

ВЛИЯНИЕ СУСПЕНЗИИ ШТАММА *Pseudomonas* sp. GEOT18 НА РОСТ И УРОЖАЙНОСТЬ ЯРОВОГО ЯЧМЕНЯ В УСЛОВИЯХ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ВНЕСЕНИЯ ФОСФОРНЫХ УДОБРЕНИЙ

И.И. Рассохина¹, научный сотрудник, rasskhinairina@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-6129-6912;

А.В. Платонов^{1,2}, кандидат биологических наук, доцент, ведущий научный сотрудник, platonov70@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-1110-7116;

О.А. Маракаев³, кандидат биологических наук, доцент, декан факультета биологии и экологии, olemar@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-1110-7116.

¹ФГБУН «Вологодский научный центр Российской академии наук»,

160014, Россия, г. Вологда, ул. Гоголя, д. 56А;

²ФКОУ ВО «Вологодский институт права и экономики» ФСИН России,

160002, Россия, г. Вологда, ул. Щетинина, 2;

³ФГБОУ ВО «Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова», 150003, Россия, г. Ярославль, ул. Советская, д. 14.

Цель работы – изучить действие суспензии штамма *Pseudomonas* sp. GEOT18 на рост и продуктивность ячменя сорта Сонет при внесении фосфорных удобрений в условиях Нечерноземной зоны России (на примере Вологодской области). Исследование проводилось в вегетационные периоды 2020–2024 гг., при этом в период 2023–2024 гг. исследования затрагивали действие суспензии изучаемого штамма на растения ячменя в условиях дополнительного внесения фосфорных минеральных удобрений. Работа реализовывалась на опытном поле ФГБУН «Вологодский научный центр Российской академии наук» (Вологодская область, Нечерноземная зона России). В рамках исследований внесение бактерий осуществлялось дважды: путем предпосевного замачивания семян и опрыскивания филлосферы в фазу кущения рабочим раствором суспензии. Рабочий раствор изучаемого штамма получали путем разбавления суспензии (плотность клеток 10^9 КОЕ/мл) водопроводной водой в соотношении 1:20. В качестве контроля использовали водопроводную воду. В качестве фосфорных удобрений использовали суперфосфат в дозировках 25, 50 и 100 г/м². Результаты исследования продемонстрировали ростостимулирующее действие суспензии штамма *Pseudomonas* sp. GEOT18: наблюдалось увеличение ассимиляционной поверхности, содержания фотосинтетических пигментов в листьях и весовых параметров опытных вариантов ячменя по сравнению с контролем. При этом внесение фосфорных удобрений существенно увеличивало ростовые параметры ячменя, однако еще более значительных показателей культура достигала в условиях совместного внесения фосфорных удобрений и суспензии изучаемого штамма. Зерновая урожайность в условиях внесения исключительно суспензии штамма *Pseudomonas* sp. GEOT18 превосходила контроль на 16–40% в зависимости от условий сезона. Фосфорные удобрения увеличивали выход зерна ячменя с единицы площади на 48–100%, а их совместное использование с изучаемой суспензией штамма – на 72–109% (прибавка на 5–12% относительно вариантов с исключительным использованием фосфатов) в зависимости от условий сезона и дозировки внесения удобрений.

Ключевые слова: *Hordeum*, *Pseudomonas*, фосфорные удобрения, рост, зерновая продуктивность, фотосинтетические пигменты.

Для цитирования: Рассохина И.И., Платонов А.В., Маракаев О.А. Влияние суспензии штамма *Pseudomonas* sp. GEOT18 на рост и урожайность ярового ячменя в условиях дополнительного внесения фосфорных удобрений // Зерновое хозяйство России. 2026. Т.18. №1. С.104-111. DOI: 10.31367/2079-8725-2026-102-1-104-111



THE EFFECT OF A SUSPENSION OF THE STRAIN *Pseudomonas* sp. GEOT18 ON GROWTH AND PRODUCTIVITY OF SPRING BARLEY WITH ADDITIONAL APPLICATION OF PHOSPHORUS FERTILIZERS

I.I. Rassokhina¹, researcher, rasskhinairina@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-6129-6912;

A.V. Platonov^{1,2}, Candidate of Biological Sciences, associate professor, leading researcher, platonov70@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-1110-7116;

O.A. Marakaev³, Candidate of Biological Sciences, associate professor, dean of the faculty of biology and ecology, olemar@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-1110-7116.

¹FSBIS "Vologda Research Center of the Russian Academy of Sciences",
160014, Russia, Vologda, Gogol' Street, 56A;

²VILE of the FPS of Russia,
160002, Russia, Vologda, Tshetinina Str., 2;

³FSBEI HE "P.G. Demidov Yaroslavl State University",
150003, Russia, Yaroslavl, Sovetskaya Str., 14.

The purpose of the current work was to study the effect of a suspension of the strain *Pseudomonas* sp. GEOT18 on growth and productivity of spring barley variety Sonet with application of phosphorus fertilizers in the Non-Blackearth Zone of Russia (using the Vologda Region as an example). The study was conducted during the vegetation periods of 2020–2024, at the same time in 2023–2024 the study included examining the effect of the strain suspension on barley plants with additional application of phosphorus fertilizer. The study was conducted at the experimental plots of the Vologda Research Center of the Russian Academy of Sciences (Vologda Oblast, Non-Blackearth Zone of Russia). During the study, bacteria were introduced twice, by pre-sowing seed soaking and by spraying the phyllospheres with a working solution of the suspension during the tillering stage. The working solution of the studied strain was obtained by diluting the suspension (cell density 10^9 CFU/ml) with tap water at a ratio of 1:20. Tap water was used as a control. Superphosphate was used as a phosphorus fertilizer at doses of 25, 50, and 100 g/m². The study has demonstrated the growth-promoting effect of the suspension of the strain *Pseudomonas* sp. GEOT18 with an increase in the assimilatory surface area, photosynthetic pigment content in leaves, and weight parameters of the experimental barley varieties compared to the control. While application of phosphorus fertilizers significantly increased barley growth parameters, the crop achieved even greater results when both phosphorus fertilizer and the suspension of the studied strain were applied simultaneously. Grain productivity from the suspension of *Pseudomonas* sp. GEOT18 alone exceeded the control by 16–40%, depending on seasonal conditions. Phosphorus fertilizers increased barley grain yield per area unit by 48–100%, and their combined use with the suspension of the studied strain by 72–109% (5–12% increase relative to variants with the exclusive use of phosphates), depending on the conditions of the season and the dosage of fertilizer application.

Keywords: *Hordeum*, *Pseudomonas*, phosphorus fertilizers, growth, grain productivity, photosynthetic pigments.

Введение. Нечерноземная зона России, охватывающая обширные территории Европейской части, характеризуется комплексом агроклиматических факторов, существенно лимитирующих агропроизводство, особенно зерновых. Ключевые ограничения – дефицит тепла, избыточное увлажнение и высокая вероятность поздневесенних и раннеосенних заморозков. Преобладают малоплодородные дерново-подзолистые, подзолистые и болотные почвы с повышенной кислотностью, низким содержанием гумуса и доступных питательных элементов (Кирейчева и др., 2022; Дорохов, Бельшикина, 2021). Эти условия вызывают значительные трудности для зернового хозяйства: ограничивают ассортимент культур (овес, ячмень, рожь), повышают риск недобора урожая из-за выпревания, вымокания, полегания и повреждения заморозками, а также требуют интенсивных мелиораций и высоких доз удобрений.

В Вологодской области ячмень – важная зерновая культура (17–18% посевных площадей), сорт Сонет – один из основных в регионе. Доминирование данной культуры обусловлено ее высокой питательной ценностью (1,2 к.ед./кг) и оптимальным биохимическим профилем (12–15% протеина, до 40% углеводов, до 4% липидов) (Сумина и др., 2020). Важно, что ячмень имеет высокую адаптивность к неблагоприятным условиям, обеспечивая стабильность урожая в Вологодской области.

При этом достижение стабильно высокой продуктивности агроценозов невозможно без удобрений и средств защиты растений из-за истощения почвенного плодородия, высокой конкуренции сорняков и массового развития фитопатогенов и фитофагов (Сабирова

и др., 2021). Однако традиционная химизация сопряжена с негативными экологическими последствиями: накопление пестицидов, резистентность вредных организмов, деградация почвенной биоты, эвтрофикация (Проворов, Тихонович, 2022). Актуальное направление земледелия – внедрение экологически ориентированных технологий с использованием биологических средств защиты (биофунгициды, биоинсектициды, элиситоры) и биопрепаратов на основе полезных микроорганизмов для повышения доступности питательных элементов (Ахмедова, 2023). Эти агенты, обладая избирательностью и биodeградируемостью, позволяют снизить пестицидную нагрузку при сохранении урожайности. В этом вопросе перспективными являются бактерии рода *Pseudomonas*, которые способны и стимулировать рост растений, и подавлять фитопатогены (Korshunova et al., 2021; Sánchez Carrillo, Guerra Ramírez, 2022).

Цель работы – изучить действие суспензии штамма *Pseudomonas* sp. GEOT18 на рост и продуктивность ячменя сорта Сонет при внесении фосфорных удобрений в условиях Нечерноземной зоны России (на примере Вологодской области).

Материалы и методы исследований. Бактериальный штамм *Pseudomonas* sp. GEOT18 был выделен из эндосимбиотических сообществ стеблекорневых генеративных тубероидов *Dactylorhiza incarnata* (L.) Soó. Работы по изоляции проведены на базе лаборатории молекулярной генетики и биотехнологии Ярославского государственного университета им. П.Г. Демидова. Филогенетическую идентификацию микроорганизма выполнили посредством секвенирования фрагмента гена 16S рНК. Полученная нуклеотидная последовательность депонирована в международной базе GenBank (номер доступа: MT180656). Согласно

ранее полученным данным (Buchkova et al., 2022), штамм продуцирует индол-3-уксусную кислоту (ИУК) в концентрациях до 21,1 мг/л и проявляет способность к солибилизации минеральных соединений, включая фосфор, с последующим их транспортом. Для экспериментов применяли рабочий раствор суспензии GEOT18, получаемый разведением ночной культуры (среда LB, выращивание на при 24°C, 16–18 ч, постоянное перемешивание, плотность 10^9 КОЕ/мл) водопроводной водой в пропорции 1:20.

Исследования влияния суспензии *Pseudomonas* sp. GEOT18 на ростовые показатели и продуктивность проводили на яровом ячмене (*Hordeum vulgare* L.) сорта Сонет – распространенной зерновой культуре Нечерноземной зоны РФ. Полевые опыты осуществляли в течение четырех вегетационных сезонов (2020 год, 2022–2024 года) на экспериментальном участке ФГБУН ВолНЦ РАН. В период 2023–2024 гг. исследования включали варианты с дополнительным внесением фосфорных удобрений. Схема опыта предусматривала трехкратную повторность, площадь учетной делянки – 2 м². Посев проводили в середине-конце мая с нормой высева 5 млн. всхожих семян на гектар. Обработку опытных растений осуществляли дважды: предпосевную инокуляцию семян (30-минутное выдерживание в суспензии) и опрыскивание вегетирую-

щих растений в фазе кущения (до образования на побегах капель мелкодисперсной росы). Контрольные растения обрабатывали водопроводной водой по аналогичному протоколу. В качестве источника фосфора использовали суперфосфат (FERTIKA, P₂O₅), вносимый в дозах 25, 50 и 100 г/м² непосредственно перед посевом. Почва опытного участка – дерново-подзолистая, среднесуглинистая.

Агрохимические показатели (среднее ± отклонение): аммиачный азот – 4,2 ± 0,6 мг/кг, нитратный азот – 38,9 ± 7,8 мг/кг, подвижный калий – 261,0 ± 39,2 мг/кг, подвижный фосфор – 260,0 ± 52,0 мг/кг. Значение pH солевой вытяжки составило 6,6 ± 0,1.

Метеорологические характеристики вегетационных периодов существенно варьировали как между годами, так и относительно среднесезонных значений (табл. 1). В частности, 2020 год отличался избыточным увлажнением и умеренными температурами (прохладный май), 2022 год – умеренной влажностью, высокими температурами и холодным маем, 2023 год – общей прохладой при теплом сухом мае и дождливом июле, а 2024 год – жарой и влажностью на фоне прохладного мая.

Таблица 1. Погодные условия вегетационных периодов годов исследования в окрестностях г. Вологды (по данным Летопись погоды в 2006–2025)

Table 1. Weather conditions during vegetation periods of the years of study in Vologda neighborhoods (according to the Weather Chronicle in 2006–2025)

Показатель	Норма*	Относительно нормы**			
		2020 г.	2022 г.	2023 г.	2024 г.
Среднемесячная температура мая, °C	11,0	- 2,0	- 3,0	+ 1,0	- 1,7
Количество осадков в мае, мм	41,4	+ 95,6	+ 23,6	- 12,4	+ 5,6
Среднемесячная температура июня, °C	14,5	+ 1,5	+ 1,5	- 0,8	+ 3,3
Количество осадков в июне, мм	59,6	+ 1,4	+ 1,4	- 7,6	+ 81,4
Среднемесячная температура июля, °C	17,9	- 0,9	+ 1,3	- 1,2	+ 1,6
Количество осадков в июле, мм	66,3	+ 75,7	+ 14,7	+ 76,7	- 27,3
Среднемесячная температура августа, °C	15,2	- 1,1	+ 4,1	+ 2,1	+ 1,1
Количество осадков в августе, мм	70,5	+ 0,5	- 43,5	- 63,5	- 35,5

* Норма рассчитывалась как среднее значение за 2000-2018 гг.;

** «+» – больше нормы, «-» – меньше нормы.

Морфофизиологический анализ растений включал фиксацию в фазы кущения, колошения и цветения: числа побегов и листьев, средней площади листа и общей ассимиляционной поверхности. Количественное определение фотосинтетических пигментов (хлорофиллы *a*, *b*, каротиноиды) в листьях проводили спектрофотометрически (663 нм, 644 нм, 452.5 нм) в ацетоновых экстрактах (85%) с последующим расчетом по формулам Реббелена (Гавриленко, Жигалова, 2003). Также оценивались показатели биомассы: сырая и сухая масса надземной части, прирост сухого вещества. В начале восковой спелости по сноповому методу (Доспехов, 2011) определяли элементы продуктивности: количество зерен в колосе ($n=50$) и массу 1000 зерен ($n=5$).

Обработка данных выполнена методами математической статистики с применением пакета анализа MS Excel 2019. Данные представлены как $M \pm SD$. Статистическую значимость различий между средними значениями проверяли при $p \leq 0,05$ (95% доверительная вероятность).

Результаты и их обсуждение. Суспензия штамма *Pseudomonas* sp. GEOT18 начиная с фазы колошения значимо увеличивала ассимиляционную поверхность и сухую массу побегов ячменя сорта Сонет вне зависимости от вегетационного периода (табл. 2), различия с контролем достигали 21–29% и 60–64% соответственно опыту 2020 и 2022 гг. При этом к фазе цветения ячменя различия по сухой массе становятся еще более выраженными и достигают 70–88% относительно контроля.

Таблица 2. Изменение ростовых параметров ячменя при действии суспензии штамма

Table 2. Changes in barley growth parameters under the effect of the strain suspension

Стадия вегетации	Площадь всех листьев растения, см ²			Сухая масса надземных органов, г		
	контроль	опыт	НСР ₀₅	контроль	опыт	НСР ₀₅
2020 год						
кущение	17,5 ± 0,3	17,7 ± 0,2	3,29	0,159 ± 0,001	0,150 ± 0,001	0,010
колошение	27,3 ± 2,0	33,0 ± 2,3	7,82	0,352 ± 0,039	0,453 ± 0,054*	0,086
цветение	28,9 ± 1,5	34,7 ± 1,8	6,53	0,841 ± 0,053	1,428 ± 0,115*	0,325
2022 год						
кущение	21,8 ± 1,4	36,5 ± 1,9*	6,66	0,297 ± 0,021	0,423 ± 0,024*	0,097
колошение	33,3 ± 0,9	53,2 ± 1,0*	5,54	0,543 ± 0,046	0,888 ± 0,067*	0,214
цветение	30,7 ± 1,1	48,2 ± 1,6*	5,48	0,975 ± 0,094	1,833 ± 0,137*	0,254

Примечание: * – разница по сравнению с контролем статистически достоверна при $p \leq 0,05$.

В исследованиях 2023 и 2024 гг. выраженная тенденция превосходства опытных растений над контрольными по ростовым параметрам сохраняется. Например, среднесуточный прирост опытных растений превосходит контрольные на 35–112% и на 17–24% соответственно опытам 2023 года (рис. 1А) и 2024 года (рис. 1Б).

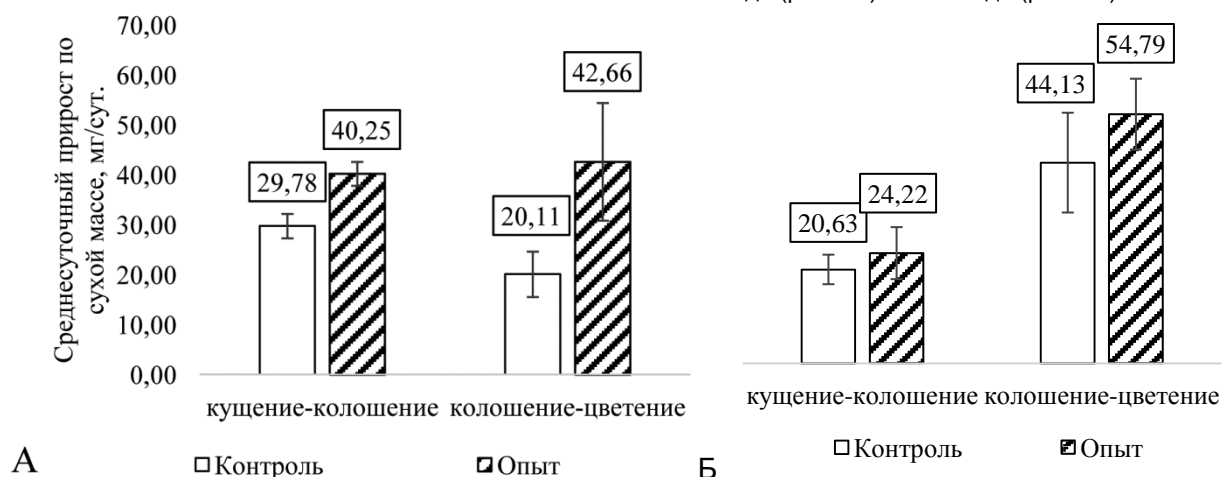


Рис. 1. Среднесуточный прирост 1 растения по сухой массе ячменя сорта Сонет: А – опыт 2023 года; Б – опыт 2024 года, мг/сут.

Fig. 1. Average daily increase of dry matter per plant of the barley variety Sonet: А – trial in 2023; Б – trial in 2024, mg/day

Установлено, что применение суспензии *Pseudomonas* sp. GEOT18 приводит к значимому увеличению концентрации фотосинтетических пигментов в листовом аппарате ячменя сорта Сонет. В условиях 2020 г. (Рассохина, Маракаев, 2023) превышение над контролем составило 16–55% (хлорофилл а), 33–55% (хлорофилл б) и 28–57% (каротиноиды), варьируя по фазам вегетации. Результаты исследований 2022–2024 годов демонстрируют воспроизводимость эффекта: при инокуляции штаммом в фазу колошения содержание хлорофиллов и каротиноидов возрастало на 23–59% и 25–40% соответственно.

Таким образом, многолетние исследования действия суспензии штамма *Pseudomonas* sp. GEOT18 по-

казывают его ростостимулирующее действие на растения ячменя сорта Сонет в условиях Нечерноземной зоны России. Учитывая, что штамм является фосфатмобилизирующим, о чем свидетельствуют как результаты собственных лабораторных исследований (посев бактерий на среде Муромцева), так и результаты коллег из Ярославского государственного университета им. П.Г. Демидова (Vuchkova et al., 2022), было интересно изучить его действие на растения в условиях дополнительного внесения фосфорных удобрений. Данные исследования проводились в вегетационные периоды 2023–2024 гг. в дозировках суперфосфата: 25, 50 и 100 г/м². Результаты показали, что внесение

минеральных фосфорных удобрений значительно повышало площадь отдельного листа (например, в опыте 2024 года в фазу колошения различия достигали 20–43%), общей ассимиляционной поверхности (36–81%) и весовые параметры ячменя (19–87%) относительно вариантов без их внесения. При этом дополнительное внесение суспензии изучаемого штамма еще несколько увеличивало наблюдаемые различия (рис. 2). Так, одновременное использование штамма *Pseudomonas* sp. GEOT18 и фосфорных удобрений в дозировке 50 г/м² увеличивает ассимиляционную поверхность ячменя на 47–73% относительно контроля (на 9–19% относительно вариантов с исключительным

использованием фосфорных удобрений), сухую массу – на 43–96% относительно контроля (на 12–20% относительно вариантов с исключительным использованием фосфорных удобрений). При использовании суспензии штамма и фосфатов в количестве 100 г/м² ассимиляционная поверхность возрастает на 97% (9–32% относительно вариантов с исключительным использованием фосфорных удобрений), сухая масса – на 95–105% (на 10–20% относительно вариантов с исключительным использованием фосфорных удобрений) относительно контроля.

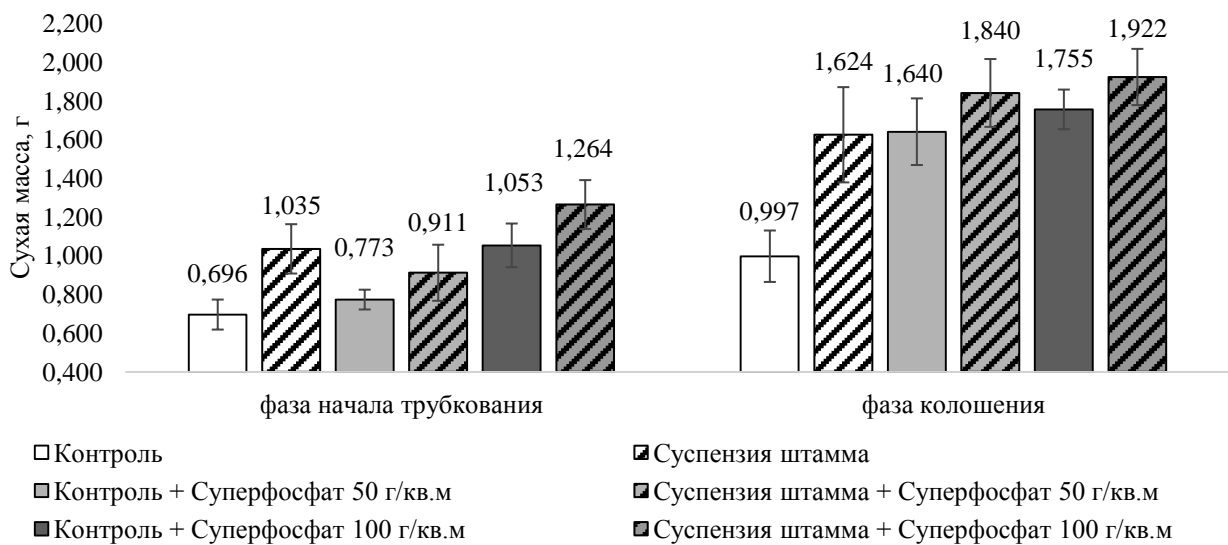


Рис. 2. Сухая масса ячменя сорта Сонет в течение вегетации при использовании фосфорных удобрений в разных дозировках (опыт 2024 г.), г

Fig. 2. Dry matter of the barley variety Sonet during vegetation with phosphorus fertilizers at different doses (trial in 2024), g

Полученные данные об увеличении суммарной поверхности листьев и массы сухого вещества при обработке суспензией *Pseudomonas* sp. GEOT18 на фоне фосфорного питания хорошо согласуются с результатами анализа накопления фотосинтетических пигментов. Так, в опыте с дополнительным использованием фосфорных удобрений в количестве 50 г/м² содержание хлорофиллов в листьях ячменя сорта Сонет при использовании суспензии изучаемого штамма возрастало на 6–9%, в опыте с дополнительным использованием фосфорных удобрений в количестве 100 г/м² – на 13–24%, содержание каротиноидов – на 4–17% относительно вариантов без использования суспензии.

Модификации физиологических процессов растений, в том числе происходящие на ранних этапах онто-

генеза, неизбежно проявляются в показателях зерновой продуктивности, как это зафиксировано в ходе наших исследований. В ходе многолетних исследований действия суспензии штамма *Pseudomonas* sp. GEOT18 на ячмень сорта Сонет было выявлено увеличение его зерновой урожайности, превосходство над контролем достигало 16–40%, при этом масса зерновки возрастала на 3–9%, количество зерновок в колосе – на 4–15% (табл. 3), также наблюдалось увеличение до 30% количества продуктивных стеблей на единицу площади посева. Использование фосфорных удобрений существенно сказалось на увеличении зерновой урожайности, различия с контролем достигали 48–54% при дозировке фосфатов в количестве 25 г/м², 52–81% – при 50 г/м² и 60–100% – при 100 г/м².

Таблица 3. Зерновая продуктивность ячменя и структура урожая

Table 3. Barley grain productivity and yield structure

Год	Вариант	Количество зерновок в колосе, шт.	Масса 1000 зерновок, г	Зерновая продуктивность, ц/га
2020	контроль	17,5 ± 0,2	53,4 ± 1,3	22,3 ± 1,8
	опыт	18,5 ± 0,2*	54,9 ± 1,3*	26,9 ± 1,6
	НСР ₀₅	1,00	0,65	4,87
2022	контроль	16,2 ± 0,2	50,1 ± 1,1	21,6 ± 0,6
	опыт	18,4 ± 0,9*	54,6 ± 1,3*	30,3 ± 0,6*
	НСР ₀₅	0,89	0,64	2,33
2023	контроль	17,5 ± 0,2	54,7 ± 2,3	14,2 ± 0,1
	опыт	18,6 ± 0,2*	56,7 ± 1,2	16,5 ± 1,6*
	НСР ₀₅	0,57	5,64	1,86
	Контроль + Суперфосфат 25 г/м ²	18,2 ± 0,2	57,5 ± 1,0	21,8 ± 0,6
	Опыт + Суперфосфат 25 г/м ²	19,0 ± 0,3*	59,1 ± 0,6	24,4 ± 0,8*
	НСР ₀₅	0,66	2,36	2,03
	Контроль + Суперфосфат 50 г/м ²	16,9 ± 0,2	58,6 ± 0,5	23,0 ± 0,1
	Опыт + Суперфосфат 50 г/м ²	17,6 ± 0,2*	59,1 ± 0,4	25,1 ± 0,5*
НСР ₀₅	0,56	1,33	2,02	
2024	контроль	20,3 ± 1,01	47,3 ± 1,01	18,8 ± 1,6
	опыт	23,4 ± 1,10*	49,2 ± 0,90	24,5 ± 2,2*
	НСР ₀₅	2,36	2,36	4,75
	Контроль + Суперфосфат 50 г/м ²	17,5 ± 0,31	51,8 ± 0,89	34,0 ± 3,6
	Опыт + Суперфосфат 50 г/м ²	18,5 ± 0,35*	55,0 ± 0,89	37,8 ± 4,8
	НСР ₀₅	0,75	2,14	8,30
	Контроль + Суперфосфат 100 г/м ²	19,4 ± 0,31	53,5 ± 0,68	37,6 ± 3,0
	Опыт + Суперфосфат 100 г/м ²	19,5 ± 0,69	52,2 ± 1,13	39,3 ± 1,8
НСР ₀₅	1,25	2,27	9,87	

Примечание: * – разница по сравнению с контролем статистически достоверна при $p \leq 0,05$.

Единовременное использование суспензии штамма *Pseudomonas sp.* GEOT18 и фосфорных удобрений оказалось еще более эффективно. Так, при совместном использовании данных систем превосходство над контролем достигало 72–109% в зависимости от дозировки минерального компонента (соответствует 5–12% относительно вариантов с исключительным использованием фосфатов). Кроме того, использование суспензии штамма *Pseudomonas sp.* GEOT18 и фосфорных удобрений в количестве 25 г/м² (24,4 ± 0,8 ц/га) и 50 г/м² (37,8 ± 4,8 ц/га) позволяет достичь урожайности соответствующей варианту с внесением фосфатов в большем количестве (23,0 ± 0,1 ц/га и 37,6 ± 3,0 ц/га соответственно).

Выводы. Таким образом, суспензия штамма *Pseudomonas sp.* GEOT18, оказывает стимулирующее влияние на рост и продуктивность ячменя обыкновенного сорта Сонет в условиях Нечерноземной зоны России. Эффективность была подтверждена многолетними полевыми опытами как в условиях отсутствия дополнительного минерального питания (опыты 2020–

2024 гг.), так и в условиях дополнительного внесения фосфорных удобрений (опыты 2023–2024 гг.). Увеличение зерновой продуктивности растений при использовании изучаемой суспензии достигало 16–40%. При дополнительном внесении фосфорных удобрений суспензия штамма позволяла получить выход зерна на 5–12% больше, чем в условиях внесения исключительно минерального компонента.

Отметим, что результаты позволяют рекомендовать суспензию штамма *Pseudomonas sp.* GEOT18 для снижения дозировок внесения фосфорных удобрений при сохранении высокой урожайности ячменя сорта Сонет в условиях Нечерноземной зоны России.

Финансирование. Работа выполнена в рамках Государственного задания лаборатории биоэкономики и устойчивого развития ФГБУН ВолНЦ РАН «Микроорганизмы и их метаболиты как фактор экологизации и интенсификации сельскохозяйственного производства в условиях Нечерноземной зоны России» (№ FMGZ-2025-0018).

Библиографический список

1. Ахмедова З.Р. Органическое сельское хозяйство и продвижение экологически безопасных устойчивых микробных биотехнологий по пути повышения эффективности и конкурентоспособности отечественной продукции // Science and innovation. 2023. Т. 2, №. Special Issue 8. С. 175–184. <https://doi.org/10.5281/zenodo.8353542>
2. Гавриленко В.Ф., Жигалова Т.В. Большой практикум по фотосинтезу: учебное пособие. М.: Академия. 2003. 256 с.
3. Дорохов А.С., Бельшикина М.Е. Агроклиматическая характеристика регионов Нечерноземной зоны Российской Федерации и оценка пригодности для возделывания современных раннеспелых сортов сои // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2021. № 3 (55). С. 34–39. <https://doi.org/10.18286/1816-4501-2021-3-34-39>
4. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследования). М.: Альянс. 2011. 352 с.
5. Кирейчева Л.В., Тимошкин А.Д., Аветисян А.Л. Информационно-справочная система агроклиматических и почвенных показателей Нечерноземной зоны РФ // International agricultural journal. 2022. №. 3. 18 с. https://doi.org/10.55186/25876740_2022_6_3_18
6. Проворов Н.А., Тихонович И.А. Сельскохозяйственная микробиология и симбиогенетика: синтез классических идей и конструирование высокопродуктивных агроценозов (обзор) // Сельскохозяйственная биология. 2022. Т. 57. № 5. С. 821-831. <https://doi.org/10.15389/agrobiol.2022.5.821rus>
7. Летопись погоды в Вологде // Справочно-информационный портал «Погода и климат». 2006–2025. Режим доступа: <http://www.pogodaiklimat.ru/history/27037.htm> (дата обращения: 10.05.2025)
8. Рассохина И.И., Маракаев О.А. Оценка морфофизиологических параметров и продуктивности обыкновенного ячменя (*Hordeum vulgare* L.) при действии суспензии штамма *Pseudomonas* sp. GEOT18 // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. 2023. №. 3 (43). С. 92-104. <https://doi.org/10.21685/2307-9150-2023-3-8>
9. Сабирова Т.П., Цвик Г.С., Коновалов А.В., Сабиров Р.А. Урожайность и качество зерна ярового ячменя (*Hordeum distichon* L.) при различных технологиях возделывания с применением биопрепаратов // Аграрный вестник Верхневолжья. 2021. № 1 (34). С.15–23. <https://doi.org/10.35523/2307-5872-2021-34-1-15-23>
10. Сумина А.В., Полонский В.И. Содержание ценных веществ в зерне ячменя, выращенного в контрастных климатических условиях // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2020. Т. 50, № 1. С. 23–31. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2020-1-3>
11. Bychkova A.A., Zaitseva Y.V., Sidorov A.V., Aleksandrova A.S., Marakaev O.A. Biotechnological potential of phosphate-solubilizing *Pseudomonas migulae* strain GEOT18 // International Journal of Agricultural Technology. 2022. № 18(4). P. 1403–1414
12. Korshunova T.Y., Bakaeva M.D., Kuzina E.V., Rafikova G.F., Chetverikov S.P., Chetverikova D.V., Loginov O.N. Role of bacteria of the genus *Pseudomonas* in the sustainable development of agricultural systems and environmental protection // Applied Biochemistry and Microbiology. 2021. Vol. 57, №. 3. P. 281-296. <https://doi.org/10.1134/S000368382103008X>
13. Sánchez Carrillo R., Guerra Ramírez P. *Pseudomonas* spp. beneficial in agriculture // Revista mexicana de ciencias agrícolas. 2022. Vol. 13, №. 4. P. 715-725. <https://doi.org/10.29312/remexca.v13i4.2799>

References

1. Ahmedova Z.R. Organicheskoe sel'skoe hozyajstvo i prodvizhenie ekologicheski bezopasnyh ustojchivyh mikrobnnyh biotekhnologij po puti povysheniya effektivno-sti i konkurentosposobnosti otechestvennoj produkcii [Organic agriculture and the promotion of environmentally friendly sustainable microbial biotechnologies to improve the efficiency and competitiveness of domestic products] // Science and innovation. 2023. Vol. 2, №. Special Issue 8. S. 175–184. <https://doi.org/10.5281/zenodo.8353542>
2. Gavrilenko V.F., Zhigalova T.V. Bol'shoj praktikum po fotosintezu: ucheb-noe posobie [A comprehensive practical work on photosynthesis]. M.: Akademiya. 2003. 256 s.
3. Dorohov A.S., Belyshkina M.E. Agroklimaticheskaya harakteristika regio-nov Nechernozemnoj zony Rossijskoj Federacii i ocenka prigodnosti dlya vozdelvaniya sovremennyh rannespelyh sortov soi [Agroclimatic characteristics of Non-Blackearth regions of the Russian Federation and an estimation of the suitability of modern early-maturing soybean varieties for cultivation] // Vestnik Ul'yanovskoj gosudarstvennoj sel'skohozyajstvennoj akademii. 2021. № 3 (55). S. 34–39. <https://doi.org/10.18286/1816-4501-2021-3-34-39>
4. Dospekhov B.A. Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obra-botki rezul'tatov issledovaniya) [Methodology of a field trial (with the basics of statistical processing of the study results)]. M.: Al'yans. 2011. 352 s.
5. Kirejcheva L.V., Timoshkin A.D., Avetisyan A.L. Informacionno-spravochnaya sistema agroklimaticheskikh i pochvennyh pokazatelej Nechernozemnoj zony RF [Information and reference system of agroclimatic and soil indicators of the Non-Blackearth zone of the Russian Federation] // International agricultural journal. 2022. №. 3. 18 s. https://doi.org/10.55186/25876740_2022_6_3_18

6. Provorov N.A., Tihonovich I.A. Sel'skohozyajstvennaya mikrobiologiya i simbiogenetika: sintez klassicheskikh idej i konstruirovaniye vysokoproduktivnykh ag-rocenozov (obzor) [Agricultural microbiology and symbiogenetics: a synthesis of classical ideas and the construction of highly productive agrocoenosis (review)] // Sel'skohozyajstvennaya biologiya. 2022. T. 57, № 5. S. 821-831. <https://doi.org/10.15389/agrobiologiya.2022.5.821rus>
7. Letopis' pogody v Vologde [Weather chronicle in Vologda] // Spravochno-informacionnyj portal «Pogoda i klimat». 2006–2025. Rezhim dostupa: <http://www.pogodaiklimat.ru/history/27037.htm> (data obrashcheniya: 10.05.2025)
8. Rassohina I.I., Marakaev O.A. Ocenka morfofiziologicheskikh parametrov i produktivnosti obyknovennogo yachmenya (*Hordeum vulgare* L.) pri dejstvii suspensii shtamma *Pseudomonas* sp. GEOT18 [Estimation of morphophysiological parameters and productivity of common barley (*Hordeum vulgare* L.) under the impact of a suspension of the *Pseudomonas* sp. strain. GEOT18] // Izvestiya vysshix uchebnykh zavedenij. Povolzhskij region. Estestvennye nauki. 2023. № 3 (43). S. 92-104. <https://doi.org/10.21685/2307-9150-2023-3-8>
9. Sabirova T.P., Cvik G.S., Konvalov A.V., Sabirov R.A. Urozhajnost' i ka-chestvo zerna yarovogo yachmenya (*Hordeum distichon* L.) pri razlichnykh tekhnologiyah vozdeleyvaniya s primeneniem biopreparatov [Productivity and grain quality of spring barley (*Hordeum distichon* L.) under various cultivation technologies using bioproducts] // Agrarnyj vestnik Verkhnevolzh'ya. 2021. № 1 (34). S.15–23. <https://doi.org/10.35523/2307-5872-2021-34-1-15-23>
10. Sumina A.V., Polonskij V.I. Soderzhanie cennykh veshchestv v zerne yachmenya, vyrashchennogo v kontrastnykh klimaticheskikh usloviyah [Content of valuable substances in barley grain grown in contrasting climatic conditions] // Sibirskij vestnik sel'skohozyajstvennoj nauki. 2020. Vol. 50, № 1. S. 23–31. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2020-1-3>
11. Bychkova A.A., Zaitseva Y.V., Sidorov A.V., Aleksandrova A.S., Marakaev O.A. Biotechnological potential of phosphate-solubilizing *Pseudomonas migulae* strain GEOT18 // International Journal of Agricultural Technology. 2022. № 18(4). P. 1403–1414.
12. Korshunova T.Y., Bakaeva M.D., Kuzina E.V., Rafikova G.F., Chetverikov S.P., Chetverikova D.V., Loginov O.N. Role of bacteria of the genus *Pseudomonas* in the sustainable development of agricultural systems and environmental protection // Applied Biochemistry and Microbiology. 2021. Vol. 57, № 3. P. 281-296. <https://doi.org/10.1134/S000368382103008X>
13. Sánchez Carrillo R., Guerra Ramírez P. *Pseudomonas* spp. beneficial in agriculture // Revista mexicana de ciencias agrícolas. 2022. Vol. 13, № 4. P. 715-725. <https://doi.org/10.29312/remexca.v13i4.2799>

Поступила: 06.08.25; доработана после рецензирования: 29.09.25; принята к публикации: 02.10.25.

Критерии авторства. Авторы статьи подтверждают, что имеют на статью равные права и несут равную ответственность за плагиат.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Авторский вклад. Рассохина И.И. – подготовка опыта, выполнение исследования, анализ данных, подготовка рукописи; Платонов А.В. – концептуализация исследования, корректировка рукописи; Марakaев О.А. – научное руководство, корректировка рукописи.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.