Вестник ВГУИТ/ Proceedings of VSUET ISSN 2226-910X E-ISSN 2310-1202
DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2026-3-216-221 Оригинальная статья/Research article
УДК 640 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Влияние типа почвы на выживаемость и эффективность азотфиксирующих бактерий в коммерческих биопрепаратах

Екатерина А. Мотина [1] emotina18@mail.ru 0000-0002-3433-2754
Ольга В. Зверева [1] bond.vrn15@ya.ru 0000-0002-7051-9858
Светлана Ф. Яковлева [1] svetlana.yakovleva.68@mail.ru 0000-0003-3686-9966
Татьяна С. Ковалева [1] tatianakovaleva2501@ya.ru 0000-0002-3531-3811

1 Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

Аннотация. Биопрепараты, содержащие штаммы бактерий родов *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Rhizobium* или грибов рода *Trichoderma*, способствуют повышению стрессоустойчивости растений за счёт продукции фитогормонов, а также улучшению усвоения питательных веществ и фиксации азота. Эффективность таких препаратов зависит не только от активности микроорганизмов, но и от их способности выживать в различных почвенных условиях. Целью работы являлась оценка выживаемости азотфиксирующих бактерий, входящих в состав коммерческих биопрепаратов «Азотовит» (*Beijerinckia fluminensis*) и «Терразот» (*Azotobacter chroococcum*), при внесении в почвы основных типов Центрального Черноземья. Исследованы дерново-подзолистая, каштановая, серая лесная почвы и тепличный чернозём, отобранные в Воронежской области. Предварительно определён состав аборигенной микрофлоры образцов: собственных азотфиксирующих бактерий не выявлено. Инкубирование проводили при 30 °С и влажности почвы 50 % с отбором проб через 14, 30, 60 и 90 суток. Установлено, что численность *B. fluminensis* снижалась на всех типах почв, кроме каштановой, где к 90 суткам она возросла до $3{,}4\times10^8$ КОЕ/г против $1{,}5\times10^7$ КОЕ/г на 14 сутки. Для *A. chroococcum* рост численности отмечен только на чернозёме — до $2{,}5\times10^8$ КОЕ/г к 90 суткам. На тепличном чернозёме численность *B. fluminensis* достигала максимума к 30 суткам ($2{,}3\times10^8$ КОЕ/г) с последующим снижением до $1{,}06\times10^7$ КОЕ/г, что предположительно связано с реакцией среды и температурой. Полученные данные свидетельствуют о том, что выживаемость интродуцированных азотфиксаторов определяется типом почвы и видовой принадлежностью штамма, что необходимо учитывать при выборе биопрепарата для конкретных почвенно-климатических условий.

Ключевые слова: почва, бактерии, биопрепараты.

The influence of soil type on the survival and efficiency of nitrogen-fixing bacteria in commercial biopreparations

Ekaterina A. Motina [1] emotina18@mail.ru 0000-0002-3433-2754
Olga V. Zvereva [1] bond.vrn15@ya.ru 0000-0002-7051-9858
Svetlana F. Yakovleva [1] svetlana.yakovleva.68@mail.ru 0000-0003-3686-9966
Tatiana S. Kovaleva [1] tatianakovaleva2501@ya.ru 0000-0002-3531-3811

1 Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

Abstract. Biopreparations containing bacterial strains of the genera *Bacillus*, *Pseudomonas*, and *Rhizobium*, or fungi of the genus *Trichoderma*, enhance plant stress resistance through the production of phytohormones, as well as nutrient absorption and nitrogen fixation. The effectiveness of such preparations depends not only on the activity of the microorganisms but also on their ability to survive in various soil conditions. The aim of this study was to assess the survival rate of nitrogen-fixing bacteria included in the commercial biopreparations "Azotovit" (*Beijerinckia fluminensis*) and "Terrazot" (*Azotobacter chroococcum*) when applied to the main soil types of the Central Black Earth Region. Sod-podzolic, chestnut, gray forest, and greenhouse chernozem soils, collected in the Voronezh Region, were studied. The composition of the native microflora of the samples was preliminarily determined: no native nitrogen-fixing bacteria were detected. Incubation was carried out at 30 °C and 50% soil moisture, with samples collected after 14, 30, 60, and 90 days. It was found that the number of *B. fluminensis* decreased in all soil types except chestnut, where by day 90 it increased to 3.4×10^8 CFU/g versus 1.5×10^7 CFU/g on day 14. For *A. chroococcum*, an increase in numbers was noted only on chernozem — up to 2.5×10^8 CFU/g by day 90. On greenhouse chernozem, the number of *B. fluminensis* reached a maximum by day 30 (2.3×10^8 CFU/g), followed by a decrease to 1.06×10^7 CFU/g, which is presumably due to the reaction of the environment and temperature. The obtained data indicate that the survival rate of introduced nitrogen fixers is determined by the soil type and the species of the strain, which must be taken into account when selecting a biological product for specific soil and climatic conditions.

Keywords: Biological products, nitrogen-fixing bacteria, soil type, survival rate, *Beijerinckia fluminensis*, *Azotobacter chroococcum*.

Для цитирования
Мотина Е.А., Зверева О.В., Яковлева С.Ф., Ковалева Т.С. Влияние типа почвы на выживаемость и эффективность азотфиксирующих бактерий в коммерческих биопрепаратах // Вестник ВГУИТ. 2026. Т. 88. № 3. С. 216–221. doi:10.20914/2310-1202-2026-3-216-221

For citation
Motina E.A., Zvereva O.V., Yakovleva S.F., Kovaleva T.S. The influence of soil type on the survival and efficiency of nitrogen-fixing bacteria in commercial biopreparations. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2026. vol. 88. no. 3. pp. 216–221. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2026-3-216-221

© 2026, Мотина Е.А. и др. / Motina E.A. et al.
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Введение

В настоящее время из-за быстрых темпов развития сельского хозяйства и повышения эффективности аграрных технологий, а также развитием охраны окружающей среды применение биологических препаратов на основе микроорганизмов является перспективным направлением. Стрессовые факторы, такие как засуха, экстремальные температуры, загрязнение почвы и болезни, существенно снижают рост и урожайность сельскохозяйственных культур. Биопрепараты, содержащие штаммы бактерий (например, родов *Bacillus, Pseudomonas, Rhizobium*), или грибов (например, *Trichoderma*), способствуют повышению стрессоустойчивости растений через стимуляцию роста и развития за счет продукции фитогормонов, а также улучшению усвоения питательных веществ и фиксации азота [1–5].

Перспективы применения биопрепаратов на основе микроорганизмов связаны с их потенциалом повышения экологической безопасности, экономической эффективности и устойчивости аграрного сектора [6–10].

Цель работы — оценка выживаемости азотфиксирующих бактерий, входящих в состав коммерческих биопрепаратов «Азотовит» и «Терразот», при внесении в почвы основных типов, распространённых в Центральном Черноземье.

Материалы и методы

В рамках проведения исследования были выбраны коммерческие препараты, являющиеся популярными на отечественном рынке: Азотовит (ООО «Управляющая компания «БАЛТИК-ТЕРРА», Калининград, Россия), содержащий живые клетки бактерий *Beijerinckia fluminensis*, концентрацией 1×10^5 КОЕ/см^3 на момент завершения гарантийного срока хранения. Терразот (ООО «Защита АгроСоюз», Курск, Россия)

В состав данного препарата входят ассоциативные азотфиксирующие бактерии *Azotobacter chroococcum,* в 1 см^3 жидкой формы препарата содержится не менее 1×10^8 (100 миллионов) живых клеток азотфиксирующих микроорганизмов на момент завершения гарантийного срока хранения. Препарат стимулирует развитие полезной микрофлоры, повышает уровень азота в почве без минеральных удобрений, способствует разложению органических остатков и подавляет развитие патогенной микрофлоры.

Эффективность таких биопрепаратов зависит не только от активности используемых микроорганизмов, но и от их способности выживать и функционировать в различных почвенных условиях. Определение выживаемости азотфиксирующих бактерий биопрепарата на разных типах почвы необходимо для оценки эффективности их применения и разработки оптимальных условий внесения, что имеет важное значение для повышения плодородия почвы и устойчивого развития сельского хозяйства [7–13].

Для проведения эксперимента было выбрано 4 типа почв, наиболее распространённых в центральной части России.

В Центральной России встречаются преимущественно дерново-подзолистые, серые лесные и чернозёмы, а также луговые и каштановые почвы. Они существенно различаются по содержанию гумуса, кислотности, структуре и плодородию.

Дерново-подзолистые почвы формируются под смешанными и широколиственными лесами при достаточном увлажнении. Хорошо выражен подзолистый горизонт (светлый, выщелоченный), ниже – более плотный иллювиальный горизонт, затем материнская порода. Содержание гумуса низкое (1–3%), реакция среды кислая (pH 4,0–5,5). Обладают неустойчивой структурой, в связи с чем низкоплодородны и склонны к вымыванию питательных веществ [14–20].

Серые лесные почвы формируются под лиственными лесами, часто в переходной зоне от леса к лесостепи. В составе данного типа почвы отмечается содержание гумуса на уровне 2–4,5%, реакция среды – от слабокислой до нейтральной. Более развитый гумусовый горизонт, хорошая структура, более плодородные по сравнению с дерново-подзолистыми.

Чернозёмы образуются преимущественно под степной растительностью, иногда на лесостепных территориях. Отмечаются высоким содержанием гумуса (более 5%) и обладают нейтральной или слабощелочной реакцией среды (pH 6,5–7,5). В данном типе почвы хорошо выраженный мощный гумусовый горизонт темного цвета, зернистая структура, высокая влагоёмкость, отличное плодородие.

Луговые и каштановые почвы развиваются в поймах рек и низинах, часто затапливаемых водой. Содержание гумуса в пределах средних значений (2–6%), реакция среды близка к нейтральной.

Данные почвы богаты органикой, часто переувлажнены, накапливают питательные вещества.

Таким образом, для эксперимента были отобраны почвы основных типов в следующих местах: чернозем в теплице г. Нововоронеж, дерново-подзолистые в поле у лесополосы

в Новохоперском районе, серая лесная – в поле Бобровского района, каштановая была отобрана на юге Воронежской области на левом берегу р. Дон в селе Подколодновка.

Исследовали влияние типа почвы на выживаемость азотфиксирующих бактерий в коммерческих препаратах. Одним из факторов, оказывающих влияние на выживаемость азотфиксирующих бактерий, является аборигенная микрофлора почвы – коренные, естественно присутствующие в почве микроорганизмы, являющиеся ключевым фактором почвенного плодородия и устойчивости биогеохимических процессов.

Высев почвы производили глубинным способом в трех повторностях с разведениями от 10^{-3} до 10^{-7}. Посев проводили на основные микробиоло-гические питательные среды – мясо-пептонный агар МПА, сусловый агар СА, среды Федорова и Эшби (для определения аборигенных азотфиксирующих бактерий). Подсчет числа колоний проводили после 72 часов инкубирования при 30 °С.

Таблица 1.

Определение состава аборигенной микрофлоры исследуемых почв

Table 1.

Determination of the composition of the indigenous microflora of the studied soils

Среда Medium	Вид почвы* Soil type*	КОЕ/г	Примечание | Notes
МПА	1	$4{,}2\times10^5$	Колоний, имеющих культуральные признаки *Beijerinkia fluminensis* и *Azotobacter chroococcum* не обнаружено No colonies with cultural characteristics of *Beijerinkia fluminensis* or *Azotobacter chroococcum* were detected.
	2	3×10^5	
	3	$7{,}1\times10^5$	
	4	$4{,}8\times10^5$	
СА	1	9×10^3	В ходе анализа были обнаружены плесневые грибы родов *Rhizopus, Alternaria* и *Aspergillus*. Molds of the genera *Rhizopus, Alternaria*, and *Aspergillus* were detected during the analysis.
	2	$2{,}9\times10^4$	
	3	$2{,}4\times10^4$	
	4	4×10^3	
Эшби	1	5×10^3	Колоний, соответствующих по культуральным признакам *Azotobacter chroococcum*, не обнаружено No colonies with cultural characteristics of *Azotobacter chroococcum* were detected.
	2	-	
	3	$2{,}5\times10^2$	
	4	7×10^3	
Федорова	1	9×10^3	Колоний, соответствующих по культуральным признакам *Beijerinkia fluminensis* не обнаружено No colonies with cultural characteristics of *Beijerinkia fluminensis* were detected.
	2	$2{,}9\times10^4$	
	3	$2{,}4\times10^4$	
	4	4×10^3	

* 1 – Дерново-подзолистая; 2 – Каштановая; 3 – Чернозем тепличный; 4 – Серая лесная
* 1 – Sod-podzolic; 2 – Chestnut; 3 – Greenhouse chernozem; 4 – Gray forest

У отобранных образцов почвы микрофлора неразнообразная, азотфиксирующих бактерий выявлено не было. При идентификации мицелиальных грибов были идентифицированы грибы родов *Rhizopus, Alternaria* и *Aspergillus*.

В ходе работы определили жизнеспособность бактерий в составе коммерческих биопрепаратов на различных типах почвы.

Эксперимент проводили в условиях, близких к реальному земледелию (температура 25 °С, влажность 40–50%). Почва предварительно была высушена при температуре 105 °С до постоянной массы. После чего влажность почвы была доведена до 50% весовым методом. Дозировка препаратов составила 100 мкл (1×10^4 КОЕ для Азотовита и $1{,}2\times10^5$ КОЕ для Терразота) на 1 г влажной почвы. Влажность поддерживалась весовым методом, контроль проводился ежедневно, при необходимости добавлялся нужный объем стерильной воды. Инкубирование проводилось при 30 °С. Отбор проб проводился через 14, 30, 60, 90 суток инкубирования.

Высев производился глубинным способом в трех повторностях в разведениях от 10^{-3} до 10^{-7}. Подсчет числа колоний проводили после 72 часов инкубирования при 30 °С. Данные эксперимента представлены на рисунках 1 и 2.

В ходе эксперимента было установлено, что для биопрепарата «Терразот» в состав которого входят бактерии *Azotobacter chroococcum* наблюдается снижение колониеобразующих единиц бактерий на всех типах почв кроме чернозема. Именно на данном типе почвы установлено тенденцию увеличения числа бактерий до $2{,}5\times10^8$ (90 суток), что в 10 раз выше, чем через 14 дней после внесения биопрепарата ($2{,}2\times10^7$).

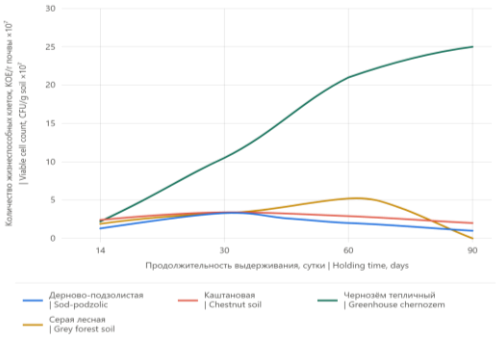


Рисунок 1. Количество микроорганизмов (КОЕ/г почвы×107), сохраняющееся при нанесении препарата Терразот

Figure 1. The number of microorganisms (CFU/g soil×107) remaining after application of Terrazot

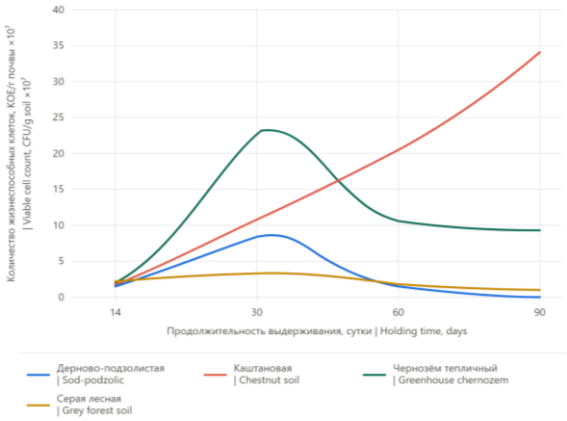


Рисунок 2. Количество микроорганизмов (КОЕ/г почвы×107), сохраняющееся при нанесении препарата Азотовит

Figure 2. The number of microorganisms (CFU/g soil×107) remaining after application of the preparation Azotovit

Заключение

В ходе эксперимента было установлено, что для биопрепарата «Азотовит», в состав которого входят бактерии *Beijerinkia fluminensis* наблюдается снижение колониеобразующих единиц бактерий на всех типах почв кроме каштановой. Именно на данном типе почвы можно заметить тенденцию увеличения числа бактерий до $3{,}4\times10^8$ (90 суток), что в 10 раз выше, чем через 14 дней после внесения биопрепарата ($1{,}5\times10^7$). Отмечена также тенденция: на тепличном чернозёме количество клеток бактерий значительно увеличилось к 30 суткам выдерживания ($2{,}3\times10^8$), но дальнейшее инкубирование бактерий в данном типе почвы привело к снижению концентрации клеток до $1{,}06\times10^7$, что предположительно связано с реакцией среды (pH и температурой).

Литература

1 Юдина Н.Ю., Козлова Т.Н., Абрамова Т.Н. и др. Биопрепарат на основе иммобилизованных микроорганизмов как основа высокоэффективных органических удобрений нового поколения // Прикладная биохимия и микробиология. 2023. Т. 59. № 2. С. 208–216. doi: 10.31857/S0555109923020198

2 Фаизова В.И., Цховребов С.В., Мельничук Т.Н., Каменева И.А. Влияние технологий внесения полифункциональных биопрепаратов на численность азотпреобразующей микробиоты чернозема обыкновенного в зоне неустойчивого увлажнения Центрального Предкавказья // Агрохимический вестник. 2022. № 4. doi: 10.24412/1029-2551-2022-4-0015

3 Автономова И.Н., Зинченко М.К., Щукин И.М. Микробные комплексы и их функционирование при применении органических удобрений на серой лесной почве Верхневолжья // Владимирский земледелец. 2022. № 4. С. 4–8. doi: 10.24412/2225-2584-2022-4-4-8

4 Брескина Г.М., Масютенко Н.П., Чуян Н.А. Биологические препараты как средство восстановления здоровья черноземных почв // Вестник Ульяновской ГСХА. 2022. № 2. С. 25–31. doi: 10.18286/1816-4501-2022-2-25-31

5 Масютенко Н.П., Кузнецов А.В., Масютенко М.Н. и др. Влияние внесения микробиологических препаратов на активный пул органического вещества и структурное состояние чернозема типичного слабоэродированного // Земледелие. 2024. № 4. С. 32–38. doi: 10.24412/0044-3913-2024-4-32-38

6 Шабалда О.Г., Дорожко Г.Р., Власова О.И., Вайцеховская С.С. Симбиотическая активность в посевах и продуктивность сои в зависимости от обработки семян биопрепаратами на черноземе обыкновенном // Земледелие. 2023. № 8. С. 32–36. doi: 10.24412/0044-3913-2023-8-32-36

7 Клименко О.Е., Якушева Н.Н., Клименко Н.И. и др. Биопрепараты как способ биологизации агроценоза питомника груши // Принципы экологии. 2023. № 1. С. 45–57. doi: 10.15393/j1.art.2023.13462

8 Куликов Я.К. Экологическая полифункциональность микроорганизмов и растительно-микробных комплексов в биоремедиации загрязненных почв // Журнал Белорусского ГУ. Экология. 2023. № 4. С. 4–15. doi: 10.46646/2521-683x/2023-4-4-15

9 Рафикова Г.Ф., Кузина Е.В., Коршунова Т.Ю. Влияние биоремедиации на биологическую активность чернозема выщелоченного, загрязненного нефтью и свинцом // Почвоведение. 2022. № 3. С. 354–369. doi: 10.31857/S0032180X22030121

10 Дущанова К.С., и др. Биомасса и функциональное разнообразие микробных сообществ в катенах целинных и пахотных серых почв и черноземов // Почвоведение. 2024. № 2. С. 286–302. doi: 10.31857/S0032180X24020078

11 Papin M., Philippot L., Breuil M.C. et al. Survival of a microbial inoculant in soil after recurrent inoculations // Scientific Reports. 2024. V. 14. P. 4177. doi: 10.1038/s41598-024-54069-x

12 Chaudhary P., Singh S., Chaudhary A. et al. Overview of biofertilizers in crop production and stress management for sustainable agriculture // Frontiers in Plant Science. 2022. V. 13. P. 930340. doi: 10.3389/fpls.2022.930340

13 Alzate Zuluaga M.Y., Fattorini R., Cesco S., Pii Y. Plant-microbe interactions in the rhizosphere for smarter and more sustainable crop fertilization: the case of PGPR-based biofertilizers // Frontiers in Microbiology. 2024. V. 15. P. 1440978. doi: 10.3389/fmicb.2024.1440978

14 Kaur R., Kaur S., Dwibedi V. et al. Development and characterization of rice bran-gum Arabic based encapsulated biofertilizer for enhanced shelf life and controlled bacterial release // Frontiers in Microbiology. 2023. V. 14. P. 1267730. doi: 10.3389/fmicb.2023.1267730

15 Kerečki S., Pećinar I., Karličić V. et al. Azotobacter chroococcum F8/2: a multitasking bacterial strain in sugar beet biopriming // Journal of Plant Interactions. 2022. V. 17. № 1. P. 719–730. doi: 10.1080/17429145.2022.2091802

16 Ajeng A.A., Abdullah R., Ling T.C. Biochar-Bacillus consortium for a sustainable agriculture: physicochemical and soil stability analyses // Biochar. 2023. V. 5. P. 17. doi: 10.1007/s42773-023-00215-z

17 Naumova N., Barsukov P., Baturina O. et al. West-Siberian Chernozem: How Vegetation and Tillage Shape Its Bacteriobiome // Microorganisms. 2023. V. 11. № 10. P. 2431. doi: 10.3390/microorganisms11102431

18 Boyarshin K.S., Adamova V.V., Zheng W. et al. The Effect of Long-Term Agricultural Use on the Bacterial Microbiota of Chernozems of the Forest-Steppe Zone // Diversity. 2023. V. 15. № 2. P. 191. doi: 10.3390/d15020191

19 Tedesco D., Moretti B., Grignani C. et al. Fruit and vegetable waste valorisation in animal nutrition and soil amendment: nutrient dynamics and microbial response // Frontiers in Sustainable Food Systems. 2025. doi: 10.3389/fsufs.2025.1512577

20 Bansal R., Vyas P., Sharma S. Formulation and field performance of liquid phosphate-solubilizing bacterial biofertilizer for improved growth, yield, and nutrient content of potato // Frontiers in Microbiology. 2025. V. 16. P. 1734471. doi: 10.3389/fmicb.2025.1734471

References

1 Yudina N.Yu., Kozlova T.N., Abramova T.N. et al. Biopreparation based on immobilized microorganisms as a basis for highly efficient organic fertilizers of a new generation. Applied Biochemistry and Microbiology. 2023. vol. 59. no. 2. pp. 208–216. doi: 10.31857/S0555109923020198 (in Russian).

2 Faizova V.I., Tskhovrebov S.V., Melnichuk T.N., Kameneva I.A. The influence of technologies for applying multifunctional biopreparations on the abundance of nitrogen-transforming microbiota of ordinary chernozem in the zone of unstable moisture of the Central Ciscaucasia. Agrochemistry Bulletin. 2022. no. 4. doi: 10.24412/1029-2551-2022-4-0015 (in Russian).

3 Avtonomova I.N., Zinchenko M.K., Shchukin I.M. Microbial complexes and their functioning under the application of organic fertilizers on gray forest soil of the Upper Volga region. Vladimir Agricolist. 2022. no. 4. pp. 4–8. doi: 10.24412/2225-2584-2022-4-4-8 (in Russian).

4 Breskina G.M., Masyutenko N.P., Chuyan N.A. Biological preparations as a means of restoring the health of chernozem soils. Bulletin of Ulyanovsk State Agricultural Academy. 2022. no. 2. pp. 25–31. doi: 10.18286/1816-4501-2022-2-25-31 (in Russian).

5 Masyutenko N.P., Kuznetsov A.V., Masyutenko M.N. et al. The influence of microbiological preparations on the active pool of organic matter and the structural state of typical slightly eroded chernozem. Agriculture. 2024. no. 4. pp. 32–38. doi: 10.24412/0044-3913-2024-4-32-38 (in Russian).

6 Shabaldas O.G., Dorozhko G.R., Vlasova O.I., Vaitsekhovskaya S.S. Symbiotic activity in crops and productivity of soybean depending on seed treatment with biopreparations on ordinary chernozem. Agriculture. 2023. no. 8. pp. 32–36. doi: 10.24412/0044-3913-2023-8-32-36 (in Russian).

7 Klimenko O.E., Yakusheva N.N., Klimenko N.I. et al. Biopreparations as a method of biologization of the agrocenosis of a pear nursery. Principles of Ecology. 2023. no. 1. pp. 45–57. doi: 10.15393/j1.art.2023.13462 (in Russian).

8 Kulikov Ya.K. Ecological multifunctionality of microorganisms and plant-microbial complexes in bioremediation of contaminated soils. Journal of the Belarusian State University. Ecology. 2023. no. 4. pp. 4–15. doi: 10.46646/2521-683x/2023-4-4-15 (in Russian).

9 Rafikova G.F., Kuzina E.V., Korshunova T.Yu. The influence of bioremediation on the biological activity of leached chernozem contaminated with oil and lead. Eurasian Soil Science. 2022. no. 3. pp. 354–369. doi: 10.31857/S0032180X22030121 (in Russian).

10 Dushchanova K.S., Ukrainsky P.A., Kashirskaya N.N. et al. Biomass and functional diversity of microbial communities in catenas of virgin and arable gray soils and chernozems. Eurasian Soil Science. 2024. no. 2. pp. 286–302. doi: 10.31857/S0032180X24020078 (in Russian).

11 Papin M., Philippot L., Breuil M.C. et al. Survival of a microbial inoculant in soil after recurrent inoculations. Scientific Reports. 2024. vol. 14. article 4177. doi: 10.1038/s41598-024-54069-x.

12 Chaudhary P., Singh S., Chaudhary A. et al. Overview of biofertilizers in crop production and stress management for sustainable agriculture. Frontiers in Plant Science. 2022. vol. 13. article 930340. doi: 10.3389/fpls.2022.930340.

13 Alzate Zuluaga M.Y., Fattorini R., Cesco S., Pii Y. Plant-microbe interactions in the rhizosphere for smarter and more sustainable crop fertilization: the case of PGPR-based biofertilizers. Frontiers in Microbiology. 2024. vol. 15. Article 1440978. doi: 10.3389/fmicb.2024.1440978.

14 Kaur R., Kaur S., Dwibedi V. et al. Development and characterization of rice bran-gum Arabic based encapsulated biofertilizer for enhanced shelf life and controlled bacterial release. Frontiers in Microbiology. 2023. vol. 14. article 1267730. doi: 10.3389/fmicb.2023.1267730.

15 Kerečki S., Pećinar I., Karličić V. et al. Azotobacter chroococcum F8/2: a multitasking bacterial strain in sugar beet biopriming. Journal of Plant Interactions. 2022. vol. 17. no. 1. pp. 719–730. doi: 10.1080/17429145.2022.2091802.

16 Ajeng A.A., Abdullah R., Ling T.C. Biochar-Bacillus consortium for a sustainable agriculture: physicochemical and soil stability analyses. Biochar. 2023. vol. 5. article 17. doi: 10.1007/s42773-023-00215-z.

17 Naumova N., Barsukov P., Baturina O. et al. West-Siberian Chernozem: How Vegetation and Tillage Shape Its Bacteriobiome. Microorganisms. 2023. vol. 11. no. 10. article 2431. doi: 10.3390/microorganisms11102431.

18 Boyarshin K.S., Adamova V.V., Zheng W. et al. The Effect of Long-Term Agricultural Use on the Bacterial Microbiota of Chernozems of the Forest-Steppe Zone. Diversity. 2023. vol. 15. no. 2. article 191. doi: 10.3390/d15020191.

19 Tedesco D., Moretti B., Grignani C. et al. Fruit and vegetable waste valorisation in animal nutrition and soil amendment: nutrient dynamics and microbial response. Frontiers in Sustainable Food Systems. 2025. [Online first]. doi: 10.3389/fsufs.2025.1512577.

20 Bansal R., Vyas P., Sharma S. Formulation and field performance of liquid phosphate-solubilizing bacterial biofertilizer for improved growth, yield, and nutrient content of potato. Frontiers in Microbiology. 2025. vol. 16. Article 1734471. doi: 10.3389/fmicb.2025.1734471.

Сведения об авторах

Екатерина А. Мотина к.т.н., доцент, кафедра биохимии и биотехнологии, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, emotina18@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-3433-2754

Ольга В. Зверева старший преподаватель, кафедра биохимии и биотехнологии, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, bond.vrn15@ya.ru
https://orcid.org/0000-0002-7051-9858

Светлана Ф. Яковлева к.т.н., доцент, кафедра биохимии и биотехнологии, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, svetlana.yakovleva.68@mail.ru
https://orcid.org/0000-0003-3686-9966

Татьяна С. Ковалева к.т.н., доцент, кафедра технологии бродильных производств и виноделия, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, tatianakovaleva2501@ya.ru
https://orcid.org/0000-0002-3531-3811

Вклад авторов

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

Information about authors

Ekaterina A. Motina Cand. Sci. (Engin.), assistant professor, Department of Biochemistry and Biotechnology, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, emotina18@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-3433-2754

Olga V. Zvereva senior lecturer, Department of Biochemistry and Biotechnology, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, bond.vrn15@ya.ru
https://orcid.org/0000-0002-7051-9858

Svetlana F. Yakovleva Cand. Sci. (Engin.), assistant professor, Department of Biochemistry and Biotechnology, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, svetlana.yakovleva.68@mail.ru
https://orcid.org/0000-0003-3686-9966

Tatiana S. Kovaleva Cand. Sci. (Engin.), docent, Department of Fermentation and Winemaking Technology, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, tatianakovaleva2501@ya.ru
https://orcid.org/0000-0002-3531-3811

Contribution

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 01/07/2026	**После редакции** 18/07/2026	**Принята в печать** 20/08/2026
Received 01/07/2026	**Accepted in revised** 18/07/2026	**Accepted** 20/08/2026