

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭНДОФИТНЫХ БАКТЕРИЙ СЕМЯН И ОРГАНИЧЕСКИХ КИСЛОТ В КАЧЕСТВЕ БИОПРЕПАРАТОВ ДЛЯ ЗАЩИТЫ РАСТЕНИЙ

© 2026 Вафин И.Х., Сафин Р.И. ✉

Казанский государственный аграрный университет
(г. Казань, Российская Федерация)
✉radiksaf2@mail.ru

Реферат. Разработаны новые биологические препараты на основе эндофитных бактерий семян из рода *Bacillus* (*B. amyloliquefaciens* KS 25-AU и *B. velezensis* KS 63-AU) и органических кислот (аскорбиновая, янтарная). Добавление органических кислот не снижало антагонистическую активность эндофитных бактерий в отношении фитопатогенных грибов *Fusarium graminearum* и *Alternaria alternata*. Изолят *B. amyloliquefaciens* KS 25-AU показал более высокую антагонистическую активность, чем *B. velezensis* KS 63-AU. В вегетационных опытах препараты использовали для обработки семян и при опрыскивании с дальнейшим искусственным заражением патогенами. Наиболее значительно препараты снижали поражение растений мучнистой росой. Для бурой ржавчины уменьшение поражения отмечалось при применении препаратов с янтарной кислотой. По эффективности выделялся препарат с *B. amyloliquefaciens* KS 25-AU и янтарной кислотой. Полевая проверка эффективности разработанных препаратов проводилась в условиях вегетационного периода 2025 года, благоприятного для развития листовых микозов, на следующих культурах: яровая пшеница (сорт Экада 214), яровой ячмень (сорт Память Чепелева) и озимая пшеница (сорт Скипетр). На яровой пшенице и яровом ячмене изучалась двукратная (в фазы выхода в трубку и колошение) обработка препаратами, а на озимой пшенице – однократная обработка проводилась осенью. На яровой пшенице применение всех препаратов приводило к снижению поражения растений как листовыми микозами, так и болезнями колоса. На яровом ячмене уменьшилось развитие темно-бурой пятнистости, но в отношении сетчатой пятнистости эффект был слабым. На озимой пшенице обработка растений способствовала снижению развития настоящей мучнистой росы и пиренофороза, особенно при применении *B. amyloliquefaciens* KS 25-AU с янтарной кислотой. Полученные результаты показали перспективность применения комплексных препаратов на основе эндофитных бактерий семян и органических кислот для защиты зерновых культур от листовых микозов.

Ключевые слова: биопрепараты, эндофитные бактерии, органические кислоты, яровая пшеница, яровой ячмень, озимая пшеница.

Для цитирования: Вафин И.Х., Сафин Р.И. Перспективы использования эндофитных бактерий семян и органических кислот в качестве биопрепаратов для защиты растений // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2026. Т.21. № 2(82). С. 12-21. doi: 10.31588/2073-0462-2026-21-2-12-21

PROSPECTS FOR USING ENDOPHYTIC SEED BACTERIA AND ORGANIC ACIDS AS BIOPREPARATIONS FOR PLANT PROTECTION

© 2026 Vafin I.Kh., Safin R.I. ✉

Kazan State Agrarian University
(Kazan, Russian Federation)
✉radiksaf2@mail.ru

Abstract. New biological preparations based on endophytic seed bacteria of *Bacillus* genus (*B. amyloliquefaciens* KS 25-AU and *B. velezensis* KS 63-AU) and organic acids (ascorbic and succinic) have been developed. The addition of organic acids did not reduce the antagonistic activity of endophytic bacteria against phytopathogenic fungi *Fusarium graminearum* and *Alternaria alternata*. The isolate *B. amyloliquefaciens* KS 25-AU demonstrated higher antagonistic activity than *B. velezensis* KS 63-AU. The preparations were used for seed treatment in vegetation experiments and spraying with subsequent artificial infection with pathogens. The preparations significantly reduced plant damage by powdery mildew. For brown rust, a decrease in damage was noted with the use of preparations containing succinic acid. Preparation containing *B. amyloliquefaciens* KS 25-AU and succinic acid stood out in terms of effectiveness. Field testing of developed preparations effectiveness was conducted under conditions of 2025 growing season, favorable for the development of foliar mycoses, on the following crops: spring wheat (Ekada 214 variety), spring barley (Pamyat Chepeleva variety) and winter wheat (Skipetr variety). Double application of the preparations (during the booting and heading stages) was studied on spring wheat and spring barley, while a single application was performed

in the fall on winter wheat. Application of all preparations resulted in a reduction in plant damage by both foliar mycoses and ear diseases on spring wheat. Development of dark brown spot was reduced, but the effect on net blotch was weak on spring barley. Plant treatment reduced the development of powdery mildew and pyrenophorosis, especially when using *B. amyloliquifaciens* KS 25-AU with succinic acid on winter wheat. The obtained results demonstrated the potential of using combination preparations based on seed endophytic bacteria and organic acids to protect grain crops from foliar mycoses.

Key words: biopreparations, endophytic bacteria, organic acids, spring wheat, spring barley, winter wheat.

For citation: Vafin IKh, Safin RI. [Prospects for using endophytic seed bacteria and organic acids as biopreparations for plant protection]. Vestnik of Kazan State Agrarian University. 2026; Vol. 21. 2(82). 12-21 p. doi: 10.31588/2073-0462-2026-21-2-12-21

Введение. Зерновые культуры являются основой для питания населения и обеспечения потребности в кормах как в России, так и в мире [1, 2]. Только пшеница обеспечивает пятую часть потребности людей в энергии [3]. Реализация высокого генетического потенциала современных сортов зерновых культур во многом сдерживается действием различных стрессовых факторов, важнейшими из которых выступают различные инфекционные болезни [4]. Только на пшенице, мировые потери от пяти наиболее распространенных заболеваний достигают в отдельные годы около 62 млн. т [5], а в России систематически отмечаются эпифитотии, вызывающие снижения урожайности на 20% и более [6]. Значительной проблемой в организации контроля заболеваний зерновых культур становится развитие резистентности у патогенов ко многим действующим веществам фунгицидов, что, с учетом роста цен на данные препараты и усилением требований по экологизации сельскохозяйственного производства, существенно влияет на эффективность химической защиты [7, 8]. Наряду с усилиями по развитию иммуногенетических методов контроля болезней, все больше внимание в мировой практике приобретает разработка биологических методов контроля, в том числе на основе применения эффективных биопрепаратов на основе различных микроорганизмов, в том числе на основе спорообразующих видов бактерий рода *Bacillus* [9, 10]. К числу наиболее перспективных и активно изучаемых видов данного рода относятся те, которые обитают внутри растений, в том числе и в семенах, т.е. эндофитные микроорганизмы [11, 12, 13]. В исследованиях было показано, что эндофитные бактерии, выделенные из семян, оказывают разнообразное действие на растения, в том числе снижают поражения растений болезнями [14, 15, 16].

Другим направлением в защите от болезней выступает применение различных природных органических кислот (янтарной, аскорбиновой, салициловой и др.) применение которых повышает устойчивость растений к патогенам [17, 18]. Имеются указания на высокую эффективность применения смесей эндофитных бактерий и органических кислот при использовании на пшенице [19].

Таким образом, изучение эффективности применения смесей эндофитных бактерий с органическими кислотами имеет важное значение для совершенствования защиты зерновых культур от болезней, особенно для органического земледелия, где применение синтетических фунгицидов запрещено [20], а также для адаптации производства зерна к климатическим изменениям [21,22,23].

Целью исследования было изучение влияния применения экспериментальных биопрепаратов на основе эндофитных бактерий и органических кислот (янтарной, аскорбиновой) на развитие основных болезней зерновых культур, развивающихся в период вегетации.

Условия, материалы и методы. Для культивирования эндофитных бактерий была использована питательная среда LB (*Luria-Bertani broth*). Колбы с эндофитными бактериями инкубировали на шейкере-инкубаторе с 180 об/мин в течение 2 суток при температуре +28°C. В раствор органических кислот (янтарная кислота, аскорбиновая) оптимальной концентрации внесли культуру эндофитных бактерий. Проведенные лабораторные эксперименты показали способность к длительному хранению смеси без потери в ней жизнеспособности микроорганизмов.

В качестве экспериментальных штаммов эндофитных бактерий использовались – *B. amyloliquifaciens* KS 25-AU (выделен из семян яровой пшеницы), *B. velezensis* KS 63-AU (выделен из семян сои), которые хорошо развивались в присутствии органических кислот. В ходе лабораторных исследований были определены оптимальные концентрации янтарной и аскорбиновой кислот, которые не оказали отрицательное влияние на численность бактерий в препарате. Полученные смесевые препараты были использованы для лабораторных экспериментов, вегетационных и полевых опытов.

Для оценки влияния полученных препаратов на некротрофных патогенов в качестве объектов исследований выступали грибы *Fusarium graminearum* и *Alternaria alternata*. Оценка проводилась методом встречных культур на среде Чапека и картофельно-декстрозном агаре (КДА). Результатом оценки

выступала ширина зоны подавления роста колонии гриба.

В вегетационных опытах (оценка влияния на биотрофные патогены) объектом исследований была яровая пшеница сорта Йолдыз (восприимчива к настоящей мучнистой росе, умеренно устойчива к бурой листовой ржавчине). Для этого были заложены вегетационные опыты в условиях песчаной культуры (сосуды объемом 1 л). Было проведено две серии опытов: первая – обработка семян опытными препаратами (для проверки наличия системного эффекта); вторая – обработка растений с последующим заражением (оценка прямого иммунизирующего эффекта). Песок предварительно увлажняли раствором Кноп до 80% влажности его в отдельной емкости для обеспечения минерального питания растений. В опыте с обработкой семян использовали разведение препаратов 1 : 10. Расход рабочей жидкости – 10 л/т семян. Контрольные и обработанные экспериментальными препаратами семена высевали на глубину 2 см по 20 семян на каждый сосуд. В опыте с обработкой растений, опрыскивали вручную, стерильным пульверизатором с 0,5% концентрацией препарата в растворе. Сосуды помещали в климат камеру (Memert) для выращивания со средней температурой 26°C, влажностью 70% и световым циклом 16/8 часов день-ночь. Повторность в вегетационных опытах – четырехкратная.

Для заражения растений использовались природные популяции патогенных грибов, собранные с восприимчивых сортов яровой пшеницы. В опыте с обработкой семян, растения заражали в фазе 2 настоящих листьев. Во втором опыте искусственное заражение патогенами проводилось через 2 суток после обработки. Заражение мучнистой росой проводили методом встряхивания конидий с зараженных листьев пшеницы с последующим учетом по шкале Майнса, Дитца [24]. Заражение растений бурой ржавчиной проводилось с использованием суспензии спор с помощью пульверизатора, после чего растений помещали в темную камеру с хорошим увлажнением (на 48 часов при температуре 22°C), а затем возвращали в климат камеру. Оценку проводили по шкале Стекмана [25].

Полевые опыты по теме исследований закладывались на территории опытных полей кафедры Общего земледелия, защиты растений и селекции ФГБОУ ВО «Казанский ГАУ».

Почва опытного участка – высококультуренная среднесуглинистая серая лесная (содержание гумуса (по Тюрину) – 3,0%; подвижного фосфора (по Кирсанову) очень высокое (250 мг/кг) и обменного калия повышенное (145 мг/кг по). Реакция почвенной среды была близка к нейтральной (рН 6,6). Обеспеченность почвы серой – средняя.

В качестве объекта исследований на яровой мягкой пшеницы выступал сорт Экада 214

(умеренно восприимчив к бурой листовой ржавчине), а на яровом ячмене – сорт Память Чепелева (умеренно устойчив к полосатой пятнистости). На озимой пшенице опыты закладывались на сорте Скипетр.

Схема полевого опыта на яровой пшенице, яровом ячмене и озимой пшенице была следующей: 1. контроль. 2. Препарат *B. amylo-liquefaciens* KS 25-AU с аскорбиновой кислотой; 3. Препарат *B. velezensis* KS 63-AU с аскорбиновой кислотой; 4. Препарат *B. amylo-liquefaciens* KS 25-AU с янтарной кислотой. 5. Препарат *B. velezensis* KS 63-AU с янтарной кислотой.

На яровой пшенице и яровом ячмене обработка проводилась дважды за вегетацию – в фазу выхода в трубку (BBCH 32) и фазу колошения (BBCH 52). На озимой пшенице была однократная обработка в фазу кущения (BBCH 24). Во всех вариантах опыта с обработками препаратами титр бактерий в составе был не менее 1,0-1,5 *10⁹ КОЭ/мл. Расход рабочей жидкости – 200 л/га. Расход биопрепаратов – 1 л/га. Общая площадь делянки – 25 м², учетная – 20 м². Повторность в опыте – трехкратная.

В качестве предшественника для яровой пшеницы выступала озимая пшеница по чистому пару; для ярового ячменя – яровая пшеница; для озимой пшеницы – чистый пар.

Исследования 2025 года носят предварительный характер, однако следует отметить, что агроклиматические параметры вегетационного периода были благоприятными как для развития зерновых культур, так и для поражения растений болезнями листьев и колоса, что позволило оценить разработанные препараты при эпифитотийном характере развития ряда заболеваний, т.е. в максимально напряженных фитосанитарных условиях. В настоящее время работа продолжается для подтверждения стабильности эффекта.

Учет болезней в период вегетации проводился по общепринятым методикам [26]. Расчет площади под кривой развития болезни (ПКРБ - Area Under the Disease Progress Curve (AUDPC)) для листовых микозов – по формуле G. Shaner, R.E. Finney [27]. Расчет биологической эффективности – по формуле Аббота.

Результаты и обсуждение. При оценке влияния разработанных составов в отношении некротрофных фитопатогенов (табл. 1) было установлено, что достоверных отличий между показателями в вариантах где использовались только эндофитные бактерии и их смеси с органическими кислотами не обнаружено. Таким образом, добавление в состав препарата органических кислот не снижало способность изучаемых эндофитных бактерий тормозить рост колоний фитопатогенных грибов. В целом, штамм *B. amyloliquefaciens* KS 25-AU показал более высокую антагонистическую активность.

Таблица 1 – Зона подавления роста колоний фитопатогенных грибов при применении биопрепаратов, мм, 2025 год

Table 1 – Zone of suppression of phytopathogenic fungi colony growth when using biopreparations, mm, 2025

Вариант	Агар Чапека		КДА	
	<i>Fusarium graminearum</i>	<i>Alternaria alternata</i>	<i>Fusarium graminearum</i>	<i>Alternaria alternata</i>
<i>B. amyloliquefaciens</i> KS 25-AU	11,2	8,3	12,6	7,8
<i>B. velezensis</i> KS 63-AU	8,9	6,8	10,3	6,9
<i>B. amyloliquefaciens</i> KS 25-AU с аскорбиновой кислотой	10,8	7,9	12,4	7,4
<i>B. velezensis</i> KS 63-AU с аскорбиновой кислотой	8,5	6,9	9,8	6,4
<i>B. amyloliquefaciens</i> KS 25-AU с янтарной кислотой	11,3	8,5	12,8	7,7
<i>B. velezensis</i> KS 63-AU с янтарной кислотой	8,7	7,2	10,1	7,2
HCP ₀₅	0,47	0,35	0,51	0,32

Данные по влиянию разработанных составов при обработке семян и опрыскивании на развитие биотрофных патогенов приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Оценка развития листовых микозов на проростках пшеницы, балл, 2025 год

Table 2 – Assessment of leaf mycoses development on wheat seedlings, score, 2025

Вариант	Обработка семян		Обработка растений	
	бурая листовая ржавчина	настоящая мучнистая роса	бурая листовая ржавчина	настоящая мучнистая роса
Контроль	2,1	3,1	2,2	3,3
<i>B. amyloliquefaciens</i> KS 25-AU с аскорбиновой кислотой	2,2	2,3	2,3	2,7
<i>B. velezensis</i> KS 63-AU с аскорбиновой кислотой	2,0	2,4	2,1	2,6
<i>B. amyloliquefaciens</i> KS 25-AU с янтарной кислотой	1,9	2,1	1,7	2,5
<i>B. velezensis</i> KS 63-AU с янтарной кислотой	2,0	2,0	1,9	2,3
HCP ₀₅	0,14	0,16	0,18	0,11

Примечание: Баллы 0, 1, 2 соответствуют реакции устойчивости сорта, 3 и 4 балла – восприимчивости

Note: Scores 0, 1, 2 correspond to the variety's resistance response; scores 3 and 4 indicate susceptibility

Результаты оценки показали, что для бурой листовой ржавчины как при обработке семян, так и при обработке растений снижение поражения отмечается при применении препаратов с янтарной кислотой. Наиболее заметным эффект от обработок был для настоящей мучнистой росы. С учетом того, что подавление развития данного заболевания было во всех вариантах с биопрепаратами, можно сделать вывод о положительном влиянии изучаемых биопрепаратов, в первую очередь на повышение системной устойчивости

растений, о чем свидетельствуют данные по обработке семян. Снижение поражения растений при опрыскивании может быть связано не только с ростом устойчивости, но и возможным фунгистатичным действием. Определенное преимущество среди изучаемых препаратов было при применении *B. amyloliquefaciens* KS 25-AU с янтарной кислотой.

Для оценки ростостимулирующей активности препаратов использовали обработанные семена пшеницы, которые проращивали в рулонах согласно ГОСТ 12044-93.

Таблица 3 – Лабораторная всхожесть и биометрия проростков яровой пшеницы сорта Йолдыз (метод рулонов), 2025 год

Table 3 – Laboratory germination and biometry of spring wheat seedlings of the Yoldyz variety (roll method), 2025

Вариант	Лабораторная всхожесть, %	Длина ростка, см	Длина корня, см	Длина coleoptilya, см
Контроль (вода)	88±2	8,7±1,1	12,0±1,2	4,2±0,1
<i>B. amyloliquefaciens</i> KS 25-AU с аскорбиновой кислотой	92±4	11,8±1,1	11,5±1,3	5,0±0,4
<i>B. velezensis</i> KS 63-AU с аскорбиновой кислотой	95±1	9,6±1,1	11,2±1,2	5,2±0,7
<i>B. amyloliquefaciens</i> KS 25-AU с янтарной кислотой	97±1	11,8±1,1	14,0±1,3	4,7±0,8
<i>B. velezensis</i> KS 63-AU с янтарной кислотой	91±2	11,4±1,1	13,9±1,4	4,7±0,6

Результаты оценки показали, что применение разработанных препаратов ведет к росту лабораторной всхожести в сравнении с контролем, увеличивает длину ростка. Некоторое увеличение длины корней отмечалось в вариантах с янтарной кислотой, а длины coleoptily – при применении препаратов с аскорбиновой кислотой. Наиболее заметным положительный эффект от обработок был при применении биопрепарата *B. amyloliquefaciens* KS 25-AU с янтарной кислотой.

В условиях Республики Татарстан наиболее распространенными и вредоносными листовыми микозами яровой пшеницы являются:

септориоз листьев (*Zymoseptoria tritici* (Desm.) Quaedvlieg & Crous), бурая листовая ржавчина (*Puccinia triticina* Erikss.), настоящая мучнистая роса (*Blumeria graminis* (DC.) Speer), темно-бурая пятнистость (*Bipolaris sorokiniana* (Sacc.) Shoemaker). В период вегетации 2025 года на опытных посевах поражение растений яровой пшеницы темно-бурой пятнистостью не фиксировалось. Результаты оценки динамики развития других заболеваний приведены в таблице 4. Преобладающим микозом в полевом опыте был септориоз листьев, несколько меньше развивалась бурая листовая ржавчина, а мучнистая роса встречалась только в контроле.

Таблица 4 – Площадь под кривой развития болезни (ПКРБ) при применении биологических препаратов на яровой пшенице, усл. ед., 2025 год

Table 4 – Area under the disease progress curve (AUDPC) when using biological preparations on spring wheat, arbitrary units, 2025

Вариант	Бурая листовая ржавчина	Настоящая мучнистая роса	Септориоз листьев
Контроль	107,1	18,9	233,1
<i>B. amyloliquefaciens</i> KS 25-AU с аскорбиновой кислотой	68,3	0	159,6
<i>B. velezensis</i> KS 63-AU с аскорбиновой кислотой	70,4	0	159,1
<i>B. amyloliquefaciens</i> KS 25-AU с янтарной кислотой	67,2	0	150,2
<i>B. velezensis</i> KS 63-AU с янтарной кислотой	67,2	0	149,1
HCP ₀₅	3,5	–*	7,8

Примечание: * – для настоящей мучнистой росы значения HCP₀₅ не рассчитались в связи с отсутствием болезни в опытных вариантах

Note: * – for true powdery mildew, the LSD_{0.05} values were not calculated due to the absence of the disease in the experimental variants

Применение всех опытных биопрепаратов вело к снижению поражения яровой пшеницы болезнями. Показатели биологической эффективности контроля септориоза листьев на вариантах с разными препаратами были на уровне 31,5-36,0%, а для бурой листовой ржавчины величина биологической эффективности составила 34,3-37,3%. Существенных различий

между вариантами с обработками по показателю ПКРБ листовых болезней не отмечалось.

К уборке проводился мониторинг болезней колоса пшеницы, в результате которого было установлено наличие на посевах септориоза колоса (*Parastagonospora nodorum* (Berk.) Quaedv.) и «черни колоса». Данные учета приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Распространенность болезней колоса яровой пшеницы при использовании биопрепаратов, %, 2025 год

Table 5 – Prevalence of ear diseases in spring wheat when using biopreparations, %, 2025

Вариант	Септориоз колоса	«Чернь колоса»
Контроль	7,5	4,6
<i>B. amyloliquefaciens</i> KS 25-AU с аскорбиновой кислотой	4,2	3,5
<i>B. velezensis</i> KS 63-AU с аскорбиновой кислотой	4,7	3,8
<i>B. amyloliquefaciens</i> KS 25-AU с янтарной кислотой	4,2	3,4
<i>B. velezensis</i> KS 63-AU с янтарной кислотой	4,3	3,4
HCP ₀₅	0,23	0,17

Обработки растений биопрепаратами показали пролонгированный эффект. Так, несмотря на то, что последнее опрыскивание было в фазу колошения, даже к моменту уборки сохранялся положительный эффект в снижении поражения колосовых болезнями. Биологическая эффективность контроля септориоза колоса была на уровне 37,3-42,7%,

а для «черни колоса» – 17,4-26,1%. Так же, как и для листовых микозов, значительных различий между опытными вариантами по влиянию на снижение распространенности болезней колоса в большинстве случаев не отмечалось.

Снижение поражения растений болезнями оказало положительное влияние на урожайность яровой пшеницы (табл. 6). Рост

урожайности от обработки биопрепаратами составил 11,9-14,3%. Достоверных различий по урожайности между опытными вариантами

не отмечалось, в тоже время для препаратов с янтарной кислотой показатели были несколько выше.

Таблица 6 – Урожайность яровой пшеницы сорта Экада 214 при использовании биопрепаратов, т/га, 2025 год

Table 6 – Yield of spring wheat variety Ekada 214 when using biopreparations, t/ha, 2025

Вариант	Урожайность. т/га	Прибавка к контролю	
		т/га	%
Контроль	4,13		
<i>B. amyloliquefaciens</i> KS 25-AU с аскорбиновой кислотой	4,62	0,49	11,9
<i>B. velezensis</i> KS 63-AU с аскорбиновой кислотой	4,65	0,52	12,6
<i>B. amyloliquefaciens</i> KS 25-AU с янтарной кислотой	4,68	0,55	13,3
<i>B. velezensis</i> KS 63-AU с янтарной кислотой	4,72	0,59	14,3
НСП ₀₅	0,12		

На яровом ячмене в период вегетации в условиях Татарстана развиваются следующие микозы листьев: темно-бурая пятнистость (*Bipolaris sorokiniana* (Sacc.) Shoemaker (телеоморфа *Cochliobolus sativus* (S. Ito & Kurib.), сетчатая пятнистость (*Drechslera teres* (Sacc.) Shoem (телеоморфа *Pyrenophora teres* Drechsler)), полосатая пятнистость (*Drechslera graminea* (Rabenh.) Shoemaker (телеоморфа *Pyrenophora graminea* S. Ito et Kurib.)). В 2025

году на посевах ярового ячменя сорта Памяти Чепелева были обнаружены темно-бурая пятнистость и сетчатая пятнистость (табл. 7). Результаты оценки показали, что биопрепараты с аскорбиновой кислотой несколько (на 18,1%) снижают поражение листьев ячменя темно-бурой пятнистостью. В отношении сетчатой пятнистости положительного влияния препаратов на снижение значений показателя ПКРБ не отмечалось.

Таблица 7 – Площадь под кривой развития болезни (ПКРБ) при применении биологических препаратов на яровом ячмене, усл. ед., 2025 г.

Table 7 – Area under the disease progress curve (AUDPC) when using biological preparations on spring barley, arbitrary units, 2025

Вариант	Темно-бурая пятнистость	Сетчатая пятнистость
Контроль	231,0	199,5
<i>B. amyloliquefaciens</i> KS 25-AU с аскорбиновой кислотой	189,0	220,3
<i>B. velezensis</i> KS 63-AU с аскорбиновой кислотой	189,9	220,5
<i>B. amyloliquefaciens</i> KS 25-AU с янтарной кислотой	220,5	198,1
<i>B. velezensis</i> KS 63-AU с янтарной кислотой	231,0	220,1
НСП ₀₅	10,6	9,7

Вместе с тем, обработки опытными препаратами привело к росту урожайности ярового ячменя на 5,5-19,0% (табл. 8), причем наиболее сильный эффект был получен при использовании состава – *B. velezensis* KS 63-AU с янтарной кислотой.

Отсутствие снижения темно-бурой

пятнистости в варианте с *B. velezensis* KS 63-AU и янтарной кислотой при значительной прибавке урожайности позволяет предположить, что основной вклад в рост продуктивности внесла ростостимулирующая активность препарата, а не прямое подавление патогена.

Таблица 8 – Урожайность ярового ячменя сорта Памяти Чепелева при применении биопрепаратов, т/га, 2025 год

Table 8 – Yield of spring barley variety Pamyati Chepeleva when using biopreparations, t/ha, 2025

Вариант	Урожайность, т/га	Прибавка к контролю	
		т/га	%
Контроль	2,90		
<i>B. amyloliquefaciens</i> KS 25-AU с аскорбиновой кислотой	3,06	0,16	5,5
<i>B. velezensis</i> KS 63-AU с аскорбиновой кислотой	3,09	0,19	6,6
<i>B. amyloliquefaciens</i> KS 25-AU с янтарной кислотой	3,24	0,34	11,7
<i>B. velezensis</i> KS 63-AU с янтарной кислотой	3,45	0,55	19,0
НСП ₀₅	0,12		

Удлинение осенней вегетации и хорошие условия увлажнения, отмечаемые в последние годы на территории Республики Татарстан, привели к массовому развитию листовых микозов еще до ухода озимой пшеницы на перезимовку. Аналогичные условия сложились и осенью 2025 года. На посевах озимой пшеницы в ходе мониторинга были обнаружены настоящая мучнистая роса, а также желтая пятнистость листьев (пиренофороз), вызываемая грибом *Pyrenophora tritici-repentis* (Died.) Drechsler. Необходимо отметить, что пиренофороз – сравнительно новое заболевание озимой пшеницы для Республики Татарстан. Результаты оценки динамики микозов в осенний период приведены в таблице 9.

Таблица 9 – Площадь под кривой развития болезни (ПКРБ) при применении биологических препаратов на озимой пшенице сорта Скипетр, усл. ед., 2025 год

Table 9 – Area under the disease progress curve (AUDPC) when using biological preparations on winter wheat variety Skipetr, arbitrary units, 2025

Вариант	Настоящая мучнистая роса	Пиренофороз
Контроль	240,4	99,6
<i>B. amyloliquefaciens</i> KS 25-AU с аскорбиновой кислотой	237,1	82,5
<i>B. velezensis</i> KS 63-AU с аскорбиновой кислотой	103,4	79,2
<i>B. amyloliquefaciens</i> KS 25-AU с янтарной кислотой	159,5	58,3
<i>B. velezensis</i> KS 63-AU с янтарной кислотой	216,2	75,9
HCP ₀₅	6,8	3,4

Выводы. Разработанные препараты с добавлением органических кислот в условиях лабораторных опытов на искусственных питательных средах не оказали негативного влияния на антагонистическую активность обоих изучаемых штаммов эндофитных бактерий в отношении некротрофных фитопатогенов (*Fusarium graminearum*, *Alternaria alternata*). Лабораторные исследования по оценке влияния обработок семян данными препаратами показали, что они увеличивают лабораторную всхожесть и стимулируют рост ростков.

Результаты вегетационных опытов в контролируемых условиях при искусственном заражении ростков яровой пшеницы возбудителями бурой ржавчины и мучнистой росы, подтвердили способность данных препаратов оказывать системный эффект и повышать устойчивость растений к биотрофным патогенам. Наиболее значительным эффект от обработок был в отношении снижения развития мучнистой росы. По влиянию на развитие обоих заболеваний выделялся вариант *B. amyloliquefaciens* KS 25-AU с янтарной кислотой.

Полевые опыты на яровой пшенице показали, что двукратные обработки данными препаратами не только снижали поражение растений листовыми болезнями, но и уменьшили распространение септориоза колоса к уборке,

Применение всех вариантов обработок привело к снижению поражения озимой пшеницы как мучнистой росой, так и пиренофорозом. Максимальный контроль настоящей мучнистой росы был при применении вариантов *B. velezensis* KS 63-AU с аскорбиновой кислотой (биологическая эффективность 57%) и *B. amyloliquefaciens* KS 25-AU с янтарной кислотой (биологическая эффективность – 33,7%). В отношении пиренофороза выделялся вариант *B. amyloliquefaciens* KS 25-AU с янтарной кислотой (биологическая эффективность – 20,5%). В целом, по обоим заболеваниям наилучшие показатели в контроле микозов были при использовании *B. amyloliquefaciens* KS 25-AU с янтарной кислотой.

что свидетельствует о пролонгированном характере влияния таких обработок. На яровом ячмене отмечается снижение поражения темно-бурой пятнистостью при применении биопрепаратов с аскорбиновой кислотой. На яровой пшенице и яровом ячмене был получен достоверный рост урожайности в вариантах с обработками.

Осеннее применение биопрепаратов с эндофитными бактериями и органическими кислотами способствовало снижению поражения растений озимой пшеницы настоящей мучнистой росой и пиренофорозом. Наиболее заметным эффект был для состава *B. amyloliquefaciens* KS 25-AU с янтарной кислотой.

Полученные в условиях 2025 года результаты позволяют сделать предварительный вывод о высоком потенциале смесевых биопрепаратов на основе эндофитных бактерий и органических кислот (особенно янтарной) для контроля листовых болезней, но с адаптацией изучаемых составов под различные зерновые культуры.

Сведения о финансировании. Работа выполнена за счет предоставленного в 2025 году Фондом науки и технологий Республики Татарстан гранта на осуществление фундаментальных и поисковых исследований в научных и образовательных организациях, предприятиях и организациях реального сектора экономики Республики Татарстан.

Литература

1. Бесшапошный М. Н., Ковалева Е. В., Энкина Е. В. Перспективы производства и экспорта зерна в условиях трансформации аграрного производства // Экономика сельского хозяйства России. 2022. № 9. С. 86-91. doi: 10.32651/229-86.
2. Современное состояние, тенденции и проблемы производства зерна в Российской Федерации / Ториков В. Е., Васькин В. Ф., Дронов А. В., Васькина Т. И. // Аграрный вестник Верхневолжья. 2022. № 1(38). С. 15-23. doi: 10.35523/2307-5872-2022-38-1-15-23.
3. Sharma K., Sharma P. Wheat as a Nutritional Powerhouse: Shaping Global Food Security. IntechOpen, 2025. doi: 10.5772/intechopen.1009499.
4. Михина Н. Г., Бухонова Ю. В. Мониторинг вредителей и болезней зерновых колосовых культур // Защита и карантин растений. 2024. № 1. С. 20-26. doi: 10.47528/1026-8634_2024_1_20.
5. Multi-peril pathogen risks to global wheat production: A probabilistic loss and investment assessment / Y. Chai, S. Senay, D. Horvath, P. Pardey // Frontiers in Plant Science. 2022. Vol. 13. Art. 1034600. doi: 10.3389/fpls.2022.1034600.
6. Санин С. С. Эпидемии болезней растений: мониторинг, прогноз, контроль // Защита и карантин растений. 2018. № 1. С. 35-36.
7. Особенности возникновения, развития и генетические механизмы проявления резистентности к фунгицидам из химических классов триазолов и стробилуринов у *Zymoseptoria tritici* (обзор) / Н. Г. Зубко, Ю. В. Зеленева, Э. А. Конькова и др. // Микология и фитопатология. 2024. Т. 58. № 6. С. 423-434. doi: 10.31857/S0026364824060011.
8. Fifty years of fungicide development, deployment, and future use / J. Beckerman, C. Palmer, E. Tedford, H. Ypema // Phytopathology. 2023. Vol. 113. No. 4. P. 694-706. doi: 10.1094/PHYTO-10-22-0399-IA.
9. Эффективность бактерий-антагонистов *Bacillus* и *Pseudomonas* в качестве агентов биоконтроля сетчатой пятнистости озимого ячменя в полевых условиях / А. М. Асатурова, Н. А. Женова, Н. М. Сидоров, О. Ю. Кремнева // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2024. Т. 54. № 10(311). С. 69-77. doi: 10.26898/0370-8799-2024-10-7
10. Кузнецова Н. И. Создание экологически безопасных биологических препаратов на основе природных бактериальных штаммов с биоцидными свойствами для защиты растений от фитопатогенов для органического земледелия // Биотехнология. 2025. Т. 41. № 5. С. 108-112. doi: 10.56304/S0234275825050072.
11. Harnessing seed endophytic microbiomes: a hidden treasure for enhancing sustainable agriculture / A. E. Fadji, A. A. Lanrewaju, I. O. Omomowo, et al. // Plants. 2025. Vol. 14. No. 15. Art. 2421. doi: 10.3390/plants14152421.
12. Норбоев М. Т., Исмаилов З. Ф. Эндوفитные бактерии, выделенные из растений, и их антагонистические и синергетические взаимодействия // Universum: химия и биология. 2025. № 12-4(138). С. 19-24. doi: 10.32743/UniChem.2025.138.12.21454.
13. Сравнительный анализ биоразнообразия эндوفитных микроорганизмов яровой твердой пшеницы на разных фазах роста и развития растений / А. Р. Долгов, Д. В. Уткин, Э. Г. Хачатуров и др. // Вестник Пермского университета. Серия: Биология. 2024. № 2. С. 165-175. doi: 10.17072/1994-9952-2024-2-165-175.
14. Seed-inhabiting endophytes: Their role in plant development and disease protection / G. Pal, K. Kumar, A. Verma, et al. // New and Future Developments in Microbial Biotechnology and Bioengineering: Phytomicrobiome for Sustainable Agriculture. Elsevier, 2021. doi: 10.1016/B978-0-444-64325-4.00004-3.
15. Эндوفитные бактерии как агенты для биопестицидов нового поколения (обзор) / И. В. Максимов, Т. И. Максимова, Е. Р. Сарварова, Д. К. Благова // Прикладная биохимия и микробиология. 2018. Т. 54. № 2. С. 134-148. doi: 10.7868/S0555109918020034.
16. Biocontrol potential and mechanism of a seed-endophytic *Bacillus velezensis* NEAU-HLD-9 against gray mold in green beans / K. Zhang, X. Yu, X. Yang, et al. // Food Microbiology. 2026. Vol. 136. Art. 105018. doi: 10.1016/j.fm.2025.105018.
17. Nyzhnyk T., Kiedrzyńska E. Salicylic and succinic acids as inducers of phytoimmunity in winter wheat for the management of powdery mildew (*Blumeria graminis* (DC) Speer f. sp. tritici) // BMC Plant Biology. 2025. Vol. 25. Art. 376. doi: 10.1186/s12870-025-06403-2.
18. Salicylic acid: a key natural foundation for next-generation plant defense stimulants / R. Oussou, S. La Camera, C. Marivint-Mounir, J. F. Chollet // Pest Management Science. 2025. Vol. 82. No. 3. P. 2165-2176. doi: 10.1002/ps.70389.
19. Application of endophytic *Bacillus subtilis* and salicylic acid to improve wheat growth and tolerance under combined drought and fusarium root rot stresses / O. Lastochkina, C. Allagulova, K. Fedorova et al. // Agronomy. 2020. Vol. 10. No. 9. Art. 1343. doi: 10.3390/agronomy10091343.
20. Хомяк А. И., Асатурова А. М. Составы биопестицидов для защиты сельскохозяйственных культур — современное состояние и перспективы (обзор) // Юг России: экология, развитие. 2024. Т. 19. № 3(72). С. 83-96. doi: 10.18470/1992-1098-2024-3-8
21. Формирование урожайности яровой пшеницы в условиях изменения климата в Зауральской степи / К. Р. Исмаилов, Р. С. Кираев, А. С. Шаяхметов, Р. Р. Исмаилов // Достижения науки и техники АПК. 2025. Т. 39. № 4. С. 31-36. doi: 10.53859/02352451_2025_39_4_31.
22. Вернер А.В., Коканов С.И. Адаптация сроков посева перспективных сортов яровой мягкой пшеницы к условиям меняющегося климата Северного Казахстана // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2025. № 3(71). С. 13-20. doi: 10.18286/1816-4501-2025-3-13-20.
23. Сравнение технологий возделывания яровой пшеницы в Нечерноземной зоне России / Ю. Д. Смирнова, Н. В. Фомичева, Ю. И. Митрофанов, Г. Ю. Рабинович // Пермский аграрный вестник. 2025. № 3(51). С. 64-70. doi: 10.47737/2307-2873_2025_51_64.
24. Лебедева Т.В., Зуев Е.В. Генетический контроль ювенильной устойчивости к мучнистой росе образцов яровой мягкой пшеницы коллекции ВИР // Vavilovia. 2021. Т. 4, № 1. С. 25-35. doi: 10.30901/2658-3860-2021-1-25-35.
25. Новые источники и доноры пшеницы с высоким потенциалом комплексной устойчивости к особо опасным болезням / В. П. Судникова, Ю. В. Зеленева, И. В. Гусев и др. // Сельскохозяйственная биология.

2025. Т. 60, № 1. С. 3-20. doi: 10.15389/agrobiology.2025.1.3rus.

26. Чумаков А. Е., Захарова Т. И. Вредоносность болезней сельскохозяйственных культур. М.: Агропромиздат, 1990. 127 с.

27. Shaner G., Finney R. E. The effect of nitrogen fertilization on the expression of slow-mildewing resistance in Knox wheat // *Phytopathology*. 1977. Vol. 77. P. 1051-1056.

References

1. Besshaposhnyy MN, Kovaleva EV, Enkina EV. [Prospects for grain production and export amidst the transformation of agricultural production]. *Ekonomika selskogo khozyaystva Rossii*. 2022; 9. 86-91 p. doi: 10.32651/229-86.

2. Torikov VE, Vaskin VF, Dronov AV, Vaskina TI. [Current state, trends and problems of grain production in the Russian Federation]. *Agrarnyy vestnik Verkhnevolzhya*. 2022; 1(38). 15-23 p. doi: 10.35523/2307-5872-2022-38-1-15-23.

3. Sharma K, Sharma P. Wheat as a nutritional powerhouse: shaping global food security. *IntechOpen*. 2025. doi: 10.5772/intechopen.1009499.

4. Mikhina NG, Bukhonova YuV. [Monitoring of pests and diseases of cereal crops]. *Zashchita i karantin rasteniy*. 2024; 1. 20-26 p. doi: 10.47528/1026-8634_2024_1_20.

5. Chai Y, Senay S, Horvath D, Pardey P. Multi-peril pathogen risks to global wheat production: A probabilistic loss and investment assessment. *Front Plant Sci*. 2022; Vol.13. 1034600. doi: 10.3389/fpls.2022.1034600

6. Sanin SS. [Plant disease epidemics: monitoring, forecast, control]. *Zashchita i karantin rasteniy*. 2018; 1. 35-36p.

7. Zubko NG, Zeleneva YuV, Konkova EA. [Features of occurrence, development and genetic mechanisms of resistance to fungicides from the chemical classes of triazoles and strobilurins in *Zymoseptoria tritici* (review)]. *Mikologiya i fitopatologiya*. 2024; Vol.58. 6. 423-434 p. doi: 10.31857/S0026364824060011.

8. Beckerman J, Palmer C, Tedford E, Ypema H. Fifty years of fungicide development, deployment and future use. *Phytopathology*. 2023; Vol.113. 4. 694-706 p. doi: 10.1094/PHYTO-10-22-0399-IA.

9. Asaturova AM, Zhevnova NA, Sidorov NM, Kremneva OYu. [Efficiency of antagonistic bacteria *Bacillus* and *Pseudomonas* as biocontrol agents of net blotch of winter barley under field conditions]. *Sibirskiy vestnik selskokhozyaystvennoy nauki*. 2024; Vol.54. 10(311). 69-77 p. doi: 10.26898/0370-8799-2024-10-7

10. Kuznetsova NI. [Development of environmentally safe biological products based on natural bacillary strains with biocidal properties for plant protection against phytopathogens for organic farming]. *Biotehnologiya*. 2025; Vol.41. 5. 108-112 p. doi: 10.56304/S0234275825050072.

11. Fadji AE, Lanrewaju AA, Omomowo IO, Parra-Cota FI, de los Santos-Villalobos S. Harnessing seed endophytic microbiomes: a hidden treasure for enhancing sustainable agriculture. *Plants*. 2025; Vol.14. 15. Art.2421. doi: 10.3390/plants14152421

12. Norboev MT, Ismailov ZF. [Endophytic bacteria isolated from plants and their antagonistic and synergistic interactions]. *Universum: khimiya i biologiya*. 2025; 12-4(138). 19-24 p. doi: 10.32743/UniChem.2025.138.12.21454

13. Dolgov AR, Utkin DV, Khachaturov EG. [Comparative analysis of biodiversity of endophytic microorganisms of spring durum wheat at different phases of plant growth and development]. *Vestnik Permskogo universiteta. Seriya: Biologiya*. 2024; 2. 165-175 p. doi: 10.17072/1994-9952-2024-2-165-175

14. Pal G, Kumar K, Verma A. Seed-inhabiting endophytes: their role in plant development and disease protection. *New and future developments in microbial biotechnology and bioengineering: phytomicrobiome for sustainable agriculture*. Amsterdam: Elsevier. 2021; 99-118 p. doi: 10.1016/B978-0-444-64325-4.00004-3

15. Maksimov IV, Maksimova TI, Sarvarova ER, Blagova DK. [Endophytic bacteria as agents for new generation biopesticides (review)]. *Prikladnaya biokhimiya i mikrobiologiya*. 2018; Vol. 54. 2. 134-148 p. doi: 10.7868/S0555109918020034

16. Zhang K, Yu X, Yang X. Biocontrol potential and mechanism of a seed-endophytic *Bacillus velezensis* NEAU-HLD-9 against gray mold in green beans. *Food Microbiol*. 2026; Vol.136. Art.105018. doi: 10.1016/j.fm.2025.105018.

17. Nyzhnyk T, Kiedrzyński M, Kiedrzyńska E. Salicylic and succinic acids as inducers of phytoimmunity in winter wheat for the management of powdery mildew (*Blumeria graminis* (DC) Speer f. sp. tritici). *BMC Plant Biol*. 2025; Vol.25. Art.376. doi: 10.1186/s12870-025-06403-2.

18. Salicylic acid: a key natural foundation for next-generation plant defense stimulators / R. Oussou, S. La Camera, C. Marivingt-Mounir, J. F. Chollet // *Pest Management Science*. 2025; Vol.82. No.3. 2165-2176 p. doi: 10.1002/ps.70389.

19. Lastochkina O, Allagulova C, Fedorova K. Application of endophytic *Bacillus subtilis* and salicylic acid to improve wheat growth and tolerance under combined drought and fusarium root rot stresses. *Agronomy*. 2020; Vol.10. 9. Art.1343. doi: 10.3390/agronomy10091343.

20. Khomyak AI, Asaturova AM. [Biopesticide formulations for crop protection - current status and prospects (review)]. *Yug Rossii: ekologiya, razvitie*. 2024; Vol.19. 3(72). 83-96 p. doi: 10.18470/1992-1098-2024-3-8

21. Ismagilov KR, Kiraev RS, Shayakhmetov AS, Ismagilov RR. [Formation of spring wheat yield under changing climate conditions in the Trans-Ural steppe]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. 2025. Vol.39. 4. 31-36 p. doi: 10.53859/02352451_2025_39_4_31

22. Verner AV, Kokonov SI. [Adaptation of sowing dates of promising varieties of spring soft wheat to the conditions of a changing climate in Northern Kazakhstan]. *Vestnik Ulyanovskoy gosudarstvennoy selskokhozyaystvennoy akademii*. 2025; 3(71). 13-20 p. doi: 10.18286/1816-4501-2025-3-13-20.

23. Smirnova YuD, Fomicheva NV, Mitrofanov YuI, Rabinovich GYu. [Comparison of spring wheat cultivation technologies in Non-Chernozem zone of Russia]. *Permskiy agrarnyy vestnik*. 2025; 3(51). 64-70 p. doi: 10.47737/2307-2873_2025_51_64.

24. Lebedeva TV, Zuev EV. [Genetic control of juvenile resistance to powdery mildew in spring soft wheat accessions from VIR collection]. *Vavilovia*. 2021; Vol.4. 1. 25-35 p. doi: 10.30901/2658-3860-2021-1-25-35.

25. Sudnikov VP, Zeleneva YuV, Gusev IV. [New sources and donors of wheat with high potential for complex resistance to especially dangerous diseases]. *Selskokhozyaystvennaya biologiya*. 2025; Vol.60. 1. 3-20 p.

doi: 10.15389/agrobiology.2025.1.3rus.

26. Chumakov AE, Zakharova TI. Vredonosnost bolezney selskokhozyaystvennykh kultur. [Harmfulness of agricultural crops diseases]. Moscow: Agropromizdat. 1990; 127 p.

27. Shaner G, Finney RE. The effect of nitrogen fertilization on the expression of slow-mildewing resistance in Knox wheat. Phytopathology. 1977; Vol.77. 1051-1056 p.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Сведения об авторах:

Вафин Ильшат Хафизович – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры общего земледелия, защиты растений и селекции Казанского государственного аграрного университета (420015, Российская Федерация, г. Казань, ул. Карла Маркса, 65), e-mail: zemledeliekazgau@mail.ru, ORCID 0000-0002-1415-0734

Сафин Радик Ильясович – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий кафедрой общего земледелия, защиты растений и селекции Казанского государственного аграрного университета (420015, Российская Федерация, г. Казань, ул. Карла Маркса, 65), e-mail: radiksaf2@mail.ru, ORCID 0000-0001-6276-5728

Вклад авторов:

И.Х. Вафин – формальный анализ, проведение исследования, написание черновика рукописи;

Р.И. Сафин – разработка методологии, руководство, написание рукописи, редактирование текста.

Все авторы ознакомились и одобрили окончательный вариант рукописи.

Поступила 12.02.2026; одобрена после рецензирования 19.05.2026; принята к публикации 25.06.2026.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Authors:

Vafin Ilshat Khafizovich – Ph.D. of Agricultural Sciences, Associate Professor of General Agriculture, Plant Protection and Breeding Department Kazan State Agrarian University (65 Karl Marx Street, Kazan, 420015, Russian Federation), e-mail: zemledeliekazgau@mail.ru, ORCID 0000-0002-1415-0734

Safin Radik Ilyasovich – Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Head of General Agriculture, Plant Protection and Breeding Department Kazan State Agrarian University (65 Karl Marx Street, Kazan, 420015, Russian Federation), e-mail: radiksaf2@mail.ru, ORCID 0000-0001-6276-5728

Contribution of the authors:

I.Kh. Vafin – Formal analysis, Study implementation, Manuscript drafting;

R.I. Safin – Methodology development, Supervision, Manuscript writing, Text editing.

The authors have reviewed and approved the final manuscript.

Submitted 12.02.2026; revised 19.05.2026; accepted 25.06.2026.

