

<https://doi.org/10.31279/2949-4796-2025-15-4-57-68>

Совершенствование системы защиты яровой пшеницы с учетом мониторинга динамики листостебельных микозов и применения биопрепаратов в Республике Татарстан, Россия

КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:

Радик Ильясович Сафин

E-mail: radiksaf2@mail.ru

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Абрамова А.А., Вафин И.Х.,
Медведев Н.А., Сафин Р.И.
Совершенствование системы
защиты яровой пшеницы
с учетом мониторинга динамики
листостебельных микозов
и применения биопрепаратов
в Республике Татарстан, Россия.

*Аграрный вестник Северного
Кавказа*. 2025;15(4):57-68.

<https://doi.org/10.31279/2949-4796-2025-15-4-57-68> EDN MONLPZ

ПОСТУПИЛА: 15.09.2025

ДОРАБОТАНА: 24.11.2025

ПРИНЯТА: 04.12.2025

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:

авторы сообщают об отсутствии
конфликта интересов.

ФИНАНСИРОВАНИЕ:

Работа выполнена в рамках
государственного задания
по теме: «Разработка комплексных
средств защиты растений
от болезней на основе эндофитных
бактерий и органоминеральных
составов для использования
в органическом
и биологизированном
земледелии».

COPYRIGHT: © 2025 Абрамова А.А.,
Вафин И.Х.,
Медведев Н.А.,
Сафин Р.И.



А.А. Абрамова, И.Х. Вафин , Н.А. Медведев, Р.И. Сафин

Казанский государственный аграрный университет,
Казань, Россия

АННОТАЦИЯ

ВВЕДЕНИЕ. В условиях нарастания фунгицидной резистентности и климатических изменений разработка биологических методов защиты яровой пшеницы от листостебельных микозов становится особенно актуальной для аграрных регионов России. Хотя химические фунгициды доминируют в современных системах защиты, их эффективность снижается из-за развития резистентности у патогенов. При этом остаются недостаточно изученными региональные особенности формирования патогенного комплекса и эффективность комбинированных биопрепаратов на основе эндофитных бактерий с органическими кислотами для конкретных агроклиматических зон.

ЦЕЛЬ. Исследовать многолетнюю динамику развития листостебельных микозов яровой пшеницы и оценить биологическую эффективность биопрепаратов на основе штаммов *Bacillus mojavensis* PS17 и *Bacillus amyloliquefaciens* KS-25 AU в комбинации с органическими кислотами в условиях Предкамья Республики Татарстан.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. Для оценки динамики микозов использовались данные фитопатологических учетов, проводимых в 2002–2025 гг. На сорте Ульяновская 105 изучалась обработка семян и опрыскивание биопрепаратом на основе *Bacillus mojavensis* PS17 при разных нормах его расхода. На сорте Экада 214 оценивалось применение экспериментальных биопрепаратов на основе *Bacillus amyloliquefaciens* KS-25 AU и различных органических кислот (аскорбиновая и янтарная).

РЕЗУЛЬТАТЫ. Установлено доминирование септориоза листьев в патогенном комплексе с превышением экономического порога вредоносности в период наблюдения. Наибольшая эффективность в контроле болезней достигнута при применении *Bacillus mojavensis* PS17 по схеме 1,0 л/т + 1,0 л/га: снижение развития септориоза на 68,6 и прибавка урожая 9,2 %. Композиции на основе *Bacillus amyloliquefaciens* KS-25 AU с органическими кислотами при двукратном применении обеспечили снижение развития болезней на 32–77 и увеличение урожайности на 11,9–13,3 %.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Доказана высокая эффективность биопрепаратов на основе изученных штаммов эндофитных бактерий в сочетании с органическими кислотами для условий Предкамья Республики Татарстан. Результаты работы позволяют рекомендовать данные разработки для практического использования в региональных системах защиты яровой пшеницы как экологически безопасную альтернативу химическим фунгицидам.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: яровая пшеница, листостебельные микозы, биопрепараты, эндофитные бактерии, септориоз, органические кислоты, Республика Татарстан

<https://doi.org/10.31279/2949-4796-2025-15-4-57-68>

Improving the spring wheat protection system through monitoring the dynamics of leaf and stem mycoses and application of biological preparations in the Republic of Tatarstan, Russia

CORRESPONDENCE:

Radik I. Safin

E-mail: radiksaf2@mail.ru

FOR CITATION:

Abramova A.A., Vafin I.Kh., Medvedev N.A., Safin R.I. Improving the spring wheat protection system through monitoring the dynamics of leaf and stem mycoses and application of biological preparations in the Republic of Tatarstan, Russia. *Agrarian Bulletin of the North Caucasus*. 2025;15(4):57-68. <https://doi.org/10.31279/2949-4796-2025-15-4-57-68> EDN MONLPZ

RECEIVED: 15.09.2025

REVISED: 24.11.2025

ACCEPTED: 04.12.2025

DECLARATION OF COMPETING INTEREST:

none declared.

FUNDING:

The work was carried out within the framework of a state assignment on the topic: "Development of complex plant protection products against diseases based on endophytic bacteria and organomineral compositions for use in organic and biologized farming".

COPYRIGHT: © 2025 Abramova A.A., Vafin I.Kh., Medvedev N.A., Safin R.I.



Arina A. Abramova, Ilshat Kh. Vafin , Nikita A. Medvedev, Radik I. Safin

Kazan State Agrarian University, Kazan, Russia

ABSTRACT

INTRODUCTION. In the context of increasing fungicide resistance and climate change, the development of biological methods for protecting spring wheat against leaf and stem mycoses is becoming particularly relevant for agricultural regions of Russia. Although chemical fungicides dominate current protection systems, their efficacy is declining due to the development of pathogen resistance. Furthermore, regional specifics of pathogenic complex formation and the effectiveness of combined biopreparations based on endophytic bacteria with organic acids for specific agroclimatic zones remain insufficiently studied.

AIM. To investigate the long-term dynamics of leaf and stem mycoses development in spring wheat and to evaluate the biological efficacy of biopreparations based on strains *Bacillus mojavensis* PS17 and *Bacillus amyloliquefaciens* KS-25 AU in combination with organic acids in the conditions of the Predkamye region of the Republic of Tatarstan.

MATERIALS AND METHODS. Phytopathological survey data from 2002–2025 were used to assess mycoses dynamics. On the Ulyanovskaya 105 cultivar, seed treatment and spraying with a biopreparation based on *Bacillus mojavensis* PS17 at different application rates were studied. On the Ekada 214 cultivar, the application of experimental biopreparations based on *Bacillus amyloliquefaciens* KS-25 AU and various organic acids (ascorbic and succinic) was evaluated.

RESULTS. Leaf septoria was identified as the dominant disease in the pathogenic complex, exceeding the economic damage threshold during the observation period. The highest efficacy in disease control was achieved using *Bacillus mojavensis* PS17 according to the scheme 1.0 L/t (seed treatment) + 1.0 L/ha (spraying): reduction of septoria development by 68.6 and a yield increase of 9.2%. Compositions based on *Bacillus amyloliquefaciens* KS-25 AU with organic acids, when applied twice, ensured a reduction in disease development by 32–77 and an increase in yield by 11.9–13.3%.

CONCLUSION. The work demonstrates high efficacy of biopreparations based on the studied strains of endophytic bacteria in combination with organic acids for the conditions of the Predkamye region of the Republic of Tatarstan. The results allow recommending these developments for practical use in regional spring wheat protection systems as an environmentally safe alternative to chemical fungicides.

KEYWORDS: Spring wheat, leaf and stem mycoses, biological preparations, endophytic bacteria, septoria, organic acids, Tatarstan Republic

ВВЕДЕНИЕ

Производство зерна пшеницы имеет глобальное значение для продовольственной безопасности, обеспечивая почти 20 % мировой потребности человечества в растительных белках и энергии [1; 2]. Однако повсеместно генетический потенциал современных сортов реализуется не в полной мере из-за значительных потерь урожая, наносимых вредными организмами, которые могут достигать 10–50 % [3; 4]. Значительная доля этих потерь связана с инфекционными болезнями. Мировой ущерб только от комплекса пяти наиболее распространенных заболеваний пшеницы оценивается в 24,3–62,0 млн т зерна ежегодно, что эквивалентно 4,2–10,8 млрд долларов США [6]. К числу наиболее опасных относятся листостебельные микозы, ущерб от которых в благоприятных условиях может превышать половину урожая [7].

В Российской Федерации проблема болезней пшеницы также стоит крайне остро. По данным за 2000–2016 гг., в стране было зарегистрировано более 10 эпилитотий, каждая из которых приводила к потерям свыше 20 % урожая [5]. Среди доминирующих заболеваний, распространенных в основных регионах возделывания яровой пшеницы, – септориоз листьев (*Zymoseptoria tritici*), бурая листовая ржавчина (*Puccinia tritica*), настоящая мучнистая роса (*Blumeria graminis*) и темно-бурая пятнистость (*Bipolaris sorokiniana*) [8; 9].

Для агроэкологических условий Республики Татарстан, являющейся одним из значимых зернопроизводящих регионов России, характерны свои особенности формирования патогенного комплекса. Наблюдаемые климатические изменения, такие как рост температур и увеличение количества осадков в отдельные периоды вегетации, создают благоприятные условия для развития листостебельных микозов, что требует постоянного мониторинга и разработки адаптированных систем защиты. Несмотря на общую изученность листостебельных микозов, недостаточно исследованной остается многолетняя динамика структуры патогенного комплекса на яровой пшенице в условиях Предкамья Татарстана и эффективность современных биологических средств контроля, учитывающих региональную специфику.

Традиционно в современных системах защиты яровой пшеницы, особенно в условиях развития

эпифитотий, для контроля болезней широко применяются различные системные фунгициды, относящиеся к разным химическим группам [10–12]. Вместе с тем применение фунгицидов сталкивается со значительными вызовами, важнейшими из которых стали: развитие резистентности к ним у фитопатогенов [13; 14]; негативное влияние остатков препаратов на микробиом и биологическую активность почвы [15]; значительный рост стоимости и затрат на их применение [16; 17]. В связи с этим возникает необходимость в поиске возможных альтернатив использованию фунгицидов, в том числе на основе различных биопрепаратов [18].

В качестве биологических агентов новых биофунгицидов могут выступать как различные микроорганизмы, так и ряд природных соединений, в том числе и органические кислоты. Среди групп микроорганизмов, перспективных для разработки новых биофунгицидов, все большее внимание привлекают эндофитные бактерии, в том числе заселяющие семена [19; 20]. Одним из механизмов положительного действия таких бактерий на снижение поражения сельскохозяйственных культур фитопатогенами выступает их активная роль в повышении устойчивости растений [21; 22]. Другим возможным решением в контроле инфекционных болезней могут стать природные органические кислоты (аскорбиновая, салициловая, янтарная и др.), которые также оказывают выраженное иммунизирующее действие на растительные организмы [23]. Имеются сведения о высокой активности смесей различных бактерий и органических кислот как в повышении урожайности, так и в снижении развития болезней [24]. Однако эффективность применения биопрепаратов на основе эндофитных бактерий, а также их смесей с органическими кислотами для защиты яровой пшеницы от листостебельных микозов в Республике Татарстан и в зоне Среднего Поволжья Российской Федерации остается малоизученной.

Цель исследования заключалась в изучении многолетней динамики развития листостебельных микозов яровой пшеницы в условиях Республики Татарстан и оценке эффективности комбинированных биологических методов контроля на основе эндофитных бактерий *Bacillus mojavensis* PS17 и *Bacillus amyloliquefaciens* KS-25 AU и органических кислот для защиты растений и повышения урожайности культуры.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материалы

Для анализа многолетней динамики развития листостебельных микозов использовались данные, полученные в ходе фитопатологических наблюдений на посевах яровой мягкой, проведенные на опытных полях Казанского государственного аграрного университета за период 2002–2025 гг. В качестве объекта исследований по оценке влияния биопрепарата на основе эндофитной бактерии *Bacillus mojavensis* PS17 выступал сорт яровой мягкой пшеницы сорта Ульяновская 105. Сорт Ульяновская 105 относится к среднеспелой группе. Бурой ржавчиной и мучнистой росой в полевых условиях поражался средне. Штамм *Bacillus mojavensis* PS17 входит в состав биологического препарата Системика М.

В 2025 году полевые исследования проводились на яровой пшенице сорта Экада 214. Сорт относится к среднеспелой группе. Умеренно восприимчив к бурой ржавчине. В полевых условиях мучнистой росой поражался слабо, септориозом – сильно. При этом в качестве объектов исследований выступали биопрепараты на основе смеси культуры эндофитных бактерий (*Bacillus amyloliquefaciens* KS-25 AU) и органических кислот (аскорбиновая, янтарная).

Методы

Учеты болезней проводились по соответствующим методикам (бурой листовой ржавчины – по шкале Петерсона; септориоза листьев – по шкале Джеймса; настоящей мучнистой росы – по шкале Гешеле). Наблюдения проводились на вариантах, где не использовались фунгициды.

Для более точной оценки влияния обработок на развитие болезней использовались показатели площади под кривой развития болезни (ПКРБ), рассчитываемой по формуле G. Shaner и R. E. Finney (1977).

Климатические условия

В 2020–2022 годах один вегетационный период (2021 г.) отличался недостатком увлажнения, тогда как в два года условия были сравнительно бла-

гоприятными для формирования урожая яровой пшеницы. Агроклиматические условия вегетации 2025 года были благоприятными для развития листостебельных микозов яровой пшеницы, так как периодически отмечались периоды с большим количеством осадков и умеренными температурами.

Процедура исследования

Полевые опыты по оценке влияния применения биопрепарата на основе эндофитной бактерии *Bacillus mojavensis* PS17 проводились в 2020–2022 гг. Схема опыта включала в себя варианты: 1. Контроль (без обработки). 2. Обработка семян (0,5 л/т) + обработка в период вегетации (0,5 л/га) (схема 1); 3. Обработка семян (1,0 л/т) + обработка в период вегетации (1,0 л/га) (схема 2); 4. Обработка семян (1,5 л/т) + обработка в период вегетации (1,5 л/га) (схема 3). При обработке семян расход рабочей жидкости был равен 10 л/т, при опрыскивании (в фазу колошения) – 200 л/га.

В 2025 году проводились исследования на яровой пшенице сорта Экада 214 по оценке эффективности использования смеси культуры эндофитных бактерий и органических кислот (аскорбиновая, янтарная). Схема опыта: 1. Контроль. 2. *Bacillus amyloliquefaciens* KS-25 AU + аскорбиновая кислота, 1 л/га (одна обработка – фаза выхода в трубку); 3. *Bacillus amyloliquefaciens* KS-25 AU + янтарная кислота, 1 л/га (одна обработка – фаза выхода в трубку); 4. *Bacillus amyloliquefaciens* KS-25 AU + аскорбиновая кислота, 1 л/га (две обработки – фаза выхода в трубку и колошение); 5. *Bacillus amyloliquefaciens* KS-25 AU + янтарная кислота, 1 л/га (две обработки – фаза выхода в трубку и колошение). Расход рабочей жидкости составил 200 л/га.

В опытах общая площадь делянки была 25 м², учетная – 20 м², в четырехкратной повторности. Полевые опыты закладывались на серой лесной, среднесуглинистой, хорошо окультуренной почве с применением рекомендованной для зоны агротехнологии возделывания яровой мягкой пшеницы.

Анализ данных

Обработка данных проводилась с использованием однофакторного дисперсионного анализа по общепринятым методикам.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Фитопатологический мониторинг посевов яровой пшеницы, проводимый на опытных полях Казанского ГАУ, показал, что ежегодно на листьях культуры развивались такие болезни, как бурая листовая ржавчина (*Puccinia triticina* Erikss.), септориоз листьев (*Zymoseptoria tritici* (Desm.) Quaedvlieg & Crous), настоящая мучнистая роса (*Blumeria graminis* (DC.) Speer), темно-бурая пятнистость (*Bipolaris sorokiniana* (Sacc.) Shoemaker), очень редко отмечалось поражение желтой пятнистостью листьев (пиренофороз) (*Pyrenophora tritici-repentis* (Died.) Drechsler). Данные по оценке многолетней динамики развития листовых болезней яровой пшеницы приведены в таблице 1.

Полученные результаты показали, что в рассматриваемый период среди всех изучаемых болезней наиболее интенсивно листовая поверхность поражалась септориозом листьев (некротрофный патоген), причем из 24 лет наблюдений в 13 годах развитие болезни в фазу колошения превышало уровень 20 %. Для биотрофных патогенов (бурая листовая ржавчина, настоящая мучнистая роса) средние показатели были примерно на одном уровне, частота вспышек заболевания (развитие болезни выше 20 %) была значительно ниже, чем для септориоза. Для темно-бурой пятнистости отмечается постепенный тренд на рост поражения растений яровой пшеницы, но превышение раз-

вития болезни более 20 % не отмечалось. В годы исследований отмечалась высокая вариабельность развития болезней по годам (коэффициент вариации), особенно для настоящей мучнистой росы. Полученные результаты позволяют сделать вывод о доминировании среди листовых микозов септориоза колоса, что может быть связано с изменениями климата, отмечаемыми на территории Республики Татарстан (рост температуры воздуха в период вегетации).

Данные по определению показателей развития болезней при использовании различных вариантов обработок биопрепаратом с эндофитными бактериями приведены в таблице 2.

В контроле среди обнаруженных заболеваний за вегетацию преобладал септориоз листьев, а в меньшей степени отмечалось поражение листьев настоящей мучнистой росой. Применение схем с обработкой семян и опрыскиванием биопрепаратом на основе *Bacillus mojavensis* PS17 способствовало значительному снижению развития всех изучаемых микозов яровой пшеницы, причем наибольшие показатели биологической эффективности для всех схем обработки были в отношении септориоза. Среди изучаемых вариантов наиболее эффективной в контроле микозов оказалась схема 3.

Результаты по урожайности яровой пшеницы приведены в таблице 3.

Таблица 1

Оценка поражения (развития болезни) листовой поверхности яровой пшеницы листостебельными микозами в фазу колошения, 2002–2025 гг., %

Table 1

Assessment of damage (disease development) of the leaf surface in spring wheat by leaf-stem mycoses in the heading phase, 2002–2025, %

Период	Бурая листовая ржавчина	Мучнистая роса	Септориоз листьев	Темно-бурая пятнистость
Среднее значение, %	11,2	11,9	22,7	6,9
Коэффициент вариации, %	56,9	73,6	47,9	40,2
ЭПВ*	5–10	5–10	10–20	10–20
Количество лет с превышением поражения листьев более 10 %	13	12	21	7
Количество лет с превышением поражения листьев более 20 %	3	4	13	0

*Примечание: ЭПВ – экономический порог вредоносности в фазу колошения

* Note: ETL – economic threshold of harmfulness at the heading phase

Таблица 2

Показатели развития болезней (ПКРБ) и биологическая эффективность контроля листовых микозов при использовании биопрепарата на основе *Bacillus mojavensis* PS17, 2020–2022 гг.

Table 2

Disease development indicators and biological effectiveness of foliar mycosis control using a biological product based on *Bacillus mojavensis* PS17, 2020–2022

Вариант	Показатели ПКРБ, усл. ед.			Биологическая эффективность, %		
	Бурая листовая ржавчина	Настоящая мучнистая роса	Септориоз листьев	Бурая листовая ржавчина	Настоящая мучнистая роса	Септориоз листьев
Контроль	880,8	715,4	1480,3	–	–	–
Схема 1 (0,5 л/т + 0,5 л/га)	577,3	470,9	770,8	34,5	34,2	47,9
Схема 2 (1,0 л/т + 1,0 л/га)	521,1	377,5	464,7	40,8	47,2	68,6
Схема 3 (1,5 л/т + 1,5 л/га)	216,8	254,6	334,5	75,4	64,4	77,4
НСР ₀₅	25,3	22,0	36,2	–	–	–

Таблица 3

Урожайность яровой пшеницы сорта Ульяновская 105 при использовании схем обработки с биопрепаратом на основе *Bacillus mojavensis* PS17, т/га, 2020–2022 гг.

Table 3

Yield of Ulyanovskaya 105 spring wheat cultivar when using treatment schemes with a biopreparation based on *Bacillus mojavensis* PS17, t/ha, 2020–2022

Вариант	2020 г.	2021 г.	2022 г.	В среднем за 3 года	Прибавка к контролю, %
Контроль	3,91	2,40	3,37	3,23	–
Схема 1 (0,5 л/т + 0,5 л/га)	3,75	2,59	3,61	3,32	2,7
Схема 2 (1,0 л/т + 1,0 л/га)	4,27	2,65	3,66	3,53	9,2
Схема 3 (1,5 л/т + 1,5 л/га)	3,95	2,69	3,58	3,41	5,5
НСР ₀₅	0,18	0,11	0,16	–	–

В благоприятных по увлажнению условиях 2020 года, сформировалась максимальная урожайность яровой пшеницы, но достоверная отдача от применения биопрепарата на основе *Bacillus mojavensis* PS17 была достигнута только при использовании схемы 2. В засушливом 2021 году и в относительно благоприятном 2022 году все варианты обработки обеспечили достоверный рост урожайности. В среднем за годы исследований оптимальной схемой обработки была схема 2 (обработка семян с нормой 1,0 л/га и опрыскивание с нормой 1,0 л/га), использование которой обеспечило рост урожайности на 0,31 т/га. или на 9,2 % к контролю.

Использование препаратов на основе эндофитных бактерий и органических кислот оказало влияние на развитие листовых болезней (таблица 4).

В 2025 году среди листовых микозов преобладал септориоз, тогда как настоящая мучнистая роса имела слабое распространение. Однократная обработка опытными препаратами оказала слабое влияние на снижение развития болезни (величина биологической эффективности против бурой листовой ржавчины – 6–10, против септориоза листьев – 2–6 %). В то же время двукратная обработка способствовала снижению поражения растений септориозом на 32–36, ржавчиной – на 36–37 %. Некоторое преимущество по контролю обоих листовых микозов имел вариант, где применяли препарат на основе смеси *Bacillus amyloliquefaciens* KS-25 AU с янтарной кислотой.

Результаты оценки урожайности (таблица 5) показали, что использование однократной обработки препаратом с аскорбиновой кислотой не оказало существенного влияния на рост урожайности, тогда как препарат с янтарной кислотой обеспечил рост урожайности уже при использовании одной обработки. В то же время двукратная обработка обоими изучаемыми препаратами обеспечила рост урожайности яровой пшеницы сорта Экада 214, но достоверных различий между вариантами по урожайности не отмечалось.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В результате проведенных исследований было установлено, что в условиях Предкамской зоны Республики Татарстан в период 2002–2025 годов отмечается устойчивая тенденция увеличения развития и вредоносности септориоза листьев, вызываемого патогеном (*Zymoseptoria tritici*), относящимся к некротрофным патогенам. Для данного микоза частота лет с превышением значений развития болезни в фазу колошения выше 10 % составила 88 %,

Таблица 4

Развитие листовых микозов яровой пшеницы в фазу конец колошения – начало цветения при использовании экспериментальных препаратов, %, 2025 г.

Table 4

Development of foliar mycoses of spring wheat in the end-heading-beginning-flowering phase using experimental preparations in 2025, %

Вариант	Бурая листовая ржавчина	Настоящая мучнистая роса	Септориоз листьев
Контроль	10,2	1,8	22,2
Однократная обработка			
<i>Bacillus amyloliquefaciens</i> KS-25 AU + аскорбиновая кислота	9,6	0	21,8
<i>Bacillus amyloliquefaciens</i> KS-25 AU + янтарная кислота	9,2	0	20,8
Двукратная обработка			
<i>Bacillus amyloliquefaciens</i> KS-25 AU + аскорбиновая кислота	6,5	0	15,2
<i>Bacillus amyloliquefaciens</i> KS-25 AU + янтарная кислота	6,4	0	14,3

Таблица 5

Урожайность яровой пшеницы сорта Экада 214 при использовании экспериментальных препаратов, т/га, 2025 г.

Table 5

Yield of Ekada 214 spring wheat cultivar using experimental preparations in 2025, t/ha

Вариант	Урожайность, т/га	Прибавка к контролю, т/га	Прибавка к контролю, %
Контроль	4,13	–	–
Однократная обработка			
<i>Bacillus amyloliquefaciens</i> KS-25 AU + аскорбиновая кислота	4,23	0,10	2,4
<i>Bacillus amyloliquefaciens</i> KS-25 AU + янтарная кислота	4,53	0,40	9,7
Двукратная обработка			
<i>Bacillus amyloliquefaciens</i> KS-25 AU + аскорбиновая кислота	4,62	0,49	11,9
<i>Bacillus amyloliquefaciens</i> KS-25 AU + янтарная кислота	4,68	0,55	13,3
НСП ₀₅	0,14	–	–

а выше 20 % – 54,2 %. Аналогичные значения для бурой листовой ржавчины (биотрофный патоген) составили соответственно 54,1 и 12,5 %. Полученные данные имеют существенное значение с точки зрения оптимизации защитных мероприятий и разработки стратегии контроля листо-стеблевых болезней. Одной из возможных причин такого сдвига в сторону развития микозов, вызывающих пятнистости листьев (некротрофных и гемиботрофных патогенов), могут быть климатические изменения в зоне проведения опытов (Республика Татарстан), в частности, проявляющиеся в тенденции роста суммы эффективных температур и засушливости климата [25], что способствует лучшему развитию данного заболевания. Аналогичные результаты были получены и в исследованиях, проведенных в 1996–2021 гг. в Северной Европе, где также отмечается рост поражения пшеницы септориозом листьев, что также связывается с ростом температуры в период вегетации культуры [26]. Полученные результаты могут стать еще одним подтверждением влияния климатических изменений на динамику болезней растений [27–29].

Результаты исследований по использованию комплексных схем (обработка семян и опрыскивание растений) с использованием биопрепарата на основе эндофитной бактерии *Bacillus mojavensis* PS17 показали перспективность данного направления в контроле микозов пшеницы, поражающих листовую поверхность. Достаточно высокий уровень (47,9–77,4 %) показателя биологической эффективности контроля септориоза листьев яровой пшеницы позволяет использовать данный прием в системах контроля данного заболевания и подтверждает значение эндофитных бактерий как агентов биоконтроля микозов [21; 30; 31]. Дополнительное включение в биопрепараты с эндофитными бакте-

риями янтарной кислоты способствует повышению урожайности яровой пшеницы при некотором снижении развития болезни, что также позволяет создавать новые композиции биологических средств защиты растений и соответствует данным, полученным в ряде исследований [23; 32].

Можно утверждать, что полученные результаты могут стать основой для разработки адаптированных к региональным особенностям систем контроля листостебельных микозов яровой пшеницы, что позволит значительно снизить потребность в фунгицидах и повысить экологическую безопасность производства зерна.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Многолетние наблюдения (2002–2025 гг.) выявили изменения в структуре патогенного комплекса листостебельных микозов яровой мягкой пшеницы, которые характеризуются увеличением развития септориоза листьев. Причем в большинстве лет у данного заболевания значения показателя были выше значений ЭПВ, что должно учитываться в существующих региональных системах защиты культуры.

Установлена высокая эффективность биопрепаратов на основе штаммов *Bacillus mojavensis* PS17 и *Bacillus amyloliquefaciens* KS-25 AU в сочетании с органическими кислотами, обеспечивающих снижение развития болезней на 32–77 % и прибавку урожая до 13,3 %. Полученные результаты имеют практическую значимость для разработки региональных систем защиты растений, однако требуют дополнительных исследований по изучению механизмов взаимодействия биопрепаратов с патогенным комплексом в различных почвенно-климатических условиях и оценки их долгосрочного воздействия на агроценозы.

Вклад авторов

А. А. Абрамова: формальный анализ, проведение исследования.

И. Х. Вафин: формальный анализ, проведение исследования, создание черновика рукописи.

Н. А. Медведев: формальный анализ, проведение исследования.

Р. И. Сафин: разработка методологии, научное руководство, написание рукописи и ее редактирование.

Contributions

A. A. Abramova: formal analysis, study implementation.

I. Kh. Vafin: formal analysis, study implementation, manuscript drafting.

N. A. Medvedev: formal analysis, study implementation.

R. I. Safin: methodology development, scientific supervision, manuscript drafting and editing.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ/REFERENCES

1. Овсянников Ю.А. К 50-летию доклада Римскому клубу «Пределы роста». Потенциал России в решении мировой продовольственной проблемы. *Аграрный вестник Урала*. 2022;6(221):88-98. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2022-221-06-88-98>
Ovsyannikov Yu.A. On the 50th anniversary of the report to the Club of Rome «Limits to Growth». Russia's potential in solving the world food problem. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2022;6(221):88-98. (In Russ.). <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2022-221-06-88-98>
2. Sharma K., Sharma P. Wheat as a nutritional powerhouse: shaping global food security/ Publisher: IntechOpen. 2025. <https://doi.org/10.5772/intechopen.1009499>
3. Savary S., Willocquet L., Pethybridge S. J. et al. The global burden of pathogens and pests on major food crops. *Nature Ecology & Evolution*. 2019;3(3):430. <https://doi.org/10.1038/s41559-018-0793-y>
4. Тареев А.И., Березнов А.В., Смирнов В.В. и др. Мировой рынок химических средств защиты растений: потенциальные потери урожая, тренды и перспективы производства пестицидов для экономики России. *Техника и технология пищевых производств*. 2024;2(54):310-329. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2024-2-2508> EDN HKNCPP
Tareev A.I., Bereznov A.V., Smirnov V.V. et al. World market of chemical plant protection products: potential yield losses, trends and prospects of pesticide production for the Russian economy. *Food Production Engineering and Technology*. 2024;2(54):310-329. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2024-2-2508> EDN HKNCPP
5. Санин С.С. Эпидемии болезней растений: мониторинг, прогноз, контроль. *Защита и карантин растений*. 2018;1:35-36. EDN YNMXJI
Sanin S.S. Plant disease epidemics: monitoring, forecast, control. *Plant protection and quarantine*. 2018;1:35-36. (In Russ.). EDN YNMXJI
6. Chai Y., Senay S., Horvath D., Pardey P. Multi-peril pathogen risks to global wheat production: A probabilistic loss and investment assessment. *Frontiers in Plant Science*. 2022;13:1034600. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1034600>
7. Кекало А.Ю., Немченко В.В., Заргарян Н.Ю., Филиппов А.С. Фитосанитарные проблемы пшеничного поля и эффективность средств защиты от болезней. *Агрохимия*. 2020;10:45-50. <https://doi.org/10.31857/S0002188120100038> EDN VVNAJO
Kekalo A.Yu., Nemchenko V.V., Zargaryan N.Yu., Filippov A.S. Phytosanitary problems of wheat fields and the effectiveness of disease control products. *Agrochemistry*. 2020;10:45-50. (In Russ.). <https://doi.org/10.31857/S0002188120100038> EDN VVNAJO
8. Ганнибал Ф.Б., Гагкаева Т.Ю., Гомжина М.М. и др. Ассоциированные с пшеницей микромицеты и их значимость как возбудителей болезней в России. *Вестник защиты растений*. 2022;4(105):164-180. <https://doi.org/10.31857/S0002188120100038> EDN KLHPMB
Gannibal F.B., Gagkaeva T.Yu., Gomzhina M.M. et al. Wheat-associated micromycetes and their significance as pathogens In Russ.ia. *Plant Protection Bulletin*. 2022;4(105):164-180. (In Russ.). <https://doi.org/10.31857/S0002188120100038> EDN KLHPMB
9. Вихрова Е.А. Пораженность яровой пшеницы листовыми болезнями. *Известия Самарского научного центра Российской академии наук. Сельскохозяйственные науки*. 2022;1(2(2)):51-55. <https://doi.org/10.37313/2782-6562-2022-1-2-51-55> EDN JCLSYL
Vikhrova E.A. Incidence of spring wheat with leaf diseases. *Bulletin of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. Agricultural Sciences*. 2022;1(2(2)):51-55. (In Russ.). <https://doi.org/10.37313/2782-6562-2022-1-2-51-55> EDN JCLSYL
10. Петрова Н.Г., Долженко Т.В. Эффективность фунгицидов на основе триазолов на пшенице яровой при разных фонах минерального питания. *Плодородие*. 2021;4(121):14-17. <https://doi.org/10.25680/S19948603.2021.121.04> EDN SUVPOM

- Petrova N.G., Dolzhenko T.V. Efficiency of triazole-based fungicides on spring wheat under different mineral nutrition backgrounds. *Fertility*. 2021;4(121):14-17. (In Russ.). <https://doi.org/10.25680/S19948603.2021.121.04> EDN SUVPOМ
11. Lysenko N.N., Prudnikova E.G. Efficiency of fungicide amistar extra application on phytosanitary and physiological measurements of spring wheat. *Биология в сельском хозяйстве*. 2018;4(21):17-19.
12. Доронин В.Г., Ледовский Е.Н. Влияние фунгицидов и их смесей с регулятором роста на урожайность и качество зерна яровой пшеницы. *Агрохимия*. 2021;10:17-21. <https://doi.org/10.31857/S0002188121100057> EDN DXMJOP
Doronin V.G., Ledovsky E.N. Effect of fungicides and their mixtures with a growth regulator on the yield and grain quality of spring wheat. *Agrochemistry*. 2021;10:17-21. (In Russ.). <https://doi.org/10.31857/S0002188121100057> EDN DXMJOP
13. Зубко Н.Г., Зеленева Ю.В., Конькова Э.А. и др. Особенности возникновения, развития и генетические механизмы проявления резистентности к фунгицидам из химических классов триазолов и стробилуринов у *Zymoseptoria tritici* (обзор). *Микология и фитопатология*. 2024.6(58):423-434. <https://doi.org/10.31857/S0026364824060011> EDN UOIUUD
Zubko N.G., Zeleneva Yu.V., Konkova E.A. et al. Peculiarities of the emergence, development, and genetic mechanisms of resistance to fungicides from the chemical classes of triazoles and strobilurins in *Zymoseptoria tritici* (review). *Mycology and Phytopathology*. 2024.6(58):423-434. (In Russ.). <https://doi.org/10.31857/S0026364824060011> EDN UOIUUD
14. Гвоздева М.С., Волкова Г.В. Влияние фунгицида Колосаль на структуру популяции возбудителя бурой ржавчины пшеницы по признакам патогенности и чувствительности. *Микология и фитопатология*. 2022.1(56):52-63. <https://doi.org/10.31857/S0026364822010044> EDN ROWMIY
Gvozdeva M.S., Volkova G.V. Effect of the fungicide Kolosal on the population structure of the causal agent of wheat brown rust based on pathogenicity and sensitivity traits. *Mycology and phytopathology*. 2022.1(56):52-63. <https://doi.org/10.31857/S0026364822010044> (In Russ.). EDN ROWMIY
15. Wang Z., Yun S., An Y. et al. Effect of fungicides on soil respiration, microbial community, and enzyme activity: A global meta-analysis (1975–2024). *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2025;289:117433. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2024.117433>
16. Михайликова В.В., Стребкова Н.С. Анализ рынка пестицидов в Российской Федерации. *Труды Кубанского государственного аграрного университета*. 2021;91:225-227. <https://doi.org/10.21515/1999-1703-91-225-227> EDN IBGNZA
Mikhailikova V.V., Strebkova N.S. Analysis of the pesticide market in the Russian Federation. *Proceedings of the Kuban State Agrarian University*. 2021;91:225-227. (In Russ.). <https://doi.org/10.21515/1999-1703-91-225-227> EDN IBGNZA
17. Beckerman J., Palmer C., Tedford E., Ypema H. Fifty years of fungicide development, deployment, and future use. *Phytopathology*. 2023.113(4):694-706. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-10-22-0399-IA>
18. Gai Y., Wang H. Plant Disease: A growing threat to global food security. *Agronomy*. 2024; 14:1615. <https://doi.org/10.3390/agronomy14081615>
19. Swarnalakshmi K., Rajkhowa S., Senthikumar M. et al. Influence of endophytic bacteria on growth promotion and protection against diseases in associated plants. *Microbial Interventions in Agriculture and Environment*. Springer, Singapore, 2019. https://doi.org/10.1007/978-981-32-9084-6_12
20. Fadiji A.E., Lanrewaju A.A., Omomowo I.O. et al. Harnessing seed endophytic microbiomes: a hidden treasure for enhancing sustainable agriculture. *Plants*. 2025;14(15):2421. <https://doi.org/10.3390/plants14152421>

21. Максимов И.В., Максимова Т.И., Сарварова Е.Р. и др. Эндوفитные бактерии как агенты для биопестицидов нового поколения (обзор). *Прикладная биохимия и микробиология*. 2018;54(2):134-148. <https://doi.org/10.7868/S0555109918020034> EDN YTPPOJ
Maksimov I.V., Maksimova T.I., Sarvarova E.R., Blagova D.K. Endophytic bacteria as agents for new generation biopesticides (review). *Applied Biochemistry and Microbiology*. (In Russ.). 2018;54(2):134-148. <https://doi.org/10.7868/S0555109918020034> EDN YTPPOJ
22. Pal G., Kumar K., Verma A. et al. Chapter 4 – Seed-inhabiting endophytes: Their role in plant development and disease protection. *New and Future Developments in Microbial Biotechnology and Bioengineering: Phytomicrobiome for Sustainable Agriculture*. 2021. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64325-4.00004-3>
23. Morgunov G., Kamzolova S.V., Dedyukhina E.G. et al. Application of organic acids for plant protection against phytopathogens. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 2017;101(3):921-932. <https://doi.org/10.1007/s00253-016-8067-6>
24. Lastochkina O., Allagulova C., Fedorova K. et al. Application of endophytic bacillus subtilis and salicylic acid to improve wheat growth and tolerance under combined drought and fusarium root rot stresses. *Agronomy*. 2020;10(9):10091343. <https://doi.org/10.3390/agronomy10091343>
25. Переведенцев Ю.П., Павлова В.Н., Шанталинский К.М. и др. Агроклиматические условия на территории Республики Татарстан в период 1966–2021 гг. *Гидрометеорологические исследования и прогнозы*. 2022;4(386):96-113. <https://doi.org/10.37162/2618-9631-2022-4-96-113>
Perevedentsev Yu.P., Pavlova V.N., Shantalinsky K.M. et al. Agroclimatic conditions in the Republic of Tatarstan in the period 1966–2021. *Hydrometeorological Research and Forecasts*. 2022;4(386):96–113. (In Russ.). <https://doi.org/10.37162/2618-9631-2022-4-96-113>
26. Prah K.C., Klink H., Hasler M. et al. Will climate change affect the disease progression of septoria tritici blotch in Northern Europe? *Agronomy*. 2023;13:1005. <https://doi.org/10.3390/agronomy13041005>
27. Игнатов А.Н., Кошкин Е.И., Андреева И.В. и др. Влияние глобальных изменений климата на фитопатогены и развитие болезней растений. *Агрохимия*. 2020;12:81-96. <https://doi.org/10.31857/S0002188120120042> EDN LSQEPX
Ignatov A.N., Koshkin E.I., Andreeva I.V. et al. The impact of global climate change on phytopathogens and the development of plant diseases. *Agrochemistry*. 2020;12:81-96. (In Russ.). <https://doi.org/10.31857/S0002188120120042> EDN LSQEPX
28. Angelotti F., Hamada E., Bettiol W. A comprehensive review of climate change and plant diseases in Brazil. *Plants*. 2024;13:2447. <https://doi.org/10.3390/plants13172447>
29. Beed F., Benedetti A., Cardinali G. et al. Climate change and micro-organism genetic resources for food and agriculture: State of knowledge, risks and opportunities. Rome: FAO, 2011.
30. Ласточкина О.В., Аллагулова Ч.Р. Механизмы ростстимулирующего и защитного действия эндوفитных PGP-бактерий в растениях пшеницы при воздействии засухи (обзор). *Прикладная биохимия и микробиология*. 2023;59(1):17-37. <https://doi.org/10.31857/S0555109923010038> EDN CUREEM
Lastochkina O.V., Allagulova Ch.R. Mechanisms of growth-promoting and protective action of endophytic PGP bacteria in wheat plants exposed to drought (review). *Applied Biochemistry and Microbiology*. 2023;59(1):17-37. (In Russ.). <https://doi.org/10.31857/S0555109923010038> EDN CUREEM
31. Rakhalaru P., Mampholo B.M., Mamphogoro T.P., Thantsha M.S. Endophytic and Epiphytic Microorganisms as Biocontrol Agents: Mechanisms, Applications, and Metagenomic Approaches in Tomato Cultivation. *Molecules*. 2025;30(18):3816. <https://doi.org/10.3390/molecules30183816>
32. El-Sayed S., Hegab R. Effect of organic acids and plant growth promoting rhizobacteria (pgpr) on biochemical content and productivity of wheat under saline soil conditions. *Middle East Journal of Agriculture Research*. 2024;9(2):227-242. <https://doi.org/10.36632/mejar/2020.9.2.20>

Сведения об авторах

Абрамова Арина Алексеевна –

аспирант кафедры общего земледелия, защиты растений и селекции, Казанский государственный аграрный университет, Казань, Россия

SPIN-код: 4180-3005

abramova92a@yandex.ru

Вафин Ильшат Хафизович –

старший преподаватель кафедры общего земледелия, защиты растений и селекции, Казанский государственный аграрный университет, Казань, Россия

<https://orcid.org/0000-0002-1415-0734>

SPIN-код: 4373-3003

zemledeliekazgau@mail.ru

Медведев Никита Андреевич –

старший преподаватель кафедры общего земледелия, защиты растений и селекции, Казанский государственный аграрный университет, Казань, Россия

SPIN-код: 5427-4230

zemledeliekazgau@mail.ru

Сафин Радик Ильясович –

доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий кафедрой общего земледелия, защиты растений и селекции, Казанский государственный аграрный университет, Казань, Россия

<https://orcid.org/0000-0001-6276-5728>

SPIN-код: 4373-3003

radiksaf2@mail.ru

About the authors

Arina A. Abramova –

Postgraduate Student, Department of General Agriculture, Plant Protection, and Breeding
Kazan State Agrarian University, Kazan, Russia

abramova92a@yandex.ru

Ilshat K. Vafin –

Senior Lecturer, Department of General Agriculture, Plant Protection, and Breeding, Kazan State Agrarian University, Kazan, Russia

<https://orcid.org/0000-0002-1415-0734>

zemledeliekazgau@mail.ru

Nikita A. Medvedev –

Senior Lecturer, Department of General Agriculture, Plant Protection, and Breeding, Kazan State Agrarian University, Kazan, Russia

zemledeliekazgau@mail.ru

Radik I. Safin –

Dr. Sci. (Agric), Prof., Head, Department of General Agriculture, Plant Protection, and Breeding,
Kazan State Agrarian University, Kazan, Russia

<https://orcid.org/0000-0001-6276-5728>

radiksaf2@mail.ru