
ЗЕМЛЕДЕЛИЕ, РАСТЕНИЕВОДСТВО, ЗАЩИТА РАСТЕНИЙ

**Эффективность применения биологических фунгицидов
против корневой гнили ячменя озимого на юге России**

**Галина Владимировна Волкова, Яна Викторовна Яхник[✉],
Александр Дмитриевич Кустадинчев**

Федеральный научный центр биологической защиты растений,
г. Краснодар, Россия

[✉]Автор, ответственный за переписку: yahnik1@mail.ru

Аннотация

Цель исследований – изучить эффективность биологических фунгицидов против возбудителей корневых гнилей озимого ячменя для дальнейшего их практического применения в экологизированных технологиях защиты Краснодарского края. Опыты выполняли на базе Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр биологической защиты растений» в условиях полевого инфекционного питомника в 2023–2025 гг. Объект исследований – возбудители корневых гнилей ячменя озимого фузариозной и гельминтоспориозной этиологии. Для исследований отобраны препараты, содержащие различные агенты биологического происхождения, и их метаболиты (Геостим Фит, А, Ж 2 л/т; Алирин Б, Ж, 2 л/га; Псевдобактерин-2, Ж, 1 л/га; Стернифаг, СП, 80 г/т; Трихоцин, СП, 20 г/т; опытный образец ФГБНУ ФНЦБЗР на основе *Bacillus velezensis* BZR336 g, Ж, 3 л/т; опытный образец ФГБНУ ФНЦБЗР на основе *Pseudomonas chlororaphis* BZR245-F, Ж, 3 л/т; Оргамика Ф, Ж, 0,7 л/т; Скарлет, МЭ, 0,4 л/т (химический эталон)). Максимальная эффективность против заражения семян фузариозной инфекцией выявлена после обработки препаратами Трихоцин, СП (94,5%), Геостим Фит, А, Ж (92,4%), Алирин-Б, Ж (92,3%) и Оргамика Ф, Ж (91,1%). Лабораторная и полевая всхожесть определена как максимальная после обработки семян препаратами на основе: *Trichoderma asperellum* – 96% (Оргамика Ф, Ж); *Bacillus velezensis* – 95% (опытный образец ФГБНУ ФНЦБЗР на основе *Bacillus velezensis* BZR336 g, Ж); *Pseudomonas chlororaphis* – 95% (опытный образец ФГБНУ ФНЦБЗР на основе *Pseudomonas chlororaphis* BZR245-F, Ж). Наибольшие показатели густоты стояния выявлены на опытных делянках с препаратами Алирин-Б, Ж, Геостим Фит, А, Ж (по 488 раст/м²), Стернифаг, СП (по 485 раст/м²), Псевдобактерин-2, Ж и эталоном Скарлет, МЭ (по 484 раст/м²). Определены высокие показатели эффективности против корневых и прикорневых гнилей препаратов на основе *Bacillus subtilis* Алирин-Б, Ж (68,3%), на основе *Pseudomonas chlororaphis* BZR245-F, Ж (65,2%) и *Trichoderma harzianum* Стернифаг, СП (60,3%). Исследования эффективности биологических препаратов для защиты ячменя от корневых гнилей крайне важны для практического применения в агропромышленном комплексе региона и страны.

Ключевые слова

Озимый ячмень, биологические фунгициды, корневые гнили, экологизация земледелия

Благодарности

Исследования выполнены при финансовой поддержке Кубанского научного фонда в рамках научного проекта № Н-24.1/43.

Для цитирования

Волкова Г.В., Яхник Я.В., Кустадинчев А.Д. Эффективность применения биологических фунгицидов против корневой гнили ячменя озимого на юге России // *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*. 2025. № 6. С. 79–91.

AGRONOMY, CROP PRODUCTION, PLANT PROTECTION

Efficacy of biological fungicides against winter barley root rot in the south of Russia

Galina V. Volkova, Yana V. Yakhnik✉, Aleksandr D. Kustadinchev

Federal Scientific Center for Biological Plant Protection, Krasnodar, Russia

✉Corresponding author: yakhnik1@mail.ru

Abstract

The aim of this research was to evaluate the efficacy of biological fungicides against winter barley root rot pathogens for their subsequent practical application in ecological protection technologies within the Krasnodar Territory. The experiments were conducted at the Federal Scientific Center for Biological Plant Protection (FRCBPP) under field infection nursery conditions during 2023–2025. The object of study comprised winter barley root rot pathogens of *Fusarium* and *Helminthosporium* etiology. Selected for the study were preparations containing various agents of biological origin and their metabolites: Geostim Fit, A, L (2 l/t); Alirin B, L (2 l/ha); Pseudobacterin-2, L (1 l/ha); Sterniphag, WP (80 g/t); Trichocin, WP (20 g/t); an experimental sample from the FRCBPP based on *Bacillus velezensis* BZR336 g, L (3 l/t); an experimental sample from the FRCBPP based on *Pseudomonas chlororaphis* BZR245-F, L (3 l/t); Organica F, L (0.7 l/t); and Scarlet, ME (0.4 l/t) (chemical standard). The maximum efficacy against *Fusarium* seed infection was observed after treatment with Trichocin, WP (94.5%), Geostim Fit, A, L (92.4%), Alirin-B, L (92.3%), and Organica F, L (91.1%). Laboratory and field germination rates were highest after seed treatment with preparations based on *Trichoderma asperellum* – 96% (Organica F, L), *Bacillus velezensis* – 95% (experimental sample from the FRCBPP based on *Bacillus velezensis* BZR336 g, L), and *Pseudomonas chlororaphis* – 95% (experimental sample from the FRCBPP based on *Pseudomonas chlororaphis* BZR245-F, L). The highest plant stand densities were recorded on experimental plots treated with Alirin-B, L, Geostim Fit, A, L (488 plants/m²), Sterniphag, WP (485 plants/m²), Pseudobacterin-2, L, and the Scarlet, ME standard (484 plants/m²). High efficacy rates against root and radical rots were determined for preparations based on *Bacillus subtilis* Alirin-B, L (68.3%), *Pseudomonas chlororaphis* BZR245-F, L (65.2%), and *Trichoderma harzianum* Sterniphag, WP (60.3%). Research into the efficacy of biological preparations for protecting barley from root rot is crucial for practical application within the agro-industrial sector of both the region and the country.

Keywords

Winter barley, biological fungicides, root rot, ecologization of agriculture

Acknowledgments

This research was funded by the Kuban Scientific Foundation within the framework of scientific project No. H-24.1/43.

For citation

Volkova G.V., Yakhnik Y.V., Kustadinchev A.D. Efficacy of biological fungicides against winter barley root rot in the south of Russia. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2025. No. 6. P. 79–91.

Введение Introduction

Проблема корневых гнилей зерновых культур является актуальной по всему миру. Несмотря на то, что проявление болезни внешне является малозаметным, корневые гнили не только приводят к прямым потерям до 30% урожая, но и косвенно способствуют развитию болезней вследствие ингибирования нормальных физиологических процессов и снижения иммунитета растения-хозяина [1, 2]. Корневые гнили – это болезнь комплексной этиологии, возбудителями которой являются грибы родов *Fusarium*, *Gaeumannomyces*, *Rhizoctonia*, *Pythium*, *Microdochium*, *Alternaria*, а также гриб *Bipolaris sorokiniana* [3, 4]. На юге России наиболее распространенными и вредоносными являются корневые гнили фузариозно-гельминтоспориозной этиологии [1]. Видовой состав грибов рода *Fusarium* и соотношение с грибами *Bipolaris sorokiniana* постоянно меняются в зависимости от климатических условий сезона, возделываемых в севообороте культур, способов обработки почвы и примененных в агроценозе фунгицидов, но находятся в динамическом равновесии в качестве доминантов. Ситуация осложняется накоплением инфекции в почве и дестабилизацией фитосанитарной ситуации агроценоза в севообороте вследствие широкой специализации фитопатогенных грибов [5] (рис. 1).

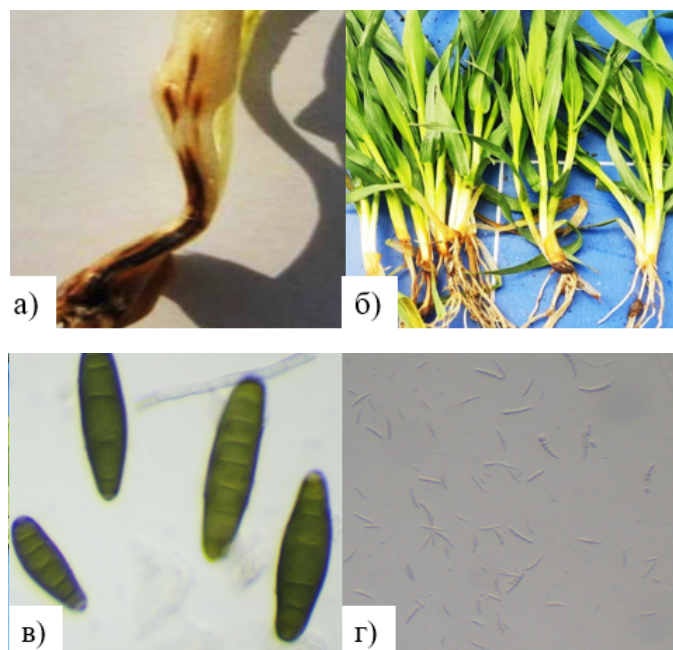


Рис. 1. Идентификация корневых гнилей различной этиологии:
а, б) корневые и прикорневые гнили на озимом ячмене;
в) возбудитель корневой гнили гельминтоспориозной этиологии
(гриб *Bipolaris sorokiniana*) (увеличение $\times 400$);
г) возбудитель фузариозной корневой гнили (грибы рода *Fusarium*)
(увеличение $\times 400$), ФГБНУ ФНЦБЗР, 2024–2025 гг. (ориг.)

Figure 1. Identification of root rot of various etiologies:
а, б) root and radical rot on winter barley;
с) pathogen of Helminthosporiosis root rot (*Bipolaris sorokiniana*)
(magnification $\times 400$);
d) pathogen of Fusarium root rot (*Fusarium* spp.) (magnification $\times 400$),
FRCBPP, 2024–2025 (orig.)

Современная интегрированная защита озимого ячменя от корневых гнилей включает в себя применение различных фитосанитарных мероприятий: возделывание устойчивых сортов, агротехнологические методы, протравливание семян, обработка почвы и посевов фунгицидами. Но микроэволюционные процессы изменили и структуру популяций фитопатогенов, так как новые условия с повышенной пестицидной нагрузкой спровоцировали высокую частоту мутаций, выявив и закрепив новые, а также наиболее приспособленные штаммы и расы, ставшие новыми источниками эпифитотий [6].

Принципиально новым и крайне перспективным подходом является применение фунгицидов на основе живых бактерий, грибов, а также их метаболитов (биологических препаратов). Внедрение биопрепаратов в современные схемы защиты растений является наукоемким процессом, требующим сопровождения работ высококвалифицированными специалистами [7]. В широком производстве внедрение ограничено такими факторами, как более низкая эффективность (в сравнении с химическими фунгицидами), более короткий период защитного действия, узкая специализация и прямая зависимость от погодных условий [3]. В связи с ужесточением правил использования химических средств защиты растений в последние годы применение биопрепаратов широко изучается ввиду потенциальных преимуществ, поэтому коммерческие компании активно расширяют спектр биологических агентов и способы их эффективного применения в схемах защиты производственных посевов зерновых культур. Помимо экологического контроля (токсическая нагрузка на агроценозы, потеря чувствительности патогенов к основному ассортименту фунгицидов, прямое фунгицидное действие), биопрепараты используются в качестве индукторов болезнеустойчивости, индуцируя системную устойчивость, улучшая усвоение питательных веществ, стимулируя рост и стрессоустойчивость, тем самым предоставляя растению эволюционное преимущество [7].

Бактерии рода *Bacillus* стимулируют рост растений и уменьшают заболевания фитопатогенными грибами, что в основном связано с профилями их вторичных метаболитов [8]. Различными антимикробными свойствами обладает группа вторичных метаболитов – нерибосомально синтезированных липопептидов, обладающих антибактериальными и/или антифунгальными свойствами, вызывающими лизис клеток, образование пор в мембранах грибов, ингибирование определенных ферментов или синтез бактериальных белков. Также бактерии рода *Bacillus* производят различные изоформы липопептидов, принадлежащие семействам сурфактинов, фенгицинов и итуринов. При субингибиторных концентрациях вторичные метаболиты проявляются как сигнальные молекулы в локальных ценозах, которые влияют на клеточную дифференциацию и поглощение питательных веществ, что приводит к уменьшению перекрытия ниш конкурирующих организмов [9].

Несбалансированное использование фунгицидов, помимо токсического эффекта на экосистему, привело к росту площадей деградированных, кондуктивных и фитотоксичных почв, потере биоразнообразия, что в комплексе повлияло на заселение агроценозов возбудителями корневых гнилей [10]. Микопаразитизм – один из наиболее эффективных способов снижения почвенной инфекционной нагрузки. Возникновение индуцированной системной резистентности растений после колонизации корней грибами *Trichoderma* spp. впервые было выявлено и описано в 1997 г. С тех пор данные грибы широко используются в качестве эффективных агентов биологического контроля против почвенных фитопатогенов [11]. Грибы рода *Trichoderma* продуцируют вторичные метаболиты (хитиназы, β -глюканазы, протеазы), которые не только выполняют функции антагонизма (антибиоз и микопаразитизм), но и взаимодействуют с растениями как индукторы болезнеустойчивости.

Высокая способность контроля почвенных патогенных грибов с помощью таких механизмов, как конкуренция за питательные вещества и ниши, ингибирование

прорастания спор и роста мицелия, выработка ингибирующих метаболитов, выявлена при применении препаратов на основе бактерий рода *Pseudomonas*. При взаимодействии с грибами происходит нарушение целостности клеточной мембраны (приводит к утечке клеточного содержимого патогена), ингибирование биосинтеза эргостерола, увеличение содержания малонового диальдегида, а также ингибирование активности АТФазы, малатдегидрогеназы и сукцинатдегидрогеназы, что влияет на энергетический метаболизм и вызывает накопление активных форм кислорода [12]. Также бактерии рода *Pseudomonas* способны растворять фосфор, высвобождать сидерофоры и производить индолилуксусную кислоту, которая является регулятором роста растений [13].

Оздоровление почв агроценозов, повышение и стабилизация супрессивности путем увеличения биоразнообразия являются одними из основных факторов элиминирования почвенных фитопатогенов, вызывающих возникновение корневых гнилей [10]. Применение биопрепаратов на основе наиболее распространенных агентов биологического происхождения и их метаболитов позволит снизить токсикологическую нагрузку на производственные посевы и предотвратит появление резистентности штаммов фитопатогенных грибов.

Цель исследований: изучить эффективность биологических фунгицидов против возбудителей корневых гнилей озимого ячменя для дальнейшего их практического применения в экологизированных технологиях защиты Краснодарского края.

Методика исследований

Research method

Исследования проводили на базе Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр биологической защиты растений» (ФГБНУ ФНЦБЗР) в условиях полевого стационара на естественном инфекционном фоне. В исследованиях использована материально-техническая база Уникальной научной установки (УНУ) «Технологическая линия для получения микробиологических средств защиты растений нового поколения» (<https://fncbzh.ru/brk-i-unu/unique-installation-2/>).

Климат региона исследований – умеренно-континентальный, при длинном вегетационном периоде – достаточное количество влаги и света. Почва – чернозем выщелоченный. Глубина гумусового горизонта составляет 80–150 мм. Содержание гумуса в пахотном 0–20 мм слое почвы составляет 3,39%, подвижного фосфора – 18,2 мг/100 мг почвы, подвижных соединений калия – 30,6 мг/100 мг; реакция почвы слабокислая (рН = 5,5...6,5). Обменная кислотность отсутствует, гидролитическая кислотность варьирует от 2 до 4 мг/100 мг почвы. Степень насыщения почвы основаниями составляет 85–95%.

Для исследований отобраны 4 российских коммерческих сорта озимого ячменя: Виват, Маруся (оригинатор ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской»), Рубеж, Юрий (оригинатор ФГБНУ «Национальный центр зерна имени П.П. Лукьяненко») схожих фенотипов (срок созревания – среднеспелый; тип растения – многорядный) и направления использования (фураж) [14]. Согласно данным оригинаторов, отобранные сорта различаются по устойчивости к ржавчинным заболеваниям и пятнистостям листьев; информация об устойчивости сортов к корневым гнилям не выявлена.

В опыте использованы наиболее распространенные препараты, содержащие различные агенты биологического происхождения и продукты их метаболизма: Геостим Фит, А, Ж, 2 л/т (*Chaetomium globosum*, *Trichoderma viride*, *Bacillus megaterium*, *Azospirillum brasilense*, *Rhizobium leguminosarum*, *Mesorhizobium ciceri*, *Bradyrhizobium japonicum*, *Bacillus subtilis* и их метаболиты); Алирин Б, Ж, 2 л/га (*Bacillus subtilis*); Псевдобактерин-2, Ж, 1 л/га (*Pseudomonas aureofaciens*); Стернифаг, СП, 80 г/т (*Trichoderma*

harzianum); Трихоцин, СП, 20 г/т (*Trichoderma harzianum*); опытный образец ФГБНУ ФНЦБЗР на основе *Bacillus velezensis* BZR336 g, Ж, 3 л/т; опытный образец ФГБНУ ФНЦБЗР на основе *Pseudomonas chlororaphis* BZR245-F, Ж, 3 л/т; Оргамика Ф, Ж, 0,7 л/т (*Trichoderma asperellum*); Скарлет, МЭ, 0,4 л/т (имазалил 100 г/л + тебуконазол 60 г/л, химический эталон) при норме рабочего раствора 10 л на 1 т. Также были высеяны контрольные варианты (обработка семян водой).

Сорта высевали на делянках площадью по 6 м² в трехкратной повторности. Предшественник – чистый пар. Фунгицидные обработки на опытных участках не проводились. Фитоэкспертизу семенного материала осуществляли согласно ГОСТ 12044–93, полевую всхожесть, густоту стояния, развитие корневых и прикорневых гнилей и биологическую эффективность препаратов определяли согласно общепринятым методам [15]. Показавшие наибольшую эффективность и разрешенные к применению на территории Российской Федерации препараты Геостим Фит, А, Ж, Алирин-Б, Ж, Трихоцин, СП, Скарлет, МЭ (эталон) были заложены в полевом опыте вегетационного сезона 2024–2025 гг.

Статистическое различие выборок оценивали с помощью критерия Фишера (при уровне значимости $\alpha = 0,05$). Степень корреляции определяли с помощью нелинейной регрессии по шкале Чеддока. Расчет производили с использованием программного обеспечения StatSoft Statistica v.13.3.

Результаты и их обсуждение

Results and discussion

Фитоэкспертиза семян показала максимальную эффективность биопрепаратов на основе грибов рода *Trichoderma*, бактерий *Bacillus* spp., а также группы бактерий и их метаболитов (*Chaetomium globosum*, *Trichoderma viride*, *Bacillus megaterium*, *Azospirillum brasilense*, *Rhizobium leguminosarum*, *Mesorhizobium ciceri*, *Bradyrhizobium japonicum*, *Bacillus subtilis*) против заражения семян фузариозной инфекцией, так как наиболее высокие показатели выявлены при обработке семян препаратами Трихоцин, СП (94,5%), Геостим Фит, А, Ж (92,4%), Алирин-Б, Ж (92,3%) и Оргамика Ф, Ж (91,1%) (химический эталон Скарлет, МЭ полностью ингибировал развитие патогена) (рис. 2).

Подавление развития грибов рода *Fusarium* на семенах происходит не только прямым действием агентов биопрепаратов на грибок-паразит (антибиоз, паразитизм), но и индуцированно – синтезом вторичных метаболитов, которые подавляют развитие патогена, что подтверждается данными литературы [9, 11]. Аналогичная эффективность биологических агентов выявлена в подавлении развития на семенах патогенной микрофлоры различной этиологии (*Alternaria* spp., *Bipolaris sorokiniana* и др.). Наибольшие показатели эффективности выявлены при применении препаратов Геостим Фит, А, Ж (47,9%) и Алирин-Б, Ж (39,5%) при значении в эталонном варианте с химическим препаратом Скарлет, МЭ 54,6%. При проведении корреляционного анализа эффективности препаратов по сортам выявлена высокая и весьма высокая корреляция (в 2023 г. – $r = 0,92–0,95$; в 2024 г. – $r = 0,80–0,94$), из чего можно заключить, что основным фактором влияния на опытные варианты является действующее вещество в составе препаратов.

Выявлена максимальная лабораторная всхожесть при обработке семян препаратами на основе наиболее распространенных биологических агентов – таких, как *Trichoderma asperellum* – 96% (Оргамика Ф, Ж), *Bacillus velezensis* – 95% (опытный образец ФГБНУ ФНЦБЗР на основе *Bacillus velezensis* BZR336 g, Ж), *Pseudomonas chlororaphis* – 95% (опытный образец ФГБНУ ФНЦБЗР на основе *Pseudomonas chlororaphis* BZR245-F, Ж) (рис. 3). Также высокие показатели (по 93%) были выявлены при обработке препаратами Геостим Фит, А, Ж, Алирин-Б, Ж, Стернифаг, СП при лабораторной

всхожести семян в эталонном варианте с применением препарата на химической основе Скарлет, МЭ 88%. Выявлена весьма высокая корреляция ($r = 0,99$) между лабораторной и полевой всхожестью семян, обработанных препаратами.

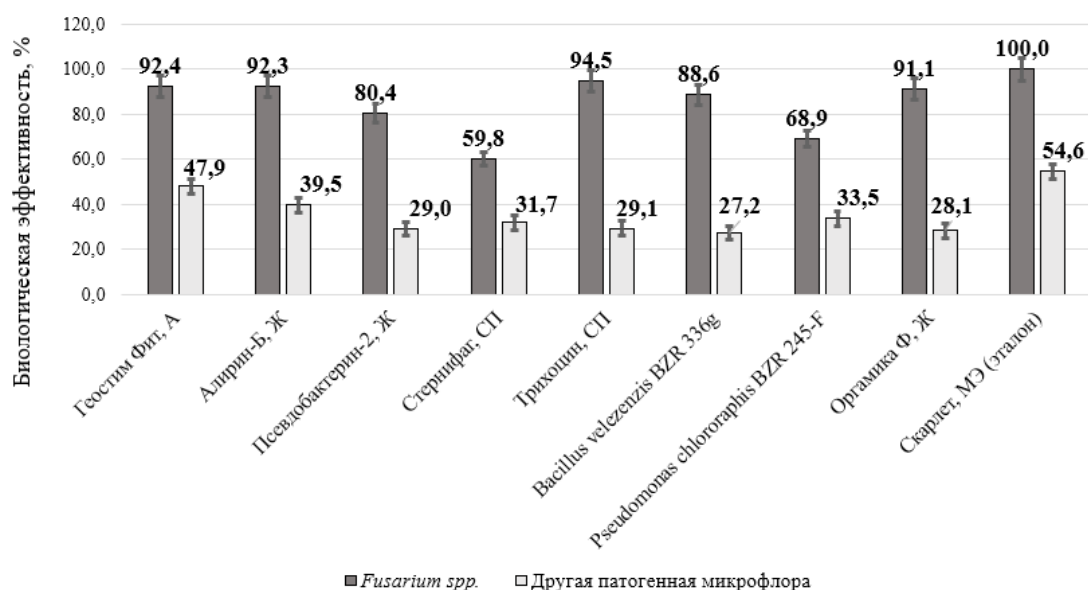


Рис. 2. Биологическая эффективность биологических препаратов против патогенной микрофлоры на семенах сортов Виват, Маруся, Рубеж, Юрий (*Fusarium spp.*, *Alternaria spp.*, *Bipolaris sorokiniana* и др.), ФГБНУ ФНЦБЗР, 2023–2024 гг.

Figure 2. Biological efficacy of biological preparations against pathogenic microflora on seeds of cultivars Vivat, Marusya, Rubezh, Yuri (*Fusarium spp.*, *Alternaria spp.*, *Bipolaris sorokiniana*, etc.), FRCBPP, 2023–2024

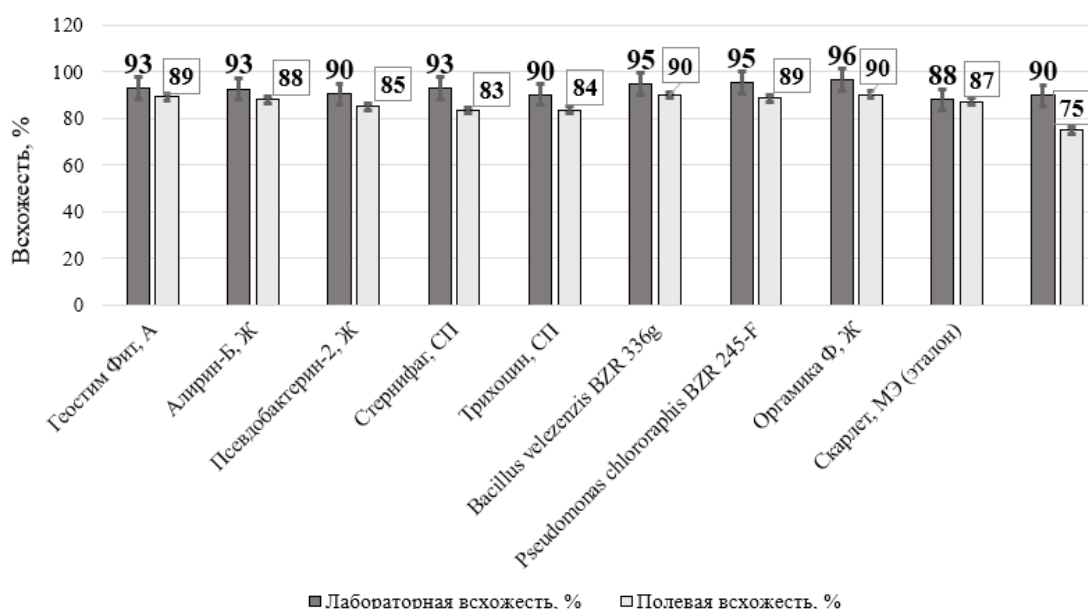


Рис. 3. Лабораторная и полевая всхожесть семян ячменя озимого, сортов Виват, Маруся, Рубеж, Юрий, ФГБНУ ФНЦБЗР, 2023–2024 гг.

Figure 3. Laboratory and field germination of winter barley seeds, cultivars Vivat, Marusya, Rubezh, Yuri, FRCBPP, 2023–2024

Однофакторный дисперсионный анализ выявил достоверные различия между всеми опытными вариантами (при $\alpha = 0,05$): против грибов рода *Fusarium* $F_t 6,0 < F_f 26,8-93,4$; против других плесневых грибов $F_t 6,0 < F_f 16,3-153,6$ в 2023 г.; против грибов рода *Fusarium* $F_t 6,0 < F_f 39,3-112,0$; против других плесневых грибов $F_t 6,0 < F_f 16,3-153,6$ в 2024 г.

Наибольшие показатели густоты стояния были выявлены на опытных делянках с препаратами Алирин-Б, Ж, Геостим Фит, А, Ж (по 488 раст/м²), Стернифаг, СП (по 485 раст/м²), Псевдобактерин-2, Ж и эталоном Скарлет, МЭ (по 484 раст/м²). Все опытные варианты были статистически достоверно выше контроля ($F_t 4,6 < F_f 14,5-144,7$ в 2023–2024 гг.); в среднем густота стояния растений после обработок семян биопрепаратами выше контрольного варианта на 4,0% (при превышении контроля в эталоне на 4,3%).

Учет прикорневых и корневых гнилей различной этиологии (грибы рода *Fusarium*, *B. sorokiniana* и т.д.) выявил максимальную биологическую эффективность против болезни после применения химического эталона Скарлет, МЭ (табл. 1). Согласно данным литературы именно обширное и многократное применение химических фунгицидов со временем увеличивает долю токсиногенных видов в почвенных микоценозах, что опасно не только для растений ввиду подавления их роста и развития, но и для полезной микробиоты [2]. Применение препаратов на основе биологических агентов является потенциальным индуктором повышения супрессивности почв, что косвенно влияет на уменьшение развития корневых гнилей сельскохозяйственных культур.

Достаточно высокие показатели эффективности выявлены после применения препаратов на основе *Bacillus subtilis* (Алирин-Б, Ж) (68,3%), *Pseudomonas chlororaphis* (опытный образец ФГБНУ ФНЦБЗР на основе *Pseudomonas chlororaphis* BZR245-F, Ж) (65,2%), *Trichoderma harzianum* (Стернифаг, СП) (60,3%).

Стоит отметить, что при сравнительно невысоких показателях биологической эффективности при подавлении патогенной микрофлоры на семенах, при обработке препаратами на основе бактерий рода *Pseudomonas* выявлена достаточно высокая эффективность на растениях. Бактерии способны растворять фосфор, высвобождать сидерофоры, производить индолилуксусную кислоту, что напрямую влияет на повышение стрессоустойчивости растений к абиотическим (погодные условия, солевые стрессы, загрязненные почвы и т.д.) и биотическим (фитопатогены, вредители) факторам, стимулируя рост и индуцируя системную устойчивость.

Однофакторный дисперсионный анализ выявил достоверные различия между всеми опытными вариантами (при $\alpha = 0,05$): $F_t 6,0 < F_f 50,6$ (Геостим Фит, А, Ж), $F_t 6,0 < F_f 66,0$ (Алирин-Б, Ж), $F_t 6,0 < F_f 20,0$ (Псевдобактерин-2, Ж); $F_t 6,0 < F_f 25,7$ (Стернифаг, СП), $F_t 6,0 < F_f 16,9$ (Трихоцин, СП), $F_t 6,0 < F_f 36,5$ (опытный образец ФГБНУ ФНЦБЗР на основе *Bacillus velezensis* BZR336 g, Ж), $F_t 6,0 < F_f 81,2$ (опытный образец ФГБНУ ФНЦБЗР на основе *Pseudomonas chlororaphis* BZR245-F, Ж), $F_t 6,0 < F_f 22,9$ (Органика Ф, Ж), $F_t 6,0 < F_f 72,0$ (Скарлет, МЭ).

По итогам первого года исследований были отобраны препараты, показавшие наибольшую эффективность при применении на изучаемых сортах (Виват, Маруся, Рубеж, Юрий) и допущенные к использованию на ячмене озимом (табл. 2). Как наиболее эффективный против корневых и прикорневых гнилей различной этиологии в исследованиях, также был выявлен химический эталон Скарлет, МЭ (73,4%). Достаточно высокие показатели определены при применении биопрепарата Геостим Фит, А, Ж на основе группы биологически активных агентов (*Chaetomium globosum*, *Trichoderma viride*, *Bacillus megaterium*, *Azospirillum brasilense*, *Rhizobium leguminosarum*, *Mesorhizobium ciceri*, *Bradyrhizobium japonicum*, *Bacillus subtilis*) – 68,1%. Применение препаратов на основе *Trichoderma harzianum* (Трихоцин, СП) и *Bacillus subtilis* (Алирин-Б, Ж) выявило биологическую эффективность в среднем по всем вариантам: 60,3 и 52,6% соответственно.

Таблица 1

Биологическая эффективность применения биопрепаратов против корневых и прикорневых гнилей различной этиологии ячменя озимого, сортов Виват, Маруся, Рубеж, Юрий, ФГБНУ ФНЦБЗР, 2024 г.

Table 1

Biological efficacy of biologics against root and radical rot of various etiologies in winter barley, cultivars Vivat, Marusya, Rubezh, Yuri, FRCBPP, 2024

Варианты опыта	Сорта							
	Виват		Маруся		Рубеж		Юрий	
	R*, %	БЭ**	R., %	БЭ	R., %	БЭ	R., %	БЭ
Геостим Фит, А, Ж	13 ±3,1	48,0	12 ±2,0	40,0	10 ±1,0	63,0	13 ±2,6	43,5
Алирин-Б, Ж	4 ±1,6	84,0	9 ±2,5	55,0	6 ±1,5	77,8	10 ±1,6	56,5
Псевдобактерин-2, Ж	14 ±3,6	44,0	12 ±2,0	40,0	16 ±2,0	40,7	6 ±0,2	73,9
Стернифаг, СП	14 ±3,6	44,0	4 ±1,7	80,0	13 ±1,5	51,9	8 ±1,0	65,2
Трихоцин, СП	17 ±2,5	32,0	16 ±2,0	20,0	16 ±1,2	40,7	10 ±2,0	56,5
Опытный образец ФГБНУ ФНЦБЗР <i>B. subtilis</i> BZR336g, Ж	12 ±2,0	52,0	9 ±1,2	55,0	14 ±2,3	48,1	14 ±2,1	39,1
Опытный образец ФГБНУ ФНЦБЗР <i>P. chlororaphis</i> BZR245-F, Ж	9 ±1,7	64,0	8 ±1,0	60,0	10 ±1,0	63,0	6 ±1,0	73,9
Органика Ф, Ж	6 ±3,6	76,0	15 ±1,7	25,0	14 ±2,3	48,1	12 ±2,3	47,8
Скарлет, МЭ (химический эталон)	10 ±2,6	60,0	4 ±0,5	80,0	8 ±1,0	70,4	6 ±2,0	73,9
Контроль (без обработки)	25 ±2,5	–	20 ±1,7	–	27 ±2,0	–	23 ±3,6	–

*R – развитие корневых и прикорневых гнилей.

** БЭ – биологическая эффективность.

Однофакторный дисперсионный анализ выявил достоверные различия между всеми опытными вариантами (при $\alpha = 0,05$): $F_t 6,0 < F_f 166,6$ (Геостим Фит, А, Ж), $F_t 6,0 < F_f 81,39$ (Алирин-Б, Ж), $F_t 6,0 < F_f 121,3$ (Трихоцин, СП), $F_t 6,0 < F_f 165,4$ (Скарлет, МЭ).

В 2024 г. среднее развитие корневых и прикорневых гнилей определено как минимальное на сорте Юрий (10,8%) и сорте Маруся (10,9%). На сортах Виват и Рубеж развитие болезни составило 12,4 и 13,4% соответственно. В 2025 г. развитие болезней на сортах составило: Рубеж – 13,2%; Маруся – 14,0%; Виват – 14,8%; Юрий – 15,6%. Однофакторный дисперсионный анализ не выявил различия между средними показателями устойчивости сортов (2024 г. – $F_t 8,7 < F_f 0,36$ Виват/Маруся, $F_t 4,4 < F_f 1,1$ Рубеж/Юрий; 2025 г. – $F_t 8,8 < F_f 0,02$ Виват/Маруся; $F_t 8,8 < F_f 0,22$ Рубеж/Юрий), а также между показателями развития болезни только в опытных вариантах

с обработками биопрепаратами (2024 г. – $F_t 8,7 < F_f 0,05$ Виват/Маруся, $F_t 4,6 < F_f 2,3$ Рубеж/Юрий; 2025 г. – $F_t 9,1 < F_f 0,08$ Виват/Маруся; $F_t 9,1 < F_f 0,62$ Рубеж/Юрий). Полученные на данном этапе исследований результаты могут свидетельствовать о минимальном влиянии сортовых особенностей на развитие корневых гнилей в вегетационный период 2024–2025 гг. на отобранных для изучения сортах (Виват, Маруся, Рубеж, Юрий).

Таблица 2

Биологическая эффективность применения биопрепаратов против корневых и прикорневых гнилей ячменя озимого, сортов Виват, Маруся, Рубеж, Юрий, ФГБНУ ФНЦБЗР, 2025 г.

Table 2

Biological efficacy of biologics against root and radical rot in winter barley, cultivars Vivat, Marusya, Rubezh, Yuri, FRCBPP, 2025

Варианты опыта	Сорта							
	Виват		Маруся		Рубеж		Юрий	
	R*, %	БЭ**	R., %	БЭ	R., %	БЭ	R., %	БЭ
Геостим Фит, А, Ж	8,0±2,0	73,3	10,0±1,7	72,0	11,0±1,6	56,0	9,0±1,0	71,0
Алирин-Б, Ж	15,0±1,5	50,0	13,0±2,1	60,0	12,0±2,0	52,0	16,0±2,0	48,4
Трихоцин, СП	11,0±3,0	63,3	13,0±1,5	60,0	10,0±1,0	60,0	13,0±2,0	58,1
Скарлет, МЭ (химический эталон)	10,0±2,0	66,7	6,0±1,1	88,0	8,0±1,2	68,0	9,0±1,3	71,0
Контроль (без обработки)	30±2,5		28	–	25±3,6	–	31±1,5	–

* R – развитие корневых и прикорневых гнилей.

** БЭ – биологическая эффективность.

Выводы

Conclusions

Выявлена максимальная эффективность применения биопрепаратов на основе грибов рода *Trichoderma*, бактерий *Bacillus* spp., а также группы бактерий и их метаболитов (*Chaetomium globosum*, *Trichoderma viride*, *Bacillus megaterium*, *Azospirillum brasilense*, *Rhizobium leguminosarum*, *Mesorhizobium ciceri*, *Bradyrhizobium japonicum*, *Bacillus subtilis*) против заражения семян фузариозной инфекцией после обработки препаратами Трихоцин, СП (94,5%), Геостим Фит, А, Ж (92,4%), Алирин-Б, Ж (92,3%) и Оргамика Ф, Ж (91,1%).

Максимальная лабораторная и полевая всхожесть выявлена после обработки семян препаратами на основе *Trichoderma asperellum* – 96% (Оргамика Ф, Ж), *Bacillus velezensis* – 95% (опытный образец ФГБНУ ФНЦБЗР на основе *Bacillus velezensis* BZR336 g, Ж), *Pseudomonas chlororaphis* – 95% (опытный образец ФГБНУ ФНЦБЗР на основе *Pseudomonas chlororaphis* BZR245-F, Ж).

Наибольшие показатели густоты стояния определены на опытных делянках с препаратами Алирин-Б, Ж, Геостим Фит, А, Ж (по 488 раст/м²), Стернифаг, СП (по 485 раст/м²), Псевдобактерин-2, Ж и эталоном Скарлет, МЭ (по 484 раст/м²).

Выявлены высокие показатели эффективности против корневых и прикорневых гнилей различной этиологии после применения препаратов на основе *Bacillus subtilis* Алирин-Б, Ж (68,3%), *Pseudomonas chlororaphis* ФГБНУ ФНЦБЗР на основе *Pseudomonas chlororaphis* BZR245-F, Ж (65,2%) и *Trichoderma harzianum* Стернифаг, СП (60,3%).

Влияние сортовых особенностей (Виват, Маруся, Рубеж, Юрий) на развитие корневых гнилей в вегетационный период 2024–2025 гг. не выявлено.

Применение эффективных фунгицидов на нехимической основе против семенной и почвенной инфекции озимого ячменя на юге России позволит не только получить экологически безопасную сельскохозяйственную продукцию, но и предотвратить появление резистентных к наиболее широко применяемым фунгицидам штаммов фитопатогенных грибов, а также снизит токсикологическую нагрузку на агроценозы.

Список источников

1. Овсянкина А.В. Корневые гнили зерновых // *Теория и практика борьбы с паразитарными болезнями*. 2012. № 13. С. 300–303. EDN: ZNHSSN
2. Zhukova L.V., Stankevych S.V., Turenko V.P., et al. Root Rots of Spring Barley, Their Harmfulness and the Basic Effective Protection Measures. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2019;9(2): 232-238
3. Жуковский А.Г., Крупенько Н.А., Буга С.Ф. и др. Корневая гниль зерновых культур и роль инфицированности семян в ее развитии // *Защита растений*. 2022. № 42. С. 84–95. EDN: YYEFNN
4. Ганнибал Ф.Б., Полуэктова Е.В., Лукьянец Я.В. и др. Ассоциированные с ячменем микромицеты и их значимость как возбудителей болезней в России // *Вестник защиты растений*. 2023. № 4. С. 172–186. <https://doi.org/10.31993/2308-6459-2023-106-4-16116>
5. Saad A., Macdonald B., Martin A. et al. Winter cereal reactions to common root rot and crown rot pathogens in the field. *Agronomy*. 2022;12(10):2571. <https://doi.org/10.3390/agronomy12102571>
6. Yin Y., Miao J., Shao W. et al. Fungicide resistance: Progress in understanding mechanism, monitoring and management. *Phytopathology*. 2023;113(4):707-718. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-10-22-0370-KD>
7. Dutilloy E., Oni F.E., Esmaeel Q. et al. Plant beneficial bacteria as bioprotectants against wheat and barley diseases. *Journal of Fungi*. 2022;8(6):632. <https://doi.org/10.3390/jof8060632>
8. Kieseewalter H.T., Lozano-Andrade C.N., Wibowo M. et al. Genomic and chemical diversity of *Bacillus subtilis* secondary metabolites against plant pathogenic fungi. *Msystems*. 2021;6(1): e00770-20. <https://doi.org/10.1128/msystems.00770-20>
9. Romero D., Traxler M.F., Lopez D. et al. Antibiotics as signal molecules. *Chemical Reviews*. 2011;111(9):5492-5505. <https://doi.org/10.1021/cr2000509>
10. Торопова Е.Ю., Селюк М.П., Казакова О.А. и др. Факторы индукции супрессивности почвы агроценозов // *Агрохимия*. 2017. № 4. С. 51–64. EDN: YRCQIR
11. Asad S.A. Mechanisms of action and biocontrol potential of *Trichoderma* against fungal plant diseases-A review. *Ecological Complexity*. 2022;49:100978. <https://doi.org/10.1016/j.ecocom.2021.100978>

12. Yue Y., Wang Z., Zhong T. et al. Antifungal mechanisms of volatile organic compounds produced by *Pseudomonas fluorescens* ZX as biological fumigants against *Botrytis cinerea*. *Microbiological Research*. 2023;267:127253. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2022.127253>
13. Wei D., Zhu D., Zhang Y. et al. Characterization of rhizosphere *Pseudomonas chlororaphis* IRHB3 in the reduction of Fusarium root rot and promotion of soybean growth. *Biological Control*. 2023;186:105349. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2023.105349>
14. Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. Т. 1. Сорта растений. [Электронный ресурс]. URL: <https://gossortrf.ru/registry/> (дата обращения: 10.04.2025)
15. Методические указания по регистрационным испытаниям фунгицидов в сельском хозяйстве / Под ред. В.И. Долженко. Санкт-Петербург: Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений РАСХН, 2009. 378 с. EDN: WERHOZ

References

1. Ovsyankina A.V. Root rot of cereals. *Teoriya i praktika borby s parazitarnymi boleznyami*. 2012;(13):300-303. (In Russ.)
2. Zhukova L.V., Stankevych S.V., Turenko V.P. et al. Root rots of spring barley, their harmfulness and the basic effective protection measures. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2019;(9):232-238.
3. Zhukovsky A.G., Krupenko N.A., Buga S.F. et al. Root rot of grain crops and seed affection role in its severity. *Zashchita rasteniy*. 2022;(42):84-95. (In Russ.)
4. Hannibal F.B., Poluektova E.V., Lukyanets Y.V. et al. Micromycetes associated with barley and their significance as pathogens in Russia. *Plant Protection News*. 2023;106(4):172-186. (In Russ.) <https://doi.org/10.31993/2308-6459-2023-106-4-16116>
5. Saad A., Macdonald B., Martin A. et al. Winter cereal reactions to common root rot and crown rot pathogens in the field. *Agronomy*. 2022;12(10):2571. <https://doi.org/10.3390/agronomy12102571>
6. Yin Y., Miao J., Shao W. et al. Fungicide resistance: Progress in understanding mechanism, monitoring and management. *Phytopathology*. 2023;113(4):707-718. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-10-22-0370-KD>
7. Dutilloy E., Oni F.E., Esmaeel Q. et al. Plant beneficial bacteria as bioprotectants against wheat and barley diseases. *Journal of Fungi*. 2022;8(6):632. <https://doi.org/10.3390/jof8060632>
8. Kiesewalter H.T., Lozano-Andrade C.N., Wibowo M. et al. Genomic and chemical diversity of *Bacillus subtilis* secondary metabolites against plant pathogenic fungi. *Msystems*. 2021;6(1): e00770-20. <https://doi.org/10.1128/msystems.00770-20>
9. Romero D., Traxler M.F., Lopez D. et al. Antibiotics as signal molecules. *Chemical Reviews*. 2011;111(9):5492-5505. <https://doi.org/10.1021/cr2000509>
10. Toropova E.Y., Selyuk M.P., Kazakova O.A. et al. Suppressive induction factors in agrocenosis soil. *Agrohimia*. 2017;(4):51-64. (In Russ.)
11. Asad S.A. Mechanisms of action and biocontrol potential of *Trichoderma* against fungal plant diseases-A review. *Ecological Complexity*. 2022;49:100978. <https://doi.org/10.1016/j.ecocom.2021.100978>
12. Yue Y., Wang Z., Zhong T. et al. Antifungal mechanisms of volatile organic compounds produced by *Pseudomonas fluorescens* ZX as biological fumigants against *Botrytis cinerea*. *Microbiological Research*. 2023;267:127253. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2022.127253>

13. Wei D., Zhu D., Zhang Y. et al. Characterization of rhizosphere *Pseudomonas chlororaphis* IRHB3 in the reduction of Fusarium root rot and promotion of soybean growth. *Biological Control*. 2023;186:105349. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2023.105349>

14. State Register for Selection Achievements Admitted for Usage (National List). Vol. 1 "Plant varieties." (In Russ.) URL: <https://gossortrf.ru/registry/> (accessed: April 10, 2025).

15. *Methodological guidelines for registration tests of fungicides in agriculture*. V.I. Dolzhenko (Ed). St. Petersburg, Russia: All-Russian Research Institute of Plant Protection, 2009:378. (In Russ.)

Сведения об авторах

Галина Владимировна Волкова, д-р биол. наук, член-корр. РАН, главный научный сотрудник, руководитель лаборатории иммунитета растений к болезням, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр биологической защиты растений»; 350039, Российская Федерация, г. Краснодар, ул. имени Калинина, 62; e-mail: galvol.bpp@yandex.ru

Яна Викторовна Яхник, научный сотрудник лаборатории иммунитета растений к болезням, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр биологической защиты растений»; 350039, Российская Федерация, г. Краснодар, ул. имени Калинина, 62; e-mail: yahnik1@mail.ru

Александр Дмитриевич Кустадинчев, младший научный сотрудник лаборатории иммунитета растений к болезням, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр биологической защиты растений»; 350039, Российская Федерация, г. Краснодар, ул. имени Калинина, 62; e-mail: skustadinchev@mail.ru

Information about the authors

Galina V. Volkova, DSc (Bio), Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Head of the Laboratory of Plant Immunity to Diseases, Federal Scientific Center for Biological Plant Protection; 62 Kalinina St., Krasnodar, 350039, Russian Federation; e-mail: galvol.bpp@yandex.ru

Yana V. Yakhnik, Research Associate at the Laboratory of Plant Immunity to Diseases, Federal Scientific Center for Biological Plant Protection; 62 Kalinina St., Krasnodar, 350039, Russian Federation; e-mail: yahnik1@mail.ru

Aleksandr D. Kustadinchev, Junior Research Associate at the Laboratory of Plant Immunity to Diseases, Federal Scientific Center for Biological Plant Protection; 62 Kalinina St., Krasnodar, 350039, Russian Federation; e-mail: skustadinchev@mail.ru