 92, № 2. – P. 267–269. – DOI: 10.1139/CJPS2011-132.
160. Holb, I. J. On-farm and on-station evaluations of three orchard management approaches against apple scab and apple powdery mildew / I. J. Holb, F. Abonyi, J. Buurma, B. Heijne // *Crop Protection*. – 2017. – Vol. 97. – P. 109–118. – DOI: 10.1016/j.cropro.2016.11.023.
161. Holm, G. Chlorophyll mutations in barley / G. Holm // *Acta Agriculturae Scandinavica*. – 1954. – Vol. 4, № 1. – P. 457–471.

162. Index Fungorum. Record Details: *Venturia inaequalis* (Cooke) G. Winter [Электронный ресурс] // Index Fungorum: [сайт]. – Wallingford: CABI Bioscience, [1875] – URL: <https://www.indexfungorum.org/names/NamesRecord.asp?RecordID=164141> (дата обращения: 07.03.2026).

163. Jankowski, P. Numerical and qualitative analysis of ascospore discharge of *Venturia inaequalis* in central Poland in relation to weather conditions / P. Jankowski, S. Masny // *Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus*. – 2025. – Vol. 24, № 1. – P. 3–16. – DOI: 10.24326/asphc.2025.5611.

164. Julien, J.B. Physiological races of *Venturia inaequalis* / J.B. Julien, L.P.S. Spangelo // *Canadian Journal of Plant Science*. – 1957. – Vol. 37, № 2. – P. 102–107. – DOI: 10.4141/cjps57-012.

165. Karim, S. K. A. Deciphering the Plant Hormones Cross-Talk during Fruit Development: A Review / S. K. A. Karim // *Apple Cultivation - Recent Advances* / ed. by A. Küden. – [S.l.]: IntechOpen, 2022. – Chapter. – DOI: 10.5772/intechopen.108955.

166. Karmokar, B. C. Tea leaf diseases recognition using neural network ensemble / B. C. Karmokar, M. S. Ullah, Md. K. Siddiquee, K. Md. R. Alam // *International Journal of Computer Applications*. – 2015. – Vol. 114, № 17. – P. 27–30. – DOI: 10.5120/20071-1993.

167. 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: International Scientific and Practical Conference “AGRONOMY – 2024” (AgriScience2024)*. – 2024. – Vol. 139. – Article 04007. – DOI: 10.1051/bioconf/202413904007.

168. Keitt, G. W. *Venturia inaequalis* (Cke.) Wint. I. A groundwork for genetic studies / G. W. Keitt, M. H. Langford // *American Journal of Botany*. – 1941. – Vol. 28, № 9. – P. 805–820.

169. Khirade, S.D. Plant Disease Detection Using Image Processing / S.D. Khirade, A.B. Patil // *2015 International Conference on Computing Communication*

Control and Automation. – [S.l.], 2015. – P. 768–771. – DOI: 10.1109/ICCUBE.2015.153.

170. Köller, W. Quantification, persistence, and status of dodine resistance in New York and Michigan orchard populations of *Venturia inaequalis* / W. Köller, W. F. Wilcox, J. Barnard, A. L. Jones, P. G. Braun // *Plant Disease*. – 1999. – Vol. 83, № 1. – P. 66–70. – DOI: 10.1094/PDIS.1999.83.1.66.

171. Komardina, V. S. Peculiarities of cultural and morphological signs of apple scab agent *Venturia inaequalis* (coock.) wint. (conidium stage *Fusicladium dendriticum* (wallr.) fuck.), isolated from different type orchards / V. S. Komardina // *Защита растений = Plant Protection*. – 2006. – Vol. 30. – P. 2-129. – URL: <https://agris.fao.org/search/en/records/647245ad53aa8c8963044b3c> (дата обращения: 04.03.2026)

172. Kowalczyk, W. Growth and bearing of apple cultivar ‘Elise’ on eighteen vegetative rootstocks in “V” planting system / W. Kowalczyk, D. Wach // *Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus*. – 2011. – Vol. 10, № 3. – P. 113–124.

173. Kutyrev, A. I. Neural networks as a support element of phytosanitary monitoring of fruit crops on the example of apple trees / A. I. Kutyrev, I. G. Smirnov, M. S. Pryakhina, A. V. Semenov, R. E. Glushankov // *Horticulture and Viticulture*. – 2025. – № 6. – P. 51–59. – DOI: 10.31676/0235-2591-2025-6-51-59.

174. Lee, D. Biological Characterization of *Marssonina coronaria* Associated with Apple Blotch Disease / D. Lee, C. Back [et al.] // *Mycobiology*. – 2011. – Vol. 39, № 3. – P. 200–206. – DOI: 10.5941/MYCO.2011.39.3.200.

175. Lemaire, C. Emergence of novel fungal pathogens by ecological speciation: importance of the reduced viability of immigrants / C. Lemaire, M. L. Desprez-Loustau, C. Dutech [et al.] // *Molecular Ecology*. – 2011. – Vol. 20, № 22. – P. 4745–4760. – DOI: 10.1111/j.1365-294X.2011.05288.x.

176. Liang, B. Crop Load Influences Growth and Hormone Changes in the Roots of "Red Fuji" Apple / B. Liang, Y. Sun, Z. Li, X. Zhang, B. Yin, S. Zhou, J. Xu // *Frontiers in Plant Science*. – 2020. – Vol. 11. – P. 665. – DOI: 10.3389/fpls.2020.00665.

177. Liu, B. Identification of apple leaf diseases based on deep convolutional neural networks / B. Liu, Y. Zhang, D. He, Y. Li // *Symmetry*. – 2017. – Vol. 10, № 1. – P. 11. – DOI: 10.3390/sym10010011.

178. MacHardy, W. E. *Apple Scab: Biology, Epidemiology and Management* / W. E. MacHardy. – St. Paul: APS Press, 1996. – 545 p. – ISBN 978-0-89054-206-4.

179. MacHardy, W. E. Parasitic and Biological Fitness of *Venturia inaequalis*: Relationship to Disease Management Strategies / W. E. MacHardy, D. M. Gadoury, C. Gessler // *Plant Disease*. – 2001. – Vol. 85, № 10. – P. 1036–1051. – DOI: 10.1094/PDIS.2001.85.10.1036.

180. Mahlein, A. Plant Disease Detection by Imaging Sensors – Parallels and Specific Demands for Precision Agriculture and Plant Phenotyping / A. Mahlein // *Computational Intelligence and Neuroscience*. – 2016. – Vol. 2016. – Article ID 3289801. – DOI: 10.1155/2016/3289801.

181. Marine, S. C. First Report of Reduced Sensitivity to a QoI Fungicide in Apple Scab (*Venturia inaequalis*) in Virginia and Maryland / S. C. Marine, D. G. Schmale III, K. S. Yoder // *Plant Disease*. – 2012. – Vol. 96, № 9. – P. 1376. – DOI: 10.1094/PDIS-03-12-0246-PDN

182. Masny, S. Occurrence of *Venturia inaequalis* races in Poland able to overcome specific apple scab resistance genes / S. Masny // *European Journal of Plant Pathology*. – 2017. – Vol. 147, № 2. – P. 313–323. – DOI: 10.1007/s10658-016-1003-x.

183. Mellon, I. Genetic variation and population differentiation in North American, central Asian and European isolates of *Venturia inaequalis* / I. Mellon, J. Singh, H. Feulner, A. Khan // *Plant Pathology*. – 2023. – Vol. 72, № 8. – P. 1505–1516. – DOI: 10.1111/ppa.13772.

184. Mouton, A. Fifty years of apple-scab research: A summary of historical South African research on apple scab starting in 1970 with the work of Dr Wolf Schwabe [Электронный ресурс] / A. Mouton // *Fresh Quarterly*. – 2022. – Issue 17. – URL: <https://www.freshquarterly.co.za/fifty-years-of-apple-scab-research/> (дата обращения: 06.03.2026).

185. Mubashir, S. Profiling difenoconazole and flusilazole resistance, fitness penalty and phenotypic stability in *Venturia inaequalis* / S. Mubashir [et al.] // *Scientific Reports*. – 2025. – Vol. 15. – P. 4855. – DOI: 10.1038/s41598-025-89536-6.
186. Nowacka, H. Stability of resistance to benzimidazole fungicides in *Venturia inaequalis* (Cke) Aderh. / H. Nowacka // *Fruit Science Reports*. – 1991. – Vol. 18, № 3. – P. 143–146. – ISSN 0137-1479.
187. Papp, D. Strong Genetic Differentiation between Generalist Populations of *Venturia inaequalis* and Populations from Partially Resistant Apple Cultivars Carrying Rvi3 or Rvi5 / D. Papp, S.G. Harigondra, C. Paredes, A. Karacs-Végh, K. Penksza, I. T.-Járdi, V. Papp // *Diversity*. – 2022. – Vol. 14, № 12. – P. 1050. – DOI: 10.3390/d14121050.
188. Passey, T. A. J. The relative importance of conidia and ascospores as primary inoculum of *Venturia inaequalis* in a southeast England orchard / T. A. J. Passey, D. J. Robinson, M. Shaw, X.-M. Xu // *Plant Pathology*. – 2017. – Vol. 66, № 9. – P. 1445–1451. – DOI: 10.1111/ppa.12686.
189. Pei, T. Occurrence, distribution, and dietary risk assessment of pesticides in apples at the provincial scale / T. Pei, W. Pan, J. Li [et al.] // *Food Control*. – 2025. – Vol. 168. – Article 110847. – DOI: 10.1016/j.foodcont.2024.110847.
190. Pesticide found in one-third of Istanbul produce, Greenpeace study shows [Электронный ресурс] // *Hürriyet Daily News*. – 30 April 2025. – URL: <https://www.hurriyetdailynews.com/pesticide-found-in-one-third-of-istanbul-produce-greenpeace-study-shows-208654> (дата обращения: 08.03.2026).
191. Peter, K. A. Tree Fruit Disease – An Apple Scab Review [Электронный ресурс] / K. A. Peter // *Penn State Extension*. – Updated: June 2, 2023. – URL: <https://extension.psu.edu/tree-fruit-disease-an-apple-scab-review> (дата обращения: 08.03.2026).
192. Pikunova, A. V. The Racial Composition of *Venturia inaequalis* in Environments of the Oryol Region / A. V. Pikunova, E. N. Sedov // *Mycology and Phytopathology*. – 2019. – Vol. 53, № 5. – P. 293–300. – DOI: 10.1134/S0026364819050040.

193. Plant a Triumph® Apple Tree this Spring [Электронный ресурс] // Minnesota Agricultural Experiment Station. – 2024. – URL: <https://maes.umn.edu/news/triumph-trees> (дата обращения: 08.03.2026).
194. Porsche, F. M. A New Phytosanitary Method to Reduce the Ascospore Potential of *Venturia inaequalis* / F. M. Porsche [et al.] // *Plant Disease*. – 2017. – Vol. 101, № 3. – P. 414–420. – DOI: 10.1094/PDIS-07-16-0994-RE.
195. Rahman, C. R. Identification and Recognition of Rice Diseases and Pests Using Convolutional Neural Networks / C. R. Rahman, P. S. Arko, M. E. Ali, M. A. I. Khan, S. H. Apon, F. Nowrin, A. Wasif // *Biosystems Engineering*. – 2020. – Vol. 194. – P. 112–120. – DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2020.03.020.
196. Reim, S. UAV-based digital phenotyping of European pear rust in genetic resources / S. Reim, V. Maß, P. Alirezazadeh, J. Seidl-Schulz, M. Leipnitz, E. Fritzsche, M. Geyer, M. Pflanz // *Acta Horticulturae*. – 2024. – № 1412. – P. 399–402. – DOI: 10.17660/ActaHortic.2024.1412.59.
197. Rudloff, C. F. Der Erreger des Apfelschorfes, *Venturia inaequalis* (Cooke) Aderh. Grundlagen und Möglichkeiten für seine Bekämpfung auf züchterischem Wege. I / C. F. Rudloff, M. Schmidt // *Der Züchter*. – 1935. – Vol. 7. – P. 30–37. – DOI: 10.1007/BF01811654.
198. Sautkina, M. Yu. Comparative assessment of the quantitative content of the main photosynthetic pigments in the leaves of the English oak of the field-protective forest strips / M. Yu. Sautkina // *Journal of Agriculture and Environment*. – 2022. – № 1(21). – Article 18. – DOI: 10.23649/jae.2022.1.21.18.
199. Schmitz, C. Synergism and phytotoxicity: the effects of tank-mix additives on the biological efficacy of Cu²⁺ against *Venturia inaequalis* and *Podosphaera leucotricha* [Электронный ресурс] / C. Schmitz, E. Luedeling, S. Pariyar // *bioRxiv*. – 2022. – URL: <https://www.semanticscholar.org/paper/Synergism-and-phytotoxicity%3A-the-effects-of-on-the-Schmitz-Luedeling/3413699d50ec9a4f706429c53c6792ec4659b5e6> (дата обращения: 04.03.2026).

200. Scimeca, M. Energy Dispersive X-ray (EDX) microanalysis: A powerful tool in biomedical research and diagnosis / M. Scimeca, S. Bischetti, H. K. Lamsira, R. Bonfiglio, E. Bonanno // *European Journal of Histochemistry*. – 2018. – Vol. 62, № 1. – P. 2841. – DOI: 10.4081/ejh.2018.2841.

201. Shabi, E. Control of Pear and Apple Diseases in Israel with Sterol-Inhibiting Fungicides / E. Shabi, E. Elisha, Y. Zelig // *Plant Disease*. – 1981. – Vol. 65. – P. 992–994. – DOI: 10.1094/PD-65-992.

202. Sladojevic, S. Deep Neural Networks Based Recognition of Plant Diseases by Leaf Image Classification / S. Sladojevic, M. Arsenovic, A. Anderla, D. Culibrk // *Computational Intelligence and Neuroscience*. – 2016. – Vol. 2016. – Article ID 3289801. – P. 1–11. – DOI: 10.1155/2016/3289801.

203. Stammler, G. Sensitivity evolution in *Venturia inaequalis* towards SDHIs in comparison to other modes of action / G. Stammler, J. Strobel, T. Grämer, J. G. M. van den Boogert // *European Journal of Plant Pathology*. – 2024. – Vol. 168, № 4. – P. 763–773. – DOI: 10.1007/s10658-023-02798-6.

204. Szkolnik, M. Physical Modes of Action of Sterol-Inhibiting Fungicides Against Apple Diseases / M. Szkolnik // *Plant Disease*. – 1981. – Vol. 65. – P. 981–985. – DOI: 10.1094/PD-65-981.

205. Thakur, V. S. Effect of urea on microbial degradation of apple leaf litter and its relationship to the inhibition of pseudothecial development of *Venturia inaequalis* [Электронный ресурс] / V. S. Thakur, R. D. Sharma // *The Indian Journal of Agricultural Sciences*. – 2013. – Vol. 83, № 4. – URL: <https://agris.fao.org/search/ru/records/647473512d3f560f80ab81a6> (дата обращения: 07.03.2026).

206. Tshmir, P. G. A chemical indicator to reveal early apple scab infections – a useful tool for improving strategies of *Venturia inaequalis* and *V. pirina* control / P. G. Tshmir, D. A. Kolesova // *BioControl*. – 1996. – Vol. 41, № 3-4. – P. 461–464. – DOI: 10.1007/BF02765798.

207. Velasco, R. The genome of the domesticated apple (*Malus × domestica* Borkh.) / R. Velasco, A. Zharkikh, J. Affourtit [et al.] // *Nature Genetics*. – 2010. – Vol. 42, № 10. – P. 833–839. – DOI: 10.1038/ng.654.

208. *Venturia inaequalis* (Cooke) G. Winter – Парша яблони [Электронный ресурс] // *Агроатлас. Атлас болезней сельскохозяйственных культур*. – URL: https://agroatlas.ru/ru/content/diseases/Pomae/Pomae_Venturia_inaequalis/index.html (дата обращения: 07.03.2026).

209. Wang, M. The critical role of potassium in plant stress response / M. Wang, Q. Zheng, Q. Shen, S. Guo // *International Journal of Molecular Sciences*. – 2013. – Vol. 14, № 4. – P. 7370–7390. – DOI: 10.3390/ijms14047370.

210. Wei, X. Frequently used pesticides and their metabolites residues in apple and apple juice from markets across China: Occurrence and health risk assessment / X. Wei [et al.] // *LWT – Food Science and Technology*. – 2023. – Vol. 178. – Article 114610. – DOI: 10.1016/j.lwt.2023.114610.

211. Wilcox, W. F. Incidence and severity of crown and root rots on four apple rootstocks following exposure to *Phytophthora* species and waterlogging / W. F. Wilcox // *Journal of the American Society for Horticultural Science*. – 1993. – Vol. 118, № 1. – P. 63–67.

212. Williams, E. B. Resistance in *Malus* to *Venturia inaequalis* / E. B. Williams, J. Kuc // *Annual Review of Phytopathology*. – 1969. – Vol. 7, № 1. – P. 223–246.

213. Williams, E. B. The relationship of genes for pathogenicity and certain other characters in *Venturia inaequalis* (Cke.) Wint. / E. B. Williams, J. R. Shay // *Phytopathology*. – 1957. – Vol. 47, № 9. – P. 560–564.

214. Winter, G. *Venturia inaequalis* (Cooke) G. Winter / G. Winter // *Kryptogamen-Flora von Deutschland, Österreich und der Schweiz*. – Leipzig: E. Kummer, 1880. – Vol. 1. – P. 435.

215. Yellareddygari, S. K. R. Bland-Altman comparison of two methods for assessing severity of *Verticillium* wilt of potato / S. K. R. Yellareddygari, N. C.

Gudmestad, J. L. Pasche // Crop Protection. – 2017. – Vol. 101. – P. 68–75. – DOI: 10.1016/j.cropro.2017.07.019.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Таблица 1

Наименования химических фунгицидов, допущенных к применению на территории РФ по данным Реестра 2025 г., для защиты яблони от парши.

Название	Действующее вещество	Регистрант	Производитель
Сера 400, КС (400 г/л)	Сера	АО «Щелково Агрохим»	Отечественный
Витапанс, ВДГ (800 г/кг)	Сера	ООО «Шанс»	Отечественный
БФТИМ КС-2, Ж (1×10 ⁹ КОЕ/Мл + 1×10 ⁹ КОЕ/Мл)	Bacillus amyloliquefaciens КС-2 + bacillus amyloliquefaciens КС-2	ООО «ПАРАДИГМА»	Отечественный
Серенада АСО, КС (1×10 ⁹ КОЕ/Мл)	Bacillus amyloliquefaciens, штамм QST-713	Байер АГ (Германия)	Иностранный
Витаплан, СП (10 ¹⁰ КОЕ/г + 10 ¹⁰ КОЕ/г)	Bacillus subtilis ВКМ В-2604D + bacillus subtilis ВКМ В-2605D	ООО Управляющая компания «АБТ-групп»	Отечественный
Фитоспорин-М, Ж (1×10 ⁹ спор/Мл)	Bacillus subtilis, штамм 26 Д	ООО «НВП «БАШИНКОМ»	Отечественный
Баксис, Ж (10 ⁹ КОЕ/Мл)	Bacillus subtilis, штамм 63-Z	ООО «Инвиво»	Отечественный
Алирин-Б, Ж (10 ⁹ КОЕ/Мл)	Bacillus subtilis, штамм В-10 ВИЗР	ООО Управляющая компания «АБТ-групп»	Отечественный
Бактофит, СК (2×10 ⁹ спор/Мл)	Bacillus subtilis, штамм ИПМ 215	ООО ПО «Сиббиофарм»	Отечественный
Гамаир, КС (10 ⁹ КОЕ/г)	Bacillus subtilis, штамм М-22 ВИЗР	ООО Управляющая компания «АБТ-групп»	Отечественный
Биокомполит-Про, Ж (10 ⁹ КОЕ/Мл)	Pseudomonas asplenii, штамм 11 RW (ВКПМ В-13395)	АО «Щелково Агрохим»	Отечественный
Стернифаг, СП (10 ¹⁰ КОЕ/г)	Trichoderma harzianum, штамм ВКМ F-4099D	ООО Управляющая компания «АБТ-групп»	Отечественный
Трихоцин, СП (10 ¹⁰ КОЕ/г)	Trichoderma harzianum, штамм Г 30 ВИЗР	ООО Управляющая компания «АБТ-групп»	Отечественный
Беллис, ВДГ (252 г/кг + 128 г/кг)	Боскалид + пиракlostробин	«БАСФ СЕ»	Иностранный
Гренни, КС (350 г/л)	Дитианон	АО «Щелково Агрохим»	Отечественный
Делан, ВГ (700 г/кг)	Дитианон	БАСФ Агро Б.В.	Иностранный
Делан Про, КС (125 г/л)	Дитианон	БАСФ Агро Б.В.	Иностранный
Делор, ВГ (700 г/кг)	Дитианон	ООО «АГРОПРОГРЕСС КЭМИКАЛС»	Отечественный
Делатон, ВГ (700 г/кг)	Дитианон	ООО «Шанс»	Отечественный
Дифферент, СЭ (350 г/л)	Дитианон	ООО ГК «ЗемлякоФФ»	Отечественный
Раёк, КЭ (250 г/л)	Дифеноконазол	АО Фирма «Август»	Отечественный

Фарди, КЭ (250 г/л)	Дифеноконазол	ООО «АГРОПРОГРЕСС КЭМИКАЛС»	Отечественный
АгроКлимат, КЭ (250 г/л)	Дифеноконазол	ООО «Агрохим ХХ1»	Отечественный
Дискор, КЭ (250 г/л)	Дифеноконазол	ООО «АГРУСХИМ»	Отечественный
Хранитель, КЭ (250 г/л)	Дифеноконазол	ООО «Евро-Семена»	Отечественный
Ранголи-Курсор, КЭ (250 г/л)	Дифеноконазол	ООО «РАНГОЛИ»	Отечественный
Скор, КЭ (250 г/л)	Дифеноконазол	ООО «Сингента»	Иностранный
Эпсилон, КЭ (250 г/л)	Дифеноконазол	ООО «Франдеса»	Иностранный
Скорый, КЭ (250 г/л)	Дифеноконазол	ООО «Шанс»	Отечественный
Скорошанс, КЭ (250 г/л)	Дифеноконазол	ООО «Шанс»	Отечественный
Геката, КМЭ (120 г/л + 60 г/л)	Дифеноконазол + тетраконазол	АО Фирма «Август»	Отечественный
Медея, МЭ (50 г/л + 30 г/л)	Дифеноконазол + флутриафол	АО «Щелково Агрохим»	Отечественный
Цидели Топ, ДК (125 г/л + 15 г/л)	Дифеноконазол + цифлufenамид	ООО «Сингента»	Иностранный
Силлит, КС (400 г/л)	Додин	Ариста ЛайфСайенс Бенилюкс СПРЛ	Иностранный
Эмбрения Экстра, СК (100 г/л + 40 г/л)	Изопиразам + дифеноконазол	ООО «АДАМА РУС»	Иностранный
Эмбрения, СК (100 г/л + 40 г/л)	Изопиразам + дифеноконазол	ООО «Сингента»	Иностранный
Каперанг, КС (500 г/л)	Каптан	АО «Щелково Агрохим»	Отечественный
Малвин, ВДГ (800 г/кг)	Каптан	АРИСТА ЛАЙФСАЙЕНС С.А.С.	Иностранный
Камертон Ультра, СП (500 г/кг)	Каптан	ООО «АГРОПРОГРЕСС КЭМИКАЛС»	Отечественный
Мерпан, СП (500 г/кг)	Каптан	ООО «АДАМА РУС»	Иностранный
Дрейк Плюс, ВГ (600 г/кг + 40 г/кг)	Каптан + трифлуксистробин	ООО «АГРОПРОГРЕСС КЭМИКАЛС»	Отечественный
Строби, ВДГ (500 г/кг)	Крезоксим-метил	«БАСФ СЕ»	Иностранный
Крезаксин, ВДГ (500 г/кг)	Крезоксим-метил	ООО «АГРОПРОГРЕСС КЭМИКАЛС»	Отечественный
Крѐз, КС (100 г/л + 200 г/л)	Крезоксим-метил + боскалид	ООО «ЛИСТЕРРА»	Отечественный
Шриланк, КМЭ (400 г/л + 150 г/л)	Масло чайного дерева + дифеноконазол	АО Фирма «Август»	Отечественный
Блю Шилд 10, КС (184 г/л)	Меди гидроксид	Гадот Агро Лтд.	Иностранный
Блю Шилд 20, ВДГ (308 г/кг)	Меди гидроксид	Гадот Агро Лтд.	Иностранный
Косайд Супер, ВДГ	Меди гидроксид	КОСАЙД ЛЛС	Иностранный

(350 г/л)			
Чемп ДП, ВДГ (576 г/кг)	Меди гидроксид	Нуфарм ГмБХ & КО КГ	Иностранный
Мастеркоп, КС (259 г/л)	Меди сульфат	ООО «АДАМА РУС»	Иностранный
Бордоская смесь Экстра, ВРП (960 г/кг + 900 г/кг)	Меди сульфат + кальция гидроксид	ЗАО «ТПК «Техноэкспорт»	Отечественный
Бордоская смесь-Ф, ВРП (960 г/кг + 900 г/кг)	Меди сульфат + кальция гидроксид	ООО «ФАСКО +»	Отечественный
Купроксат, КС (345 г/л)	Меди сульфат трехосновный	Нуфарм ГмБХ & КО КГ	Иностранный
Индиго, КС (345 г/л)	Меди сульфат трехосновный	АО «Щелково Агрохим»	Отечественный
Бордоская жидкость, ВСК (172 г/л)	Меди сульфат трехосновный	АО Фирма «Август»	Отечественный
Кумир, СК (345 г/л)	Меди сульфат трехосновный	АО Фирма «Август»	Отечественный
Чистосад, КС (345 г/л)	Меди сульфат трехосновный	ООО «Шанс»	Отечественный
Цихом, СП (370 г/кг + 150 г/кг)	Меди хлорокись + цинеб	Агрива АД	Иностранный
Купидон Голд, СП (770 г/кг)	Меди гидроокись	ООО «АГРОПРОГРЕСС КЭМИКАЛС	Отечественный
Полирам ДФ, ВДГ (700 г/кг)	Метирам	«БАСФ СЕ»	Иностранный
Полидок, ВДГ (700 г/кг)	Метирам	ООО «Шанс»	Отечественный
Аффет, КС (200 г/л)	Пентиопирад	АРИСТА ЛАЙФСАЙЕНС С.А.С.	Иностранный
Фонтелис, КС (200 г/л)	Пентиопирад	ООО «Дюпон Наука и Технологии»	Иностранный
Миравис, СК (200 г/л)	Пидифлуметофен	ООО «Сингента»	Иностранный
Ривьера, МЭ (80 г/л + 80 г/л + 40 г/л)	Пиракlostробин + тебуконазол + дифеноконазол	АО «Щелково Агрохим»	Отечественный
Пирус, КС (400 г/л)	Пириметанил	АРИСТА ЛАЙФСАЙЕНС С.А.С.	Иностранный
Пириметан, КС (400 г/л)	Пириметанил	ООО «АГРОПРОГРЕСС КЭМИКАЛС»	Отечественный
Помарикс, КС (336 г/л + 133 г/л)	Пириметанил + флудиоксонил	Глобакем НВ	Иностранный
Силар, ВР (250 г/л)	Полидиметилдиаллиламмония хлорид	ООО «Ваше хозяйство»	Отечественный
Антракол, ВДГ (700 г/кг)	Пропинеб	Байер КропСайенс АГ	Иностранный
Кумулус ДФ, ВДГ (800	Сера	«БАСФ СЕ»	Иностранный

г/кг)			
Микротиол Специаль , ВДГ (800 г/кг)	Сера	ООО «ЮПЛ»	Иностранный
Флосул, СК (800 г/л)	Сера	Сульфур Милс Лимитед	Иностранный
Домарк, МЭ (125 г/л)	Тетраконазол	Изагро С.П.А.	Иностранный
Катрекс, КС (400 г/л)	Тирам	АО «Щелково Агрохим»	Отечественный
Митар, ВДГ (800 г/кг)	Тирам	ООО «АГРОПРОГРЕСС КЭМИКАЛС»	Отечественный
Грануфло, ВДГ (800 г/кг)	Тирам	Таминко БВБА	Иностранный
Тирада, СК (400 г/л + 30 г/л)	Тирам + дифеноконазол	АО Фирма «Август»	Отечественный
Привент, СП (250 г/кг)	Триадимефон	Агрива АД	Иностранный
Зато, ВДГ (500 г/кг)	Трифлуксистеробин	Байер КропСайенс АГ	Иностранный
Знаток, ВДГ (500 г/кг)	Трифлуксистеробин	ООО «Шанс»	Отечественный
Ширма, КС (500 г/л)	Флуазинам	АО «Щелково Агрохим»	Отечественный
Полпред, КС (500 г/л)	Флуазинам	ООО «ЛИСТЕРРА»	Отечественный
Геокс, ВДГ (500 г/кг)	Флудиоксонил	ООО «Сингента»	Иностранный
Серкадис Плюс, КС (75 г/л + 50 г/л)	Флуксапироксад + дифеноконазол	БАСФ Агро Б.В.	Иностранный
Луна Транквилити, КС (125 г/л + 375 г/л)	Флуопирам + пириметанил	Байер КропСайенс АГ	Иностранный
Клеймор, СК (200 г/л)	Флутриафол	АО Фирма «Август»	Отечественный
Минхати, КС (250 г/л)	Флутриафол	ООО «Агрохим ХХ1»	Отечественный
Флуплант, КС (250 г/л)	Флутриафол	ООО «АГРус»	Отечественный
Куприкол, КОЛР (200 г/л)	Хлорокись меди	ФГУП АО «КНИТИ-ВТ»	Отечественный
Абига-Пик, ВС (400 г/л)	Хлорокись меди	ООО «Сельхозхимия»	Отечественный
Кантор, ККР (200 г/л)	Ципродинил	АО «Щелково Агрохим»	Отечественный
Плантенол Нео, ВДГ (500 г/кг)	Ципродинил	АО Фирма «Август»	Отечественный
Приам, КЭ (250 г/л)	Ципродинил	АО Фирма «Август»	Отечественный
АгроШлем, ВДГ (750 г/кг)	Ципродинил	ООО «Агрохим ХХ1»	Отечественный
Хортон, КС (250 г/л)	Ципродинил	ООО «Ваше хозяйство»	Отечественный
Хорист, ВДГ (750 г/кг)	Ципродинил	ООО «Шанс»	Отечественный
Хорус, ВДГ (750 г/кг)	Ципродинил	ООО «Сингента»	Иностранный
Флокс, ВДГ (750 г/кг)	Ципродинил	ООО ЭЛЛИПСАГРО	Отечественный

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

«УТВЕРЖДАЮ»

Генеральный директор ООО «Лучи Солнца»

Смирнова А.И.

«16» мая 2025 г.



Справка

о получении рекомендаций по итогам диссертационного исследования

Настоящей справкой подтверждается получение от Касатова Ильи Сергеевича практических рекомендаций по итогам диссертационного исследования по применению новых систем фунгицидных обработок от парши яблони, основанных на применении комбинаций контактных и системных препаратов с содержанием каптана/трифлуксистробина, дитианона/ципродинила. По результатам фитосанитарного мониторинга получены рекомендации по критериям выбора посадочного материала, уходу за деревьями и внесению листовых подкормок.

ПРИЛОЖЕНИЕ В

«УТВЕРЖДАЮ»

Генеральный директор ООО «Лучи Солнца»

Смирнова А.И.

«16» мая 2025 г.



АКТ

О внедрении результатов диссертационной работы

Касатова Ильи Сергеевича на тему:

«Экотоксикологическое обоснование использования химических средств защиты яблони от парши»

Настоящим актом подтверждаем, что в плодовом саду на площади 6,5 га в Солнечногорском районе Московской области в течение 2023-2024 гг. проведён фитосанитарный мониторинг состояния сада и внедрены результаты по улучшению системы защиты яблони от парши. Результаты основаны на применении комбинаций контактных и системных препаратов с содержанием каптана/трифлуксизробина, дитианона/ципродинила, полученные Касатовым Ильёй Сергеевичем в процессе выполнения диссертационного исследования.

При этом биологическая эффективность предложенной системы по защите листьев яблони от поражения паршой была в среднем по трём сортам яблони на 50% выше по сравнению с принятой ранее в хозяйстве и снизила развитие симптомов парши на плодах на половину, что позволило увеличить выход плодов более высоких товарных качеств.

Главный агроном

A blue ink signature of A.V. Libra.

Либра А.В.

Агроном-технолог

A blue ink signature of Z.A. Plusnina.

Плюснина З.А.

ПРИЛОЖЕНИЕ Г



МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ –
МСХА имени К.А. ТИМИРЯЗЕВА»
(ФГБОУ ВО РГАУ - МСХА имени К.А. Тимирязева)

УНКЦ «Агроэкология пестицидов и агрохимикатов»

127550, Москва, ул. Прянишникова, д. 6,
стр. 18, 19

Телефон: (499) 976-37-68

Факс: (499) 976-43-26

01.06.2026 № УНКЦ-253-26

На № _____

Справка об использовании результатов исследований

В ходе выполнения диссертационной работы Касатова Ильи Сергеевича на тему: «Экотоксикологическое обоснование использования химических средств защиты яблони от парши» часть исследований, касающихся биологической эффективности пестицидов и оценки содержания остаточных количеств их действующих веществ, были проведены в рамках регистрационных испытаний на базе УНКЦ «Агроэкология пестицидов и агрохимикатов» ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева.

На основе полученных данных препараты Знаток, ВДГ (500 г/кг трифлуксистробина), АгроШлем, ВДГ (750 г/кг ципродинила и Шрапнель, ВГ (700 г/кг дитианона) внесены в Реестр пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации.

Руководитель УНКЦ «Агроэкология
Пестицидов и агрохимикатов»
ФГБОУ ВО РГАУ – МСХА имени
К.А. Тимирязева

А.В. Довгилевич

Касатов И.С. (495)9764326