

Вячеслав Николаевич Тимофеев^{1✉}, Ольга Валерьевна Доманская²,

Алексей Сергеевич Васильченко³

¹НИИ сельского хозяйства Северного Зауралья – филиал Тюменского научного центра СО РАН, Тюмень, Россия

^{2,3}Тюменский государственный университет, Тюмень, Россия

¹Timofeev_vn2010@mail.ru

^{2,3}avasilchenko@gmail.com

ИСПЫТАНИЕ ПРЕПАРАТА НА ОСНОВЕ КОНСОРЦИУМА *BACILLUS SPP.* ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ

Цель исследования – изучить эффективность использования биопрепаратов на основе синтетического консорциума бактерий *Bacillus spp.* в системе защиты яровой пшеницы. Исследования проведены в условиях Тюменской области, для постановки опыта была взята культура – яровая пшеница, опытные и коммерческие формы бактериальных препаратов, изучалась эффективность их стимулирующих и фунгицидных свойств. Установлено положительное влияние исследуемого бактериального препарата, представляющего собой консорциум бактерий *Bacillus simplex* и *Bacillus megaterium*, а также его иммобилизованной формы на частицах биодревесного угля, на рост и развитие яровой пшеницы. В лабораторных исследованиях зафиксирован фунгицидный эффект препаратов в отношении микромицетов *Alternaria*. В развитии зародышевых органов, всхожести семян отличались стимулирующим влиянием высокие нормы изучаемого бактериального препарата. Обработка суточного ростка способствовала увеличению его роста на 20–30 % в течение 7 сут роста, длина ростка увеличивалась по средней норме бактериального препарата на 15–20 % и при высокой норме на 24–32 %, с превышением массы растений контрольного варианта на 15–26 %. Показатели структуры колоса, морфометрические параметры флагового листа имели достоверное превышение по изучаемому бактериальному препарату с включением схем обработок семян и особенно вегетирующих растений в основные фазы применения. Урожайность культуры по вариантам составляла 4,5–4,7 т/га, различий по вариантам не наблюдалось. Незначительное превышение контроля отмечалось по вариантам применения испытываемых вариантов биологического препарата по семенам в норме 5,0 л/т и схемы применения Биогор-Ж. Засушливые условия периода вегетации, слабая заселенность растений патогенной грибной инфекцией нивелировали стимулирующее влияние изучаемых микробиологических препаратов на продуктивность культуры.

Ключевые слова: яровая пшеница, бактериальные препараты, защита растений, эффективность, урожайность

Для цитирования: Тимофеев В.Н., Доманская О.В., Васильченко А.С. Испытание препарата на основе консорциума *Bacillus spp.* при возделывании яровой пшеницы // Вестник КрасГАУ. 2025. № 8. С. 13–26. DOI: 10.36718/1819-4036-2025-8-13-26.

Финансирование: работа выполнена НИИ сельского хозяйства Северного Зауралья ТюмНЦ СО РАН в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № FWRZ-2021-0015).

Vyacheslav Nikolaevich Timofeev^{1✉}, Olga Valerievna Domanskaya²,
Alexey Sergeevich Vasilchenko³

¹Research Institute of Agriculture of the Northern Trans-Urals – branch of the Tyumen Scientific Center of the SB of the RAS, Tyumen, Russia

^{2,3}Tyumen State University, Tyumen, Russia

¹Timofeev_vn2010@mail.ru

^{2,3}avasilchenko@gmail.com

PREPARATION TESTING BASED ON *BACILLUS SPP.* CONSORTIUM IN SPRING WHEAT CULTIVATION

The aim of the study is to investigate the efficiency of using biopreparations based on a synthetic consortium of Bacillus spp. bacteria in the spring wheat protection system. The studies were conducted in the Tyumen Region, the culture used for the experiment was spring wheat, experimental and commercial forms of bacterial preparations, the efficiency of their stimulating and fungicidal properties was studied. A positive effect of the studied bacterial preparation, which is a consortium of Bacillus simplex and Bacillus megaterium bacteria, as well as its immobilized form on biochar particles, on the growth and development of spring wheat was established. In laboratory studies, a fungicidal effect of the preparations was recorded against Alternaria micromycetes. High rates of the studied bacterial preparation had a stimulating effect on the development of embryonic organs and seed germination. Daily sprout treatment contributed to an increase in its growth by 20–30 % during 7 days of growth, the sprout length increased by 15–20 % at the average rate of the bacterial preparation and by 24–32 % at a high rate, with an excess of the plant weight of the control variant by 15–26 %. The indicators of the spike structure, morphometric parameters of the flag leaf had a reliable excess according to the studied bacterial preparation with the inclusion of seed treatment schemes and especially vegetative plants in the main phases of application. The crop yield for the variants was 4.5–4.7 t/ha, no differences were observed between the variants. A slight excess of control was noted for the variants of application of the tested variants of the biological preparation for seeds at a rate of 5.0 l/t and the scheme of application of Biogor-Zh. Drought conditions of the growing season, weak colonization of plants by pathogenic fungal infection leveled the stimulating effect of the studied microbiological preparations on crop productivity.

Keywords: spring wheat, bacterial preparations, plant protection, efficiency, yield

For citation: Timofeev VN, Domanskaya OV, Vasilchenko AS. Preparation testing based on *Bacillus spp.* consortium in spring wheat cultivation. *Bulletin of KSAU*. 2025;(8):13-26. (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2025-8-13-26.

Financing: the work was carried out by the Northern Trans-Urals Research Institute of Agriculture, Tyumen Scientific Center, SB of the RAS, within the framework of the state assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (topic N FWRZ-2021-0015).

Введение. В системе агротехнологии регулирование лимитирующих факторов возможно путем использования инновационных методов применения средств защиты химического и биологического происхождения.

Применение дополнительных регуляторных средств способствует эффективности использования питательных веществ из внешней среды, устойчивости к стрессовым факторам, вредителям, болезням и неблагоприятным погодным условиям, повышению урожайности и качества сельскохозяйственных культур [1].

Положительные изменения микробиоты почвы, ее улучшающиеся биологические свойства,

контроль листостебельных болезней растений, стимуляция роста и продуктивности культуры в экспериментах под воздействием ассоциативных бактерий и препаратов с содержанием *Bacillus*, *Pseudomonas* при инокуляции семян и растений в основные фазы роста отражены в ряде работ [2–5].

Применением химических средств защиты растений можно регулировать количество пораженных растений в период вегетации. При этом регуляторное влияние на ростовые функции возделываемой культуры возможно через корректировку применения подкормки, а также препаратов для активации роста, снижения стрес-

са. Так, применение микробиологических удобрений способствует повышению процессов прорастания семян, нарастания корней, всхожести растений и усилению их роста в первые фазы онтогенеза [6–10].

Имеются данные, что бактериальные препараты эффективнее работают на фоне комплексного применения удобрений и способствуют повышению биологической активности почвы, усвоению питательных веществ, макро- и микроэлементов и в дальнейшем продуктивности культуры [11–15].

Бактерии рода *Bacillus* широко применяются в растениеводстве, традиционно в качестве микробных агентов биологического контроля также применяются монопрепараты с содержанием бактерий рода *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Burkholderia* и грибы рода *Trichoderma* [16, 17]. Изучение биологических свойств штаммов *Bacillus* spp., выделенных из криолитозоны Западной Сибири, определило их фунгицидную и ростостимулирующую активность в отношении семян *Triticum aestivum* L. [18].

Биоуголь представляет собой твердую углеродсодержащую добавку и может использоваться как средство для улучшения состояния почвы и сельскохозяйственных культур [19, 20]. Совместное использование биоугля и *Bacillus subtilis* улучшает структуру и активность ферментов почвы, физиологические показатели роста растений [21].

Необходимость реагирования на биологические угрозы сельскому хозяйству новыми, более эффективными средствами определяет актуальность поиска соответствующих биологических средств для регулирования устойчивости растений к неблагоприятным факторам среды и сохранения их продуктивности.

Цель исследований – изучить эффективность использования биопрепаратов на основе синтетического консорциума бактерий *Bacillus* spp. в системе защиты яровой пшеницы.

Задачи: определение ростостимулирующих и фунгицидных свойств бактериальных препаратов на основе консорциума *Bacillus* spp. на яровой пшенице; хозяйственной эффективности применения изучаемых бактериальных препаратов в системе защиты яровой пшеницы.

Объекты и методы. Исследования изучаемого бактериального препарата выполнены в НИИСХ Северного Зауралья – филиале ТюмНЦ СО РАН. Изучение эффективности средств за-

щиты и биопрепаратов проводилось на яровой пшенице (сорт Гренада) в лабораторных и полевых исследованиях, площадь делянки 20 м² в 4 повторениях на фоне основной обработки почвы – вспашка 20–22 см с предпосевным внесением удобрений в норме N-16, P-16, K-16 действующего вещества, с нормой высева 6,5 млн всхожих зерен на 1 га. Почва опытного участка относится к подтипу темно-серая лесная, тяжелосуглинистая, содержание гумуса – 4,3 %, нитратного азота – низкое (1,36–2,38 мг/100 г почвы), фосфора – среднее (8,25–14,1 мг/100 г почвы), калия – выше среднего (6,65–8,9 мг/100 г почвы), реакция почвенного раствора слабокислая (5,1–6,0).

В лабораторных условиях проводили оценку влияния применения биопрепаратов на энергию всхожести согласно ГОСТ 12038-84 «Семена сельскохозяйственных культур. Метод определения всхожести». Зараженность семян и развитие зародышевых органов определяли методом проращивания семян в рулонах фильтровальной бумаги по ГОСТ 12044-93 «Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения зараженности болезнями». Для анализа берется по 50 семян в 4 повторениях, где подсчитывается количество семян, зараженных *Alternaria*, *Fusarium* spp., *Bipolaris sorokiniana* Syn, на 7-е сут под бинокулярным микроскопом. Развитие зародышевых органов измеряли линейкой поштучно. Оценка развития ростка на 7-е сут при обработке суточных проростков бактериальными препаратами проводили по 20 шт. семян в 4 повторениях, проращивали на свету в чашках Петри, размещенных в полиэтиленовых пакетах. Обработка суточных проростков проводилась для выявления влияния испытываемых препаратов на первоначальный рост растений при воздействии препаратом на живые клетки растения. Отбор проб для лабораторных исследований проводили из обработанных семян для закладки полевых опытов, обработка суточных проростков проводилась из расчета на количество семян.

Наблюдения за растениями проводили в период вегетации (фенология, учет развития органов растений, биометрия) [22, 23]. Учет полевой всхожести семян, выживаемости растений и структурный анализ урожая – согласно методике Госсортиспытания, 1989 [24]. Развитие и распространенность обыкновенной корневой гнили определяли в фазе кущения культуры по мето-

дике В.А. Чулкиной, 1972 [25]. Урожайность учитывали методом сплошного обмолота комбайном «Сампо 130». Определение массы 1000 семян проводили по ГОСТ 12042-80.

Для постановки опыта руководствовались методикой опытного дела [26]. Оценка нормального распределения значений проводилась с использованием теста Шапиро–Уилка. Анализ влияния фактора обработки семян на морфологические показатели растений – с использованием однофакторного дисперсионного анализа (one-way ANOVA) с Tukey HSD. Статистическая обработка данных проводилась с использованием программного обеспечения Origin v. 2024 (OriginLab Corporation, США).

В опыте применялись средства защиты растений (фунгициды для обработки семян и растений в период вегетации как элементы защиты в опытных вариантах, гербициды общим фоном). В исследование были взяты следующие микробиологические препараты: синтетический консорциум штаммов *Bacillus simplex* и *Bacillus megaterium*, в культуральной среде с титром клеток 10^8 КОЕ/мл (далее «СинКон»); препарат «СинКон», иммобилизованный на частицах биоугля диаметром 0,5–1,0 мм (далее биоуголь); в качестве которого был выбран препарат «Биогор–Ж» серии КМ (консорциум бактерий рода *Lactobacillus plantarum*, *L. fermentum*, *L. lactis*, *Saccharomyces cerevisiae*, *Azotobacter chroococcum*, *Bacillus megaterium*), микроэлементы, фитогормоны.

Схема опыта

1. Химическое протравливание семян (Д.в. Дифеноконазол, 30 г/л, Ципроконазол, 6,3 г/л) 1,0 л/т (семена контроль).
2. Контроль (без обработки семян).
3. Бактерии (СинКон), 1,5 л/т (семена) + СинКон, 5,0 л/га (фаза 31-32 кущение).
4. Бактерии (СинКон), 2,5 л/т (семена).
5. Бактерии (СинКон), 5,0 л/т (семена).
6. Биоуголь 1,5 л/т (семена) + Биоуголь, 5,0 л/га (фаза 31-32 кущение).
7. Биоуголь 2,5 л/т (семена).
8. Биоуголь 5,0 л/т (семена).

9. Биогор–Ж серии КМ, 2,0 л/т (семена); Биогор–Ж серии КМ, 2 л/га (фаза 31-32 кущение); Биогор–Ж серии КМ, 2 л/га (фаза молочной спелости).

10. Биогор–Ж серии КМ, 2,0 л/т + СинКон, 5,0 л/т (на семена) + Биоуголь, 5,0 л/га (фаза 31-32 кущение) + Биоуголь, 5,0 л/га (фаза флаглист – начало колошения).

11. «СинКон», 2,5 л /га (фаза флаглист – начало колошения).

12. «СинКон», 5,0 л /га (фаза флаглист – начало колошения).

Вегетационный период 2023 г. можно охарактеризовать как засушливый (обеспеченность осадками – 66 % к среднегодовой норме, ГТК – 0,74 – 57 % к среднегодовой норме), с повышенной обеспеченностью теплом – 126 % к норме. Отрицательное влияние засушливости было снижено благодаря осадкам 2-й и 3-й декады июня (296 и 123 % к норме) и 2-й декады июля (162 % к норме) и снижению среднемесячной температуры воздуха в июне до среднегодовых значений.

Результаты и их обсуждение. Первоначальное влияние при обработке семян с использованием изучаемых препаратов приходится на энергию и всхожесть семян, развитие зародышевых органов в течение 7 сут (корень, coleoptile, росток), снижение зараженности семян. Данные показатели определяют влияние того или иного препарата на развитие растения, проявление ретардантных свойств, эффективность влияния на патогенные микроорганизмы и инфекционную нагрузку.

Анализ данных по заселенности семян патогенными грибами показал уровень инфекционной нагрузки на семена грибами *Alternaria* spp. (20–30 %), грибами *Fusarium* spp. (2–4 %), *Bipolaris sorokiniana* Syn. (0–2 %). Изучаемый бактериальный препарат проявил фунгистатический эффект в отношении *Alternaria* spp. на уровне 60 % при норме расхода 5,0 л/т. Меньшие нормы расхода не оказали фунгистатического эффекта, применение коммерческого комбинированного триазолового системного фунгицида снижало количество учитываемых патогенных грибов на 93–95 % (табл. 1).

Эффективность биопрепаратов против некоторых возбудителей семенной инфекции
Efficiency of biopreparations against some pathogens of seed infection

Номер варианта обработки семян	Заселенность семян грибами, %				Эффективность (снижение зараженности семян к варианту 2), %	Статистическая значимость различий, $P < 0,05$
	<i>Alternaria</i> spp.	<i>Fusarium</i> spp.	<i>Bipolaris sorokiniana</i>	Всего		
1	2	0	0	2	– 93,3	0,0001
2 (контроль)	26	2	2	30	–	–
3	36	2	0	38	+ 26,6	0,0664
4	16	4	2	22	– 26,6	0,0804
5	8	1	2	11	– 63,3	0,0001
6	20	2	0	22	– 26,6	0,0804
7	30	2	2	34	+ 13,3	0,2661
8	10	0	2	12	– 60,0	0,0003
9	30	2	2	34	+ 13,3	0,2661

Морфометрические показатели растений при росте в течение 7 сут изменялись недостоверно относительно контроля, так, длина корня по вариантам эксперимента составляла в среднем 12–14 см при длине корня в контроле 14,6 см. Превышение контроля на 1,7 см только в варианте 8 (биоуголь) с нормой 5,0 л/т. По остальным вариантам данный параметр на уровне или ниже контроля (табл. 2). Показатель массы корней показывает действительное влияние применения препаратов на развитие корня: по большинству вариантов эксперимента этот показатель достоверно не отличался от контрольного варианта. При химическом протравливании было зафиксировано достоверное увеличение массы корней на 17,2 %. В свою очередь при обработке биологическим препаратом «Биогор-Ж» в смеси с «СинКон» масса корней снижалась на 17 % (табл. 2).

Длина ростка на 7-е сут составила 10–13 см, в абсолютном контроле – 11,5 см, большее значение длины ростка 13 см отмечалось при применении препарата варианта 4 с нормой 2,5 л/т, при отсутствии различий массы ростка. Меньшие значения длины ростка (10,06–10,08 см) отмечали по вариантам применения химического протравителя, что имеет свою закономер-

ность при ретардантном их воздействии, а также при обработке семян смесью 10 («Биогор-Ж», 2,0 л/т + «СинКон», 5,0 л/т), где снижение подтверждено уменьшением массы ростка на 0,5–1,0 г, или 6,8–14,8 %.

Всхожесть семян изменялась в пределах 88–96 %, энергия роста семян была на 2–3 % ниже всхожести (табл. 2). Высокая всхожесть отмечалась по вариантам 6 (Биоуголь, 1,5 л/т), 7 (Биоуголь, 2,5 л/т), 10 («Биогор-Ж», 2,0 л/т + «СинКон», 5,0 л/т). В этих выборках всхожесть составила 96 %, что превышало показатели в контроле и других выборках на 6–8 % достоверно на уровне $p < 0.05$.

Развитие coleoptiles не имело зависимостей от применяемых препаратов и по большинству вариантов было на уровне контроля для данного сорта – 4,5–5,0 см, т. е. ни один из испытываемых препаратов не оказал стимулирующего и ретардантного воздействия на орган, только применение классического химического протравителя в качестве контроля снижало длину coleoptiles на 1,2 см, что является проявлением уменьшения гормонов роста в растениях для данного вида препаратов (см. табл. 2, рис. 1, 2).

Развитие органов растений на 7-е сутки роста после обработки семян
Development of plant organs on the 7th day of growth after seed treatment

Номер варианта	Длина корня, см	Масса корня, г	Длина ростка, см	Масса ростка, г	Длина coleoptiles, см	Всхожесть, %
1	13,37 / – 1,3	5,24 / + 0,7	10,08 / – 1,4	6,42 / – 1,12	3,57 / – 1,24	90 / + 2,0
2	14,66	4,47	11,47	7,54	4,81	88
3	13,71 / – 0,9	4,28 / – 0,19	11,02 / – 0,4	7,22 / – 0,32	5,14 / +0,33	90 / + 2,0
4	11,76 / – 2,9	4,54 / + 0,07	13,04 / + 1,5	7,20 / – 0,34	5,2 / +0,39	89 / + 1,0
5	14,12 / – 0,5	4,62 / + 0,15	11,57 / + 0,1	7,53 / – 0,01	4,95 / +0,14	86 / – 2,0
6	12,24 / – 2,4	4,64 / + 0,17	10,76 / – 0,7	7,83 / + 0,29	5,18 / +0,37	96 / + 8,0
7	13,8 / – 0,8	4,72 / + 0,25	11,29 / – 0,2	7,64 / +0,1	4,99 / +0,18	96 / + 8,0
8	16,43 / + 1,8	4,52 / + 0,05	11,03 / – 0,4	7,72 / +0,18	5,24 / +0,43	88 / – 0,0
10	12,72 / – 1,9	3,70 / – 0,77	10,06 / – 1,4	7,02 / – 0,52	5,22 / +0,41	96 / + 8,0

Примечание. Масса органов в пересчете на 100 растений, показатель/+, – к варианту 2 (контроль).

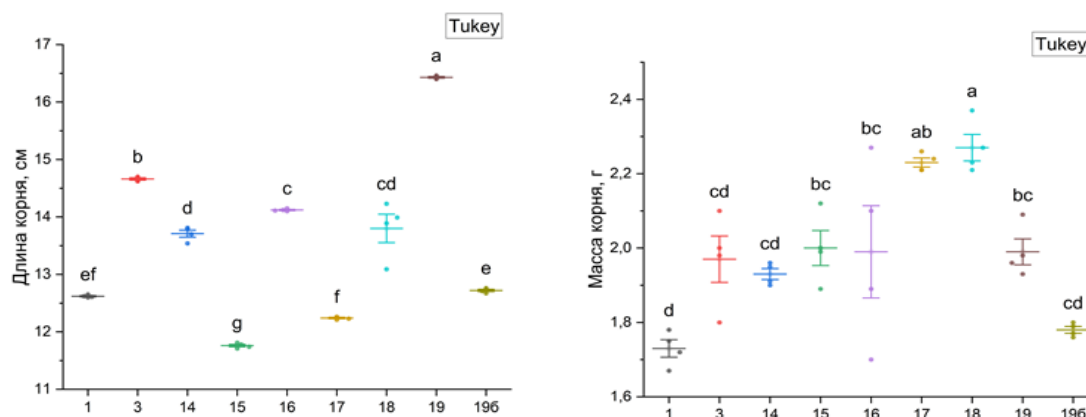


Рис. 1. Статистическая значимость изменения развития корня в течение 7 сут ($\pm$ стандартная ошибка среднего значения, сравнены с использованием однофакторного дисперсионного анализа с апостериорным тестом множественного сравнения Тьюки)

Различие букв указывает на статистически значимые различия ($p < 0,05$)

Statistical significance of changes in root development over 7 days. ($\pm$ standard error of the mean, compared using one-way ANOVA with Tukey's multiple comparison post hoc test. Differences in letters indicate statistically significant differences ($p < 0.05$))

Развитие растений пшеницы на 7-е сут при обработке суточных проростков семян представляется как оценка влияния препаратов на живое растение. При нанесении препарата на суточные проростки заметное влияние на развитие ростка оказало применение «СинКон» в варианте с биоуглем в норме 5,0 л/т. Влияние бактериальных препаратов при воздействии по живым вегетирующим тканям растений было

значительно сильнее в сравнении с применением на семенах. Измерение показателя длина ростка показало его значимое изменение при обработке бактериальным препаратом в норме 2,5 л/т на 15–20 %, и при норме 5,0 л/т – на 24–32 %, с подтверждением возрастания массы ростка, где превышение контрольного варианта составляло 15–26 % (табл. 3, рис. 3).

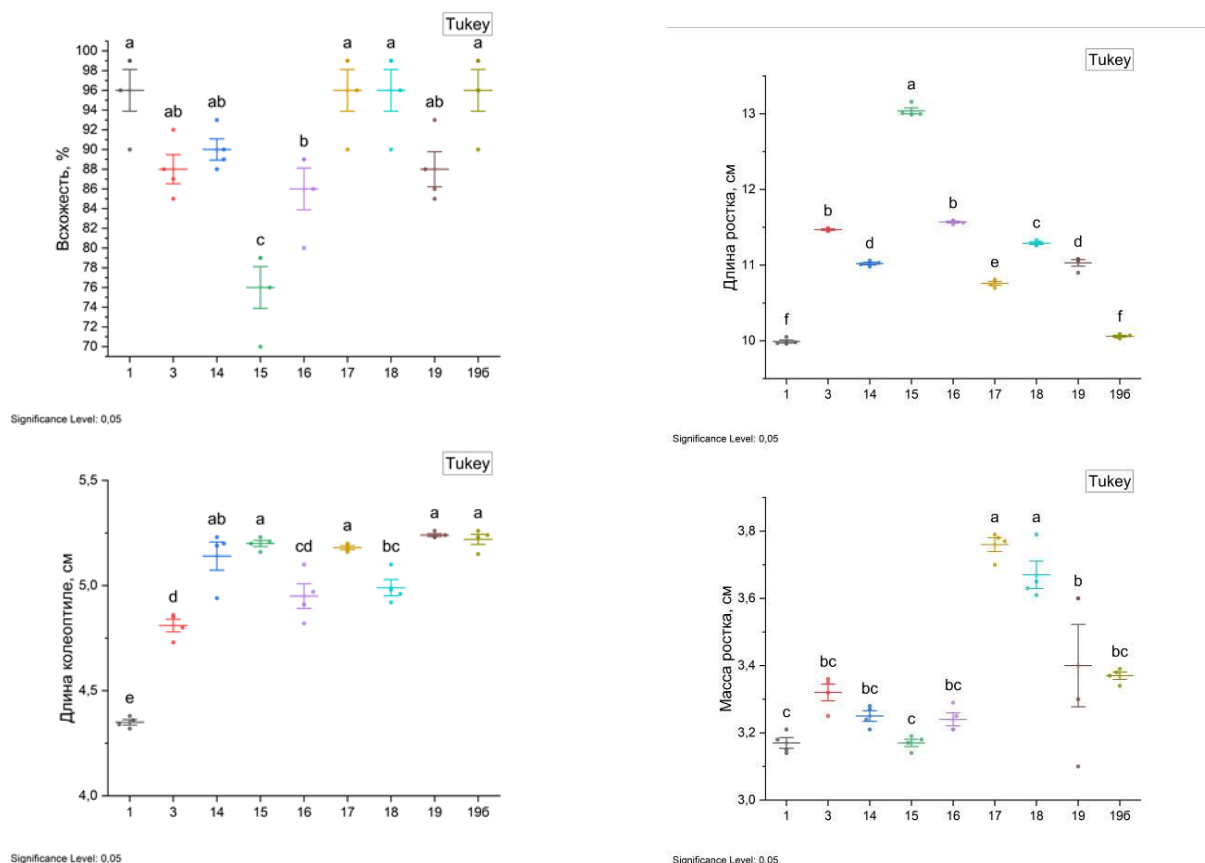


Рис. 2. Статистическая значимость изменения всхожести, развития coleoptile, роста в течение 7 сут ($\pm$ стандартная ошибка среднего значения, сравнены с использованием однофакторного дисперсионного анализа с апостериорным тестом множественного сравнения Тьюки). Различия букв указывает на статистически значимые различия ($p < 0,05$)

Statistical significance of changes in germination, coleoptile development, and sprouts within 7 days. ($\pm$ standard error of the mean, compared using one-way ANOVA with Tukey's multiple comparison post hoc test). Differences in letters indicate statistically significant differences ($p < 0.05$)

Таблица 3

Развитие ростков на 7-е сутки после обработки суточных проростков
Development of sprouts on the 7th day after treatment of daily sprouts

Номер варианта	Длина ростка, см	$\pm$ к контролю, см / %	Масса ростков, г	$\pm$ к контролю, см / %
2 (контроль)	13,55	—	7,17	—
3	15,15	+1,6 / 11,8	8,02	+0,85 / 11,8
4	15,68	+2,13 / 15,7	8,25	+1,08 / 15,0
5	16,79	+3,24 / 23,9	9,07	+1,9 / 26,5
6	14,55	+1,0 / 7,3	7,82	+0,65 / 9,0
7	16,35	+2,8 / 20,6	8,9	+1,73 / 24,1
8	17,87	+4,32 / 31,8	9,05	+1,88 / 26,2
9	12,82	-0,73 / 5,4	6,47	-0,64 / 9,8
10	14,48	+0,93 / 6,8	7,3	+0,19 / 1,8

Примечание: масса ростков в пересчете на 100 растений (определялась массой общей пробы по повторению).

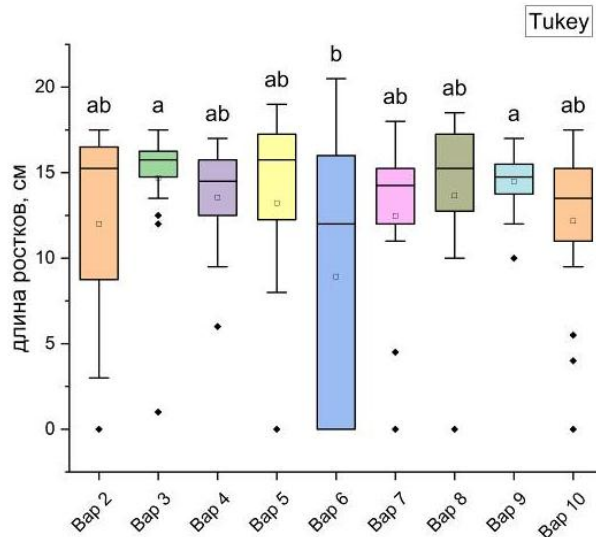


Рис. 3. Статистическая значимость изменения длины ростка на 7-е сут при обработке суточных проростков ($\pm$ стандартная ошибка среднего значения, сравнены с использованием однофакторного дисперсионного анализа с апостериорным тестом множественного сравнения Тьюки). Различие букв указывает на статистически значимые различия ($p < 0,05$)

Statistical significance of change in sprout length at 7 days when treating daily sprouts ($\pm$ standard error of the mean, compared using one-way ANOVA with Tukey's multiple comparison post hoc test). Differences in letters indicate statistically significant differences ($p < 0.05$)

В полевых наблюдениях поражение растений пшеницы корневыми гнилями в фазу развития культуры (кущение – выход в трубку) показало распространение 0,7–4,0 %, на контрольном варианте – 1,65; при развитии болезни – 0,2–1,0; на контроле – 0,41 %. Предпосевная обработка семян химическим протравителем обеспечивала полную защиту растений пшеницы от развития корневых гнилей в условиях засушливости вегетационного периода. Применение бактериального препарата при обработке семян не повлияло на снижение болезни корней культуры при развитии болезни – 0,4–0,6 %, распространении – 1,4–2,1 %.

Измерение физиологических параметров развития растения в фазу кущения имело статистически незначимое слабое различие между вариантами по параметрам верхнего листа, выделили варианты с большим влиянием на длину листа, превысившие контроль на 1–2 см, или 14–28 %, – 3, 6, 8, 9 при варьировании длины листа в опыте 13–15 см. Большее влияние на длину листа оказали варианты с малой нормой применения бактериального препарата (1,5 л/т) и препарата «Биогор-Ж», т. е. высокие нормы бактериального консорциума несколько сдержи-

вали рост вегетативной массы. Ширина листа составляла 0,7–0,8 см при превышении контроля на вариантах 1, 4, 6, 10 и не имела связи по большинству вариантов с длиной листа. Длина растения в эту фазу составляла 16–25 см при статистически значимом изменении по испытываемым вариантам на 3–4 см от контроля, при снижении длины на вариантах с применением высоких норм расхода бактериального препарата. Обработка семян малыми нормами бактериального препарата стимулировала развитие параметров листа, большие нормы бактериального препарата снижали длину стебля растения до 20 %. Развитие морфометрических параметров флагового листа в фазу налив – молочная спелость, как основного органа, влияющего на формирование и налив семян, имело развитие длины листа 15–23 см с шириной 0,9–1,2 см. Большее влияние на развитие листа оказали обработки биопрепаратом в чистом виде и в смеси с другими препаратами в фазу флаголист – колошение по вариантам 10, 11, 12. Увеличение длины листа по сравнению с абсолютным контролем составило 3–4 см с увеличением ширины листа на 0,13–0,21 см по вариантам 8, 11, 12 (табл. 4, рис. 4).

Морфометрические характеристики формирования листа, см
Morphometric characteristics of leaf formation, cm

Номер варианта	Длина листа, см		Ширина листа,	
	среднее	+ / – к вар. 2	среднее	+ / – к вар. 2
Фаза кущение-трубка				
1	14,05	+ 0,85	0,83	+ 0,08
2	13,2		0,75	
3	15,7	+ 2,55	0,79	+ 0,04
4	14,8	+ 1,6	0,86	+ 0,11
5	13,9	+ 0,75	0,79	+ 0,04
6	15,2	+ 1,95	0,81	+ 0,06
7	14,3	+ 1,1	0,73	– 0,02
8	15,1	+ 1,85	0,71	– 0,04
9	16,0	+ 2,8	0,8	+ 0,03
10	14,6	+ 1,45	0,8	+ 0,05
Ст. откл.	–	0,85	–	0,04
Фаза налив – молочная спелость				
	Длина флагового листа, см		Ширина флагового листа, см	
1	18,85	– 0,6	1,01	–0,06
2	19,45		1,07	
3	14,7	– 4,8	0,91	– 0,16
4	20,2	+ 0,7	1,07	0,0
5	19,2	– 0,3	1,08	0,01
6	18,2	– 1,25	1,05	– 0,02
7	20,7	+ 1,2	1,12	+ 0,05
8	19,4	– 0,05	1,24	+ 0,17
10	23,5	+ 4,05	1,0	– 0,07
11	23,1	+ 3,65	1,28	+ 0,21
12	23,2	+ 3,75	1,2	+ 0,13
Ст. откл.		2,49		0,11

В опыте отмечались положительные изменения показателей структурного анализа развития колоса по применяемым препаратам, так, длина колоса составляла 7,2–8,6 см с увеличением по вариантам обработки семян и растений по вегетации 8, 11, 12, количество колосков в колосе 11,2–13,8 шт., с превышением контроля по вариантам применения «СинКона» 3, 4, 5. Число зерен в колосе 27–28 шт., различие недостоверное, вес зерна с 25 растений увеличи-

вался с 27 до 31 г по вариантам 4, 5, 7, 8. Один из основных показателей, реагирующих на погодные условия и применение агрохимикатов и пестицидов, – это показатель масса 1000 зерен, равный 38–42 г, с превышением контроля на 1,6–4,0 г по вариантам применения биопрепаратов с нормами 2,5–5,0 л/т и «Биогор-Ж», варианты только с применением по вегетации не повлияли на увеличение показателя.

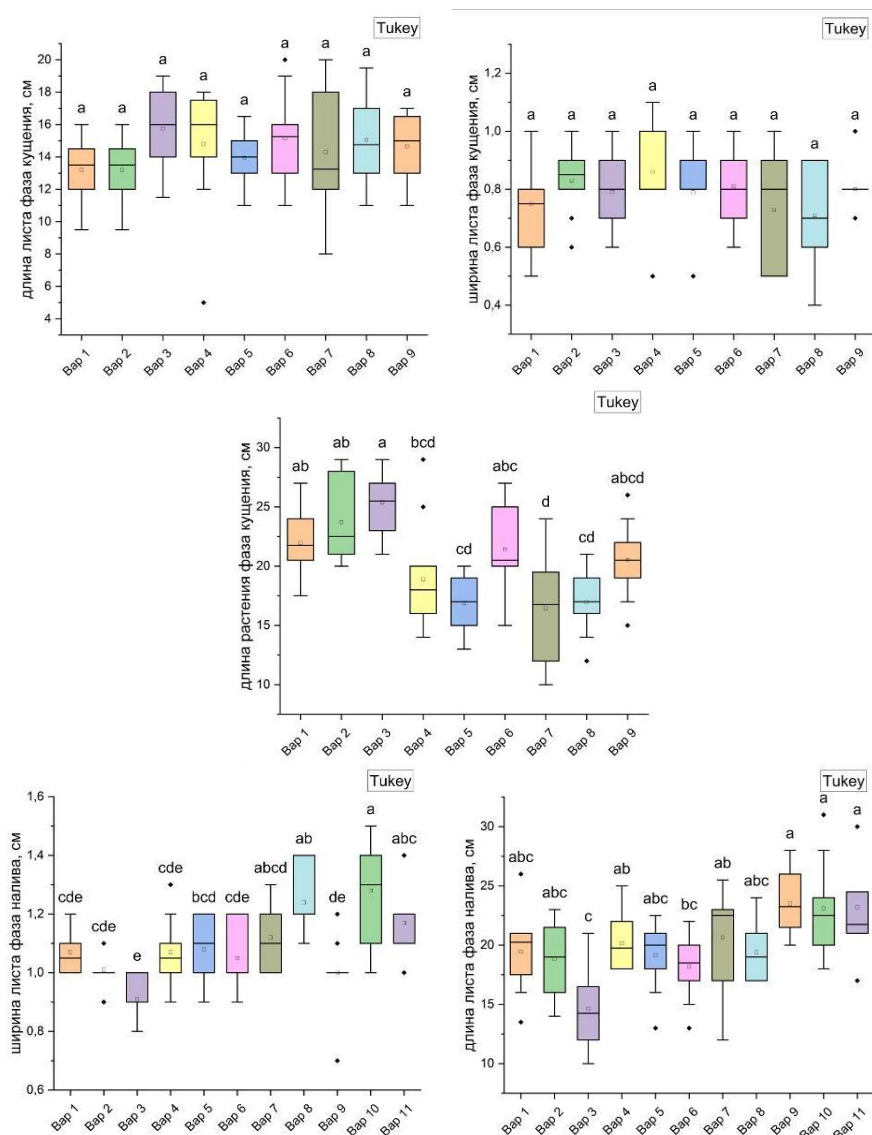


Рис. 4. Статистическая значимость изменения формирования листа в разные фазы развития растения ($\pm$ стандартная ошибка среднего значения, сравнены с использованием однофакторного дисперсионного анализа с апостериорным тестом множественного сравнения Тьюки). Различие букв указывает на статистически значимые различия ($p < 0,05$)

Statistical significance of changes in leaf formation at different phases of plant development. ($\pm$ standard error of the mean, compared using one-way ANOVA with Tukey's multiple comparison post hoc test). Differences in letters indicate statistically significant differences ($p < 0.05$)

Высокий уровень урожайности сформировался при стандартных элементах технологии за счет благоприятных температурных условий и обильных осадков в критические фазы развития растений, снижающих последствия засухливости периодов слабым развитием листовых болезней пшеничного ценоза. Урожайность культуры составляла 4,5–4,7 т/га, статистически незначимые изменения в пределах 0,01–0,06 т/га наблюдались на вариантах с

нормой бактериального препарата 2,5–5,0 л/т. Отсутствие прибавки урожая при использовании бактериальных препаратов, сопровождающееся положительной динамикой морфометрических показателей, может объясняться стабильностью вегетативных свойств растений. Очевидно влияние погодных условий вегетационного периода на развитие растений и их восприятие положительных эффектов бактериальных культур (табл. 5, рис. 5).

Урожайность культуры, т/га
Crop yield, t/ha

Вариант	Средняя урожайность, т/га		
	т/га	+/- т/га	+/- %
1. Химическое протравливание семян, 1,0 л/т (контроль)	4,61	– 0,09	– 1,91
2. Контроль (без обработки семян)	4,7	–	–
3. СинКон, 1,5 л/т (семена) + «СинКон», 5,0 л/га (31-32 кущение)	4,7	0	0
4. СинКон, 2,5 л/т (семена)	4,71	+ 0,01	+ 0,2
5. СинКон, 5,0 л/т (семена)	4,76	+ 0,06	+ 1,2
6. Биоуголь 1,5 л/т (семена) + Биоуголь, 5,0 л/га (31-32 кущение)	4,66	– 0,04	– 0,8
7. Биоуголь 2,5 л/т (семена)	4,74	+ 0,04	+ 0,8
8. Биоуголь 5,0 л/т (семена)	4,59	– 0,11	– 2,3
9. Биогор-Ж серии КМ, 2,0 л/т (семена); 2 л/га (фаза 31-32 кущения – трубки); 2 л/га (молочная спелость)	4,77	+ 0,07	1,48
10. Биогор-Ж серии КМ, 2,0 л/т + «СинКон» + Биоуголь, 5,0 л/т (на семена) + Биоуголь, 5,0 л/га (флаглист – колошение)	4,64	– 0,06	– 1,2
11. «СинКон», 2,5 л /га (флаглист – начало колошения)	4,54	– 0,13	– 3,4
12. «СинКон», 5,0 л /га (флаглист – начало колошения).	4,53	– 0,17	– 3,6

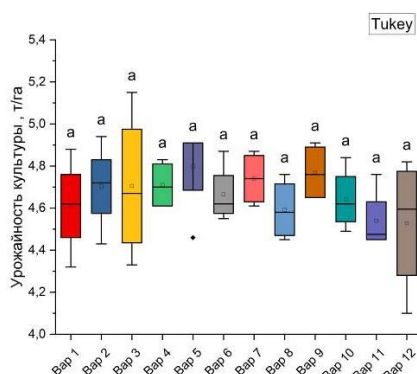


Рис. 5. Статистическая значимость изменения урожайности по вариантам опыта ($\pm$ стандартная ошибка среднего значения, сравнены с использованием однофакторного дисперсионного анализа с апостериорным тестом множественного сравнения Тьюки).

Различие букв указывает на статистически значимые различия ($p < 0,05$)

Statistical significance of yield changes across experimental variants ($\pm$ standard error of the mean, compared using one-way ANOVA with Tukey's multiple comparison post hoc test). Differences in letters indicate statistically significant differences ($p < 0.05$)

Закключение. Положительное влияние опытного образца биологического препарата (консорциум *B. simplex* и *B. megaterium*) и в варианте иммобилизации на частицах биоугля отмечалось в снижении грибов р. *Alternaria* при норме 5,0 л/т, стимулировании малыми нормами всхожести семян на 6–8 %, стимулировании роста при обработке ростков с нормами расхода биопрепаратов 2,5–5,0 л/т, отрицательное – в снижении развития зародышевых органов при обработке семян сложными смесями биопрепара-

тов. Влияние биопрепаратов на микромицеты р. *Alternaria* в последующем не повлияло на снижение развития корневых гнилей растений пшеницы.

Морфометрические показатели роста в большей степени реагировали увеличением на применение препаратов по вегетации. Высокая урожайность (4,5–4,7 т/га) с отсутствием влияния испытываемых схем препаратов обуславливается сложившимися благоприятными условиями для формирования урожая.

Список источников

1. Власенко А.Н., Шоба В.Н., Ким С.А., и др. Совершенствование технологий возделывания яровой пшеницы в Западной Сибири // Сибирский вестник. № 5. 2015. С. 5–12.
2. Гилев С.Д., Цымбаленко И.Н., Копылов А.Н., и др. Приемы биологизации при возделывании яровой пшеницы в ресурсосберегающих технологиях Зауралья // Плодородие. 2019. № 3 (108). С. 42–46. DOI: 10.25680/S19948603.2019.108.13.
3. Гамзаева Р.С. Количественная и качественная оценка биологической активности дерново-подзолистой почвы при применении бактериальных препаратов // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2020. № 58. С. 103–109. DOI: 10.24411/2078-1318-2020-11103.
4. Дайнеко Н.М., Тимофеев С.Ф., Концевая И.И., и др. Численность целлюлозоразрушающих и олигокарбофильных бактерий в почве под влиянием микробных биопрепаратов // Достижения науки и образования. 2022. № 2 (82). С. 4–6.
5. Хамова О.Ф., Тукмачева Е.В., Шулико Н.Н. Влияние применения минеральных удобрений, соломы и инокуляции семян на микрофлору ризосферы озимой пшеницы и ее урожайность // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2020. № 6 (188). С. 49–58.
6. Долгополова Н.В. Эффективность действия микроэлемента молибдена на продуктивность озимой пшеницы в структуре севооборота // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2019. № 1. С. 48–52.
7. Isaychev V., Andreev N., Kostin V. The effect of macro-and micro-fertilizers on spring wheat productivity. In: E3S Web of Conferences. EDP Sciences. 2020. Vol. 224. P. 04040.
8. Лазарев В.И., Минченко Ж.Н., Башкатов А.Я. Агроэкологическое обоснование применения микроэлементных удобрений при возделывании яровой пшеницы // Теоретическая и прикладная экология. 2020. № 3. С. 154–160. DOI: 10.25750/1995-4301-2020-3-154-160.
9. Гагарина И.Н., Гаврилова А.Ю. Исследование влияния микроудобрений на основе гуматов торфа и микроэлементов на ростовые показатели проростков пшеницы. В сб.: I Национальная научно-практическая Интернет-конференция по актуальным проблемам в области биотехнологии «Передовые научно-технические проекты в биотехнологии». Орел, 19 мая 2022 года. Орел: Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина, 2022. С. 152–156. EDN: EIOAOJ.
10. Тимофеев В.Н., Вьюшина О.А. Испытание наночастиц макро- и микроэлементов на зерновых культурах // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2022. Т. 52. № 1. С. 37–47. DOI: 10.26898/0370-8799-2022-1-4.
11. Асатурова А.М., Жевнова Н.А., Цыгичко А.А. Влияние лабораторных образцов биопрепаратов и их смесей с органоминеральными удобрениями на рост и развитие растений озимой пшеницы и подсолнечника // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2019. Т. 20, № 6. С. 602–612. DOI: 10.30766/2072-9081.2019.20.6.602-612.
12. Тарасенкова Ю.П. Эффективность выращивания яровой пшеницы с применением биологических препаратов в условиях светло-каштановых почв // Аграрный научный журнал. 2021. № 1. С. 48–51. DOI: 10.28983/asj.y2021i1pp 48-51.
13. Чайковская Л.А., Овсиенко О.Л. Фосфатмобилизующие микроорганизмы: 1. Биоразнообразие, влияние на Минеральное питание растений и их продуктивность // Таврический вестник аграрной науки. 2021. № 4 (28). С. 159–182. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-4-28-159-182.
14. Сабитов М.М., Захаров С.А. Влияние предпосевной обработки семян биологическими препаратами на урожайность озимой пшеницы // Пермский аграрный вестник. 2022. № 3 (39). С. 32–38. DOI: 10.47737/2307-2873_2022_39_32.
15. Хоанг Т.А., Марьина-Чермных О.Г. Воздействие биопрепаратов на развитие корневой гнили ярового ячменя в условиях Республики Марий Эл // Вестник Марийского государственного университета. Серия: Сельскохозяйственные науки. Экономические науки. 2020. Т. 6, № 3 (23). С. 345–351. DOI: 10.30914/2411-9687-2020-6-3-345-350.
16. Compant S., Duffy B., Nowak J., et al Biocontrol of plant diseases using plant growth-promoting bacteria (PGPB): principles, mechanisms of action and future prospects // Appl Environ Microbiol. 2005. Vol. 71. P. 4951–4959.

17. Pérez-García Alejandro, Diego Romero, Antonio De Vicente. Plant protection and growth stimulation by microorganisms: biotechnological applications of Bacilli in agriculture // *Current opinion in biotechnology*. 2011. Vol. 22.2. P. 187–193.
18. Domanskaya O.V., Bome N.A., Iashnikov A.V., et al. The Multiple Activities and the Plant Beneficial Potential of Bacillus spp. Derived from the Permafrost of Western Siberia // *Agronomy*. 2021. Vol. 11. P. 2347. DOI: 10.3390/agronomy11112347.
19. Barrow C.J. Biochar: Potential for countering land degradation and for improving agriculture // *Appl. Geogr.* 2012. Vol. 34. P. 21–28.
20. Biederma L.A.; Harpole W.S. Biochar and its effects on plant productivity and nutrient cycling: a meta-analysis // *GCB Bioenergy*. 2013. Vol. 5, P. 202–214.
21. Siyuan Tao, Zhansheng Wu, Mengmeng Wei, et al. Bacillus subtilis SL-13 biochar formulation promotes pepper plant growth and soil improvement // *Canadian Journal of Microbiology*. 2019. Vol. 65. P. 5.
22. Ивановский Д.И. Физиология растений. М.: Либроком, 2012. 554 с.
23. Никитенко Г.Ф. Опытное дело в полеводстве. М.: Россельхозиздат, 1982. 190 с.
24. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Вып. 2. М.: 1989. 194 с.
25. Чулкина В.А. Методические указания по учету обыкновенной корневой гнили хлебных злаков в Сибири дифференцированно по органам. Новосибирск, 1972. 21 с.
26. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат. 1985. 354 с.

References

1. Vlasenko AN, Shoba VN, Kim SA, et al. Sovershenstvovaniye tekhnologiy vozdeystviya yarovoy pshenitsy v Zapadnoy Sibiri // *Siberian Bulletin of Agricultural Science*. 2015;5:5-12. (In Russ.).
2. Gilev SD, Tsymbalenko IN, Kopylov AN, et al. The study of biologization methods in the cultivation of spring wheat under the resource-saving technologies of the Trans-Urals // *Plodородie*. 2019;3:42-46. (In Russ.). DOI: 10.25680/S19948603.2019.108.13.
3. Gamzayeva RS. Kolichestvennaya i kachestvennaya otsenka biologicheskoy aktivnosti drevno-podzolistoy pochvy pri primeneniі bakterial'nykh preparatov. *Bulletin of the St. Petersburg State Agrarian University*. 2020;58:103-109. (In Russ.). DOI: 10.24411/2078-1318-2020-11103.
4. Daineko NM, Timofeev SF, Kontsevaya II, et al. Chislennost' tsellyulozorazru-shayushchikh i oligokarbofil'nykh bakteriy v pochve pod vliyaniyem mikrobykh biopreparatov. *Dostizheniya nauki i obrazovaniya*. 2022;2:4-6 (In Russ.).
5. Khamova OF, Tukmacheva YV, Shuliko NN. The impact of mineral fertilizer and straw application together with seed inoculation on rhizosphere microflora of winter wheat and its yields. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2020;6:49-58 (In Russ.).
6. Dolgopolova NV. Efficiency of the microelement molybdenum on the productivity of winter wheat in the crop rotation structure. *Vestnik Kurskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* 2019;1:48-52 (In Russ.).
7. Isaychev V, Andreev N, Kostin V. The effect of macro-and micro-fertilizers on spring wheat productivity. *E3S Web of Conferences*. EDP Sciences. 2020;224:04040.
8. Lazarev VI, Minchenko JN, Bashkatov AY. Agroecological justification for the use of complex micro-nutrient-enriched fertilizers in the cultivation of spring soft wheat. *Theoretical and Applied Ecology*. 2020;3:154-160. (In Russ.). DOI: 10.25750/1995-4301-2020-3-154-160.
9. Gagarina IN, Gavrilova AY. Study of the influence of microfertilizers based on peat humates and microelements on the growth indicators of wheat seedlings // *Advanced scientific and technical projects in biotechnology: Proceedings of the I National scientific and practical Internet conference on current problems in the field of biotechnology*. Orel, 19 May 2022. Orel: Orel State Agrarian University named after N.V. Parakhin; 2022. P. 152–156. (In Russ.). EDN: EIOAOJ.
10. Timofeev VN, Vyushina OA. Testing of macro- and micronutrient nanoparticles on grain crops. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaystvennoi nauki*. 2021;52(1):37-47. (In Russ.). DOI: 10.26898/0370-8799-2022-1-4.
11. Asaturova AM, Zhevnova NA, Tsygichko AA, et al. The effect of laboratory samples of new biological products and their mixtures with organomineral fertilizers on growth and development of winter wheat

- and sunflower plants. *Agricultural Science Euro-North-East*. 2019;20(6):602-612. (In Russ.). DOI: 10.30766/2072-9081.2019.20.6.602-612.
12. Tarasenkova YP. Efficiency of growing spring wheat with the use of biological agents in light-chestnut soils. *Agrarian scientific journal*. 2021;1:48-51. (In Russ.). DOI: 10.28983/asj.y2021i1pp 48-51.
 13. Chaikovskaya LA, Ovsienko OL. Phosphate-mobilizing microorganisms: 1. Biodiversity, influence on plants mineral nutrition and productivity. *Taurida Herald of the Agrarian Sciences*. 2021;4:159-182. (In Russ.). DOI: 10.33952/2542-0720-2021-4-28-159-182.
 14. Sabitov MM, Zakharov SA. The effect of pre-sowing seed treatment with biological preparations on the yield of winter wheat. *Perm Agrarian Bulletin*. 2022;3:32-38. (In Russ.). DOI: 10.47737/2307-2873_2022_39_32.
 15. Hoang Tuan Anh, Maryina-Chermnykh OG. Impact of biological products on the development of spring barley root rot in the Republic of Mari El. *Vestnik of the Mari State University. Chapter "Agriculture. Economics"*. 2020;6(3):345-350. (In Russ.). DOI: 10.30914/2411-9687-2020-6-3-345-350.
 16. Compant S, Duffy B, Nowak J, et al. Biocontrol of plant diseases using plant growth-promoting bacteria (PGPB): principles, mechanisms of action and future prospects. *Appl Environ Microbiol* 2005;71:4951-4959.
 17. Pérez-García Alejandro, Diego Romero, Antonio De Vicente. Plant protection and growth stimulation by microorganisms: biotechnological applications of Bacilli in agriculture. *Current opinion in biotechnology*. 2011;22.2:187-193.
 18. Domanskaya OV, Bome NA, Iashnikov AV, et al. The Multiple Activities and the Plant Beneficial Potential of Bacillus spp. Derived from the Permafrost of Western Siberia. *Agronomy*. 2021;11:2347. DOI: 10.3390/agronomy11112347.
 19. Barrow CJ. Biochar: Potential for countering land degradation and for improving agriculture. *Appl. Geogr.* 2012;34:21-28.
 20. Biederma LA; Harpole WS. Biochar and its effects on plant productivity and nutrient cycling: a meta-analysis. *GCB Bioenergy*. 2013;5:202-214.
 21. Siyuan Tao, Zhansheng Wu, Mengmeng Wei, et al. Bacillus subtilis SL-13 biochar formulation promotes pepper plant growth and soil improvement. *Canadian Journal of Microbiology*, 2019;65:5.
 22. Ivanovsky DI. *Fiziologiya rasteniy*. M.: Librokom, 2012. 554 p. (In Russ.).
 23. Nikitenko G.F. *Opytnoye delo v polevodstve*. Moscow: Rossel'khozizdat, 1982. 190 p. (In Russ.).
 24. *Metodika gosudarstvennogo sortoispytaniya sel'skokhozyaystvennykh kul'tur*. V. 2. Moscow: 1989. 194 p. (In Russ.).
 25. Chulkina VA. *Metodicheskiye ukazaniya po uchetu obyknovennoy kornevoy gnili khlebnnykh zlakov v Sibiri differentsirovanno po organam*. Novosibirsk, 1972. 21 p. (In Russ.).
 26. Dospekhov BA. *Metodika polevogo opyta*. Moscow: Agropromizdat. 1985. 354 p. (In Russ.).

Статья принята к публикации 02.06.2025 / The article accepted for publication 02.06.2025.

Информация об авторах:

Вячеслав Николаевич Тимофеев¹, научный сотрудник лаборатории защиты растений, кандидат сельскохозяйственных наук

Ольга Валерьевна Доманская², младший научный сотрудник лаборатории антимикробной резистентности института X-BIO, аспирант

Алексей Сергеевич Васильченко³, заведующий лабораторией антимикробной резистентности института X-BIO, кандидат биологических наук

Information about the authors:

Vyacheslav Nikolaevich Timofeev¹, Researcher at the Plant Protection Laboratory, Candidate of Agricultural Sciences

Olga Valerievna Domanskaya², Junior Researcher at the Laboratory of Antimicrobial Resistance at the X-BIO Institute, Postgraduate student

Alexey Sergeevich Vasilchenko³, Head of the Laboratory of Antimicrobial Resistance at the X-BIO Institute, Candidate of Biological Sciences