

DOI: 10.7868/S3034574X26020114
УДК: 632.937.21

Оригинальная статья

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ШТАММОВ *Bacillus subtilis*, *Trichoderma asperellum* Т-36, САЛИЦИЛАТА ХИТОЗАНА ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ

И.И. Новикова¹, Э.В. Попова¹, Л.Е. Колесников², И.Л. Краснобаева^{1*},
Ю.Р. Колесникова³, Л.А. Хигерович¹, Д.Ю. Радишевский², М.В. Шевцов²

¹Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений, лаборатория микробиологической защиты растений, Санкт-Петербург — Пушкин, Российская Федерация

²Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, факультет агротехнологий, почвоведения и экологии, кафедра защиты и карантина растений, Санкт-Петербург — Пушкин, Российская Федерация

³Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова, Санкт-Петербург, Российская Федерация

*E-mail: krasnobaeva08@mail.ru

Аннотация. Получены новые данные об эффективности инновационных средств защиты и регуляции роста растений на основе селектированных штаммов *Bacillus subtilis* и *Trichoderma asperellum* Т-36, индуктора устойчивости растений — 0,1 %-ного салицилата хитозана (СХ) при возделывании мягкой пшеницы (сорт Ленинградская 6, к-64900). В работе проводили обработку препаратами семян пшеницы перед посевом, а также опрыскивание растений в период вегетации. Наибольшим ростостимулирующим и защитным действием обладал полифункциональный комплекс Картофин, КЖ + 0,1% салицилата хитозана (*B. subtilis* И-5 + 0,1 % СХ) и Картофин, КЖ (*B. subtilis* И-5, композиция), применение которых позволило повысить продуктивность растений на 92,1% (с 0,4 до 0,8 г/растение) и 51,3 % (с 0,4 до 0,6 г/растение) соответственно. Отмечено существенное снижение пораженности мягкой пшеницы возбудителями мучнистой росы и септориоза при их применении. Биологическая эффективность (БЭ) комплекса Картофин, КЖ + 0,1% салицилат хитозана в отношении указанных болезней составила 69,8% и 74,3%, Картофин, КЖ (*B. subtilis* И-5, композиция)— 95,4% и 74,2% соответственно. Существенное снижение развития желтой ржавчины выявлено в вариантах опыта: Витаплан, СП (БЭ = 55,5%), 0,1% салицилата хитозана (БЭ = 56,6%), Картофин, КЖ (*B. subtilis* И-5) (БЭ = 64,1%), *T. asperellum* Т-36, КЖ 1:10 (БЭ = 54,8%). Исследованные биопрепараты могут быть использованы для разработки экологически чистых технологий возделывания пшеницы, улучшения качества зерна и оптимизации фитосанитарного состояния посевов после создания препаративных форм биопрепаратов.

Ключевые слова: мягкая пшеница яровая, штаммы, *Bacillus subtilis*, *Trichoderma asperellum*, салицилат хитозана, продуктивность пшеницы, болезни пшеницы

Соблюдение этических стандартов. В данной работе отсутствуют исследования человека или животных.

Конфликт интересов. Авторы данной работы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

Вклад авторов. Все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи.

Финансирование. Работа выполнена в рамках государственного задания согласно тематическому плану ВИР FGEM-2022-0009 «Структурирование и раскрытие потенциала наследственной изменчивости мировой коллекции зерновых и крупяных культур ВИР для развития оптимизированного генбанка и рационального использования в селекции и растениеводстве»; в рамках государственного задания согласно тематическому плану ВИЗР по проекту по FGEU-2023-0006 «Разработка эколого-генетических основ отбора штаммов микробов-антагонистов, энтомопатогенных грибов и нематод; разработка технологий получения и применения новых полифункциональных препаратов для контроля численности вредных организмов (вредители, возбудители болезней) и повышения супрессивности почвы» с использованием УНУ «Государственная коллекция микроорганизмов, патогенных для растений и их вредителей» (зарегистрирована в WFCC WDCM №760) из средств бюджета института.

Ссылка для цитирования: Новикова И.И., Попова Э.В., Колесников Л.Е., Краснобаева И.Л., Колесникова Ю.Р., Хигерович Л.А., Радишевский Д.Ю., Шевцов М.В. Эффективность применения штаммов *Bacillus subtilis*, *Trichoderma asperellum* T-36, салицилата хитозана при возделывании мягкой пшеницы. *Прикладная биохимия и микробиология / Applied biochemistry and microbiology*. 2026. Т. 62. № 2. С. 270–283. <https://doi.org/10.7868/S3034574X26020114>

DOI: 10.7868/S3034574X26020114

Original Article

THE EFFECTIVENESS OF *Bacillus subtilis*, *Trichoderma asperellum* T-36 STRAINS, AND CHITOSAN SALICYLATE IN SOFT WHEAT CULTIVATION

I.I. Novikova¹, E.V. Popova¹, L.E. Kolesnikov², I.L. Krasnobaeva^{1*}, Yu.R. Kolesnikova³,
L.A. Khigerovich¹, D.Yu. Radishevsky², M.V. Shevtsov²

¹All-Russian Research Institute for Plant Protection, Pushkin, Russian Federation

²St. Petersburg State Agrarian University, Faculty of Agricultural Technology, Soil Science, and Ecology, Department of Plant Protection and Quarantine, St. Petersburg-Pushkin, Russian Federation

³N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, St. Petersburg, Russian Federation

*E-mail: krasnobaeva08@mail.ru

Abstract. New data were obtained on the effectiveness of innovative plant protection and growth regulation products based on selected *Bacillus subtilis* and *Trichoderma asperellum* T-36 strains and a plant resistance inducer, 0.1% chitosan salicylate (CHS), in the cultivation of common wheat (variety Leningradskaya 6, K-64900). The experimental design included treating wheat seeds with the products before sowing and spraying the plants during the growing season. The highest growth-stimulating and protective effect was demonstrated by the polyfunctional complex Kartofin, CL + 0.1% chitosan salicylate (*B. subtilis* I-5 + 0.1% CHS) and Kartofin, CL (*B. subtilis* I-5, composition), the use of which allowed to increase plant productivity by 92.1% (from 0.4 to 0.8 g/plant) and 51.3% (from 0.4 to 0.6 g/plant), respectively. A significant reduction in the infestation of common wheat by powdery mildew and septoria pathogens was noted with their use. The biological efficiency (BE) of the complex Kartofin, CL + 0.1% chitosan salicylate (*B. subtilis* I-5 + 0.1% CHS) in relation to the specified diseases was 69.8% and 74.3%, Kartofin, CL (*B. subtilis* I-5, composition) – 95.4% and 74.2%, respectively. A significant decrease in the development of yellow rust was revealed in the experimental variants: Vitaplan, SP (BE = 55.5%); 0.1% chitosan salicylate (BE = 56.6%); Kartofin, CL (*B. subtilis* I-5) (BE = 64.1%), *T. asperellum* T-36, CL 1:10 (BE = 54.8%). A significant reduction in root rot development (by 15.5%) was observed in the experimental variants Kartofin, CL (*B. subtilis* I-5), and *T. asperellum* T-36, CL 1:100. The studied biopreparations can be used to develop environmentally friendly wheat cultivation technologies, improve grain quality, and optimize the phytosanitary condition of crops after the development of biopreparation formulations.

Keywords: soft spring wheat, *Bacillus subtilis*, *Trichoderma asperellum*, chitosan salicylate, wheat productivity, wheat diseases

Ethic declarations. This work does not contain any human or animal studies.

Conflict of interests. The authors of this work declare that they have no conflicts of interest.

Author contributions. All authors made significant contributions to the concept development, conduct of the study, and preparation of the article.

Funding. This work was funded by a state assignment under the VIZR subject plan for project FGEU-2023-0006, "Development of an Ecological and Genetic Foundation for Selecting Strains of Antagonistic Microbes, Entomopathogenic Fungi, and Nematodes; Development of Technologies for Obtaining and Using New Multifunctional Preparations to Control the Population of Harmful Organisms (Pests, Disease Pathogens) and Enhance Soil Suppressivity," using the State Collection of Microorganisms Pathogenic to Plants and Their Pests (registered in WFCC WDCM No. 760) from the institute's budget.

For Citation: Novikova I.I., Popova E.V., Kolesnikov L.E., Krasnobaeva I.L., Kolesnikova Yu.R., Khigevich L.A., Radishevsky D.Yu., Shevtsov M.V. The effectiveness of *Bacillus subtilis*, *Trichoderma asperellum* T-36 strains, and chitosan salicylate in soft wheat cultivation. *Prikladnaya biokhimiya i mikrobiologiya / Applied biochemistry and microbiology*. 2026;62(2):270–283. (In Russ.) <https://doi.org/10.7868/S3034574X26020114>

В современных условиях одним из способов улучшения фитосанитарного состояния агроценозов является использование инновационных биологических препаратов, в том числе на основе штаммов бактерий-продуцентов биологически активных веществ и индуктора устойчивости растений — хитозана и его производных. Их своевременное применение при проведении профилактических защитных мероприятий позволяет не только повысить урожайность и устойчивость зерновых культур к болезням, но и снизить экотоксикологическую нагрузку на окружающую среду. Это достигается за счет повышения супрессивности почвы, роста адаптивного потенциала растений к внешним факторам среды и сокращения использования пестицидов и агрохимикатов [10, 11, 21, 22].

Хитозан — природный полисахарид — получают путем деацетилирования хитина. Этот биосовместимый полимер обладает выраженными биоцидными и иммуномодулирующими свойствами, что делает его перспективным экологически безопасным средством защиты растений [13, 17].

Салицилат хитозана — модифицированная форма хитозана, объединяющая свойства исходного полимера и салициловой кислоты, играющая важнейшую роль в формировании системной приобретенной устойчивости растений к болезням. Данный комплекс эффективно активизирует в растениях синтез фитоалексинов и PR-белков [8, 15].

В последние годы становится актуальным изучение ростостимулирующих и фунгицидных свойств штаммов бактерии рода *Bacillus*, лежащих в основе многих современных биопрепаратов [18, 19]. В ря-

де отечественных исследований подтверждена их способность индуцировать устойчивость растений к биотическим и абиотическим факторам среды. Однако эффективность контроля плотности популяций фитопатогенов при использовании штаммов, в частности *B. subtilis*, зависит от конкуренции бактерии за питательные вещества и пространство для колонизации почвы и ризосферы, способности синтезировать антибиотики, биосурфактанты, сидерофоры и др. [4, 8, 14].

Совместная обработка растений пшеницы штаммами *B. subtilis* и салицилатом хитозана приводит к активации активности каталазы и пероксидазы, регулирующих окислительный стресс при заражении пшеницы желтой ржавчиной, а также усиливает активность антиоксидантных ферментов и накопление фенольных соединений в растениях, что существенно подавляет развитие на них возбудителя *Cochliobolus sativus*, вызывающего симптомы корневой гнили и гельминтоспориозной пятнистости у пшеницы [6, 7].

Грибы рода *Trichoderma* — постоянные обитатели любых типов почвы. Они являются высокоактивными антагонистами возбудителей корневых гнилей, и в том числе *Bipolaris sorokiniana*, используются в качестве регуляторов роста и развития растений, а также применяются для ускорения биодеструкции растительных остатков [1, 9, 23]. Действие триходермы, в том числе вида *T. asperillum*, на возбудителей болезней растений может быть связано со способностью к выделению антибиотиков, а также с конкуренцией микромицета с фитопатогенами. Предпосевная обработка

семян культурой триходермы может способствовать образованию на корнях растений массовых разрастаний, свидетельствующих о формировании своеобразных симбиотических эндофитных сообществ [2].

Цель настоящей работы — биологическое обоснование эффективности применения при возделывании мягкой пшеницы лабораторных образцов штаммов *Bacillus subtilis*, *Trichoderma asperellum* Т-36, 0,1%-ного салицилата хитозана и полифункциональных комплексов на их основе.

МЕТОДИКА

Исследования проведены на опытном поле научно-производственной базы «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР» (59° 44' с.ш. 30° 24' в.д., Ленинградская обл., Россия). Микрополевые опыты были заложены в четырехкратной повторности методом организованных повторений. Площадь опытной делянки для одного варианта опыта составила 1,0 м² (общая площадь — 32 м²), размещение делянок систематическое. Предшественник — картофель. Агротехника возделывания пшеницы соответствовала рекомендованной для зерновых культур ВИР [5]. Посев проводили рядовым способом с междурядьями 15 см и расстоянием в ряду 1–2 см при глубине заделки семян 5–6 см (300 зерен/м²).

Почвы дерново-слабоподзолистые, супесчаные и суглинистые по механическому составу, хорошо окультуренные. Данные о метеорологических условиях в период проведения полевого опыта были предоставлены агрометеорологическим отделом ВИР. Метеорологические условия для возделывания пшеницы складывались неблагоприятно. Были отмечены довольно высокие значения суммы активных температур: в мае (с 11 числа — даты посева) — 336 °С, а в июне — 541,7 °С. При этом сумма выпавших осадков в мае была минимальной и составила 6,1 мм. Июль характеризовался засушливой погодой (гидротермический коэффициент, $ГТК_{июль} = 0,8$), тогда как в августе наблюдалась влажная погода ($ГТК_{август} = 2,1$).

В качестве модельного сорта мягкой яровой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) использовали сорт Ленинградская 6, к-64900, который был создан в Ленинградском научно-исследовательском институте сельского хозяйства «Белогорка» А.В. Наволотским. Сорт был районирован с 1972 г. по 2015 гг., однако до сих пор он является модельным во многих исследованиях пшеницы в Северо-Западном регионе России. Это среднеранний сорт пшеницы с периодом вегетации 75–96 дней. Сорт сильно поражается возбудителями бурой и желтой ржавчины, мучнистой росы, умеренно восприимчив к септориозу.

В экспериментах использовали отобраные высокоактивные штаммы микробов-антагонистов *B. subtilis* ВКМ В-2604D и *B. subtilis* ВКМ В-2605D, *B. subtilis* И-5 и *T. asperillum* Т-36 из «Государственной коллекции микроорганизмов, патогенных для растений и их вредителей» Центра коллективного пользования научным оборудованием «Инновационные технологии защиты растений» ВИЗР. Штаммы выделены нами из окружающей среды, идентифицированы по комплексу морфологических, физиолого-биохимических и молекулярно-генетических признаков, паспортизированы и депонированы в коллекции ВИЗР. Штаммы обладали высокой антагонистической активностью в отношении широкого спектра фитопатогенных грибов и бактерий — возбудителей корневых гнилей, листовых пятнистостей, увяданий и других вредоносных болезней сельскохозяйственных культур [6–8]. Во Всероссийском НИИ защиты растений (ВИЗР) разработан биопрепарат Витаплан на основе композиции двух штаммов — *B. subtilis* ВКМ В-2604D и *B. subtilis* ВКМ В-2605D с различным составом активных комплексов и механизмом действия, обладающий высокой эффективностью по отношению к широкому кругу фитопатогенов.

Схема опыта при анализе эффективности лабораторных образцов на основе штаммов *B. subtilis*, *T. asperillum* Т-36, 0,1%-ного салицилата хитозана (СХ) и их полифункциональных комплексов включала следующие варианты.

Контроль — без обработки. Витаплан, СП — биопрепарат на основе отобраных высокоактивных штаммов *B. subtilis* ВКМ В-2604D и ВКМ В-2605D для защиты сельскохозяйственных культур от грибных и бактериальных болезней («АгроБиоТехнология», Россия).

Витаплан, КЖ (*B. subtilis* ВКМ В-2604D + ВКМ В-2605D) — лабораторный образец биопрепарата — культуральная жидкость двух штаммов *B. subtilis* ВКМ В-2604D и *B. subtilis* ВКМ В-2605D в соотношении 1:1, титр жизнеспособных клеток — 10¹⁰ колониеобразующих единиц КОЕ/мл.

Картофин КЖ — лабораторный образец биопрепарата из культуральной жидкости (КЖ) штамма *B. subtilis* И-5, разведенного водой в 10 раз (титр жизнеспособных клеток 10⁹ КОЕ/мл).

Картофин КЖ+СХ — лабораторный образец биопрепарата, при получении которого в питательную среду для глубинного культивирования *B. subtilis* И-5 добавляли 0,1% СХ (титр 10⁹ КОЕ/мл).

Картофин КЖ–К — композиция, при получении лабораторного образца биопрепарата к 72-часовой культуральной жидкости *B. subtilis* И-5, разведенной водой в 10 раз (титр 10⁹ КОЕ/мл), добавляли СХ до концентрации 0,1 %.

0,1 %-ный СХ получали из хитозана с молекулярной массой 60 кДа со степенью деацетилирования 85 % («Биопрогресс», Россия) согласно методу [12].

T. asperillum Т-36, КЖ 1:10 — лабораторный образец биопрепарата — КЖ штамма *T. asperillum* Т-36, разведенная водой в 10 раз (титр 10^7 КОЕ/мл).

T. asperillum Т-36 КЖ 1:100 — лабораторный образец биопрепарата — КЖ штамма *T. asperillum* Т-36, разведенная водой в 100 раз (титр 10^6 КОЕ/мл).

Глубинное культивирование штаммов *B. subtilis* ВКМ В-2604D, *B. subtilis* ВКМ В-2605D и *B. subtilis* И-5 проводили при 28°C в течение 72 ч на питательной среде следующего состава (г/л): кукурузный экстракт — 30, меласса — 15, рН — 7,8, в колбах объемом 750 мл со 100 мл среды на шейкере-инкубаторе (Heidolph Incubator 1000, Китай) при 180 об./мин. Для определения титра жизнеспособных клеток (КОЕ/мл) 1 мл культуральной жидкости помещали в колбу с 50 см^3 стерильной водопроводной воды и тщательно перемешивали, затем доводили до 100 см^3 стерильной водой и перемешивали до полного равномерного распределения. Концентрация культуры в приготовленной суспензии составляла $0,01\text{ мл/см}^3$. После этого готовили ряд последовательных десятикратных разведений до 10^{-8} .

Посев из разведений 10^{-6} , 10^{-7} , 10^{-8} суспензии культуры на 3 чашки Петри по 1 см^3 производили на ГМФ-агаре. Испытания проводили в трех повторностях.

Чашки с посевами помещали в термостат и инкубировали при температуре $(26 \pm 1)^\circ\text{C}$ 48–72 ч.

Подсчет титра жизнеспособных клеток проводили по формуле:

$T = K \times 2/P$, где T — количество клеток в 1 мл культуральной жидкости, КОЕ/мл; K — среднее количество колоний на одной чашке; P — разведение.

Титр жизнеспособных клеток в полученной КЖ жидкости составил 10^{10} КОЕ/мл.

Глубинное культивирование штамма *T. asperillum* Т-36 проводили при 28°C в течение 96 ч на питательной среде следующего состава (г/л): пептон — 10; глюкоза — 10; дрожжевой экстракт (или БВК) — 5; рН — 7,0, в колбах объемом 750 мл с 100 мл среды на шейкере-инкубаторе Heidolph Incubator 1000 (Heidolph Instruments GmbH, Германия) при 180 об./мин. При титровании культуры использовали питательный агар Чапека, посев разведений проводили поверхностным способом. Титр жизнеспособных клеток в полученной КЖ жидкости составил 10^8 КОЕ/мл.

Семена пшеницы перед посевом подвергали полусухому протравливанию при норме применения 2,5 мл/100 г семян, вегетирующие растения четырехкратному опрыскиванию в фазы кущения, выхода в трубку, колошения и цветения рабочими

растворами препаратов при норме применения 100 мл/м^2 .

В фазы колошения-цветения исследовали комплекс фитометрических показателей пшеницы (по фазам онтогенеза): высота растения, количество и длина первичных и узловых корней, масса корней, продуктивная и общая кустистость, площадь флагового и предфлагового листьев, масса вегетативной части. В фазу созревания (стадия полной спелости) определяли массу колоса и рассчитывали продуктивность одного растения пшеницы (г/растение) [3].

В полевых условиях проводили оценку степени поражения растений корневой гнилью в фазы кущения пшеницы (стадия законченное кущение) и колошения-цветения. Объем выборки для каждого варианта опыта составлял 15 растений. Растения выкапывали с середины делянки, чтобы исключить краевой эффект. Почву с корней удаляли, корни и нижнюю часть стеблей помещали в полиэтиленовый мешок и добавляли бумажную этикетку с номером делянки. В лабораторных условиях тщательно промывали корни и оставляли сушиться на несколько часов. Далее под бинокуляром МБС-9 на листе белой бумаги проводили визуальную оценку развития корневой гнили.

Учет интенсивности развития возбудителей болезней листьев пшеницы (бурая и желтая ржавчина; септориоз, мучнистая роса) был приурочен к основным фазам и стадиям ее онтогенеза: фазам кущения пшеницы (стадия — законченное кущение), флагового листа (выход в трубку; раскрытие последнего листового влагалища), колошения (конец колошения), цветения (начало и конец цветения), созревания (молочная спелость зерна; восковая спелость).

Пораженность пшеницы болезнями изучали по комплексу как общепринятых параметров развития болезни, так и дополнительных фитопатологических показателей: развитие корневой гнили, %; бурой ржавчины, %; число пустул и их площадь, мм^2 ; развитие желтой ржавчины, %; число полос с пустулами, длина полосы с пустулами, мм, число пустул в полосе, суммарное число пустул на листе, площадь пустулы, мм^2 ; развитие мучнистой росы, %; число и площадь пятен (мм^2) с налетом [20].

Биологическую эффективность бактериальных штаммов (БЭ) определяли по формуле Аббота:

$$\text{БЭ} = \frac{R_k - R_e}{R_k} \times 100,$$

где R_k и R_e — развитие болезни или дополнительные фитопатологические характеристики патогенеза (число пустул, пятен и др.), определенные в контроле и опытном варианте [16].

Графические средства пакета прикладных программ IBM SPSS были реализованы для построения гистограмм средних абсолютных значений фитопатологических показателей посевов пшеницы с указанием стандартной ошибки опыта. Методы обработки данных были основаны на выявлении различий между относительными изменениями фитометрических и фитопатологических показателей в вариантах опыта к контролю с использованием критерия Стьюдента при $P < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

При использовании полифункционального комплекса Картофин КЖ–К зарегистрировано максимальное снижение пораженности мягкой пшеницы возбудителем мучнистой росы по сравнению с контролем по комплексу показателей (рис. 1 и 2): развитие болезни ($+_{р.м.р.}^1 = -20,9\%$; БЭ $_{р.м.р.}^2 = 95,4\%$), число пятен с налетом ($+_{п.м.р.} = -58,5\%$); площадь пятен с налетом ($+_{пл.м.р.} = -71,7\%$).

Также статистически достоверное снижение пораженности мягкой пшеницы мучнистой росой по сравнению с контролем отмечено в следующих вариантах опыта:

- *T. asperillum* Т-36, КЖ 1:100: $+_{р.м.р.} = -20,5\%$; БЭ $_{р.м.р.} = 93,9\%$; $+_{п.м.р.} = -55,9\%$, $+_{пл.м.р.} = -79,3\%$.
- Витаплан, СП: $+_{р.м.р.} = -19,5\%$; БЭ $_{р.м.р.} = 89,3\%$; $+_{п.м.р.} = -48,8\%$;
- «Картофин КЖ–СХ»: $+_{р.м.р.} = -15,3\%$; БЭ $_{р.м.р.} = 69,8\%$; $+_{пл.м.р.} = -60,3\%$
- 0,1% СХ: $+_{р.м.р.} = -14,7\%$; БЭ $_{р.м.р.} = 67,2\%$; $+_{п.м.р.} = 28,9\%$; $+_{пл.м.р.} = -76,1\%$;
- *T. asperillum* Т-36, КЖ 1:10: $+_{р.м.р.} = -13,6\%$; БЭ $_{р.м.р.} = 62,3\%$; $+_{пл.м.р.} = -61,7\%$.

В варианте опыта Картофин КЖ–К (рис. 3) выявлено существенное снижение развития септориоза — на 44,1% (БЭ $_{с.}^3 = 74,2\%$). При этом максимальное снижение пораженности мягкой пшеницы болезнью (на 52,9%) отмечено в варианте опыта Картофин КЖ (БЭ $_{с.} = 89,1\%$).

Пораженность мягкой пшеницы желтой ржавчиной в наибольшей степени уменьшилась по сравнению с контролем при использовании Картофин КЖ: по развитию болезни

$+_{р.ж.р.}^4 = -17,6\%$ (БЭ $_{ж.р.} = 64,1\%$), по числу полос с пустулами $+_{п.ж.р.} = -62,2\%$ (рис. 4 и 5). В то же время длина полосы с пустулами микромицета (рис. 6) увеличилась на 40%, но число пустул в полосе стало меньше на 8,6%. Также уменьшилось суммарное число пустул пшеницы (рис. 7) и значения площади пустулы на флаговом листе — на 37,4% и 6,9% соответственно.

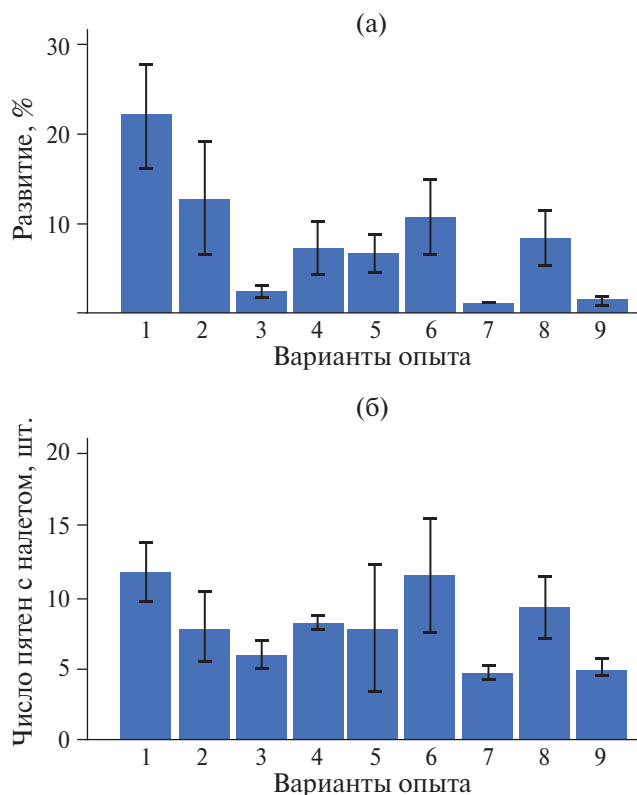


Рис. 1. Развитие мучнистой росы (а) и число пятен с налетом мучнистой росы (б) на флаговых и предфлаговых листьях пшеницы сорта Ленинградская 6 в вариантах опыта: 1 — Контроль (вода); 2 — Витаплан КЖ; 3 — Витаплан СП; 4 — 0,1%-ный СХ; 5 — Картофин КЖ + СХ; 6 — Картофин КЖ; 7 — Картофин КЖ–К; 8 — *T. asperillum* Т-36, КЖ 1:10; 9 — *T. asperillum* Т-36, КЖ 1:100

Fig. 1. Development of powdery mildew (a) and the number of spots with powdery mildew bloom (b) on flag and pre-flag leaves of Leningradskaya 6 wheat variety in the following experimental variants: 1 — Control (water); 2 — Vitaplan CL; 3 — Vitaplan SP; 4 — 0.1% CHS; 5 — Kartofin CL; + CHS; 6 — Kartofin CL; 7 — Kartofin CL–K; 8 — *T. asperillum* T-36, CL 1:10; 9 — *T. asperillum* T-36, CL 1:100

Кроме того, значительное снижение пораженности мягкой пшеницы желтой ржавчиной выявлено в вариантах опыта:

¹ $+ -$ изменение показателя относительно контроля, % «р.м.р.» — развитие мучнистой росы, «п.м.р.» — число пятен с налетом, «пл.м.р.» — площадь пятен с налетом; «+» — положительное изменение; «-» — отрицательное изменение
² БЭ — биологическая эффективность, %
³ «с» — септориоз

⁴ «р.ж.р.» — развитие желтой ржавчины; «п.ж.р.» — число полос с пустулами желтой ржавчины

0,1%СХ – +_{р.ж.р.} = – 15,5% (БЭ_{ж.р.} = 56,6%); +_{п.ж.р.} = – 68,6%. Однако следует отметить, что в указанном варианте опыта длина полосы с пустулами и их число в полосе были несущественно больше по сравнению с контролем (на 32,6% и 15,3%, соответственно). Площадь пустулы микроциста увеличилась в указанном варианте опыта на 42,6%, но суммарное число пустул на флаговом листе снизилось на 23,4%.

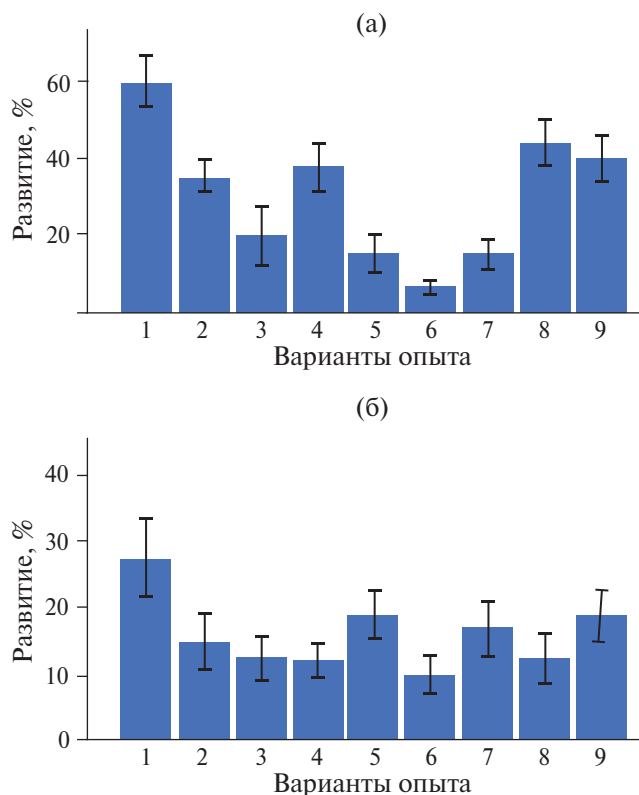


Рис. 2. Развитие септориоза (а) и желтой ржавчины (б) на флаговых и предфлаговых листьях пшеницы сорта Ленинградская 6 в вариантах опыта: 1 — Контроль (вода); 2 — Витаплан КЖ; 3 — Витаплан СП; 4 — 0,1%-ный СХ; 5 — Картофин КЖ + СХ; 6 — Картофин КЖ; 7 — Картофин КЖ–К; 8 — *T. asperellum* T-36, КЖ 1:10; 9 — *T. asperellum* T-36, КЖ 1:100

Fig. 2. Development of septoria (a) and yellow rust (b) on flag and pre-flag leaves of Leningradskaya 6 wheat variety in the following experimental variants: 1 — Control (water); 2 — Vitaplan CL; 3 — Vitaplan SP; 4 — 0.1% CHS; 5 — Kartofin CL + CHS; 6 — Kartofin CL; 7 — Kartofin CL –K; 8 — *T. asperellum* T-36, CL 1:10; 9 — *T. asperellum* T-36, CL 1:100

Витаплан, СП – +_{р.ж.р.} = – 15,2% (БЭ_{ж.р.} = 55,4%); +_{п.ж.р.} = – 68,6%. При этом длина полосы с пустулами увеличилась на 32,6%, а число пустул в полосе и суммарное число пустул на лист снизилось на 11,2% и 44,0%, соответственно. Значение площади пустулы также увеличилось на 46,3%.

T. asperellum T-36, КЖ 1:10 – +_{р.ж.р.} = – 15,0% (БЭ_{ж.р.} = 54,8%); +_{п.ж.р.} = – 74,8%. Однако величины длины полосы с пустулами и число пустул в полосе

было больше по сравнению с контролем на 72,0% и 7,9% соответственно. Значение площади пустулы также увеличилось на 61,8%.

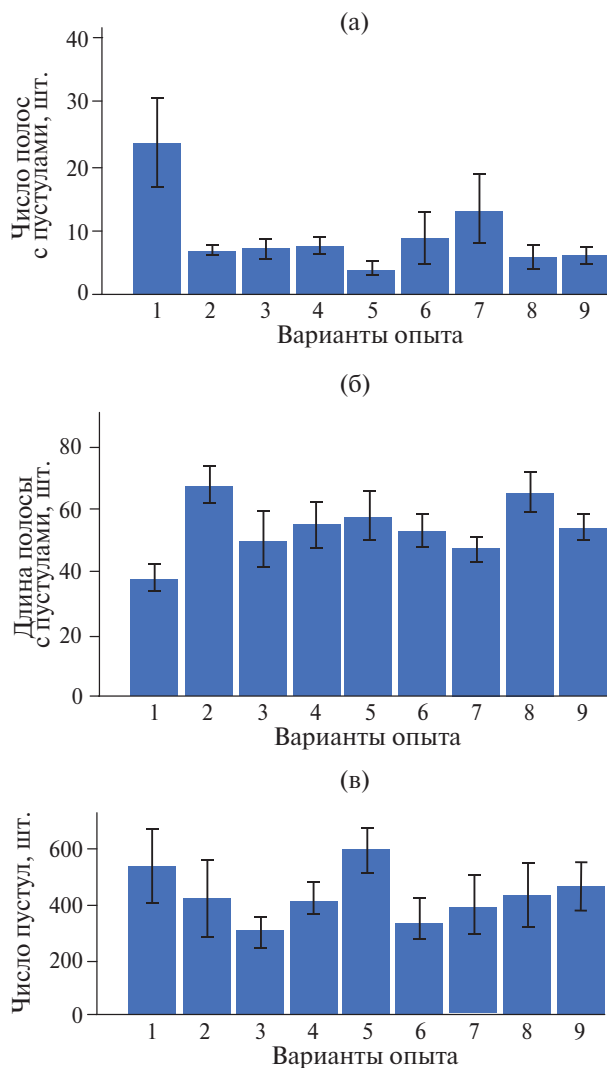


Рис. 3. Число полос (а) и длина полос (б) с пустулами желтой ржавчины, а также их число (в) на флаговых листьях пшеницы сорта Ленинградская 6 в вариантах опыта: 1 — Контроль (вода); 2 — Витаплан КЖ; 3 — Витаплан СП; 4 — 0,1%-ный СХ; 5 — Картофин КЖ + СХ; 6 — Картофин КЖ; 7 — Картофин КЖ–К; 8 — *T. asperellum* T-36, КЖ 1:10; 9 — *T. asperellum* T-36, КЖ 1:100

Fig. 3. The number of stripes (a) and the length of stripes (b) with yellow rust pustules, as well as their number (c) on the flag leaves of the Leningradskaya 6 wheat variety in the following experimental variants: 1 — Control (water); 2 — Vitaplan CL; 3 — Vitaplan SP; 4 — 0.1% CHS; 5 — Kartofin CL + CHS; 6 — Kartofin CL; 7 — Kartofin CL –K; 8 — *T. asperellum* T-36, CL 1:10; 9 — *T. asperellum* T-36, CL 1:100

В период вегетации мягкой пшеницы ее пораженность возбудителем бурой ржавчины была незначительна (в контроле — развитие болезни

$R_0^5=1,0\pm 0,0\%$; число пустул на листе $N_{II}^5=6,0\pm 0,9$, площадь пустулы $S_{пл.п}^5=0,04356\pm 0,0109$ мм². Симптомы развития болезни R_0^6 выявлены только в варианте опыта *T. asperillum* Т-36, КЖ 1:100 ($R_0^6=1,0\pm 0,0\%$, $+_6=0\%$; $N_{II}^6=2,5\pm 0,5$, $+_{II}^6=-58,3\%$; $S_{пл.п}^6=0,09445\pm 0,01935$ мм², $+_{пл.п}^6=116,8\%$).

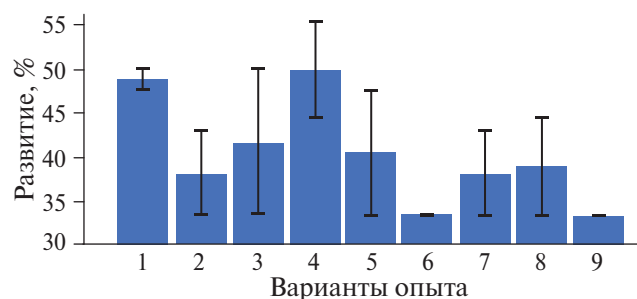


Рис. 4. Развитие корневой гнили пшеницы сорта Ленинградская 6 в вариантах опыта: 1 — Контроль (вода); 2 — Витаплан КЖ; 3 — Витаплан СП; 4 — 0,1%-ный СХ; 5 — Картофин КЖ + СХ; 6 — Картофин КЖ; 7 — Картофин КЖ–К; 8 — *T. asperillum* Т-36, КЖ 1:10; 9 — *T. asperillum* Т-36, КЖ 1:100

Fig. 4. Development of root rot of Leningradskaya 6 wheat variety in the experimental variants: 1 — Control (water); 2 — Vitaplan CL; 3 — Vitaplan SP; 4 — 0.1% CHS; 5 — Kartofin CL + CHS; 6 — Kartofin CL; 7 — Kartofin CL–K; 8 — *T. asperillum* T-36, CL 1:10; 9 — *T. asperillum* T-36, CL 1:100

В равной степени характеризовалось относительное снижение развития корневой гнили пшеницы (на 15,5%) при применении культурной жидкости Картофин КЖ и *T. asperillum* Т-36, КЖ 1:100, а при балльной оценке — в указанных вариантах опыта развитие болезни снизилось на 31,3% по сравнению с контролем (рис. 8).

При применении полифункциональной композиции Картофин КЖ + СХ и культуральной жидкости Картофин КЖ при сравнении с контролем выявлен статистически достоверный рост значений у максимального числа фитометрических показателей пшеницы: семи из четырнадцати (табл. 1). Наибольшей продуктивностью отличались растения в варианте Картофин, КЖ + СХ — $Y_{II}^5 = 0,8\pm 0,1$ г/растение (в контроле: $Y_{II}^5 = 0,4\pm 0,1$ г/растение). Рост показателя по отношению к контролю в указанном варианте опыта составил 92,1%, а в варианте Картофин КЖ — 86,1%.

В варианте опыта Картофин, КЖ + СХ отмечено сокращение межфазного периода развития

растений (на 39,4%), рост высоты (на 55,6%), количества первичных корней (на 63,6%), числа узловых корней (на 118,1%), общей кустистости (на 65,2%), массы вегетативной части (на 241,3%) (рис. 10), массы колоса (на 57,1%).

Применение культуральной жидкости Картофин КЖ также обуславливало сокращение межфазного периода развития растений (на 33,1%), увеличение высоты (на 105,7%), числа первичных корней (на 77,5%), числа узловых корней (на 82,7%), массы вегетативной части (на 206,9%), массы колоса (на 44,7%), массы корней (на 72,5%).

Наиболее значительный рост продуктивной кустистости пшеницы зарегистрирован в варианте опыта Витаплан, СП — на 60,4% и *T. asperillum* Т-36, КЖ 1:10 — на 50,4%. При применении *T. asperillum* Т-36, КЖ 1:10 выявлено сокращение межфазного периода роста растений (на 38,2%), уменьшение числа (на 50,2%) и длины первичных корней (на 50,3%) при увеличении числа узловых корней (на 60,8%), а также определена тенденция роста общей кустистости растений (на 66,9%). Однако максимальным ростом общей кустистости на 77,3% отличались растения в варианте опыта *T. asperillum* Т-36, КЖ 1:100, где отмечено увеличение межфазного периода роста растений (на 28,3%), и снижение длины первичных корней (на 69,9%).

Значения площади флаговых и предфлаговых листьев в вариантах опыта существенно не отличались по сравнению с контролем. Но в то же время тенденция роста площади флагового листа на 59,0% выявлена в варианте опыта *T. asperillum* Т-36, КЖ 1:10.

Таким образом, наибольшим ростостимулирующим и защитным действием обладал полифункциональный комплекс Картофин, КЖ + СХ и композиция Картофин КЖ–К, применение которых позволило существенно повысить продуктивность растений на 92,1% (с 0,4 до 0,8 г/растение) и 51,3% с 0,4 до 0,6 г/растение. Кроме того, в перспективе их использование будет способствовать существенному снижению пораженности мягкой пшеницы мучнистой росой — на 15,3% и 20,9%, БЭ_м = 69,8% и БЭ_м = 95,4% соответственно, а также септориозом — на 44,1%, БЭ_с = 74,3% и на 44,2%, БЭ_с = 74,2% соответственно. Существенное снижение развития желтой ржавчины выявлено в вариантах опыта: Витаплан СП (на 15,2%, БЭ = 55,5%); 0,1% СХ на 15,5%, БЭ = 56,6%; Картофин КЖ на 17,6%, БЭ = 64,1%, *T. asperillum* Т-36, КЖ 1:10 на 15,0%, БЭ = 54,8%. Наибольшее снижение развития корневой гнили — на 15,5% (БЭ = 31,8%) отмечено в вариантах опыта Картофин КЖ и *T. asperillum* Т-36, КЖ 1:100.

⁵ «б» — бурая ржавчина пшеницы; «п» — число пустул бурой ржавчины пшеницы; «пл.п» — площадь пустулы бурой ржавчины

Таблица 1. Фитометрические показатели посево мягкой пшеницы при применении лабораторных образцов штаммов *Vacillus subtilis*, *Trichoderma asperellum* Т-36, 0,1% саццилата хитозана и полифункциональных комплексов

Table 1. Phytometric indicators of soft wheat crops using laboratory samples of *Vacillus subtilis*, *Trichoderma asperellum* T-36 strains, 0.1% chitosan salicylate and multifunctional complexes

Варианты опыта	Ст. показатели	Фаза расте- ния, балл	Высота растения, см	Число первичных корней, шт.	Длина первичных корней, мм	Число узловых корней, шт.	Длина узловых корней, мм	Продуктивная кустистость, шт.
Контроль (вода)	Среднее	42,5	32,0	11,6	79,8	5,6	35,4	1,3
	Ст. ошибка	4,8	5,5	2,1	13,2	0,8	4,2	0,1
Виталлан КЖ	Среднее	55,8*	54,1*	14,7	14,3**	7,7	12,7**	1,4
	Ст. ошибка	2,6	4,3	1,3	4,0	1,1	1,7	0,1
Виталлан СП	Среднее	54,5*	49,9	11,8	22,3**	8,3	14,5**	2,1*
	Ст. ошибка	2,8	8,4	2,3	10,2	1,2	1,8	0,2
0,1% СХ	Среднее	50,0	41,6	16,1	25,0**	8,1	11,5**	1,5
	Ст. ошибка	4,2	7,4	3,0	10,0	1,6	2,0	0,3
Картоффин КЖ + СХ	Среднее	59,3*	49,8*	19,0*	64,3	12,3*	14,1**	1,5
	Ст. ошибка	2,9	7,1	2,2	16,3	1,7	1,8	0,2
Картоффин КЖ	Среднее	56,6*	65,8*	20,6*	60,1	10,3*	19,0**	1,5
	Ст. ошибка	3,0	15,1	3,5	13,7	1,6	2,1	0,2
Картоффин КЖ-К	Среднее	58,9*	60,4*	19,7*	73,7	8,3	18,8**	1,7
	Ст. ошибка	2,2	4,1	2,4	15,7	1,2	3,3	0,2
Т. asperellum Т-36, КЖ 1:10	Среднее	26,3**	28,7	5,8**	39,7**	9,1*	24,5	1,9*
	Ст. ошибка	2,7	3,2	0,6	7,0	1,2	5,7	0,2
Т. asperellum Т-36, КЖ 1:100	Среднее	30,5**	36,0	7,4	24,0**	8,0	41,3	1,7
	Ст. ошибка	3,0	4,4	1,4	7,0	1,6	9,1	0,2

Таблица 1. Продолжение
Table 1. (Contd.)

Варианты опыта	Ст. показатели	Общая ку- стистость	Площадь флагового листа, см ²	Площадь предфлагово- го листа, см ²	Масса кор- ней, г	Масса веге- тативной части, г	Масса колоса, г	Продуктивность, г/растение
Контроль (вода)	Среднее	3,2	2,7	15,3	0,4	1,0	0,3	0,4
	Ст. ошибка	0,4	0,7	9,8	0,1	0,2	0,0	0,1
Витаплан КЖ	Среднее	5,0*	1,9	1,2	0,3	2,6*	0,4	0,6
	Ст. ошибка	0,7	0,7	0,5	0,0	0,3	0,0	0,1
Витаплан СП	Среднее	4,8*	2,7	0,9	0,4	3,2*	0,4	0,9*
	Ст. ошибка	0,5	0,7	0,3	0,1	0,4	0,0	0,1
0,1% салицилат хитозана	Среднее	3,9	3,0	1,4	0,3	2,1*	0,4	0,6
	Ст. ошибка	0,5	1,3	0,7	0,1	0,3	0,0	0,1
Картофин КЖ + СХ	Среднее	5,2*	3,3	3,7	0,4	3,5*	0,5*	0,8*
	Ст. ошибка	0,7	1,2	1,1	0,1	0,4	0,0	0,1
Картофин КЖ	Среднее	4,4	2,9	4,5	0,6*	3,1*	0,5*	0,8*
	Ст. ошибка	0,7	1,0	1,6	0,1	0,6	0,0	0,1
Картофин КЖ-К	Среднее	4,1	3,1	5,3	0,3	2,7*	0,4	0,6*
	Ст. ошибка	0,6	0,9	1,3	0,0	0,3	0,0	0,1
<i>T. asperellum</i> Т-36, КЖ 1:10	Среднее	5,3*	4,4	4,5	0,4	0,7	0,3	0,7*
	Ст. ошибка	0,6	0,8	0,8	0,1	0,1	0,0	0,1
<i>T. asperellum</i> Т-36, КЖ 1:100	Среднее	5,6*	3,3	4,8	0,6	0,9	0,5	0,7*
	Ст. ошибка	0,6	0,7	0,9	0,2	0,1	0,0	0,1

*Различия достоверны с контролем при P<0,05 (положительные изменения); ** различия достоверны с контролем при P<0,05 (отрицательные изменения)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Боданов А.И., Титова Ю.А. Антагонистическая активность штаммов *Trichoderma asperellum* продуцентов мультikonверсионных биопрепаратов // Вестник защиты растений. 2014. № 1. С. 48–52.
2. Домрачева Л.И., Стариков П.А., Ковина А.Л., Ашихмина Т.Я. Использование микромицетов рода *Trichoderma* и консорциумов на их основе в агробиотехнологии // Теоретическая и прикладная экология. 2024. № 1. С. 6–18. <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2024-1-006-018>
3. Колесников Л.Е., Попова Э.В., Новикова И.И. и др. Совместное использование штаммов микроорганизмов и хитозановых комплексов для повышения урожайности пшеницы (*Triticum aestivum* L.) // Сельскохозяйственная биология. 2019. Т. 54. № 5. С. 1024–1040. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2019.5.1024rus>
4. Леяк А.А., Штерншис М.В. Антагонистический потенциал сибирских штаммов *Bacillus* spp. в отношении возбудителей болезней животных и растений // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2014. Т. 1. № 25. С. 42–55.
5. Мережко А.Ф., Удачин Р.А., Зуев Е.В. и др. Пополнение, сохранение в живом виде и изучение мировой коллекции пшеницы, эгилопса и тритикале. Методические указания. СПб: ВИР, 1999. 82 с.
6. Новикова И.И., Попова Э. В., Коваленко Н. М., Краснобаева И.Л. Влияние штаммов *Bacillus subtilis* в сочетании с салицилатом хитозана на активность пероксидазы и каталазы в листьях пшеницы при инфицировании возбудителем темно-бурой пятнистости *B. sorokiniana* // Прикл. биохимия и микробиология. 2024. Т. 60. № 2. С. 193–204. <https://doi.org/10.31857/S0555109924020093>
7. Новикова И.И., Попова Э. В., Краснобаева И.Л., Коваленко Н.М. Пути использования салицилата хитозана для повышения биологической эффективности биопрепарата Витаплан в отношении *Cochliobolus sativus* // Прикл. биохимия и микробиология. 2022. Т. 58. № 3. С. 302–309. <https://doi.org/10.31857/S0555109922030102>
8. Новикова И.И., Попова Э.В., Краснобаева И.Л., Коваленко Н.М. Биологическое обоснование использования индукторов устойчивости на основе хитозана для повышения эффективности биофунгицидов // Сельскохозяйственная биология. 2021. Т. 56. № 3. С. 511–522. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2021.3.511rus>
9. Новикова И.И., Титова Ю.А., Бойкова И.В., Краснобаева И.Л. Направленная селекция психрофильного штамма *Trichoderma asperellum* Г-034 ВИЗР для ускоренной утилизации полимеров растительных остатков и оздоровления почвы // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2019. Т. 23. № 3. С. 328–336. <https://doi.org/10.18699/vj19.497>
10. Павлюшин В.А., Вилкова Н.А., Сухорученко Г.И., Тюттерев С.Л., Нефедова Л.И. Новая парадигма развития защиты растений и ее концептуальное научно-практическое решение // Вестник защиты растений. Т. 3. № 89. 2016. С. 126–127.
11. Павлюшин В. А., Лысов А.К. Фитосанитарная безопасность агроэкосистем и дистанционный фитосанитарный мониторинг в защите растений // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16. № 3. С. 69–78. <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2019-16-3-69-78>
12. Попова Э.В., Домнина Н.С., Сокорнова С.В., Коваленко Н.М., Тюттерев С.Л. Инновационные гибридные иммуномодуляторы растений на основе хитозана и биоактивных антиоксидантов и прооксидантов // Сельскохозяйственная биология. 2021. Т. 56. № 1. С. 158–170. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2021.1.158rus>
13. Тюттерев С.Л. Природные и синтетические индукторы устойчивости растений к болезням. СПб: ВИЗР, 2014. 212 с.
14. Хайруллин Р.М., Минина Т.С., Иргалина Р.Ш., Загребин И.А., Уразбахтина Н.А. Эффективность новых эндофитных штаммов *Bacillus subtilis* в повышении устойчивости пшеницы к болезням // Вестник ОГУ. 2009. № 2. С. 133–137.
15. Щербань А.Б. Хитозан и его производные как перспективные средства защиты растений // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2023. Т. 27. № 8. С. 1010–1021. <https://doi.org/10.18699/vjgb-23-116>
16. Abbott W. Method of computing the effectiveness of an insecticide // Econ. Entomol. 1968. V. 8. P. 265–267.
17. Deepmala K., Hemantaranjan A., Bharti S. et al. A future perspective in crop protection: chitosan and its oligosaccharides // Adv. Plants Agric. Res. 2014. V. 1. № 1. P. 23–30. <https://doi.org/10.15406/apar.2014.01.00006>
18. Dimkić I., Janakiev T., Petrović M., Degrassi G., Fira D. Plant-associated *Bacillus* and *Pseudomonas* antimicrobial activities in plant disease suppression via biological control mechanisms - A review // Physiol. Mol. Plant Pathol. 2022. V. 117. P. 101754. <https://doi.org/10.1016/j.pmp.2021.101754>
19. Fira D., Dimkić I., Berić T., Lozo J., Stanković S. Biological control of plant pathogens by *Bacillus* species // J. Biotechnol. 2018. V. 285. P. 44–55. <https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2018.07.044>

20. Kolesnikov L.E., Belimov A.A., Kudryavtseva E.Y., Hassan B.A., Kolesnikova, Yu.R. Identification of the effectiveness of associative rhizobacteria in spring wheat cultivation // *Agronomy Research*. 2021. V. 19. № 3. P. 1530–1544. <https://doi.org/10.15159/AR.21.145>
21. Ogunnaike B., Banga J.R., Bogle D., Parker R. Editorial: Biological Control Systems and Disease Modeling // *Front. Bioeng. Biotechnol.* 2021. V. 9. P. 677976. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2021.677976>
22. Stasińska-Jakubas M., Hawrylak-Nowak B. Protective, Biostimulating, and Eliciting Effects of Chitosan and Its Derivatives on Crop Plants // *Molecules*. 2022. V. 27. P. 2801. <https://doi.org/10.3390/molecules27092801>
23. Tiwari M., Singh R., Singh R. et al. Heritable priming by *Trichoderma*: A sustainable approach for wheat protection against *Bipolaris sorokiniana* // *Front. Plant Sci. Sec. Plant Pathogen Interactions*. 2022. V.13. №16. P. 1–18. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1050765>

REFERENCES

1. Bogdanov A.I., Titova, Yu.A. Antagonistic activity of *Trichoderma asperellum* strains - multirecycling bioformulation producers. *Vestn. Zashch. Rast.*, 2014, no. 1, pp. 48–52. (In Russ.)
2. Domracheva L.I., Starikov P.A., Kovina A.L., Ashikhmina T.Ya. Application of *Trichoderma micromycetes* and *Trichoderma*-based consortia in agrobiotechnology (review). *Teor. Prikl. Ekol.*, 2024. no. 1, pp. 6–18. (In Russ.)
3. Kolesnikov L.E., Popova E.V., Novikova I.I. et al. Multifunctional biologics which combine microbial anti-fungal strains with chitosan improve soft wheat (*Triticum aestivum* L.) yield and grain quality. *S.-kh. Biol.*, 2019, vol. 54, no. 5, pp. 1024–1040. (In Russ.) <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2019.5.1024rus>
4. Lelyak A.A., Shternshis M.V. Antagonistic potential of Siberian strains of *Bacillus* spp. towards agents causing animal and plant diseases. *Vestn. Tomsk. Gos. Univ. Biol.*, 2014, vol. 1, no. 25, pp. 42–55. (In Russ.)
5. Merezhko A.F., Udachin R.A., Zuev E.V. et al. *Popolnenie, sokhranenie v zhivom vide i izuchenie mirovoi kolleksii pshenitsy, egilopsa i tritikale. Metodicheskie ukazaniya* (Replenishment, Preservation, and Study of the Global Collection of Wheat, Einkorn Wheat, and Triticale. Methodological Guidelines), VIR, 1999. (In Russ.)
6. Novikova I.I., Popova E.V., Kovalenko N.M., Krasnobaeva I.L. Effect of *Bacillus subtilis* in combination with chitosan salicylate on peroxidase and catalase activity in *B. sorokiniana* infected wheat. *Appl. Biochem. Microbiol.*, 2024, vol. 60, no. 2, pp. 193–204. (In Russ.) <https://doi.org/10.31857/S0555109924020093>
7. Novikova I.I., Popova E.V., Krasnobaeva I.L., Kovalenko, N.M. The use of chitosan salicylate to increase the biological efficiency of Vitaplan against *Cochliobolus sativus*. *Appl. Biochem. Microbiol.*, 2022, vol. 58, no. 3, pp. 302–309. (In Russ.) <https://doi.org/10.31857/S0555109922030102>
8. Novikova I.I., Popova E.V., Krasnobaeva I.L., Kovalenko N.M. Biological background to using chitosan inducers to increase the efficiency of biofungicides. *S.-kh. Biol.*, 2021, vol. 56, no. 3, pp. 511–522. (In Russ.) <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2021.3.511rus>
9. Novikova I.I., Titova Yu.A., Boikova I.V., Krasnobaeva, I.L. Controlled breeding of the psychrophilic strain g-034 VIZR of *Trichoderma asperellum* for fast crop residues' polymers utilization and soil enhancement. *Vavilovsk. Zh. Genet. Sel.*, 2019, vol. 23, no. 3, pp. 328–336. (In Russ.) <https://doi.org/10.18699/vj19.497>
10. Pavlyushin V.A., Vilkova N.A., Sukhoruchenko G.I., Tyuterev S.L., Nefedova, L.I. New paradigm of plant protection development and concept of its scientific and practical resolution. *Vestn. Zashch. Rast.*, 2016, vol. 3, no. 89, pp. 126–127. (In Russ.)
11. Pavlyushin V.A. Lysov A.K. Phytosanitary safety of agro-ecological systems and remote phytosanitary monitoring in plant protection. *Sovrem. Probl. Distant. Zondirov. Zemli Kosmosa*, 2019, vol. 16, no. 3, pp. 69–78. (In Russ.)
12. Popova E.V., Domnina N.S., Sokornova C.V., Kovalenko N.M., Tyuterev S.L. Novel hybrid modulators of plant immune responses based on chitosan and bioactive anti-oxidants and pro-oxidants. *S.-kh. Biol.*, 2021, vol. 56, no. 1, pp. 158–170. (In Russ.) <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2021.1.158rus>
13. Tyuterev S.L. *Prirodnye i sinteticheskie induktory ustoichivosti rastenii k bolezniam* (Natural and synthetic inducers of plant disease resistance), St. Petersburg: VIZR, 2014. (In Russ.)
14. Khairullin R.M., Minina T.S., Irgalina R.Sh., Zagrebin I.A., Urazbakhtina N.A. Effectiveness of new endophytic strains *Bacillus subtilis* in increasing of wheat steadiness to illnesses. *Vestn. OGU*, 2009, no. 2, pp. 133–137. (In Russ.)
15. Shcherban A.B. Chitosan and its derivatives as promising plant protection tools. *Vavilovsk. Zh. Genet. Sel.*, 2023, vol. 27, no. 8, pp. 1010–1021. (In Russ.) <https://doi.org/10.18699/vjgb-23-116>
16. Abbott W. Method of computing the effectiveness of an insecticide. *Econ. Entomol.*, 1968, vol. 8, pp. 265–267.
17. Deepmala K., Hemantaranjan A., Bharti S. et al. A future perspective in crop protection: chitosan and its oligosaccharides. *Adv. Plants Agric. Res.*, 2014, vol. 1, no. 1, pp. 23–30. <https://doi.org/10.15406/apar.2014.01.00006>

18. Dimkić I., Janakiev T., Petrović M., Degrassi G., Fira D. Plant-associated *Bacillus* and *Pseudomonas* antimicrobial activities in plant disease suppression via biological control mechanisms - A review. *Physiol. Mol. Plant Pathol.*, 2022, vol. 117, p. 101754. <https://doi.org/10.1016/j.pmpp.2021.101754>
19. Fira D., Dimkić I., Berić T., Lozo J., Stanković S. J. Biological control of plant pathogens by *Bacillus* species. *Biotechnol.*, 2018, vol. 285, pp. 44–55. <https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2018.07.044>
20. Kolesnikov L.E., Belimov A.A., Kudryavtseva E.Y., Hassan B.A., Kolesnikova Yu.R. Identification of the effectiveness of associative rhizobacteria in spring wheat cultivation. *Agron. Res.*, 2021, vol. 19, no. 3, pp. 1530–1544. <https://doi.org/10.15159/AR.21.145>
21. Ogunnaiké B., Banga J.R., Bogle D., Parker R. Editorial: biological control systems and disease modeling. *Front. Bioeng. Biotechnol.*, 2021, vol. 9, p. 677976. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2021.677976>
22. Stasińska-Jakubas M., Hawrylak-Nowak B. Protective, biostimulating, and eliciting effects of chitosan and its derivatives on crop plants. *Molecules*, 2022, vol. 27, p. 2801. <https://doi.org/10.3390/molecules27092801>
23. Tiwari M., Singh R., Singh R. et al. Heritable priming by *Trichoderma*: A sustainable approach for wheat protection against *Bipolaris sorokiniana*. *Front. Plant Sci. Sec. Plant Pathogen Interact.*, 2022, vol. 13, no. 16, pp. 1–18. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1050765>

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Новикова Ирина Игоревна — доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник лаб. микробиологической защиты растений ФГБНУ ВИЗР, Санкт-Петербург, Российская Федерация
E-mail: irina_novikova@inbox.ru
<https://orcid.org/0000-0003-2816-2151>

Попова Эльза Викторовна — кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаб. микробиологической защиты растений ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений, Санкт-Петербург, Российская Федерация
E-mail: elzavpopova@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-3165-6777>

Колесников Леонид Евгеньевич — доктор биологических наук, зав. кафедрой Защиты и карантина растений СПбГАУ, Санкт-Петербург, Российская Федерация
E-mail: kleon9@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0003-3765-1192>

Краснобаева Ирина Леонтьевна — кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаб. микробиологической защиты растений ФГБНУ ВИЗР, Санкт-Петербург, Российская Федерация
E-mail: krasnobaeva08@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-9166-4475>

Колесникова Юлия Рудольфовна — кандидат биологических наук, старший научный сотрудник ФГБНУ ФИЦ Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова, Санкт-Петербург, Российская Федерация
E-mail: jusab@ya.ru
<https://orcid.org/0000-0002-4002-220X>

ABOUT THE AUTHORS

Novikova, Irina I. — Ph.D. (Biology), Head Scientist Researcher, Lab. of Microbiological Plant Protection All-Russian Research Institute of Plant Protection, St. Petersburg, Russian Federation
E-mail: irina_novikova@inbox.ru
<https://orcid.org/0000-0003-2816-2151>

Popova, Elza V. — Cand. Sc. (Biology), Senior Research Officer, Lab. of Microbiological Plant Protection, All-Russian Research Institute of Plant Protection, St. Petersburg, Russian Federation
E-mail: elzavpopova@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-3165-6777>

Kolesnikov, Leonid E. — Ph.D. (Biology), head of the Department of plant protection and quarantine, Saint-Petersburg State Agrarian University, St. Petersburg, Russian Federation
E-mail: kleon9@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0003-3765-1192>

Krasnobaeva, Irina L. — Cand. Sc. (Biology), Senior Research Officer, Lab. of Microbiological Plant Protection All-Russian Research Institute of Plant Protection, St. Petersburg, Russian Federation
E-mail: krasnobaeva08@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-9166-4475>

Kolesnikova, Yulia R. — Cand. Sc. (Biology), Senior Research Officer, research scientist, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), St. Petersburg, Russian Federation
E-mail: jusab@ya.ru
<https://orcid.org/0000-0002-4002-220X>

Хигерович Людмила Алексеевна — инженер-исследователь, аспирант лаборатории микробиологической защиты растений ФГБНУ ВИЗР, Санкт-Петербург, Российская Федерация

E-mail: hvitachi@mail.ru

<https://orcid.org/0009-0008-6526-2737>

Радишевский Дмитрий Юрьевич — аспирант СПбГАУ, Санкт-Петербург, Российская Федерация

Шевцов Максим Владимирович — аспирант СПбГАУ, Санкт-Петербург, Российская Федерация

E-mail: shevtsov.mak@mail.ru

<https://orcid.org/0009-0009-4785-9393>

Higherovich, Lyudmila A. — research engineer, Postgraduate student, Lab of Microbiological Plant Protection All-Russian Research Institute of Plant Protection, St. Petersburg, Russian Federation

E-mail: hvitachi@mail.ru

<https://orcid.org/0009-0008-6526-2737>

Radishevskiy, Dmitriy Yu. — Postgraduate student of the Department of Plant Protection and Quarantine Saint-Petersburg State Agrarian University (SPbGAU), St. Petersburg, Russian Federation

Shevtsov, Maxim V. — Postgraduate student of the Department of Plant Protection and Quarantine, Saint-Petersburg State Agrarian University (SPbGAU), St. Petersburg, Russian Federation

E-mail: shevtsov.mak@mail.ru

<https://orcid.org/0009-0009-4785-9393>

Поступила в редакцию 20.06.2025

После доработки 26.08.2025

Принята к публикации 05.12.2025

Received June 20, 2025

Revised August 26, 2025

Accepted December 05, 2025