

На правах рукописи



Гырнец Елена Юрьевна

**БИОЦИДНАЯ АКТИВНОСТЬ ШТАММОВ БАКТЕРИЙ, ПЕРСПЕКТИВНЫХ ДЛЯ
СОЗДАНИЯ ПОЛИФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПРЕПАРАТОВ ЗАЩИТЫ ЯБЛОНИ ОТ
VENTURIA INAEQUALIS (COOKE) G. WINTER (1875) И *CYDIA POMONELLA*
(LINNAEUS, 1758)**

4.1.3. Агрохимия, агропочвоведение, защита и карантин растений

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Краснодар – 2026

Работа выполнена на базе лаборатории микробиологической защиты растений Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр биологической защиты растений» (ФГБНУ ФНЦБЗР), г. Краснодар

Научный руководитель: кандидат биологических наук
Асатурова Анжела Михайловна

Официальные оппоненты: **Карпун Наталья Николаевна,**
доктор биологических наук, доцент, ФГБУН
«Федеральный исследовательский центр
«Субтропический научный центр Российской
академии наук», отдел защиты растений, главный
научный сотрудник

Юрченко Евгения Георгиевна,
кандидат сельскохозяйственных наук, ФГБНУ
«Северо-Кавказский федеральный научный
центр садоводства, виноградарства,
виноделия», научный центр «Защита и
биотехнологии растений», заведующая

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное
научное учреждение «Всероссийский научно-
исследовательский институт защиты
растений»

Защита диссертации состоится «09» июня 2026 года в 14⁰⁰ на заседании диссертационного совета 35.2.019.09 на базе ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина», по адресу: 350044, г. Краснодар, ул. Калинина, 13, главный корпус, аудитория 106.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке университета и на сайтах ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина» – www.kubsau.ru и ВАК – <http://vak.ed.gov.ru>.

Автореферат разослан « _____ » _____ 2026 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
доктор сельскохозяйственных
наук

Гуторова Оксана Александровна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Яблоня в течение вегетационного периода подвергается воздействию двух основных вредных организмов: яблонной плодовой гнили *Cydia pomonella* (Linnaeus, 1758) и возбудителя парши *Venturia inaequalis* (Cooke) G. Winter (1875), которые способны значительно снижать урожайность и качество плодов. Хотя химические пестициды демонстрируют высокую эффективность против этого возбудителя и фитофага, их применение сопряжено с рядом экологических рисков, включая полное уничтожение полезной энтомофауны и почвенного микробиома [Рославцева С. А., 2006; Occupational exposure of farm..., 2009; Cholinesterase levels and morbidity..., 2011, Seasonal variations in cholinesterase activity..., 2013; Adverse respiratory health..., 2013, Мировой рынок химических средств..., 2024]. При этом анализ литературы подтверждает отсутствие зарегистрированных биопрепаратов на основе микроорганизмов, обладающих одновременной эффективностью против парши и яблонной плодовой гнили в РФ [Штерншиц М. В., 2012; Овсянникова Е. И., Смирнов С. Н., Гричанов И. Я., 2013.; Перспективы применения бактерий..., 2020; Szpyrka E., Migdal-Pechartoman S., Książek-Trela P., 2025; Государственный каталог пестицидов..., 2025]. В связи с этим перспективным направлением является поиск биоагентов, обладающих комплексом полезных свойств, включая фунгицидную, инсектицидную активность [Plant growth promoting bacteria..., 2017, Долженко Т. В., 2021; Characterization of *Paenibacillus polymyxa*..., 2021, Kamboj N. et al., 2025]. Таким образом, поиск и изучение штаммов бактерий, обладающих полифункциональной активностью в отношении парши и яблонной плодовой гнили, представляет актуальную научно-практическую задачу, направленную на разработку экологически безопасных биопрепаратов для комплексной защиты яблони.

Степень разработанности темы. Отечественные ученые и практики Мечников И. И., Красильщиков И. М., Талалаев Е. В., Исси И. В., Гукасян А. Б., Евлахина А. А., Павлюшин В. А., Новикова И.И., Долженко В. И., Долженко Т. В., Маслиенко Л. В. и др., разработали основополагающие принципы применения энтомопатогенных вирусов, бактерий и грибов для биологического контроля фитофагов сельскохозяйственных и лесных культур.

Большое количество научных работ посвящено использованию микроорганизмов в сельскохозяйственной практике [Влияние лабораторных образцов биопрепаратов..., 2010; Штерншиц М. В., 2012; Азизбекян Р. Р., 2013; Characterization of multifunctional *Bacillus*..., 2016; Plant growth promoting bacteria..., 2017; Rui L., 2018; Fallahzadeh-Mamaghani V., Golchin S., Shirzad A., 2021; Штаммы бактерий из Биоресурсной коллекции ФГБНУ ФНЦБЗР..., 2023; Щербакова Т., 2024; Chaudhary A., 2024]. В публикациях многих исследователей рассматривается эффективность применения биоагентов с инсектицидной [Höfte H., Whiteley H. R., 1989; Baum J. A., Carlton J. A., 1999; Pathogenicity and characterization..., 2015; Shapiro-Ilan D., Arthurs S. P., Lacey L. A., 2017; Пат. № 2692655 Рос. Федерация, 2019] и фунгицидной активностью [Discovery and development..., 2003; Якуба Г. В., Маслиенко Л. В., Гусин Д. Н., 2013; Петенко А. И., Гнеуш А. Н., Дмитриев В. И., 2014; Complete genome sequence..., 2025; Design, synthesis, and biological..., 2025], механизмам их действия [Ertürk Ö., Demirba Z., 2006; Bravo A., Gill S. S., Soberon M., 2007; Pathogenicity and characterization..., 2015; Entomopathogenic bacteria species..., 2025]. Представлены работы, направленные на изучение полифункциональных свойств штаммов бактерий [Новикова И.И., 2005; Штерншиц М. В., 2012; Пат. № 2692655 Рос. Федерация, 2019; Ananto A. D., 2022; Deng X., Wang X., Li G., 2022; Volatile metabolites from *Brevundimonas*..., 2023]. На сегодняшний день в Государственном каталоге

пестицидов и агрохимикатов РФ отсутствуют зарегистрированные препараты на основе штаммов бактерий, сочетающих одновременно фунгицидную и инсектицидную активность против парши и яблонной плодовой гнили на культуре яблони.

Цель работы – осуществить комплексную биоцидную оценку штаммов бактерий, перспективных для создания микробиопрепаратов с полифункциональными свойствами для снижения вредоносности парши *V. inaequalis* и яблонной плодовой гнили *C. pomonella*.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

1. Осуществить скрининг штаммов бактерий по критерию ферментативной активности для отбора культур с полифункциональным биоконтрольным потенциалом.
2. Провести идентификацию и биоинформатический анализ генетических последовательностей штаммов бактерий, включающий поиск генов, кодирующих белки с потенциальными фунгицидными и инсектицидными свойствами.
3. Оценить биоцидный потенциал штаммов бактерий *in vitro* в отношении экономически значимых возбудителей болезней и вредителя яблони.
4. Оценить фитотоксичность и совместимость штаммов бактерий для обоснования их использования при создании полифункциональных микробных препаратов.
5. Оценить биологическую эффективность экспериментальных образцов на основе штаммов бактерий в отношении яблонной плодовой гнили *C. pomonella* и парши *V. inaequalis* в условиях полевого мелкоделяночного опыта на яблоне.

Научная новизна. Впервые дана комплексная оценка штаммов бактерий из биоресурсной коллекции ФГБНУ ФНЦБЗР «Государственная коллекция энтомоакарифагов и микроорганизмов» (БРК ФГБНУ ФНЦБЗР), обладающих высокой инсектицидной и фунгицидной активностью *in vitro* в отношении возбудителя парши *V. inaequalis* и яблонной плодовой гнили *C. pomonella*, перспективных в качестве штаммов-продуцентов бактериальных полифункциональных препаратов. Проанализированы гены штаммов бактерий, кодирующие белки с инсектицидной активностью, а также последовательности генов, отвечающие за синтез фунгицидных липопептидов: итуринов, фенгицинов, сурфактинов. Доказано высокое защитное действие экспериментальных образцов на основе штаммов *Bacillus velezensis* BZR 936, *Bacillus velezensis* BZR 277, *Brevundimonas naejangsanensis* BZR 1159 на яблоне в условиях полевого мелкоделяночного опыта в отношении парши и яблонной плодовой гнили.

Теоретическая значимость. Впервые исследован фунгицидный и инсектицидный потенциал 17 штаммов бактерий из БРК ФГБНУ ФНЦБЗР в отношении основных фитофагов и возбудителей болезней яблони. Получены новые знания о видовом и генетическом разнообразии штаммов бактерий с полифункциональным действием, что расширяет фундаментальные знания о механизмах действия биоагентов в отношении фитопатогенов и фитофагов. Полученные результаты исследований дополняют теоретические представления о возможности разработки новых биологических средств защиты растений с полифункциональным действием в отношении яблонной плодовой гнили *C. pomonella* и парши яблони *V. inaequalis*.

Практическая значимость. Данные, полученные в ходе полногеномного секвенирования и аннотации геномов, внесены в международную базу данных National Center for Biotechnology Information, что обеспечивает верификацию результатов и создает основу для дальнейшего научно-практического использования. Установлена перспективность использования штаммов бактерий *B. naejangsanensis* BZR 1159, *B. velezensis* BZR 277, *B. velezensis* BZR 936 в качестве основы микробиопрепаратов полифункционального действия для защиты яблони от парши *V. inaequalis* и яблонной

плодожорки *C. pomonella*. По результатам исследований создана база данных, которая используется преподавателями, аспирантами и студентами в качестве теоретического и практического материала в образовательном процессе – при подготовке бакалавров, магистров ФГБОУ ВО Кубанского государственного университета (КубГУ) по направлению «Биология» и аспирантов ФГБНУ ФНЦБЗР по специальности «Агрохимия, почвоведение, защита и карантин растений».

Методология и методы исследований. Методологической и теоретической основой диссертационной работы являлись труды отечественных и зарубежных ученых. При выполнении работы использовали общепринятые микробиологические, фитопатологические, энтомологические, молекулярно-генетические и статистические методы исследований.

Положения, выносимые на защиту:

1. Генетическая основа полифункционального действия штаммов из БРК ФГБНУ ФНЦБЗР обусловлена наличием генов, кодирующие белки, ответственных за инсектицидную (GroEL, Spp1Aa1 и Spp1Aa2, Vpb1Ab1, Vpb4Ca1 и др.) и фунгицидную (YxjF, YxjC, ScoA и ScoB, Fengycin, Surfactin, Iturin, Bacillomycin & Mycosubtilin synthetases и др.) активность штаммов бактерий, подтверждающая их потенциальную эффективность в качестве основы биопрепаратов.

2. Штаммы бактерий *B. velezensis* BZR 936, *B. velezensis* BZR 277, *B. naejangsanensis* BZR 1159, характеризующиеся высокой инсектицидной и фунгицидной активностью в условиях *in vitro* и *in vivo*, перспективные в качестве продуцентов полифункциональных биопрепаратов для защиты и сохранения урожайности яблони.

3. Совместимость новых штаммов бактерий из БРК ФГБНУ ФНЦБЗР с действующими веществами фунгицидов классов стробилуринов, фталимида, триазолов, а также инсектицидов классов фосфорорганических соединений, авермектинов, неоникотиноидов, ингибиторов синтеза хитина.

Степень достоверности и апробация работы. Объективность и достоверность результатов диссертационной работы подтверждается комплексным подходом, включающим многократное повторение лабораторных и полевых мелкоделяночных экспериментов, использование современных методов исследования (полногеномное секвенирование, биоинформатический анализ, филогенетическое моделирование), а также обработку данных с использованием общепринятых статистических критериев и программного обеспечения.

Основные результаты исследований были представлены на всероссийских и международных конференциях: 9-я Международная научно- практическая конференция «Защита растений от вредных организмов», г. Краснодар, 17-21 июня 2019 г.; 4 Всероссийский съезд по защите растений с международным участием «Фитосанитарные технологии в обеспечении независимости и конкурентоспособности АПК России», г. Санкт-Петербург, 9-11 сентября 2019 г.; International Conference on Advances in Agrobusiness and Biotechnology Research (ABR 2021), Krasnodar, May 24-26, 2021; 10-я Международная научно-практическая конференция «Защита растений от вредных организмов», г. Краснодар, 21-25 июня 2021 г.; Международный научно-практический форум «Биологизация процессов интенсификации в садоводстве и виноградарстве», посвященный 90-летию со дня образования научного учреждения, г. Краснодар, 21-23 сентября 2021 г.; III-ая Международная научная конференция «Растения и микроорганизмы: биотехнология будущего» PLAMIC2022, г. Санкт-Петербург, 1-8

октября 2022 г.; XI Международной научно-практической конференции «Биологическая защита растений – основа стабилизации агроэкосистем», г. Краснодар, 13-15 сентября 2022 г.; XIII Международной научной конференции «Микробные биотехнологии: фундаментальные и прикладные аспекты», г. Минск, 6–9 июня 2023 г.; Международной научно-практической конференции «Защита и карантин растений», Московская обл., р.п. Быково, 26-28 октября 2023 г.; XII Международной научно-практической конференции «Биологическая защита растений – основа стабилизации агроэкосистем», г. Краснодар, 17-19 сентября 2024 г.; V Всероссийском конгрессе по защите растений, г. Санкт-Петербург, 16-19 апреля 2024 г.; Международной научно-практической конференции «Защита и карантин растений. Здоровые растения – здоровая нация», Московская обл., р.п. Быково, 10-13 декабря 2024 г.; V Международной конференции по цифровизации сельского хозяйства и органическому производству (ADOP 2025), г. Барнаул 3-6 июня 2025 г.; 12-й Международной научно-практической конференции «Защита растений от вредных организмов», г. Краснодар, 16-20 июня 2025 г.

Работа выполнена при финансовой поддержке грантов РФФИ №19-416-233037 р_мол_а «Исследование инсектицидных и стрессовых свойств новых штаммов бактерий и энтомопатогенных вирусов для биологического контроля яблонной плодовой гнили в ценозах юга России», РНФ № 23-16-00260 «Изучение особенностей строения генетического аппарата аборигенных для юга России энтомопатогенных штаммов бактерий рода *Bacillus* и вирусов гранулеза яблонной плодовой гнили *Cydia pomonella*», Фонда содействия инновациям в рамках Договора № 17858ГУ/2022 от 18 мая 2022 г. («УМНИК»).

Публикация результатов исследований. По материалам диссертации опубликовано 14 печатных работ, в т.ч.: 4 – в изданиях, входящих в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук; 9 – в других научных изданиях; получено свидетельство на 1 базу данных.

Личный вклад автора. Автор принимала личное участие в постановке и проведении опытов, учетах, обработке полученных данных, подготовке публикаций, написании диссертации. Разработка программы исследований и необходимых для её осуществления методов исследований выполнены при участии научного руководителя.

Структура и объем диссертации. Диссертация изложена на 240 страницах машинописного текста и состоит из введения, трёх глав, заключения, практических рекомендаций, списка литературы, 5 приложений, содержит 17 таблиц, 41 рисунок. Перечень библиографических ссылок включает 347 источников, в том числе 194 на иностранных языках.

Благодарности. Автор выражает искреннюю благодарность научному руководителю, канд. биол. наук Асатуровой А. М. за научно-методическое руководство и содействие в выполнении диссертационной работы. Отдельная признательность выражается сотрудникам лаборатории микробиологической защиты растений ФГБНУ ФНЦБЗР за помощь в проведении экспериментальных исследований, а также канд. биол. наук Исмаилову В. Я., канд. биол. наук Агасьевой И. С., канд. биол. наук [Пушне М. В.], канд. с.-х. наук Ермоленко С. А. – за консультации и практическое содействие. Автор также благодарит сотрудников ИЦиГ СО РАН: академика РАН, д-р. биол. наук Кочетова А. В., канд. биол. наук Васильева Г. В., д-р. биол. наук Лашина С. А., Лахову Т. Н., канд. биол. наук Клименко А. И., а также представителей ФГБОУ ВО «Адыгейский

государственный университет»: канд. физ.-мат. наук Алиева М. В. и Лобанова А. Г. за содействие в реализации отдельных этапов исследований.

Глава 1. МИКРОБИОЛОГИЧЕСКАЯ ЗАЩИТА ЯБЛОНИ *MALUS DOMESTICA* ОТ ВРЕДИТЕЛЕЙ И БОЛЕЗНЕЙ (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)

Представлены сведения об основных фитофагах и болезнях яблони, их вредоносности на территории России. Рассмотрены аспекты практического применения бактерий как агентов биоконтроля и основные механизмы действия против вредных объектов. Представлены сведения о существующих в стране и мире коммерческих биопрепаратов инсектицидного и фунгицидного действия для защиты яблоневых садов. Анализ литературных данных свидетельствует о недостаточной изученности полифункциональных биологических агентов для комплексной защиты яблони от парши *V. inaequalis* и яблонной плодовой гнили *C. pomonella*.

Глава 2. МЕСТО, УСЛОВИЯ, ОБЪЕКТЫ, МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

2.1 Место и условия исследований

Исследования осуществляли на базе лаборатории микробиологической защиты растений Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр биологической защиты растений» (ФГБНУ ФНЦБЗР) и Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр Институт цитологии и генетики Сибирского отделения Российской академии наук» (ИЦиГ СО РАН). Эксперименты проводили в 2019-2025 гг. *in vitro*, а также в условиях мелкоделяночных опытов на яблоне на естественном фоне *V. inaequalis* и природной популяции яблонной плодовой гнили *C. pomonella*. Климатические условия в период полевых исследований (мелкие делянки), характерные для данной местности: температура воздуха колебалась в пределах 12,0-26,0°C, сумма осадков составила 190-340 мм, относительная влажность воздуха находилась в диапазоне 55,3-74,4 %. Фитопатологический мониторинг в период вегетации в 2023-2024 гг. представлен преимущественно возбудителем парши яблони: развитие – от 5,3 до 26,8 %; распространенность – от 18,0 до 57 %. Численность фитофагов в агроценозе: яблонная плодовая гниль *C. pomonella* (8-12 бабочек на ловушку), зеленая яблонная тля *Aphis pomi* (50-80 особей на побег). Важно отметить, что опытный участок характеризовался отсутствием применения органических и минеральных удобрений, а также химических средств защиты растений.

2.2 Объекты исследований

Объекты исследования – штаммы бактерий из биоресурсной коллекции ФГБНУ ФНЦБЗР «Государственная коллекция энтомоакарифагов и микроорганизмов» [<https://fncbzs.ru/brk-i-unu/unique-installation-1/>].

2.3 Материалы и методы исследований

Липазную, протеазную и хитиназную активность определяли на селективных средах [Нетрусов, Котова, 2025]. Для идентификации, сборки геномов, их аннотации и сопутствующего анализа были использованы следующие программные инструменты: Metaphlan4, MaxBin2, FastQC, Fastp, BWA, Samtools, Spades, MinYS, Gfinisher, Prokka, Quast, GenAPI, Blast+, MAFFT, Phylo.io, iTOL, JSpeciesWS [Lakhova et al., 2024]. Геномы штаммов бактерий депонированы в NCBI.

Для оценки фунгицидной активности перспективных штаммов бактерий *in vitro* применяли метод двойных (встречных) культур [Егоров Н. С., 1957]. В качестве тест-культуры использовали штаммы фитопатогенных грибов, как одни из наиболее

вредоносных возбудителей плодовых культур: *Trichothecium roseum* ВКМ F-428, *Cladosporium herbarum* ВКМ F-1688, *Alternaria* sp. (*alternata*) BZR-F 12, *F. avenaceum* BZR-F 19, *Monilinia fructigena*, *V. inaequalis* BZR-F34, *F. graminearum* BZR F-4, *F. oxysporum* var. *orthoceras* BZR F-6, *F. culmorum* BZR F-3, *Rhizoctonia solani* BZR F-11. Опыт проводили в трехкратной повторности. Учет двойных культур осуществляли на пятые, седьмые и десятые сутки [Montealegre J. R., Reyes R., Perez L. M., 2003]. В эксперименте по определению антагонистической активности *in vitro* использовали фитопатогенные штаммы бактерий *Erwinia amylovora* BZR B-1185, *Pseudomonas syringae* pv. *atrofaciens* BZR B-1192, *Pseudomonas syringae* pv. *pisi* BZR B-1195, *Xanthomonas arboricola* ВКМ B-1052. Антагонистическую активность штаммов бактерий в отношении фитопатогенных бактерий и между собой определяли методом перпендикулярных штрихов [Нетрусов А. И., Котова И. Б., 2025]. Для оценки инсектицидной активности штаммов бактерий *in vitro* использовали лабораторные популяции большой восковой моли *Galleria mellonella* L., большого мучного хрущака *Tenebrio molitor* L. и природную популяцию яблонной плодовой гнили *C. pomonella* L. Эксперименты проводили по общепринятым методикам оценки энтомопатогенных микроорганизмов в пятикратной повторности [Буров В. Н., Тютюрев С.Л., Сухорученко Г.И., 1995; Harris M. O., 1997; Патогены насекомых..., 2001; Isolation and characterization..., 2018]. Во всех опытах насекомых содержали при температуре 25-28°C и относительной влажности воздуха 60-80 %, в контроле использовали стерильную воду, длительность эксперимента составляла 5 суток. Гусениц 2-3 возраста *Galleria mellonella* L. содержали в чашках Петри (ЧП) по 10 особей на 5 г искусственного питательного субстрата (ИПС) [Осокина А. С., 2015], обработанного 3 мл водной суспензии штаммов. Опыты проводили в пятикратной повторности (по 30 гусениц на повторность). Личинок 5-6 возраста *Tenebrio molitor* L. после 24-часового голодания содержали на геркулесовой муке, смоченной суспензией штаммов (3,0 мл на 5,0 г субстрата). В каждую ЧП помещали по 10 личинок (30 личинок на повторность), опыт закладывали в пятикратной повторности. Гусениц *C. pomonella* L. отбирали из повреждённых плодов вручную. Насекомых содержали индивидуально в 24-луночных пластиковых планшетах на ИПС [Митрофанов В. Б., 1976] (по 1 гусенице на лунку на 15 насекомых на планшет). Водные суспензии штаммов наносили на ИПС из расчёта 0,3 мл на одну гусеницу; опыт проводили в трехкратной повторности. Расчёт биологической эффективности (БЭ) осуществляли по формуле Хендерсона и Тилтона [Henderson C.F. Tilton E.W., 1995; Методические указания..., 2022].

Оценку фунгицидного и инсектицидного действия экспериментальных образцов на основе штаммов бактерий в условиях мелкоделяночного опыта проводили на полевой базе хутора Покровского, Краснодарского края, III климатической зоны в 2023-2024 гг. Исследования проводили на средневосприимчивом к парше сорте Женева Эрли. Клоновый подвой яблони ММ-106 – среднерослый подвой. Схема посадки деревьев – 4,5×1,5 м, густота посадки – 1481 дерево/га, площадь опытного участка. Размер опытного участка – 0,36 га, повторность четырехкратная. В качестве элементарной повторности использовали отдельные деревья, каждое из которых имело четыре учетные ветви (на каждую по 25 листьев и/или плодов). Рабочие растворы исследуемых экспериментальных образцов на основе штаммов бактерий (5,0 л/га) и эталонных препаратов: фунгицида Фитоспорин-М, Ж (*B. subtilis*, штамм 26 Д, 2,5 л/га) и инсектицида Инсетим, Ж (*B. thuringiensis* subsp. *thuringiensis*, штамм ИПМ-1140, 5,0 л/га) – готовили в концентрации $1,0 \times 10^9$ КОЕ/мл. Контрольные растения обрабатывали водой. Норма применения рабочей жидкости 800-1000 л/га. Проводили пять обработок с интервалом 7-

14 дней, начиная с фазы «розовый бутон - начало цветения». В 2023 г. обработки выполняли 21.04. (розовый бутон-начало цветения), 04.05. (опадение лепестков), 19.05. (лещина), 02.06. (лещина-грецкий орех), 15.06. (формирование и созревание плодов); в 2024 г. – 26.04. (розовый бутон-начало цветения); 08.05. (опадение лепестков-лещина); 14.05. (лещина-грецкий орех); 24.05. (грецкий орех); 07.06. (формирование и созревание плодов). Расчет развития болезни осуществляли по стандартной формуле с использованием пятибалльной шкалы. Повреждения плодов яблони гусеницами *C. pomonella* оценивали на упавших с дерева плодах на опытном участке, равной проекции кроны учетного дерева, а также на плодах в съемном урожае в период уборки. Биологическую эффективность считали по формуле Аббота [Abbot W.S., 1925, Методические указания..., 2022].

Статистическую обработку данных проводили в программах Microsoft Excel и Statistica 13.3 (StatSoft Russia) с использованием критериев Колмогорова-Смирнова (нормальность распределения), Дункана и Тьюки ($p < 0,05$), Каплана-Майера ($p \leq 0,001$) и Уилкоксона [Усманов Р. Р., Хохлов Н. Ф., 2020; Баврина А. П., 2021].

Глава 3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1 Скрининг штаммов бактерий по критерию ферментативной активности для отбора культур с полифункциональным биоконтрольным потенциалом

На основании комплексной оценки гидролитической активности 107 штаммов бактерий выявлено 17 перспективных агентов, обладающих комплексной ферментативной активностью: липазная, хитиназная, протеазная. Данные штаммы были отобраны для последующих этапов исследований, включающих молекулярно-генетическую идентификацию и скрининг на фунгицидную, инсектицидную и бактерицидную активность. Комплексное исследование позволит выявить перспективные штаммы бактерий для разработки на их основе микробиопрепаратов с широким спектром фунгицидного и инсектицидного действия на яблоне.

3.2 Идентификация штаммов бактерий

3.2.1 Морфолого-культуральная характеристика штаммов бактерий

Клетки исследуемых бактерий палочковидные, продолговатые или короткие, одиночные и соединены в цепочки. Размеры клеток у штаммов различались – от 0,4 до 1,0 мкм в ширину и от 1,2 до 4,3 мкм в длину. Большинство штаммов образовывали споры, расположенные центрально, терминально или субтерминально, исключением выступали штаммы бактерий BZR 588, BZR 1159, BZR 920, BZR 206, BZR 762, BZR 278 в клетках споры отсутствовали

3.2.2 Молекулярно-генетическая идентификация штаммов бактерий

Таксономическая принадлежность определена на основании полногеномного секвенирования при среднем покрытии $\geq 30x$ и полноте бинов $\geq 87\%$ (ANI-анализ по базе NCBI GenBank, с использованием методов биннинга и тетрануклеотидного анализа). Для штамма BZR 201 были выделены два генома (BZR 201 и BZR 201P). В результате исследований определены следующие таксоны: *Leucobacter* (*L. aridicollis*), *Bacillus* (*B. cereus*, *B. thuringiensis*, *B. velezensis*), *Pseudomonadota* (*Alcaligenaceae*, *Brucellaceae*), а также виды *Achromobacter marplatensis*, *Alcaligenes nematophilus*, *Brevundimonas naejangsansensis* и *Ochrobactrum quorumnocens*. В результате полногеномного секвенирования осуществлена видовая идентификация 17 штаммов бактерий (таблица 1).

Таблица 1 – Таксономическая идентичность штаммов бактерий

п.п.	Шифр штамма	Идентичность	BioProject	BioSample	Accession
1	BZR 588	<i>Paenochrobactrum</i> sp.	PRJNA1178861	SAMN44597254	JBIDRY000000000
2	BZR 1159	<i>Brevundimonas naejangsanensis</i>	PRJNA1178861	SAMN46686767	JBLMJM000000000
3	BZR 920	<i>Bacillus velezensis</i>	PRJNA1178861	SAMN44580890	JBIBRV000000000
4	BZR 936	<i>Bacillus velezensis</i>	PRJNA1178861	SAMN44484732	JBISGV000000000
5	BZR 206	<i>Leucobacter aridicollis</i> DSM 17380	PRJNA1178861	SAMN44500260	JBITPP000000000
6	BZR 926	<i>Achromobacter marplatensis</i>	PRJNA1178861	SAMN46686768	JBLMJL000000000
7	BZR 466	<i>Leucobacter aridicollis</i> DSM 17380	PRJNA1178861	SAMN44500261	JBITPO000000000
8	BZR 736	<i>Bacillus cereus</i>	PRJNA1178861	SAMN44580889	JBIBRW000000000
9	BZR 635	<i>Leucobacter</i> sp.	PRJNA224116	SAMN44615816	JBLUNZ010000000
10	BZR 762	<i>Alcaligenes nematophilus</i>	PRJNA1178861	SAMN44597257	JBIDRV000000000
11	BZR 278	<i>Alcaligenes nematophilus</i>	PRJNA1178861	SAMN44597255	JBIDRX000000000
12	BZR 201	<i>Leucobacter aridicollis</i> DSM 17380 (BZR 201), <i>Paenochrobactrum</i> sp. (BZR 201P)	PRJNA1178861 PRJNA1178861	SAMN44500259 SAMN44597253	JBITPQ000000000 JBIDRZ000000000
13	BZR 162	<i>Ochrobactrum quorumnocens</i>	PRJNA1178861	SAMN44597252	JBIDSA000000000
14	BZR 585	<i>Alcaligenes nematophilus</i>	PRJNA1178861	SAMN44597256	JBIDRW000000000
15	BZR G1	<i>Bacillus thuringiensis</i>	PRJNA1178861	SAMN44580400	JBIZU000000000
16	BZR G2	<i>Bacillus thuringiensis</i>	PRJNA1178861	SAMN44580401	JBIZT000000000
17	BZR G3	<i>Bacillus thuringiensis</i>	PRJNA1178861	SAMN44580402	JBIZS000000000

Таксономическое древо исследуемых штаммов представлено на рисунке 1.

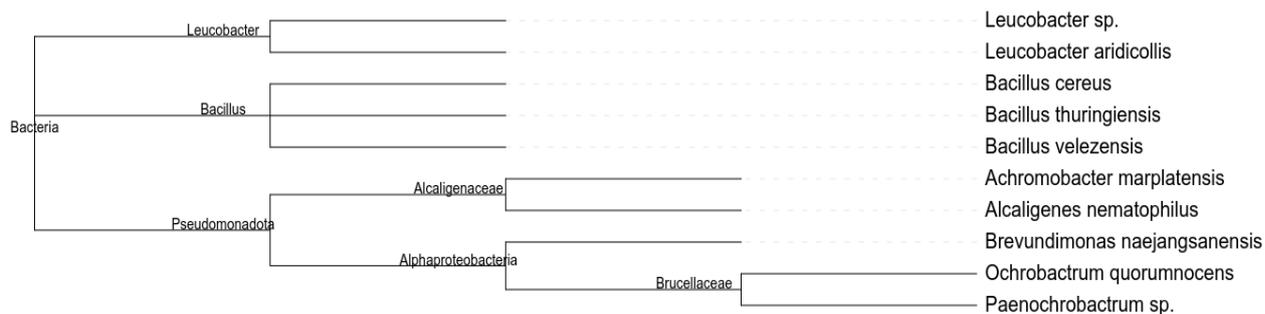


Рисунок 1 – Таксономическое древо видов исследуемых штаммов бактерий

Для выявления белков с инсектицидной и фунгицидной активностью была создана референсная база данных на основе последовательностей из UniProt и NCBI Protein с использованием ручного отбора по названию рода и функциональной активности белков. Анализ проводили с применением алгоритма BLASTp (пакет Blast+).

Результаты показали наличие гена, кодирующего белок GroEL-like, во всех исследуемых геномах (рисунок 2).

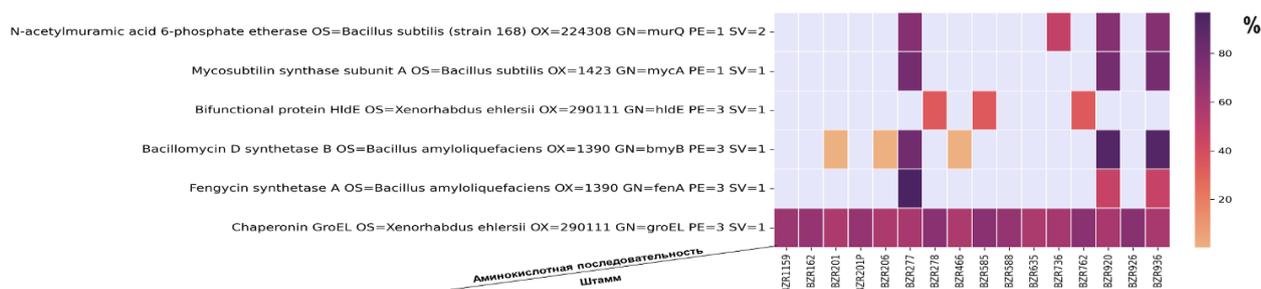


Рисунок 2 – Репертуар белков с потенциальной инсектицидной активностью, отобранных в ходе попарного выравнивания транслированных геномов исследуемых штаммов

Максимальное количество белков с потенциальной инсектицидной активностью обнаружено у штаммов *B. velezensis* BZR 277, 920 и BZR 936, которые содержали гены синтетазы фенгицина, микосубтилина и бацилломицина. Штамм *B. cereus* BZR 736 обладал генами *Spp1Aa1*, *Spp1Aa2*, *Vpb1Ab1* и *Vpb4Ca1*. Все проанализированные штаммы рода *Bacillus* также содержали ген N-ацетилмурамовой кислоты 6-фосфатэстеразы (EC 4.2.1.126). У штаммов рода *Alcaligenes* (BZR 278, 585, 762) выявлены фрагменты, гомологичные гену белка HldE. Штаммы *Leucobacter aridicollis* (BZR 201, 206, 466) демонстрировали наличие фрагментов, гомологичных генам синтетазы бацилломицина.

Кроме того, были выявлены белки с фунгицидным действием у образцов, относящихся к роду *Bacillus*: *B. cereus* BZR 736, *B. velezensis* BZR 277, *B. velezensis* BZR 920, *B. velezensis* BZR 936, *B. thuringiensis* BZR G1, *B. thuringiensis* BZR G2 и *B. thuringiensis* BZR G3 (рисунок 3).

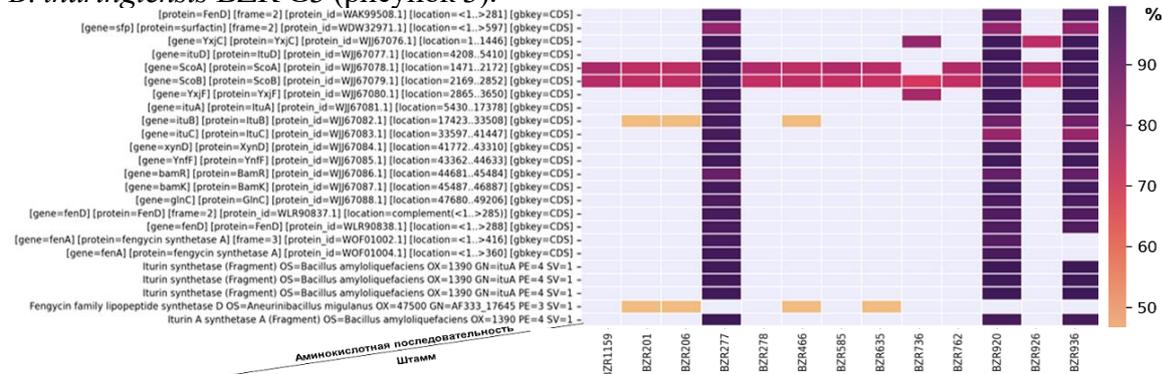


Рисунок 3 – Репертуар белков с потенциальной фунгицидной активностью, отобранных в ходе попарного выравнивания транслированных геномов исследуемых штаммов

Анализ репертуара белков с потенциальной фунгицидной активностью выявил максимальное разнообразие у штаммов *B. velezensis* BZR 920 и BZR 936, BZR 277. Штаммы *B. cereus* BZR 736 и *B. thuringiensis* BZR G1, G2, G3 содержали белки YxjF и YxjC, но при этом у штамма *B. cereus* BZR 736 отсутствовал ген *ScoA*, присутствующий у всех остальных проанализированных штаммов. Штаммы *L. aridicollis* BZR 201, BZR 206 и BZR 466 отличались наличием гомологов генов синтетазы итурина и фенгицина. При этом представители семейства Brucellaceae (BZR 162, BZR 588, BZR 201P) не содержали генов, кодирующих исследуемые белки с фунгицидным потенциалом.

Таким образом, была определена принадлежность 17 штаммов бактерий к родам *Leucobacter*, *Bacillus*, *Alcaligenaceae*, *Pseudomonadota*, а также к семейству Brucellaceae и выявлены гены, кодирующие белки с потенциальной инсектицидной и фунгицидной активностью.

3.3 Оценка биоцидного потенциала штаммов бактерий *in vitro* в отношении экономически значимых возбудителей болезней и вредителей яблони

3.3.1 Фунгицидная активность штаммов бактерий в отношении фитопатогенных грибов родов *Venturia*, *Fusarium*, *Rhizoctonia*, *Trichothecium*, *Cladosporium*, *Alternaria*, *Monilinia*

В результате исследования возможного полифункционального действия биоагентов были выявлены штаммы с высокой антифунгальной активностью в отношении всех исследуемых тест-культур грибов: *B. velezensis* BZR 277 (41,7-73,8 %), *B. velezensis* BZR 920 (45,8-71,9 %), *B. velezensis* BZR 936 (42,2-84,8 %). Среднее антагонистическое действие против изучаемых фитопатогенов продемонстрировал штамм *B. cereus* BZR 736 (38,1-64,1 %), тогда как штаммы *B. naejangsanensis* BZR 1159, *L. aridicollis* BZR 201, *L. aridicollis* BZR 206, *L. aridicollis* BZR 466, *A. nematophilus* BZR 585, *Paenochrobactrum* sp. BZR 588, *Leucobacter* sp. BZR 635 и *A. nematophilus* BZR 762 не оказали существенного ингибирующего эффекта на грибы. Антагонистическая активность штамма *B. thuringiensis* BZR G1 в отношении *F. culmorum* BZR F-3 составила 43,6 % на десятые сутки, но при этом его эффективность в отношении других фитопатогенов была менее 20 %. Штамм *O. quorumnocens* BZR 162 проявил избирательную антифунгальную активность: максимальная эффективность отмечена против *F. graminearum* BZR F-4 – 56,9 % к десятым суткам, а ингибирование мицелия *F. oxysporum* var. *orthoceras* BZR F-6 – 42,4 %. А в отношении *F. culmorum* BZR F-3 и *M. nivale* BZR F-5 активность была на уровне 30,2 и 37,4 % соответственно, а в отношении *R. solani* BZR F-11 – 13,7 %.

3.3.2 Бактерицидная активность штаммов бактерий в отношении фитопатогенных бактерий родов *Erwinia*, *Xantamonas*, *Pseudomonas*

В результате оценки бактерицидного действия штаммов антагонистической активности отмечено не было, следовательно исследуемые агенты не могут быть рекомендованы как штаммы-продуценты биопрепаратов в отношении фитопатогенных бактерий.

3.3.3 Инсектицидная активность штаммов бактерий в отношении *Galleria mellonella*, *Tenebrio molitor*, *Cydia pomonella*

В отношении большой восковой моли *G. mellonella* L. штаммы бактерий *Paenochrobactrum* sp. BZR 588, *B. naejangsanensis* BZR 1159, *B. velezensis* BZR 936, *L. aridicollis* BZR 206, *B. velezensis* BZR 920, *A. marplatensis* BZR 926 и *B. velezensis* BZR 277 показали максимальную эффективность: гибель гусениц к пятым суткам исследований составила от 82,2 до 95,2 %. Примечательно, что в данных вариантах уже на третьи сутки после обработки зафиксирована значительная смертность гусениц, которая была на уровне от 66,0 до 93,3 %. У штамма *L. aridicollis* BZR 466 было отмечено невысокое энтомопатогенное действие в отношении *G. mellonella* L. – 43,3 % на третьи сутки и 69,2 % на пятые сутки эксперимента (таблица 2).

Высокую биологическую эффективность в отношении большого мучного хрущака *T. molitor* L. к пятым суткам – от 70,5 до 99,3 % показали 14 штаммов бактерий: *L. aridicollis* BZR 201, *Leucobacter* sp. BZR 635, BZR 278, *A. nematophilus* BZR 585, BZR 785, *B. cereus* BZR 736, *B. thuringiensis* BZR G3, *L. aridicollis* BZR 206, *B. thuringiensis* BZR G1, *B. velezensis* BZR 936, *B. velezensis* BZR 277, *A. nematophilus* BZR 762, *L. aridicollis* BZR 466, *B. naejangsanensis* BZR 1159. При этом данные бактериальные агенты продемонстрировали высокое инсектицидное действие и на третьи сутки – 61,6-97,9 % (таблица 3).

Таблица 2 – Инсектицидная активность штаммов бактерий в отношении большой восковой моли *G. mellonella* L. *in vitro*, ФГБНУ ФНЦБЗР, 2019-2020 гг.

п/п	Штамм	Количество гусениц большой восковой моли, шт.			БЭ, %	
		до обработки	после обработки, сут.		3	5
			3	5		
1	<i>B. naejangsanensis</i> BZR 1159	30	2,0 ^a	1,4 ^a	93,3	95,2
2	<i>Paenochroaetrum</i> sp. BZR 588	30	1,4 ^a	2,3 ^{ab}	95,3	92,0
3	<i>B. velezensis</i> BZR 936	30	3,2 ^a	1,6 ^a	89,3	94,5
4	<i>L. aridicollis</i> BZR 206	30	3,0 ^a	1,6 ^a	90,0	94,5
5	<i>B. velezensis</i> BZR 920	30	3,4 ^a	2,6 ^{ab}	88,7	91,1
6	<i>A. marplatensis</i> BZR 926	30	8,6 ^b	4,6 ^{bc}	71,3	84,3
7	<i>B. velezensis</i> BZR 277	30	10,2 ^b	5,2 ^c	66,0	82,2
8	<i>L. aridicollis</i> BZR 466	30	17,0 ^c	9,0 ^d	43,3	69,2
9	<i>O. quorumnocens</i> BZR 162	30	20,3 ^d	16,4 ^e	32,2	43,9
10	<i>A. nematophilus</i> BZR 278	30	27,0 ^{fg}	17,6 ^e	10,0	39,8
11	<i>L. aridicollis</i> BZR 201	30	29,2 ^g	27,2 ^{ghi}	2,6	7,0
12	<i>A. nematophilus</i> BZR 585	30	25,2 ^{ef}	24,8 ^{fg}	16,0	15,2
13	<i>Leucobacter</i> sp. BZR 635	30	23,8 ^e	24,6 ^f	20,7	15,9
14	<i>B. cereus</i> BZR 736	30	28,4 ^g	27,6 ^{hi}	5,3	5,6
15	<i>A. nematophilus</i> BZR 762	30	27,0 ^{fg}	25,4 ^{fgh}	10,0	13,2
16	<i>B. thuringiensis</i> BZR G1	30	28,4 ^g	27,8 ^{hi}	5,3	5,0
17	<i>B. thuringiensis</i> BZR G3	30	28,4 ^g	28,0 ⁱ	5,3	4,3
18	Контроль	30	29,9 ^g	29,2 ⁱ	-	-

Примечание: между вариантами, обозначенными одинаковыми буквами, при сравнении в пределах столбцов нет статистически достоверных различий по критерию Дункана при 95 %-м уровне вероятности, $p=0,05$

Таблица 3 – Инсектицидная активность штаммов бактерий в отношении большого мучного хрущака *T. molitor* L. *in vitro*, ФГБНУ ФНЦБЗР, 2019-2020 гг.

п/п	Штамм	Количество личинок мучного хрущака, шт.			БЭ, %	
		до обработки	после обработки, сут.		3	5
			3	5		
1	<i>L. aridicollis</i> BZR 201	30	0,6 ^a	0,2 ^a	97,9	99,3
2	<i>A. nematophilus</i> BZR 278	30	7,4 ^b	0,6 ^{ab}	74,6	97,9
3	<i>Leucobacter</i> sp. BZR 635	30	4,4 ^{ab}	0,6 ^{ab}	84,9	97,9
4	<i>A. nematophilus</i> BZR 585	30	6,4 ^{ab}	0,6 ^{ab}	78,1	97,9
5	<i>B. cereus</i> BZR 736	30	7,0 ^b	3,4 ^{abc}	76,0	88,1
6	<i>B. thuringiensis</i> BZR G3	30	4,2 ^{ab}	1,0 ^{abc}	85,6	87,3
7	<i>B. thuringiensis</i> BZR G1	30	6,6 ^{ab}	5,4 ^{abc}	77,4	81,0
8	<i>B. velezensis</i> BZR 936	30	7,8 ^b	5,6 ^{abcd}	73,3	80,3
9	<i>A. nematophilus</i> BZR 762	30	9,2 ^{bc}	7,0 ^{cd}	68,5	75,4
10	<i>B. velezensis</i> BZR 277	30	8,4 ^{bc}	6,6 ^{bcd}	71,2	76,8
11	<i>L. aridicollis</i> BZR 466	30	20,0 ^c	7,2 ^a	31,4	74,7
12	<i>B. naejangsanensis</i> BZR1159	30	11,2 ^{bc}	8,4 ^{abcd}	61,6	70,5
13	<i>O. quorumnocens</i> BZR 162	30	14,2 ^{cd}	10,8 ^{de}	51,3	62,0
14	<i>B. thuringiensis</i> BZR G2	30	17,0 ^{de}	17,0 ^{fg}	41,7	40,3
15	<i>L. aridicollis</i> BZR 206	30	25,2 ^{ab}	24,4 ^{abc}	13,6	14,3
16	<i>A. marplatensis</i> BZR 926	30	29,4 ^a	29,4 ^a	0	0
17	<i>B. velezensis</i> BZR 920	30	30 ^a	30 ^a	0	0
18	Контроль	30	29,2 ^a	28,5 ^a	-	-

Примечание: между вариантами, обозначенными одинаковыми буквами, при сравнении в пределах столбцов нет статистически достоверных различий по критерию Дункана при 95 %-м уровне вероятности, $p=0,05$

Стоит выделить штамм *L. aridicollis* BZR 466, который на третьи сутки показал эффективность на уровне 31,4 %, а к пятым суткам она достигла 74,7 %. Вероятно, токсины начали оказывать негативное влияние на личинок мучного хрущака, начиная с третьих суток, так как у особей была отмечена потеря активности и остановка активного питания. К пятым суткам был достигнут максимальный инсектицидный эффект.

В отношении природной популяции *C. pomonella* L. максимальную эффективность продемонстрировал штамм *B. velezensis* BZR 277: смертность гусениц составила 58,6 % на третьи сутки с последующим увеличением до 62,4% на пятые сутки эксперимента. Высокая инсектицидная активность также отмечена в варианте со штаммом *B. velezensis* BZR 936: смертность к третьим суткам достигала 51,7 и 60,0 % к пятым суткам. Существенный энтомопатогенный эффект наблюдался у штамма *B. naejangsanensis* BZR 1159, при применении которого гибель вредителей составила 37,9% на третьи сутки и 67,1 % на пятые сутки. При использовании водных суспензий штаммов *B. velezensis* BZR 920 и *A. marplatensis* BZR 926 инсектицидная активность достигла 44,8-37,9 % и 50,6-55,3 % на третьи и пятые сутки соответственно (таблица 4).

Таблица 4 – Инсектицидная активность штаммов бактерий в отношении природной популяции яблонной плодовой жорки *C. pomonella* L. *in vitro*, ФГБНУ ФНЦБЗР, 2021-2022 г.

п/п	Штамм	Количество гусениц яблонной плодовой жорки, шт.			БЭ, %	
		до обработки	после обработки, сутки		3	5
			3	5		
1	<i>B. naejangsanensis</i> BZR 1159	15	9,0 ^{ab}	4,7 ^a	37,9	67,1
2	<i>B. velezensis</i> BZR 936	15	7,0 ^{ab}	5,7 ^{ab}	51,7	60,0
3	<i>B. velezensis</i> BZR 920	15	8,0 ^{ab}	7,0 ^{bc}	44,8	50,6
4	<i>A. marplatensis</i> BZR 926	15	9,0 ^{bc}	6,3 ^{ab}	37,9	55,3
5	<i>B. thuringiensis</i> BZR G1	15	10,0 ^{bc}	8,7 ^{cd}	31,0	38,8
6	<i>B. velezensis</i> BZR 277	15	6,0 ^a	5,3 ^{ab}	58,6	62,4
7	<i>B. thuringiensis</i> BZR G3	15	12,0 ^{de}	11,0 ^e	17,2	22,4
8	<i>L. aridicollis</i> BZR 466	15	13,0 ^e	12,7 ^{efg}	10,3	10,6
9	<i>A. nematophilus</i> BZR 278	15	14,0 ^{de}	12,3 ^{ef}	3,4	12,9
10	<i>B. cereus</i> BZR 736	15	12,0 ^{de}	11,3 ^e	17,2	20,0
11	<i>L. aridicollis</i> BZR 206	15	12,0 ^{bc}	8,7 ^{cd}	17,2	38,8
12	<i>Paenochrobactrum</i> sp. BZR 588	15	11,0 ^{cd}	9,0 ^d	24,1	36,5
13	<i>L. aridicollis</i> BZR 201	15	14,0 ^{de}	12,3 ^{ef}	3,4	12,9
14	<i>Leucobacter</i> sp. BZR 635	15	12,0 ^{de}	12,0 ^{ef}	17,2	15,3
15	<i>A. nematophilus</i> BZR 762	15	14,0 ^e	13,7 ^{fg}	3,4	3,5
16	<i>O. quorumnocens</i> BZR 162	15	13,0 ^e	13,3 ^{fg}	10,3	5,9
17	<i>B. thuringiensis</i> BZR G2	15	12,0 ^{de}	12,3 ^{ef}	17,2	12,9
18	Контроль	15	14,5 ^e	14,2 ^g	-	-

Примечание: между вариантами, обозначенными одинаковыми буквами, при сравнении в пределах столбцов нет статистически достоверных различий по критерию Дункана при 95 %-м уровне вероятности, $p=0,05$

Показатель среднего времени гибели насекомых продемонстрировал разницу в эффективности штаммов с одинаковой инсектицидной активностью. Так, например, у штаммов *L. aridicollis* BZR 206, *B. cereus* BZR 736, *A. nematophilus* BZR 762 эффективность в отношении личинок большого мучного хрущака к пятым суткам составила 97,9 %, а среднее время гибели отличалось – 3,4, 3,5 и 3,6 суток соответственно.

Таким образом, в результате проведенных исследований *in vitro* были установлены высокоэффективные штаммы бактерий, демонстрирующие выраженную

антифунгальную активность в диапазоне 42-84% (*B. velezensis* BZR 277, *B. velezensis* BZR 920 и *B. velezensis* BZR 936), а также проявляющие широкий спектр энтомопатогенной активности против всех тестируемых насекомых с эффективностью 84,8-92,9% (*B. velezensis* BZR 936, *B. velezensis* BZR 277, *B. naejangsanensis* BZR 1159 и *A. marplatensis* BZR 926), что подтверждает их высокий биоцидный потенциал и перспективность использования для разработки биопрепаратов комплексного действия в отношении парши и яблонной плодовой гнили.

3.3.4 Эффективность штаммов бактерий в сравнении с биологическими инсектицидами

Исследования по сравнению эффективности экспериментальных образцов на основе штаммов бактерий *in vitro* с биологическими инсектицидами представлено в таблице 5.

Данные показали, что у всех коммерческих биоинсектицидов было высокое энтомопатогенное действие в отношении гусениц большой восковой моли. На третьи сутки биологическая эффективность в зависимости от варианта варьировала от 78,7 до 93,3 % и к пятым суткам оставалась на уровне – от 78,8 до 94,9 %. Максимальная гибель гусениц среди микробиопрепаратов к пятым суткам была у инсектицида Инсетим, Ж – 94,9 %, а минимальная у Битоксибациллина, П – 78,8 % (таблица 5).

Таблица 5 – Биологическая эффективность экспериментальных образцов на основе штаммов бактерий в отношении большой восковой моли *G. mellonella* L. в сравнении с коммерческими биоинсектицидами *in vitro*, ФГБНУ ФНЦБЗР, 2022 г.

п/п	Вариант	Количество гусениц большой восковой моли, шт.		БЭ, %		
		до обработки	после обработки, сут.			
			3	5	3	5
1	<i>Paenochrobactrum</i> sp. BZR 588	25	1,7 ^a	1,3 ^a	93,3	94,9
2	<i>B. naejangsanensis</i> BZR 1159	25	3,7 ^{bc}	1,8 ^{ab}	85,3	92,9
3	<i>B. velezensis</i> BZR 920	25	4,0 ^{cd}	2,5 ^{bc}	84,0	89,9
4	<i>B. velezensis</i> BZR 936	25	3,7 ^{bcd}	2,5 ^{bc}	85,3	89,9
5	<i>L. aridicollis</i> BZR 206	25	4,7 ^{de}	3,3 ^{cd}	81,3	86,9
6	<i>A. marplatensis</i> BZR 926	25	4,3 ^d	3,8 ^d	82,7	84,8
7	<i>B. velezensis</i> BZR 277	25	4,0 ^{cd}	3,8 ^d	84,0	84,8
8	<i>L. aridicollis</i> BZR 466	25	16,7 ^f	11,0 ^f	33,3	55,6
9	<i>B. cereus</i> BZR 736	25	22,0 ^g	21,5 ^g	12,0	13,1
10	<i>Leucobacter</i> sp. BZR 635	25	24,0 ^{hij}	22,3 ^{gh}	4,0	10,1
11	<i>A. nematophilus</i> BZR 762	25	23,0 ^{gh}	22,5 ^{hi}	8,0	9,1
12	<i>A. nematophilus</i> BZR 278	25	23,3 ^{hi}	22,8 ^{hij}	6,7	8,1
13	<i>L. aridicollis</i> BZR 201	25	23,3 ^{hij}	23,0 ^{ij}	6,7	7,1
14	<i>O. quorumnocens</i> BZR 162	25	23,7 ^{hij}	23,5 ^{jk}	5,3	5,1
15	<i>A. nematophilus</i> BZR 585	25	24,3 ^{ijk}	24,3 ^{kl}	2,7	2,0
16	<i>B. thuringiensis</i> BZR G1	25	24,7 ^{ijk}	24,3 ^{kl}	1,3	2,0
17	<i>B. thuringiensis</i> BZR G3	25	25,0 ^{jk}	24,5 ^l	0,0	1,0
18	Инсетим, Ж	25	1,7 ^a	1,3 ^a	93,3	94,9
19	Лепидоцид, П	25	2,3 ^{ab}	2,3 ^{bc}	90,7	90,9
20	Биостоп, Ж	25	3,7 ^{cd}	3,0 ^{cd}	85,3	87,9
21	Битоксибациллин, П	25	5,3 ^c	5,3 ^c	78,7	78,8
22	Контроль (обработка водой)	25	25,0 ^k	24,8 ^l	-	-

Примечание: между вариантами, обозначенными одинаковыми буквами, при сравнении в пределах столбцов нет статистически достоверных различий по критерию Дункана при 95 %-м уровне вероятности, $p=0,05$

Сопоставимо высокое инсектицидное действие на гусениц большой восковой моли оказали семь экспериментальных образцов на основе штаммов бактерий: *Paenochroaetrum* sp. BZR 588, *B. naejangsanensis* BZR 1159, *B. velezensis* BZR 920, *B. velezensis* BZR 936, *L. aridicollis* BZR 206, *A. marplatensis* BZR 926, *B. velezensis* BZR 277.

Максимальной биологической эффективностью обладал экспериментальный образец на основе штамма *Paenochroaetrum* sp. BZR 588, которая на третьи сутки составила 93,3 %, а на пятые – 94,9 %. Аналогичное действие на гусениц оказал биоинсектицид Инсетим, Ж, что подтверждает и статистическая обработка данных – эти варианты находятся в одной группе и достоверно отличаются от контроля. Стоит выделить экспериментальные образцы на основе штаммов *B. naejangsanensis* BZR 1159, *B. velezensis* BZR 920, *B. velezensis* BZR 936, *L. aridicollis* BZR 206, *A. marplatensis* BZR 926, *B. velezensis* BZR 277, которые достоверно снижали численность в опытных вариантах – от 84,8 до 92,9 % к пятым суткам. При этом были выявлены экспериментальные образцы, которые в целом достоверно не оказывали негативного влияния на тест-объекты, их биологическая эффективность была сопоставима с гибелью гусениц в контроле – *A. nematophilus* BZR 585, *B. thuringiensis* BZR G1, *B. thuringiensis* BZR G3 (0-2,9 %)

Таким образом, установлены экспериментальные образцы на основе штаммов бактерий с сопоставимой эффективностью с коммерческими инсектицидами Инсетим, Ж, Лепидодид, П, Биостоп, Ж, Битоксибациллин, П. В результате отобраны экспериментальные образцы на основе штаммов, обладающие высокой энтомопатогенной активностью: *B. velezensis* BZR 936 и *B. velezensis* BZR 277, *B. naejangsanensis* BZR 1159, *A. marplatensis* BZR 926 (78,8-94,9 %).

3.4 Оценка фитотоксичности и совместимости экспериментальных образцов на основе штаммов бактерий для обоснования возможности их использования при создании полифункциональных микробных препаратов

Анализ фитотоксичности экспериментальных образцов на основе штаммов бактерий показал, что тестируемые штаммы бактерий не оказывают негативного влияния на энергию прорастания и всхожесть семян пшеницы озимой, а также не вызывают увядания проростков. При оценке взаимодействия штаммов при совместном культивировании установлено, что большинство тестируемых культур: *Paenochroaetrum* sp. BZR 588, *A. nematophilus* BZR 585, *L. aridicollis* BZR 201, *B. cereus* BZR 736, *B. naejangsanensis* BZR 1159 и *L. aridicollis* BZR 466, демонстрируют полную совместимость без взаимного ингибирования. Однако выявлены штаммы с выраженной антагонистической активностью: *B. velezensis* BZR 920 проявлял существенное подавляющее действие против *B. naejangsanensis* BZR 1159 (зона ингибирования 6-8 мм), а также *A. marplatensis* BZR 926 (3-4 мм); *B. velezensis* BZR 936 ингибировал рост 11 штаммов в диапазоне 0,5-5 мм. Штамм *B. velezensis* BZR 277 показал избирательную активность с максимальным воздействием на *O. quorumnocens* BZR 162 (6-8 мм). Для создания многокомпонентных препаратов рекомендованы совместимые между собой штаммы *B. velezensis* BZR 936, *B. velezensis* BZR 277, *A. marplatensis* BZR 926 и *B. naejangsanensis* BZR 1159, тогда как штаммы с широким спектром антагонизма (*B. velezensis* BZR 920, *B. velezensis* BZR 936) требуют особого подхода при включении в составные препараты. По результатам исследования совместимости экспериментальных образцов на основе штаммов бактерий с коммерческими пестицидами было установлено, что перспективные биоагенты устойчивы к действующим веществам фунгицидов из химических классов стробилуринов, фталимида, триазолов. Однако стоит отметить, что действующее вещество дифеноконазол, относящееся к триазолам, незначительно

ингибировало штаммы *B. velezensis* BZR 936 и *A. marplatensis* BZR 926. К инсектицидам химических классов авермектины, неоникотиноиды, ингибиторы синтеза хитина была отмечена полная совместимость, а к фосфорорганическим соединениям, в частности к препаратам Сумитион, КЭ и Фосбан, КЭ, у некоторых штаммов было отмечено незначительное ингибирование роста. С биологическими инсектицидами в целом отмечена полная или частичная совместимость, за исключением экспериментальных образцов на основе штаммов *B. velezensis* BZR 936 и *B. velezensis* BZR 277, которые ингибировались при внесении препарата Инсетим, Ж. Для полевых испытаний были отобраны пять экспериментальных образцов на основе штаммов бактерий: *B. velezensis* BZR 936, *B. velezensis* BZR 277, *B. naejangsanensis* BZR 1159, *A. marplatensis* BZR 926 и *B. cereus* BZR 736.

3.5 Эффективность полифункциональных экспериментальных образцов на основе штаммов бактерий в условиях полевого мелкоделяночного опыта на яблоне в отношении *Venturia inaequalis* и *Cydia pomonella* L.

В ходе полевых исследований (2023-2024 гг.) проведенных на яблоне сорта Женева Эрли, была установлена различная степень фунгицидной активности изучаемых экспериментальных образцов на основе штаммов бактерий в отношении возбудителя парши *Venturia inaequalis* (таблица 6). В контрольном варианте уровень развития болезни на листьях составил 23,3-48,3% в 2023 г. и 26,8-57,3% в 2024 г., что подтверждает высокую инфекционную нагрузку в условиях проведения опыта. Среди испытанных экспериментальных образцов выраженную эффективность продемонстрировали *B. velezensis* BZR 277 и *B. velezensis* BZR 936, а также *A. marplatensis* BZR 926, которые достоверно снижали пораженность листьев до 5,5-6,3% в первый год исследований и до 10,0-16,3% во второй год. Аналогичную динамику наблюдали для плодов – при пораженности в контроле на уровне 14,5-37,5% применение указанных экспериментальных образцов на основе штаммов бактерий позволяло снижать этот показатель до 5,9-6,3%. Особого внимания заслуживает влияние экспериментальных образцов на основе штаммов бактерий на съемный урожай: биологическая эффективность по данному показателю достигала 59,5-69,7% для *B. velezensis* BZR 277 и 61,6-67,3% для *B. velezensis* BZR 936. Важно отметить, что эффективность в этих вариантах была сопоставима с коммерческим препаратом Фитоспорин-М, Ж – 58,5-75,0 %. В то же время экспериментальные образцы на основе штаммов *B. cereus* BZR 736 и *B. naejangsanensis* BZR 1159 показали низкую эффективность – 1,0-24,6 %, что свидетельствует о специфичности действия различных биоагентов против возбудителя парши.

Полученные результаты позволяют рассматривать экспериментальные образцы на основе штаммов *B. velezensis* BZR 277, *B. velezensis* BZR 936 и *A. marplatensis* BZR 926 для разработки новых биопрепаратов защиты яблони от парши.

Таблица 6 – Биологическая эффективность экспериментальных образцов на основе штаммов бактерий в отношении парши яблони в условиях мелкоделяночного опыта, сорт Женева Эрли, хутор Покровский, Краснодарский край, 2023-2024 гг.

п/п	Вариант	2023 г.						2024 г.					
		листья		плоды		съемный урожай		листья		плоды		съемный урожай	
		R, %	БЭ, %	R, %	БЭ, %	R, %	БЭ, %	R, %	БЭ, %	R, %	БЭ, %	R, %	БЭ, %
1	<i>B. cereus</i> BZR 736	23,3 ^c	0	13,4 ^b	7,8	14,0 ^b	24,6	28,3 ^{bc}	0	11,6 ^b	8,4	13,5 ^c	18,2
2	<i>B. naejangsanensis</i> BZR 1159	20,5 ^b	11,8	14,3 ^b	1,7	17,6 ^b	5,1	26,2 ^{bc}	2,3	12,3 ^b	2,5	16,3 ^b	1,0
3	<i>A. marplatensis</i> BZR 926	6,3 ^a	73,1	6,1 ^a	58,2	7,9 ^a	57,6	16,3 ^d	39,2	5,9 ^a	53,5	5,8 ^a	64,7
4	<i>B. velezensis</i> BZR 277	5,6 ^a	75,8	5,9 ^a	59,1	5,6 ^a	69,7	10,0 ^a	62,7	5,2 ^a	58,9	6,7 ^a	59,5
5	<i>B. velezensis</i> BZR 936	5,5 ^a	76,8	6,3 ^a	56,9	6,1 ^a	67,3	10,4 ^a	61,3	5,8 ^a	54,5	6,3 ^a	61,6
6	Биологический эталон Фитоспорин-М, Ж	5,8 ^a	75,0	6,0 ^a	58,5	5,7 ^a	69,4	10,1 ^a	62,5	5,1 ^a	59,4	5,7 ^a	65,7
7	Контроль	23,3 ^c /48,3*	-	14,5 ^b /37,5*	-	18,6 ^b /43,0*	-	26,8 ^{bc} /57,3*	-	12,6 ^b /32,3*	-	16,5 ^b /39,3*	-

Примечание: между вариантами, обозначенными одинаковыми буквами, при сравнении в пределах столбцов нет статистически достоверных различий по критерию Дункана при 95 %-м уровне вероятности, $p=0,05$
*Р, % в контрольном варианте

В ходе исследований в 2023-2024 гг. была проведена оценка эффективности пяти экспериментальных образцов на основе штаммов бактерий в контроле численности яблонной плодовой гнили *Cydia pomonella* L. (таблица 7).

Таблица 7 – Биологическая эффективность экспериментальных образцов на основе штаммов бактерий в отношении яблонной плодовой гнили *Cydia pomonella* L., хутор Покровский, Краснодарский край, 2023-2024 гг.

п/п	Вариант	БЭ, %			
		2023 г.		2024 г.	
		падалица	съемный урожай	падалица	съемный урожай
1	<i>B. cereus</i> BZR 736	11,4 ^b	23,6 ^c	26,7 ^{bc}	35,7 ^b
2	<i>B. naejangsanensis</i> BZR 1159	45,7 ^a	74,6 ^a	65,7 ^a	79,3 ^{ab}
3	<i>A. marplatensis</i> BZR 926	65,0 ^a	50,1 ^b	66,8 ^a	42,7 ^b
4	<i>B. velezensis</i> BZR 277	50,5 ^a	54,6 ^b	78,3 ^a	56,0 ^a
5	<i>B. velezensis</i> BZR 936	54,5 ^a	78,3 ^a	50,7 ^{ab}	73,6 ^a
6	Биологический эталон Инсетим, Ж	56,3 ^a	79,9 ^a	33,5 ^b	80,2 ^a
7	Контроль	-/ ^b	-/ ^d	-/ ^d	-/ ^d

Примечание: между вариантами, обозначенными одинаковыми буквами, при сравнении в пределах столбцов нет статистически достоверных различий по критерию Дункана при 95 %-м уровне вероятности, $p=0,05$

Среди исследуемых экспериментальных образцов на основе бактериальных агентов наибольшую практическую ценность продемонстрировал вариант *B. naejangsanensis* BZR 1159. В 2023 г. его эффективность достигала 45,7 % на падалице и 74,6 % при оценке поврежденности съемного урожая. В 2024 г. отмечено достоверное увеличение этих показателей до 65,7 % и 79,3 % соответственно. Примечательно, что в 2024 г. эффективность в варианте с применением экспериментального образца на основе штамма *B. naejangsanensis* BZR 1159 статистически не отличалась от биологического эталона Инсетим, Ж и составило 80,2 %. Экспериментальный образец на основе штамма *B. velezensis* BZR 936 показал высокую и стабильную эффективность на съемном урожае: 78,3 % в 2023 г. и 73,6 % в 2024 г., однако отмечено снижение его активности на падалице с 54,5 % до 50,7 % во второй год исследований. В 2024 г. зафиксировано значительное увеличение активности экспериментального образца на основе штамма *B. velezensis* BZR 277 на падалице с 50,5 % до 78,3 % по сравнению с 2023 г. Вариант с применением экспериментального образца на основе *A. marplatensis* BZR 926 продемонстрировал выраженную стабильность на падалице: 65,0 % в 2023 г. и 66,8 % в 2024 г., однако, при этом отмечено достоверное снижение его эффективности на съемном урожае с 50,1 до 42,7 % во второй год исследований.

Наибольший сохраненный урожай за период полевых испытаний обеспечил экспериментальный образец на основе штамма *B. velezensis* BZR 936 – 0,82 т/га (33,1 %) в 2023 г. и 0,87 т/га (40,1 %) в 2024 г. (таблица 8). Сопоставимые результаты продемонстрировали экспериментальные образцы на основе *B. velezensis* BZR 277 – 0,78 т/га (31,5 %) в 2023 г. и 0,74 т/га (34,3 %) в 2024 г.; *B. naejangsanensis* BZR 1159 – 0,74 т/га (29,6 %) в 2023 г. и 0,79 т/га (36,6 %) в 2024 г. Экспериментальный образец на основе *A. marplatensis* BZR 926 проявил рост в эффективности с 0,67 т/га (27,1 %) в 2023 г. до 0,84 т/га (39,0 %) в 2024 г. Наименьшее влияние на урожайность оказал вариант *B. cereus* BZR 736 – 15,0-15,3 % сохраненного урожая.

Таблица 8 – Урожайность яблони при использовании экспериментальных образцов на основе штаммов бактерий, сорт Женева Эрли, хутор Покровский, Краснодарский край, 2023-2024 гг.

Вариант	2023 г.			2024 г.		
	урожайность, т/га	сохраненный урожай, т/га	%	урожайность, т/га	сохраненный урожай, т/га	%
<i>B. cereus</i> BZR 736	2,86 ^{ab}	0,37	15,0	2,49 ^{ab}	0,33	15,3
<i>B. naejangsanensis</i> BZR 1159	3,23 ^a	0,74	29,6	2,95 ^a	0,79	36,6
<i>A. marplatensis</i> BZR 926	3,16 ^a	0,67	27,1	3,00 ^a	0,84	39,0
<i>B. velezensis</i> BZR 277	3,27 ^a	0,78	31,5	2,90 ^a	0,74	34,3
<i>B. velezensis</i> BZR 936	3,31 ^a	0,82	33,1	3,03 ^a	0,87	40,1
Биологический эталон, Инсетим, Ж	3,09 ^a	0,60	24,1	2,77 ^{ab}	0,61	28,3
Биологический эталон Фитоспорин-М, Ж	3,14 ^a	0,65	26,1	2,90 ^a	0,74	34,2
Контроль	2,49 ^b	-	-	2,16 ^b	-	-

Примечание: между вариантами, обозначенными одинаковыми буквами, при сравнении в пределах столбцов нет статистических различий по критерию Дункана при 95%-м уровне вероятности

Проведённые исследования выявили существенное преимущество исследуемых экспериментальных образцов на основе штаммов перед коммерческими препаратами. В 2023 г. варианты со штаммами *B. velezensis* BZR 936 и *B. velezensis* BZR 277 продемонстрировали высокие показатели сохраненного урожая – 33,1% и 33,5 % соответственно, по сравнению с инсектицидом Инсетим, Ж – 24,1% и фунгицидом Фитоспорин-М, Ж – 26,1%. В 2024 г. показатель сохранённого урожая для образца *B. velezensis* BZR 936 достиг 40,1 %, что на 11,8 % превышало результат Инсетима, Ж и на 5,9 % Фитоспорина-М, Ж.

Таким образом, в результате исследований эффективности экспериментальных образцов на основе штаммов бактерий в защите яблоневых насаждений от парши и яблонной плодовой гнили установлен максимальный показатель сохраненного урожая в вариантах *B. naejangsanensis* BZR 1159, *B. velezensis* BZR 936 и *B. velezensis* BZR 277. Полученные данные свидетельствуют о высоком потенциале исследуемых экспериментальных образцов на основе штаммов бактерий для снижения вредоносности яблонной плодовой гнили и парши.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Проведен скрининг штаммов бактерий из БРК ФГБНУ ФНЦБЗР по критерию ферментативной активности (хитиназа, липаза, протеаза), в результате которого отобрано 17 штаммов бактерий с потенциальным фунгицидным и инсектицидным действием в отношении парши *V. inaequalis* и яблонной плодовой гнили *C. pomonella* L.

2. Определена принадлежность штаммов бактерий к родам *Leucobacter*, *Bacillus*, *Alcaligenaceae* и *Pseudomonadota*, а также к семейству *Brucellaceae* на основании данных полногеномного секвенирования. Выявлены гены, кодирующие белки с

инсектицидным (GroEL, Spp1Aa1 и Spp1Aa2, Vpb1Ab1, Vpb4Ca1, HldE фенгицина, микосубтилина и бацилломицина) и фунгицидным (итурины, фенгицины, сурфактины, YxjF, YxjC, ScoA и ScoB) действием.

3. Установлена комплексная биоцидная активность штаммов бактерий *in vitro* в отношении экономически значимых возбудителей болезней и вредителя яблони. Определены штаммы с высокой эффективностью в отношении фитопатогенных грибов родов *Fusarium*, *Microdochium*, *Rhizoctonia*, *Venturia*, *Trichothecium*, *Cladosporium*, *Alternaria*: *B. velezensis* BZR 277 (43,6-67,0 %), *B. velezensis* BZR 920 (53,8-61,9 %), *B. velezensis* BZR 936 (42,1-60,4 %). При этом ингибирующего действия в отношении комплекса фитопатогенных бактерий плодовых ценозов родов *Erwinia*, *Xantamonas*, *Pseudomonas* не отмечено. Выявлены штаммы бактерий, эффективные в отношении *G. mellonella* L., *T. molitor* L., *C. pomonella* L.: *B. naejangsanensis* BZR 1159 (67,1-95,2 %), *B. velezensis* BZR 936 (60,0-94,5%), *B. velezensis* BZR 277 (62,4-82,2%). Отобраны экспериментальные образцы, обладающие высокой энтомопатогенной активностью: *B. velezensis* BZR 936, *B. velezensis* BZR 277, *B. naejangsanensis* BZR 1159, *A. marplatensis* BZR 926 (84,8-92,9 %), при этом эффективность в вариантах с коммерческими инсектицидами составила от 78,8 до 94,9 % (Инсетим, Ж, Лепидоцид, П, Биостоп, Ж, Битоксибациллин, П).

4. Доказано, что исследуемые штаммы бактерий не оказывают негативного влияния на энергию прорастания и всхожесть семян пшеницы озимой, а также не вызывают токсического действия на растения. Установлена совместимость штаммов бактерий с действующими веществами фунгицидов из химических классов стробилуринов, фталимида, триазолов. Кроме того, с авермектинами, неоникотиноидами, ингибиторами синтеза хитина была отмечена полная совместимость, а с фосфорорганическими соединениями, в частности с препаратами Сумитион, КЭ и Фосбан, КЭ, зафиксировано незначительное ингибирование роста.

5. Подтверждено, что в условиях полевого мелкоделяночного опыта экспериментальные образцы на основе штаммов *B. velezensis* BZR 936, *B. velezensis* BZR 277 способны обеспечить устойчивое подавление парши на уровне 54,5-76,8 % (при эффективности эталона 59,4-75,0 %), штаммы *B. naejangsanensis* BZR 1159, *B. velezensis* BZR 277, *B. velezensis* BZR 936 – эффективную защиту от яблонной плодовой гнили в диапазоне 50,5-78,3 %, (при эффективности эталона 56,3-80,2 %). Максимальный показатель сохраненного урожая установлен в вариантах с применением экспериментальных образцов на основе штаммов *B. naejangsanensis* BZR 1159, *A. marplatensis* BZR 926, *B. velezensis* BZR 277, *B. velezensis* BZR 936 и варьировал от 27,1 % до 40,1 %, при эффективности эталонов на уровне 24,1-34,2 %. При комплексной оценке биоцидного действия в сравнении с контролем и эталонами, а также данных сохраненного урожая, можно выделить экспериментальные образцы на основе штаммов *B. velezensis* BZR 936 и *B. velezensis* BZR 277, *B. naejangsanensis* BZR 1159 для комплексной защиты яблонных насаждений.

Перспективным направлением дальнейших исследований является разработка биопрепарата на основе отобранных штаммов с последующей оптимизацией условий культивирования, созданием препаративных форм и научным обоснованием регламентов применения в системе защиты яблони.

По результатам работы можно дать следующие **практические рекомендации**: рекомендовать научно-исследовательским учреждениям и коммерческим организациям при создании новых полифункциональных микробиологических препаратов с

инсектицидной и фунгицидной активностью для защиты яблони от *V. inaequalis* и *C. pomonella* L. использовать штаммы бактерий *B. naejangsanensis* BZR 1159, *B. velezensis* BZR 277, *B. velezensis* BZR 936 из БРК ФГБНУ ФНЦБЗР.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК РФ:

1. **Гырнец, Е. Ю.** Изучение полифункциональных свойств перспективных бактериальных агентов в отношении фитофагов и возбудителей болезней плодового ценоза / Е. Ю. Гырнец, А. М. Асатунова // Достижения науки и техники АПК. – 2023. – Т. 37, № 5 – С. 39–45 (**РИНЦ, RSCI, УБС 1, К2**).

2. **Гырнец, Е. Ю.** Эффективность перспективных штаммов бактерий рода *Bacillus* в отношении большой восковой моли *Galleria mellonella* L. и их совместимость с пестицидами, рекомендуемыми в плодовых ценозах / Е. Ю. Гырнец, А. М. Асатунова // Достижения науки и техники АПК. – 2024. – Т. 38, № 9. – С. 30–35. (**РИНЦ, RSCI, УБС 1, К2**).

3. Биологический контроль численности яблонной плодовой гнили на основе энтомопатогенных микроорганизмов (обзор) / **Е. Ю. Бондарчук**, А. М. Асатунова, Н. С. Томашевич, А.А. Цыгичко, Е.А. Гырнец // Достижения науки и техники АПК. – 2020. – Т. 34, № 11. – С. 53–66. (**РИНЦ, RSCI**).

4. **Гырнец, Е. Ю.** Скрининг штаммов бактерий по критерию энтомопатогенной активности в отношении *Galleria mellonella* L. и *Tenebrio molitor* L. / Е. Ю. Гырнец, А. М. Асатунова // Достижения науки и техники АПК. – 2022. – Т. 36, №3. – С. 53–60. (**РИНЦ, RSCI**).

Зарегистрированные результаты интеллектуальной деятельности

5. Свидетельство о регистрации базы данных № 2022622633 Российская Федерация. Бактерии с инсектицидной активностью из Биоресурсной коллекции ФГБНУ ФНЦБЗР «Государственная коллекция энтомоакарифагов и микроорганизмов: № 2022622599 : заявлено 21.10.2022: опубликовано 26.10.2022 / Е. Ю. Гырнец, А. М. Асатунова, В. М. Дубяга; правообладатель Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр биологической защиты растений».

Публикации в других научных изданиях

6. Биологический контроль численности яблонной плодовой гнили на основе энтомопатогенных вирусов (обзор) / А. А. Цыгичко, А. М. Асатунова, **Е. Ю. Бондарчук** // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2018. – № 144. – С. 19–31.

7. Бондарчук, Е. Ю. Изучение влияния новых штаммов бактерий *Bacillus thuringiensis* в отношении представителей отряда Lepidoptera / **Е. Ю. Бондарчук**, А. М. Асатунова // Защита растений от вредных организмов : материалы IX международной научно-практической конференции (Краснодар, 17–21 июня 2019 года). – Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, 2019. – С. 35–36.

8. Бондарчук, Е. Ю. Методические подходы к оценке энтомопатогенной активности микроорганизмов в отношении насекомых-вредителей in vitro (обзор) / **Е. Ю. Бондарчук**, А. А. Цыгичко, А. М. Асатунова // Таврический вестник аграрной науки. – 2021. – № 3(27). – С. 20–34.

9. Бондарчук, Е. Ю. Отбор новых штаммов бактерий *Bacillus thuringiensis* эффективных против представителей отряда Lepidoptera / **Е. Ю. Бондарчук**,

А. М. Асатулова // Фитосанитарные технологии в обеспечении независимости и конкурентоспособности АПК России : сборник тезисов докладов IV Всероссийского съезда по защите растений с международным участием (Санкт-Петербург, 09–11 сентября 2019 года). – Санкт-Петербург: Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений РАСХН, 2019. – С. 106.

10. Гырнец, Е. Ю. Исследование штаммов бактерий рода *Bacillus*, обладающих инсектицидными и фунгицидными свойствами, перспективных для разработки на его основе биопрепарата против вредителей и болезней яблони / **Е. Ю. Гырнец**, А. Г. Евтушенко, А. М. Асатулова // Биологическая защита растений – основа стабилизации агроэкосистем : материалы Международной научно-практической конференции (Краснодар, 17–19 сентября 2024 года). – Краснодар: ООО "ЭДВИ", 2024. – С. 127–130.

11. Гырнец (Бондарчук), Е. Ю. Потенциал биоресурсной коллекции ФГБНУ ФНЦБЗР в отношении насекомых-вредителей / **Е. Ю. Гырнец (Бондарчук)**, А. А. Цыгичко // Биологическая защита растений – основа стабилизации агроэкосистем : материалы Международной научно-практической конференции (Краснодар, 13–15 сентября 2022 года). Том Выпуск 11. – Краснодар: Издательство "ЭДВИ", 2022. – С. 162–170.

12. Гырнец, Е. Ю. Скрининг штаммов бактерий в отношении лабораторной популяции большой восковой моли *Galleria mellonella* L. и природной популяции яблонной плодовой гнили *Cydia pomonella* L / **Е. Ю. Гырнец**, А. М. Асатулова // X Международная конференция молодых ученых: биоинформатиков, биотехнологов, биофизиков, вирусологов и молекулярных биологов : сборник тезисов. – Новосибирск, 2023. – С. 118–119.

13. Ступенчатый скрининг биоагентов из биоресурсной коллекции ФГБНУ ФНЦБЗР в отношении *Galleria mellonella* L. и *Cydia pomonella* L / **Е. Ю. Гырнец**, А. М. Асатулова, А. А. Осипян, А. Г. Евтушенко // V Всероссийский конгресс по защите растений : сборник тезисов докладов, посвящается 300-летию Российской академии наук. – Санкт-Петербург, 2024. – С. 200.

14. Entomopathogenic activity of bacterial and viral strains from the bioresource collection "State Collection of Entomoacariphages and Microorganisms" / **E. Yu. Bondarchuk**, А. А. Tsygichko, N. S. Tomashevich, А. М. Asaturova // E3s web of conferences : International Conference on Advances in Agrobusiness and Biotechnology Research (ABR 2021) (Krasnodar, Russia, 24–26 мая 2021 года). Vol. 285. – Krasnodar, Russia: EDP Sciences, 2021. – P. 03004.

Гырнец Елена Юрьевна

**БИОЦИДНАЯ АКТИВНОСТЬ ШТАММОВ БАКТЕРИЙ, ПЕРСПЕКТИВНЫХ ДЛЯ
СОЗДАНИЯ ПОЛИФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПРЕПАРАТОВ ЗАЩИТЫ ЯБЛОНИ ОТ
VENTURIA INAEQUALIS (COOKE) G. WINTER (1875) И *CYDIA POMONELLA*
(LINNAEUS, 1758)**

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Подписано в печать ____ . ____ . 2026 г. Формат 60x84 ¹/₁₆
Усл. печ. л. – 1,0. Тираж 100. Заказ № ____
Типография ИП Тасалов А.В. Переплетная мастерская
350044, г. Краснодар, ул. Северная, 81