

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-4-869

УДК 631.46:633.11:631.8



Научная статья

## МИКРОБОЦЕНОЗ РИЗОСФЕРЫ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ БИОПРЕПАРАТОВ

*Н.Н. Шулико, Е.В. Тукмачева, И.А. Корчагина, А.А. Киселёва,  
О.Ф. Хамова, А.Ю. Тимохин, Ю.Ю. Паршуткин, Е.В. Кубасова*

Почвенная микрофлора является мощным индикатором состояния пахотных почв. В настоящем обзоре обобщены последние научные сообщения, касающиеся структуры микробного ценоза лугово-черноземной почвы при агрогенном воздействии, а также проанализированы собственные результаты. Исследования проводили на яровой мягкой пшенице в полевых опытах ФГБНУ «Омский аграрный научный центр» в южной лесостепи Западной Сибири с целью определения влияния применения биопрепаратов ассоциативных diaзотрофов на биологические (экологические) свойства ризосферы яровой мягкой пшеницы и определить их связь с урожайностью культуры.

Установлено, что прикорневая микрофлора мягкой пшеницы неоднозначно реагировала на инокуляцию биопрепаратами и зависела как от генотипических особенностей сортов, так и от применяемого препарата. Количество копиотрофов, олигонитрофилов и микрогрибов возрастало в ризосфере яровой мягкой пшеницы сорта Омская 44 при применении бактериального удобрения Флавобактерин. Наибольшей суммарной численностью микрофлоры также выделился сорт Омская 44, использование биопрепарата Флавобактерин стимулировало ее рост относительно контроля на 22%. Обработка Мизорином не оказала существенного влияния на активность прикорневых микроорганизмов. Микробное население пшеницы сорта Омская 42 и Тарская 12 не отозвалось на интродукцию бактерий рода *Arthrobacter mysoarens* 7 и *Flavobacterium* sp. L-30. В ризосфере исследуемых сортов преобладали иммобилизационные процессы, в наибольшей степени – у пшеницы Тарская 12 и Омская 44. Активность гидролитических ферментов в большинстве вариантов опыта имела тенденцию к увеличению относительно контроля (до 17%), однако активность окислительно-восстановительного фермента каталазы снижалась от применяемого агроприема в пределах ошибки опыта (до 4%).

Выявлена статистически значимая ( $p < 0,05$ ) положительная ( $r = 0,675$ ) зависимость урожайности пшеницы от количества микрофлоры в ризосфере.

**Ключевые слова:** микробоценоз; лугово-черноземная почва; Chernozems; ризосфера; пшеница; ферментативная активность; биопрепарат

**Для цитирования.** Шулико Н.Н., Тукмачева Е.В., Корчагина И.А., Киселёва А.А., Хамова О.Ф., Тимохин А.Ю., Паршуткин Ю.Ю., Кубасова Е.В. Микробоценоз ризосферы мягкой пшеницы при применении биопрепаратов // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2024. Т. 16, №4. С. 323-347. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-4-869

Original article

## MICROBOCENOSIS OF THE RHIZOSPHERE OF SOFT WHEAT WHEN USING BIOLOGICAL PRODUCTS

**N.N. Shuliko, E.V. Tukmacheva, I.A. Korchagina, A.A. Kiseleva,  
O.F. Khamova, A.Yu. Timokhin, Yu.Yu. Parshutkin, E.V. Kubasova**

*Soil microflora is a powerful indicator of the condition of arable soils. This review summarizes the latest scientific reports concerning the structure of the microbial cenosis of meadow-chernozemic soil under agrogenic effects, as well as demonstrate its own results. The research was carried out on spring soft wheat in field experiments of the Omsk Agricultural Scientific Center in the southern forest-steppe of Western Siberia in order to determine the effect of the use of biological products of associative diazotrophs on the biological (ecological) properties of the rhizosphere of spring soft wheat and to determine their relationship with crop yield.*

*In this research we found out that the root microbiome of soft wheat reacted ambiguously to inoculation of biological products and depended both on the genotypic characteristics of the varieties and on the preparations used. The number of copiotrophs, oligonitrophils and microfungis increased in the rhizosphere of spring soft wheat of the Omsk 44 variety when using the bacterial fertilizer Flavobacterin. The Omskaya 44 variety also stood out with the largest total number of microflora, the use of the Flavobacterin biopreparation stimulated its growth relative to the control by 22%. The use of Mizerin did not significantly affect the activity of root microorganisms. The microbial population of wheat varieties*

*Omskaya 42 and Tarskaya 12 did not respond to the introduction of bacteria of the genus *Arthrobacter mysorens* 7 and *Flavobacterium* sp. L-30. Immobilization processes prevailed in the rhizosphere of the studied varieties, to the greatest extent in wheat Tarskaya 12 and Omskaya 44. The activity of hydrolytic enzymes in most variants of the experiment tended to increase relative to the control (up to 17%), however, the activity of the redox enzyme catalase decreased from the applied agricultural method within the experimental error (up to 4%). A statistically significant ( $p < 0.05$ ) positive ( $r = 0.675$ ) dependence of wheat yield on the amount of microflora in the rhizosphere was revealed.*

**Keywords:** microbiocenosis; meadow-chnozem soil; Chernozems; rhizosphere; wheat; enzymatic activity; biopreparation

**For citation.** Shuliko N.N., Tukmacheva E.V., Korchagina I.A., Kiseleva A.A., Khamova O.F., Timokhin A.Yu., Parshutkin Yu.Yu., Kubasova E.V. Microbocenosis of the Rhizosphere of Soft Wheat when Using Biological Products. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2024, vol. 16, no. 4, pp. 323-347. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-4-869

## Введение

В связи с поиском путей увеличения растениеводческой продукции при одновременном снижении доз минеральных удобрений и улучшения экологической обстановки возрос интерес к препаратам, созданным на основе высокоэффективных штаммов ассоциативных микроорганизмов, применяемых для инокуляции семян зерновых культур. Создание сортов полевых культур с повышенной отзывчивостью к ассоциативной азотфиксации открывает перспективы получения более высокого урожая зерновых с экологически чистой, высокого качества продукцией [8].

Одной из важнейших задач сельскохозяйственного производства в современных условиях является повышение урожайности на достаточном уровне с использованием подходов, направленных на получение экологически чистой продукции и сохранение плодородия сельскохозяйственных земель. В последние десятилетия одним из основных путей решения данной задачи во многих странах мира является использование микробиологических средств, обеспечивающих стимуляцию роста и развития растений, защиту от вредных организмов, утилизацию пожнивных остатков и т.п. Использование биопрепаратов при возделывании зерновых культур немного уступает по эффективности химическим фунгицидам, однако биофунгициды могут быть дешевле химических препаратов в 2–2,5 раза [19; 13]. Восстановление полезных популяций микроорганизмов в почве

и агроценозе с помощью такого приёма, как предпосевная обработка семян биопрепаратами на основе штаммов грибов-антагонистов и бактерий, является актуальной задачей в повышении продуктивности культур и снижении химической нагрузки на агроценозы [9].

При оценке влияния различных агроприемов на плодородие и экологическое состояние почвы важное значение имеют агробиологические методы, основанные на определении численности почвенной микрофлоры, устойчивости микробоценоза к антропогенным воздействиям [4]. Микроорганизмы поддерживают гомеостаз почв и быстро реагируют на изменения в среде обитания. Почвенная микрофлора является мощным индикатором состояния пахотных почв, играет ведущую роль в круговороте биогенных элементов [10].

В работах сибирских ученых показано, что инокуляция семян перед посевом препаратом ассоциативных азотфиксаторов, достоверно повышает численность агрономически важных групп микроорганизмов, а также оказывает положительное влияние в сочетании с применением минеральных удобрений на общую численность ризосферной микрофлоры [1; 5; 18].

В работе А.А. Завалина с коллегой дана агрономическая оценка применения различных биологических препаратов под озимую пшеницу в условиях Калужской области. Установлено положительное влияние их на урожайность культуры, с превышением контрольного варианта в 1,2–1,3 раза. Наряду с урожайностью повышалось и качество зерна на 0,7–1,2% относительно контроля [7].

Известно, что каждый тип почвы имеет свою собственную микрофлору, на которую применяемые агроприемы оказывают определённое воздействие, в том числе и отрицательное, что напрямую отражается на экологическом статусе почвы [24; 25; 30].

Среди огромного разнообразия микроорганизмов в почвенной среде выделяются протеолитические бактерии, в том числе аммонифицирующие, которые распространены повсеместно и встречаются почти во всех почвах [23; 26; 27]. Они имеют большое значение, поскольку окисление  $\text{NH}_4^+$  является лимитирующей стадией нитрификации и, таким образом, занимает центральное место в глобальном азотном цикле [31; 32].

Под влиянием бактериальных удобрений изменяется не только численность микрофлоры, но и активность ферментов, образующихся в результате жизнедеятельности микроорганизмов. Ферментативная активность точно и верно отражает биологические свойства почвы и их изменения под влиянием антропогенных факторов. Коллегами установлено, что ак-

тивность протеазных ферментов возрастает от 11 до 38% от применения природных материалов в качестве удобрений [12].

**Цель исследования** – определить влияние ассоциативных ризобактерий на численность микроорганизмов и ферментативную активность ризосферы сортов пшеницы, определить их связь с урожайностью культуры.

### Материалы и методы

Исследования проведены в южной лесостепной зоне Омского Прииртышья в 2021–2023 гг. в полевых опытах ФГБНУ «Омский аграрный научный центр», (Омская область, Омский район, 55.04192 с.ш., 73.46504 в.д.). Территория относится к Приомской равнине, являющейся составной частью Барабинской неогеновой равнины.

Объектами исследований послужили лугово-черноземная почва (ризосфера) южной лесостепной зоны Западной Сибири и сорта яровой пшеницы. Почва лугово-черноземная (Chernozems, по международной классификации WRB), среднеспелая, среднелесовая тяжелосуглинистая с содержанием гумуса в слое 0–0,2 м – около 6,5%, рНвод – 7,0 [11; 33]. Мощность гумусового горизонта «А» – 0,45 м. Почва с поверхности – тяжелый суглинок (40–46% физической глины). Профиль имеет четырех-пятичленное строение и является типичным для южно-лесостепной почвенно-климатической зоны. Водопроницаемость, определенная через месяц после плоскорезного рыхления осенью, характеризуется как хорошая. Плотность пахотного слоя 1,07–1,14 г/см<sup>3</sup>. Содержание фосфора в 0–0,2 м слое – среднее (менее 100 мг/кг, по Чирикову), обеспеченность обменным калием – очень высокая (более 180 мг/кг почвы).

Использовали сорта яровой мягкой пшеницы селекции ФГБНУ «Омского АНЦ»: Омская 42, Омская 44, Тарская 12. Выбор сортов определен высокой адаптивностью к условиям лесостепи Западной Сибири и производственными характеристиками: *Омская 42* – среднепоздний, засухоустойчивый сорт, средняя урожайность в сибирском регионе – 22,8 ц/га; *Омская 44* – среднеспелый сорт, проявляет устойчивость к листовым и головным заболеваниям, средняя урожайность 29,8 ц/га; *Тарская 12* – среднеранний сорт, характеризуется высоким уровнем устойчивости к бурой ржавчине, средняя урожайность – 26,9 ц/га.

Предпосевная инокуляция семян проведена согласно рекомендациям производителя препаратами комплексного действия, изготовленными во Всероссийском НИИ сельскохозяйственной микробиологии (ФГБНУ ВНИИСХМ): Мизорин (*Arthrobacter mysores* 7) – биопрепарат, осно-

ванный на штамме ассоциативных азотфиксаторов, оказывает стимулирующее действие, ограничивает поступление и накопление в растениях нитратов, радионуклидов и тяжелых металлов, норма внесения: 0,3–0,4 кг на гектарную норму семян; Флавобактерин (*Flavobacterium sp. L-30*) – биопестицид фунгицидно-стимулирующего действия, норма внесения 0,3 кг на гектарную норму семян.

Посев пшеницы осуществлялся с помощью сеялки ССФК-7,0 в оптимальные сроки с проведением комплекса весенне-полевых работ.

Отбор проб ризосферы осуществляли в фазы развития растений: кущение (июнь), колошение (июль), налив зерна (август). Учет численности микроорганизмов проводили на твердых питательных средах: бактерий-сапрофитов на мясопептонном агаре (МПА), микроорганизмов, потребляющих азот в минеральной форме – на крахмало-аммиачном агаре (КАА), олигонитрофилов – на среде Мишустинской, фосфатмобилизующих на среде Муромцева, целлюлозоразлагающих микроорганизмов – на среде Гетчинсона, нитрификаторов – на водном выщелоченном агаре с добавлением двойной аммонийно-магниевого соли фосфорной кислоты, почвенных грибов на подкисленной среде Чапека [17]. Интенсивность микробиологических процессов трансформации азотсодержащих соединений в почве оценивали по коэффициентам минерализации (КАА/МПА) и иммобилизации (МПА/КАА) [16]. Математическую обработку полученных данных проводили методами вариационной статистики [6] (среднее арифметическое, стандартное отклонение, коэффициент вариации и критерий Фишера) с использованием программного пакета Microsoft Office Excel 2007.

Метеоусловия 2021–2023 лет исследований характеризовались засушливостью. Погодные условия вегетационного периода 2021 г. были неблагоприятными для роста и развития зерновых культур, ГТК=0,76 (норма 1,1). 2022 и 2023 гг. были недостаточно увлажненными. Чередующиеся периоды засухи и увлажнения почвы в период вегетации растений, а также поздние заморозки обусловили колебания в численности микроорганизмов ризосферы пшеницы.

### Результаты исследования и обсуждение

Микрогрибы в почве играют роль сапрофитов, восстановителей, симбионтов, их вклад в получение урожая огромен. Они участвуют в процессах разложения сложных органических соединений, вступают в симбиоз с растениями, вырабатывают пигменты, антибиотики, биологически активные соединения и формируют структуру почвы [20].

Численность почвенных микрогрибов в ризосфере пшеницы преимущественно снижалась при применении изучаемого агроприема, что, вероятно, обусловлено фунгицидным действием азотфиксирующих бактерий. В ризосфере сорта Омская 44 происходило увеличение численности грибной микрофлоры при применении биопрепарата Флавобактерин на 76% по отношению к контролю (табл. 1). Литература по этому вопросу свидетельствует, что использование удобрений не всегда оказывает однозначное воздействие на обсуждаемую группу микроорганизмов. Авторы исследований указывают как на ингибирующее, так и на стимулирующее действие агроприема на развитие микрогрибов [28; 29]. Кроме того, подобный эффект, возможно, вызван меньшей конкуренцией этих микроорганизмов с бактериями. Следует отметить, что более интенсивное развитие тестируемой группы микроорганизмов в почве может быть неблагоприятным явлением. В таких условиях существует риск размножения токсиногенных или патогенных видов [22].

Таблица 1.

**Количество микроорганизмов-деструкторов и нитрифицирующих бактерий в ризосфере сельскохозяйственных культур при применении биопрепаратов, 10<sup>3</sup> КОЕ/г, 2021–2023 гг., (n=9, m ± SD)**

| Вариант           | Микрогрибы |      | Нитрификаторы |      | Целлюлозоразрушающие микроорганизмы |      |
|-------------------|------------|------|---------------|------|-------------------------------------|------|
|                   | m ± SD     | V    | m ± SD        | V    | m ± SD                              | V    |
| <b>Омская 42</b>  |            |      |               |      |                                     |      |
| Контроль          | 88,0±31,3  | 79,4 | 1,22±0,41     | 75,0 | 96,9±22,7                           | 52,4 |
| Мизорин           | 61,8±15,7  | 56,7 | 1,20±0,41     | 76,3 | 110,2±20,6                          | 41,8 |
| Флавобактерин     | 73,2±14,0  | 42,5 | 1,26±0,56     | 60,0 | 96,2±23,2                           | 53,9 |
| <b>Омская 44</b>  |            |      |               |      |                                     |      |
| Контроль          | 52,3±1,8   | 70,8 | 1,01±0,37     | 81,8 | 108,0±9,5                           | 19,7 |
| Мизорин           | 49,9±15,8  | 70,9 | 1,05±0,34     | 71,5 | 112,7±22,0                          | 43,7 |
| Флавобактерин     | 91,9±25,3  | 61,4 | 1,04±0,30     | 65,1 | 119,1±24,4                          | 45,8 |
| <b>Тарская 12</b> |            |      |               |      |                                     |      |
| Контроль          | 47,4±14,9  | 70,4 | 1,41±0,53     | 63,3 | 99,6±13,5                           | 30,3 |
| Мизорин           | 53,9±16,9  | 70,2 | 1,05±0,28     | 60,5 | 105,3±25,1                          | 53,3 |
| Флавобактерин     | 41,2±14,1  | 76,4 | 1,20±0,40     | 74,7 | 114,8±19,6                          | 38,2 |
| HCP <sub>05</sub> | A*, B      | 27,8 | 0,3           |      | 20,9                                |      |
|                   | AB         | 48,1 | 0,4           |      | 36,2                                |      |

Примечание: \* А – фактор сорт, В – фактор бактеризация, АВ – взаимодействие А и В; V – коэффициент вариации (%); m ± SD – средняя ± ошибка средней.

На активность нитрифицирующих бактерий положительного воздействия приём бактеризации семян не оказал, отмечена тенденция их снижения по отношению к контролю до 34%. Среди микроорганизмов цикла азота автотрофные нитрифицирующие бактерии наиболее чувствительны к наличию в почве углекислоты. Активное их развитие сопровождается усвоением значительного количества углекислоты, которая, как и другие легкоусвояемые вещества, служит энергетическим ресурсом для азотфиксирующих микроорганизмов [15]. Возможно, это и стало причиной снижения численности нитрификаторов при применении бактеризации семян.

Особенностью целлюлозоразлагающих микроорганизмов является их высокая потребность в азотном питании. Они служат важнейшими поставщиками органических веществ, для разнообразных групп микроорганизмов (в том числе азотфиксирующих), связанных общей пищевой цепью [14]. Являясь основным компонентом растительных волокнистых структур, целлюлоза представлена в кристаллической и аморфной формах и является субстратом для многочисленных видов как грибов, так и бактерий, использующих внеклеточные ферменты [21].

В наших исследованиях оптимизация азотного питания, за счёт дополнительного азота ассоциативной азотфиксации и текущей нитрификации, стимулировала рост численности целлюлозоразрушающей микрофлоры. Применение инокуляции семян корневыми diaзотрофами приблизительно в равной степени увеличивало количество тестируемой группы: на 6–16% при применении Мизорина, до 15% при применении Флавобактерина.

Мониторинг изменения активности протеолитических микроорганизмов в том числе аммонификаторов, при внесении удобрений, является важным звеном в установлении экологического состояния почвы. Именно поэтому в эксперименте, среди прочих микроорганизмов, мы определяли численность вышеупомянутой группы.

Предпосевная бактеризация семян за счет улучшения азотного питания мягкой пшеницы оказала положительное влияние на численность протеолитической микрофлоры, в том числе аммонифицирующей, ризосферы мягкой пшеницы сорта Омская 44, отмечено увеличение их количества на 16 (вариант Мизорин) и 20% (вариант Флавобактерин) относительно контроля. В ризосфере сортов Омская 42 и Тарская 12 существенных изменений тестируемой группы при применении биопрепаратов комплексного действия не установлено. Численность амилалитической микрофлоры изменялась с аналогичной протеолитическим бактериям тенденцией (табл. 2). Математическая обработка результатов исследований показала

минимальное влияние фактора «инокуляция» на изменение численности аммонифицирующих микроорганизмов – 1%, тогда как вклад генетических особенностей сорта значителен – 77,0%.

Таблица 2.

**Численность микроорганизмов в ризосфере сельскохозяйственных культур при применении биопрепаратов, 10<sup>7</sup> КОЕ/г, 2021–2023 гг., (n=9)**

| Вариант           | Протеолитическая микрофлора |      | Амилолитическая микрофлора |      | Олигонитрофилы |      | Фосфатмобилизующие |      | Общее количество микрофлоры |      |
|-------------------|-----------------------------|------|----------------------------|------|----------------|------|--------------------|------|-----------------------------|------|
|                   | m ± SD                      | V    | m ± SD                     | V    | m ± SD         | V    | m ± SD             | V    | m ± SD                      | V    |
| Омская 42         |                             |      |                            |      |                |      |                    |      |                             |      |
| Контроль          | 19,9±3,8                    | 32,7 | 21,3±5,5                   | 57,5 | 64,7±14,5      | 50,0 | 61,8±16,9          | 61,3 | 167,9±39,4                  | 52,5 |
| Мизорин           | 19,8±3,0                    | 26,5 | 16,5±2,9                   | 38,8 | 59,0±13,2      | 50,1 | 46,5±8,7           | 41,9 | 142,0±24,1                  | 38,0 |
| Флавобактерин     | 21,4±5,0                    | 40,4 | 17,2±4,2                   | 54,4 | 56,3±9,4       | 37,2 | 52,4±9,3           | 39,5 | 147,4±23,0                  | 34,9 |
| Омская 44         |                             |      |                            |      |                |      |                    |      |                             |      |
| Контроль          | 22,8±4,3                    | 32,3 | 16,5±4,6                   | 62,3 | 72,7±19,5      | 59,9 | 59,8±15,0          | 56,1 | 172,0±42,3                  | 55,0 |
| Мизорин           | 26,5±4,9                    | 32,3 | 19,0±4,8                   | 56,8 | 66,3±13,7      | 46,1 | 62,8±16,0          | 57,0 | 174,8±38,4                  | 49,0 |
| Флавобактерин     | 27,4±5,2                    | 32,6 | 21,1±3,2                   | 33,3 | 83,5±19,8      | 52,9 | 78,5±12,9          | 36,7 | 210,7±39,7                  | 42,1 |
| Тарская 12        |                             |      |                            |      |                |      |                    |      |                             |      |
| Мизорин           | 23,1±5,8                    | 43,4 | 17,9±4,5                   | 55,5 | 68,0±15,6      | 51,2 | 51,5±7,0           | 30,5 | 160,6±31,3                  | 43,5 |
| Флавобактерин     | 22,0±3,3                    | 26,1 | 19,8±4,6                   | 52,4 | 76,5±16,0      | 46,7 | 55,0±7,7           | 31,1 | 173,5±29,4                  | 37,8 |
| НСР <sub>05</sub> | A*, B                       | 4,2  | 4,0                        | 19,4 | 17,0           | 39,5 |                    |      |                             |      |
|                   | AB                          | 7,2  | 7,0                        | 33,6 | 29,5           | 68,5 |                    |      |                             |      |

Примечание: \* А – фактор сорт, В – фактор бактеризация, АВ – взаимодействие А и В; V – коэффициент вариации (%); m ± SD – ошибка средней.

Изменение количества определённых физиологических групп микроорганизмов в почве является показателем потенциального и фактического плодородия почвы [3]. Результаты нашего исследования показали, что применяемые биоудобрения оказывали разностороннее воздействие на рост микроорганизмов олигонитрофильной и фосфатмобилизующей группы. Олигонитрофилы представляют собой наиболее распространённую группу биоты, которая считается продуцентом биотических веществ и играет важную роль в сохранении и пополнении запасов азота в почве. Фосфатмобилизирующие микроорганизмы представляют собой группу микрофлоры, растворяющую как неорганический, так и органический фосфор, и поддерживают уровень питательных веществ в почве. Наблю-

дения за изменением численности обсуждаемых бактерий при применении бактеризации семян показало некоторое их снижение в удобренных вариантах опыта. Это может быть связано с тем, что при интродукции в почву попадают микроорганизмы, способные оказывать определённое воздействие, в том числе и отрицательное, на аборигенную микрофлору [2]. Положительное влияние приём бактеризации семян оказал на олигонитрофильные и фосфатмобилизующие бактерии ризосферы пшеницы сорта Омская 44, увеличение по отношению к контролю составило до 6% при применении Мизорина и 15–32% при применении Флавобактерина соответственно.

Наибольшим суммарным количеством определяемой ризосферной микрофлоры яровой мягкой пшеницы выделился сорт Омская 44. Общая обсеменённость микроорганизмами варьировала от 172 до 210 млн КОЕ/г почвы в зависимости от варианта опыта. Наибольшее положительное влияние на общую численность микроорганизмов ризосферы этого сорта оказало применение биопрепарата Флавобактерин, стимуляция роста относительно контроля составила 22%. Прикорневая микрофлора пшеницы сорта Омская 42 и Тарская 12 менее отзывчива на предпосевную инокуляцию изучаемыми бактериальными удобрениями, наблюдалось некоторое снижение. Исследованиями коллег установлено, что различное влияние биопрепаратов на количество и активность почвенных микроорганизмов обусловлено генотипическими особенностями культур [19].

Ферментативная активность почвы, определённая по величинам наиболее значимых гидролитических ферментов – уреазы и инвертазы, а также окислительно-восстановительного – каталазы изменялась под влиянием бактериальных удобрений в схожих с численностью микроорганизмов направлениях. В ходе проведения исследований выявлена активизация уреазной и инвертазной активности почвы, которая выражалась в увеличении активности ее энзимов на 17 и 12% на пшенице Омская 44 вариант с Флавобактерином, в меньшей степени с Мизорином – на 5%. При этом доля влияния фактора применения бактериальных препаратов значительна для фермента инвертаза, составляя около 40%, на изменение активности фермента уреазы наибольшее влияние оказало взаимодействие факторов – 87%. Активность каталазы, биохимия которой сопряжена с окислительно-восстановительными реакциями и участием в процессе гумификации, снижалась практически во всех вариантах с применением биопрепарата Флавобактерин, однако мера снижения оказалась незначительной (до 3–4%) (табл. 3).

Таблица 3.

**Активность почвенных ферментов в ризосфере пшеницы  
в зависимости от применения бактериальных удобрений, в 1 г воздушно  
сухой почвы, 2021–2022, (n=6)**

| Вариант                 | Ферментативная активность почвы                     |             |                                            |             |                                            |             |
|-------------------------|-----------------------------------------------------|-------------|--------------------------------------------|-------------|--------------------------------------------|-------------|
|                         | Каталаза, O <sub>2</sub> (куб. см/мин)/г почвы/24 ч |             | Уреаза, мг. NH <sub>3</sub> / г почвы/24 ч |             | Инвертаза, мг инвертн. сахара/г почвы/24 ч |             |
|                         | m ± SD                                              | V           | m ± SD                                     | V           | m ± SD                                     | V           |
| <b>Омская 42</b>        |                                                     |             |                                            |             |                                            |             |
| Контроль                | 1,48±0,12                                           | 18,2        | 0,34±0,02                                  | 13,1        | 11,5±0,53                                  | 7,9         |
| Мизорин                 | 1,51±0,12                                           | 18,1        | 0,31±0,03                                  | 21,3        | 11,6±0,58                                  | 8,6         |
| Флавобактерин           | 1,44±0,10                                           | 15,6        | 0,32±0,03                                  | 17,7        | 11,8±0,52                                  | 7,6         |
| <b>Омская 44</b>        |                                                     |             |                                            |             |                                            |             |
| Контроль                | 1,49±0,11                                           | 16,8        | 0,31±0,03                                  | 24,9        | 11,6±0,40                                  | 6,0         |
| Мизорин                 | 1,50±0,12                                           | 18,3        | 0,32±0,03                                  | 22,5        | 11,6±0,61                                  | 9,1         |
| Флавобактерин           | 1,45±0,12                                           | 19,1        | 0,36±0,03                                  | 20,1        | 13,0±0,42                                  | 5,6         |
| <b>Тарская 12</b>       |                                                     |             |                                            |             |                                            |             |
| Контроль                | 1,50±0,11                                           | 16,9        | 0,34±0,03                                  | 17,9        | 12,2±0,64                                  | 9,1         |
| Мизорин                 | 1,49±0,09                                           | 14,1        | 0,35±0,03                                  | 18,1        | 12,0±0,70                                  | 10,1        |
| Флавобактерин           | 1,44±0,13                                           | 19,9        | 0,31±0,03                                  | 24,6        | 12,0±0,65                                  | 9,4         |
| <b>Среднее по опыту</b> | <b>1,47±0,12</b>                                    | <b>19,3</b> | <b>0,33±0,03</b>                           | <b>22,6</b> | <b>11,9±0,40</b>                           | <b>10,2</b> |
| HCP <sub>05</sub>       | A*, B                                               | 0,06        | 0,03                                       | 0,46        |                                            |             |
|                         | AB                                                  | 0,10        | 0,04                                       | 0,80        |                                            |             |

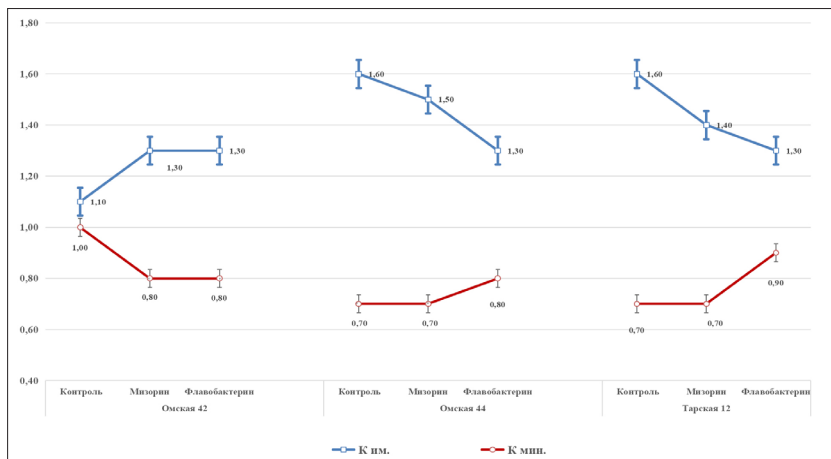
*Примечание:* \* А – фактор сорт, В – фактор бактеризация, АВ – взаимодействие А и В; V – коэффициент вариации (%); m ± SD – ошибка средней.

Согласно шкалам Д. Г. Звягинцева (1978), используемым для оценки степени обогащенности ферментами, изучаемая почва по активности каталазы, инвертазы и уреазы относится к бедным.

Активность ферментной системы зависит от численности соответствующих микроорганизмов. По результатам сопоставления количества протеолитической и амилолитической микрофлоры в ризосфере установлено преобладающее число первой. Отражением полученной закономерности служит микробиологический коэффициент иммобилизации (закрепления) почвенного азота в плазме микробной клетки, динамика которого представлена на рис. 1.

Коэффициент иммобилизации варьировал от 1,10 до 1,60, это обстоятельство свидетельствует о преимуществе процессов поглощения азота

почвенной микрофлорой в ризосфере культуры. Для условий Омской области подобное является положительным моментом, поскольку уменьшается вероятность вымывания неизрасходованного азота. Коэффициент минерализации в ризосфере пшеницы варьировал от 0,70 до 1,00, что указывает на снижение интенсивности процессов минерализации органического вещества почвы и высвобождения из него азота.



**Рис. 1.** Коэффициенты микробиологической минерализации и иммобилизации в ризосфере пшеницы в зависимости от сорта и применяемого биопрепарата, 2021–2023 гг., (n=9)

Примечание. К им. – коэффициент иммобилизации, К мин. – коэффициент минерализации

Статистическая обработка результатов исследований показала наличие зависимости урожайности пшеницы от численности эколого-трофических групп микроорганизмов ризосферы. Достоверную корреляционную связь с урожайностью имели численность олигонитрофилов, фосфатмобилизующих бактерий и нитрификаторов при  $n=9$ , т.е. микроорганизмы обеспечивающие поступление доступных элементов питания растениям, а также группа копиотрофов – протеолитическая и амилаолитическая микрофлора (табл. 4).

Проведённые исследования показали высокую корреляционную зависимость между определяемыми группами микроорганизмов: сапротрофных бактерий с микроорганизмами секретирующими амилазу, олигонитрофилами и фосфатмобилизаторами; амилаолитических микроорганизмов с олигонитрофилами, фосфатмобилизующими и нитрификаторами (табл. 5). По тесноте связей выпадают две группы микроорганизмов

целлюлозоразрушающие и грибы, имеющие низкие взаимосвязи (предположительно другая экологическая ниша, продукты потребления другие).

Таблица 4.

**Коэффициенты корреляции между отдельными группами микроорганизмов и урожайностью яровой мягкой пшеницы, 2021–2023 гг.,  $r_{\text{крит.}} = 0,40$**

| Группы микроорганизмов                       | r    | Sr   | tф.  | tтеор. |
|----------------------------------------------|------|------|------|--------|
| 1. Протеолитическая микрофлора, $10^7$ КОЕ/г | 0,67 | 0,15 | 4,51 | 2,05   |
| 2. Амилолитическая микрофлора, $10^7$ КОЕ/г  | 0,53 | 0,17 | 3,13 | 2,05   |
| 3. Олигонитрофилы, $10^7$ КОЕ/г              | 0,59 | 0,16 | 3,65 | 2,05   |
| 4. Фосфатмобилизующие, $10^7$ КОЕ/г          | 0,54 | 0,17 | 3,21 | 2,05   |
| 5. Нитрификаторы, $10^3$ КОЕ/г               | 0,50 | 0,17 | 2,89 | 2,05   |

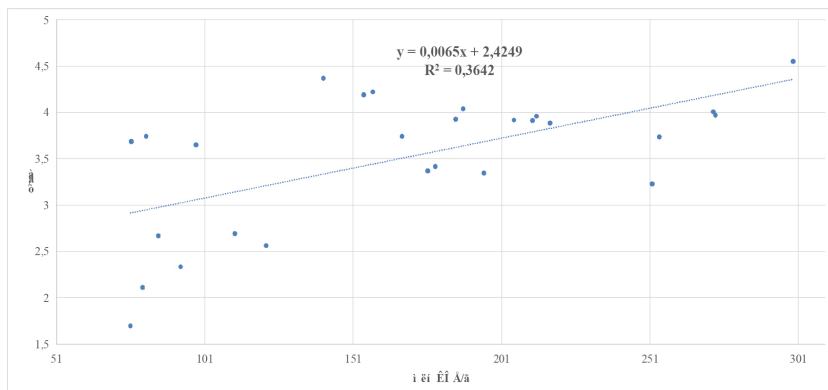
Таблица 5.

**Корреляционные зависимости численности микрофлоры ризосферы мягкой пшеницы, 2021–2023 гг.**

| Показатели                                           | 1           | 2           | 3    | 4           | 5           | 6           | 7     |
|------------------------------------------------------|-------------|-------------|------|-------------|-------------|-------------|-------|
| 1. Протеолитическая микрофлора, $10^7$ КОЕ/г         | –           | <b>0,85</b> | 0,48 | <b>0,86</b> | <b>0,82</b> | 0,69        | 0,01  |
| 2. Амилолитическая микрофлора, $10^7$ КОЕ/г          | <b>0,85</b> | –           | 0,68 | <b>0,88</b> | <b>0,86</b> | <b>0,87</b> | 0,21  |
| 3. Микрогрибы, $10^3$ КОЕ/г                          | 0,48        | 0,68        | –    | 0,49        | 0,59        | 0,61        | 0,26  |
| 4. Олигонитрофилы, $10^7$ КОЕ/г                      | <b>0,86</b> | <b>0,88</b> | 0,49 | –           | <b>0,87</b> | 0,65        | -0,07 |
| 5. Фосфатмобилизующие, $10^7$ КОЕ/г                  | <b>0,82</b> | <b>0,86</b> | 0,59 | <b>0,87</b> | –           | 0,64        | 0,04  |
| 6. Нитрификаторы, $10^3$ КОЕ/г                       | 0,69        | <b>0,87</b> | 0,61 | 0,65        | 0,64        | –           | 0,44  |
| 7. Целлюлозоразрушающие микроорганизмы, $10^3$ КОЕ/г | 0,01        | 0,21        | 0,26 | -0,07       | 0,04        | 0,44        | –     |

Корреляционный анализ зависимости урожайности зерна яровой мягкой пшеницы от общей (условно) численности ризосферной микрофлоры по результатам трех лет исследований показал, что между этими показателями наблюдается статистически значимая ( $p < 0,05$ ) положительная ( $r = 0,60$ ) связь, которая достаточно адекватно описывается уравнением линейной регрессии (рис. 2).

Это объясняется тем, что почвенная микрофлора способствует разложению органических веществ до минеральных, круговороту азота, углерода, и других элементов в природе, осуществляет процессы формирования, самоочищения почвы, т.е. участвует в процессах, без которых нормальное функционирование биоценозов невозможно.



**Рис. 2.** Зависимость урожайности пшеницы от общей численности ризосферной микрофлоры (2021–2023 гг.)

### Заключение

Результаты проведённых исследований демонстрируют неоднозначное воздействие приема предпосевной бактеризации семян препаратами комплексного действия на численность агрономически ценной микрофлоры ризосферы мягкой пшеницы. Положительное влияние агроприема оказал лишь на прикорневые микроорганизмы сорта Омская 44, отмечен рост при применении Флавобактерина на 22% относительно контрольного варианта опыта. Микробное население пшеницы сорта Омская 42 и Тарская 12 не отозвалось на интродукцию бактерий рода *Arthrobacter mysorens* 7 и *Flavobacterium sp.* L-30. В ризосфере исследуемых сортов преобладали иммобилизационные процессы, в наибольшей степени – у пшеницы Тарская 12 и Омская 44. Активность гидролитических ферментов в большинстве вариантов опыта имела тенденцию к увеличению относительно контроля (до 17%), однако активность окислительно-восстановительного фермента каталазы снижалась от применяемого агроприема, в пределах ошибки опыта (до 4%). Выявлена статистически значимая ( $p < 0,05$ ) положительная ( $r = 0,675$ ) зависимость урожайности пшеницы от количества микрофлоры в ризосфере.

**Информация о конфликте интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Информация о спонсорстве.** Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (проект № 23-76-10064, <https://rscf.ru/project/23-76-10064/>).

### Список литературы

1. Агроэкологическая оценка длительного применения удобрений на черноземных почвах Западной Сибири / И.Ф. Храмцов, М.С. Чекусов, Н.А. Воронкова, Н.Ф. Балабанова, В.А. Волкова // Плодородие. 2021. № 3 (120). С. 104–107. <https://doi.org/10.25680/S19948603.2021.120.20>
2. Анализ состояния почвенного микробного сообщества при длительной антропогенной нагрузке / Н.Р. Эмер, Н.В. Костина, А.И. Нетрусов, И.С. Жебрак, П.А. Кожевин // Вестник Московского университета. Серия 17. Почвоведение. 2019. № 4. С. 56–62.
3. Анализ эффектов совместной инокуляции грибами арбускулярной микоризы и ризобиями на рост и развитие растений гороха *Pisum sativum* L. / И.В. Леппянен, О.Ю. Штарк, О.А. Павлова, А.Д. Бовин, К.А. Иванова, Т.С. Серова, Е.А. Долгих // Сельскохозяйственная биология. 2021. Т. 56, № 3. С. 475–486. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2021.3.475rus>
4. Ананьева Н.Д., Благодатская Е.В., Демкина Т.С. Оценка устойчивости микробных комплексов почв к природным и антропогенным воздействиям // Почвоведение. 2002. № 5. С. 580–587.
5. Влияние комплексного применения удобрений и биопрепаратов на эффективное плодородие чернозема выщелоченного и продуктивность ячменя / Н.Н. Шулико, О.Ф. Хамова, Н.А. Воронкова, Е.В. Тукмачева, В.Д. Дороненко // Агрохимия. 2019. № 2. С. 13–20. <https://doi.org/10.1134/S0002188119020133>
6. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). Москва: Агропромиздат, 1985. 351 с.
7. Завалин А.А., Накаряков А.М. Эффективность применения биопрепаратов в посеве озимой пшеницы на светло-серой лесной почве // Земледелие. 2021. № 1. С. 27–30. <https://doi.org/10.24411/0044-3913-2021-10107>
8. Заргарян Н.Ю., Кекало А.Ю., Немченко В.В. Влияние предшественников и способов обработки на фитосанитарное состояние почвы в Курганской области // Экологический подход к решению проблем интегрированной защиты растений: Сборник трудов Международной конференции Сибирской научной школы по защите растений, посвященной 85-летию со дня рождения В.А. Чулкиной. Новосибирск: НГАУ Золотой колос, 2019. С. 10–14.
9. Злотников А.К. Сравнительная эффективность стимуляторов роста и биофунгицидов в полевых условиях // Агро-XXI. 2013. № 7–9. С. 22–24.
10. Иванов А.Л. Роль микробиологии в оценке почвенных ресурсов // Вестник Российской сельскохозяйственной науки. 2015. № 6. С. 26–28.

11. Классификация и диагностика почв СССР / Егоров В.В., Фридланд В.М., Иванова Е.Н., Розов Н.Н., Носин В.А., Фриев Т.А. Москва: Колос, 1977. 221 с.
12. Козлов А.В., Куликова А.Х., Селицкая О.В., Уромова И.П. Устойчивость микробиологической активности дерново-подзолистой почвы в условиях применения диатомита и цеолита // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2019. № 46. С. 26–47. <https://doi.org/10.17223/19988591/46/2>
13. Корчагина И.А., Юшкевич Л.В. Сорта пшеницы в интенсивном земледелии Омского Прииртышья. Омск: ФГБНУ Омский аграрный научный центр, 2023. 172 с.
14. Кузнецова Л.Н. Целлюлозоразрушающая способность микроорганизмов при «Нулевой» технологии // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2014. №7. С. 49–51.
15. Мишустин Е.Н. Микроорганизмы как компоненты биогеоценоза. Москва: Наука, 1984. 134 с.
16. Муха В.Д. О показателях, отражающих интенсивность и направленность почвенных процессов // Сборник научных трудов Харьковского СХИ. Харьков: Харьковский сельскохозяйственный институт, 1980. Т. 273. С. 13–16.
17. Теппер Е.З., Шильникова В.К. Практикум по микробиологии учебное пособие для вузов / под ред. В. К. Шильниковой. Москва: Дрофа, 2004. 256 с.
18. Шулико Н.Н., Тимохин А.Ю., Тукмачева Е.В. Экологическое состояние лугово-черноземной почвы при длительном орошении // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2021. № 3 (55). С. 79–85. <https://doi.org/10.18286/1816-4501-2021-3-79-85>
19. Эффективность защиты яровой пшеницы биопрепаратами и фунгицидами в лесостепи Приобья: II. Особенности действия в условиях недостатка влаги / Власенко Н.Г., Павлюшин В.А., Теплякова О.И., Кулагин О.В., Морозов Д.О. // Вестник защиты растений. 2022. Т. 105, № 4. С. 181–192. <https://doi.org/10.31993/2308-6459-2022-105-4-15357>
20. Anilkumar R.R., Edison L.K., Pradeep N.S. Exploitation of fungi and actinobacteria for sustainable agriculture // Microbial biotechnology, 2017, pp. 135–162. [https://doi.org/10.1007/978-981-10-6847-8\\_6](https://doi.org/10.1007/978-981-10-6847-8_6)
21. Berg B., Laskowski R. Litter decomposition: a guide to carbon and nutrient turnover. In book: Advances in Ecological Research, 2006, vol. 38, 421 p. [https://doi.org/10.1016/S0065-2504\(05\)38001-9](https://doi.org/10.1016/S0065-2504(05)38001-9)
22. Frac M., Jezierska-Tys S., Yaguchi T. Occurrence, detection, and molecular and metabolic characterization of heat-resistant fungi in soils and plants and their

- risk to human health // *Advances in Agronomy*, 2015, vol. 132, pp. 161-204. <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2015.02.003>
23. Horz H.P., Barbrook A., Field C.B., Bohannon B.J.M. Ammonia oxidizing bacteria respond to multifactorial global change // *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2004, vol. 101 (42), pp. 15136-15141. <https://doi.org/10.1073/pnas.0406616101>
24. Influence of long-term intensive use of irrigated meadow-chernozem soil on the biological activity and productivity of the arable layer / N.N. Shuliko, O.F. Khamova, A.Yu. Timokhin, V.S. Boiko, E.V. Tukmacheva, A. Krempa // *Scientific Reports*, 2022, vol. 12, № 1, p. 14672. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-18639-1>
25. Kheyroodin H., Ghazvinian K., Taherian M. Tillage and manure effect on soil microbial biomass and respiration, and on enzyme activities // *African Journal of Biotechnology*, 2012, vol. 11 (81), pp. 14652-14659. <https://doi.org/10.5897/AJB09.1335>
26. Kowalchuk G.A., Stephen J.R. Ammonia oxidizing bacteria: a model for molecular microbial ecology // *Annual Reviews Microbiology*, 2001, vol. 55, pp. 485-529. <https://doi.org/10.5897/AJB09.1335>
27. Qiu S., Chen G., Zhou Y. Abundance and diversity of ammonia oxidizing bacteria in relation to ammonium in a Chinese shallow eutrophic urban lake // *Brazilian Journal of Microbiology*, 2010, vol. 41 (1), pp. 218-226. <https://doi.org/10.1590/S1517-83822010000100031>
28. Response of soil microbial communities to the herbicide mesotrione: a dose-effect microcosm approach / O. Crouzet, I. Batisson, P. Besse-Hoggan, F. Bonnemoy, C. Bardot, F. Poly, J. Bohatier, C. Mallet // *Soil Biology and Biochemistry*, 2010, vol. 42 (2), pp. 193-202. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2009.10.016>
29. Sebiomo A., Ogundero V.W., Bankole S.A. Effect of four herbicides on microbial population, soil organic matter and dehydrogenase activity // *African journal of biotechnology*, 2011, vol. 10 (31), pp. 770-778.
30. The distribution of microorganisms in different types of agricultural soils in the Vojvodina province / J. Marinkovic, D. Bjelic, J. Vasin, B. Tintor, J. Ninkov // *Research Journal of Agricultural Science*, 2012, vol. 44 (3), pp. 73-78.
31. The impact of agricultural soil usage on activity and abundance of ammonifying bacteria in selected soils from Poland / A. Wolińska, A. Szafranek-Nakonieczna, A. Banach, M. Błaszczczyk, Z. Stępniewska // *Springer Plus*, 2016, vol. 5, p. 565. <https://doi.org/10.1186/s40064-016-2264-8>
32. Wielgosz E., Józwiakowski K., Bielińska E.J. Numbers of ammonifying, nitrifying and denitrifying bacteria in sewage treated in a system of biological stabilisation ponds // *Teka Kom Ochr Kszt Środ Przyr*, 2010, vol. 7, pp. 446-456.

33. World reference base for soil resources: 2006: a framework for international classification, correlation and communication / E. Micheli, P. Schád, O. Spaargaren, D. Dent, F. Nachtergaele, WRB IUSS. FAO: Rome, 2006. 130 p.

### References

1. Agroekologicheskaya otsenka dlitel'nogo primeneniya udobreniy na chernozemnykh pochvakh Zapadnoy Sibiri [Agroecological assessment of long-term use of fertilizers on chernozem soils of Western Siberia] / I.F. Khramtsov, M.S. Chekusov, N.A. Voronkova, N.F. Balabanova, V.A. Volkova. *Plodorodie* [Fertility], 2021, no. 3 (120), pp. 104-107. <https://doi.org/10.25680/S19948603.2021.120.20>
2. Analiz sostoyaniya pochvennogo mikrobnogo soobshchestva pri dlitel'noy antropogennoy nagruzke [Analysis of the state of the soil microbial community under prolonged anthropogenic load] / N.R. Emer, N.V. Kostina, A.I. Netrusov, I.S. Zhebrak, P.A. Kozhevin. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 17. Pochvovedenie* [Bulletin of the Moscow University. Episode 17. Soil science], 2019, no. 4, pp. 56-62.
3. Analiz effektivov sovmestnoy inokulyatsii gribami arbuskulyarnoy mikorizy i rizobiyami na rost i razvitie rasteniy gorokha *Pisum sativum* L. [Analysis of the effects of joint inoculation by arbuscular mycorrhiza fungi and rhizobia on the growth and development of *Pisum sativum* L. pea plants] / I.V. Leppyanen, O.Yu. Shtark, O.A. Pavlova, A.D. Bovin, K.A. Ivanova, T.S. Serova, E.A. Dolgikh. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya* [Agricultural Biology], 2021, vol. 56, no. 3, pp. 475-486. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2021.3.475rus>
4. Anan'eva N.D., Blagodatskaya E.V., Demkina T.S. Otsenka ustoychivosti mikrobnyykh kompleksov pochv k prirodnym i antropogennym vozdeystviyam [Assessment of the stability of soil microbial complexes to natural and anthropogenic influences]. *Pochvovedenie* [Soil science], 2002, no. 5, pp. 580-587.
5. Vliyaniye kompleksnogo primeneniya udobreniy i biopreparatov na effektivnoe plodorodie chernozema vyshchelochennogo i produktivnost' yachmenya [The effect of the complex application of fertilizers and biological products on the effective fertility of leached chernozem and the productivity of barley] / N.N. Shuliko, O.F. Khamova, N.A. Voronkova, E.V. Tukmacheva, V.D. Doronenko. *Agrokhiimiya* [Agrochemistry], 2019, no. 2, pp. 13-20. <https://doi.org/10.1134/S0002188119020133>
6. Dospekhov B.A. *Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezul'tatov issledovaniy)* [Methodology of field experience (with the basics of statistical processing of research results)]. Moscow: Agropromizdat Pudl., 1985, 351 p.

7. Zavalin A.A., Nakaryakov A.M. Effektivnost' primeneniya biopreparatov v pos-eve ozimoy pshenitsy na svetlo-seroy lesnoy pochve [The effectiveness of the use of biological products in sowing winter wheat on light gray forest soil]. *Zemledelie* [Agriculture], 2021, no. 1, pp. 27-30. <https://doi.org/10.24411/0044-3913-2021-10107>
8. Zargaryan N.Yu., Kekalo A.Yu., Nemchenko V.V. Vliyanie predshestvennikov i sposobov obrabotki na fitosanitarnoe sostoyanie pochvy v Kurganskoy oblasti [Influence of precursors and processing methods on the phytosanitary condition of the soil in the Kurgan region]. *Ekologicheskii podkhod k resheniyu problem integrirovannoy zashchity rasteniy* [Ecological approach to solving the problems of integrated plant protection. Collection of works of the International Conf. Sib. sci. plant protection schools], 2019, pp. 10-14.
9. Zlotnikov A.K. Sravnitel'naya effektivnost' stimulyatorov rosta i biofungitsidov v polevykh usloviyakh [Comparative effectiveness of growth stimulants and biofungicides in the field]. *Agro-XXI* [Agro-XXI], 2013, no. 7-9, pp. 22-24.
10. Ivanov A.L. Rol' mikrobiologii v otsenke pochvennykh resursov [The role of microbiology in the assessment of soil resources]. *Vestnik Rossijskoj sel'skokhozyajstvennoy nauki* [Bulletin of the Russian Agricultural Science], 2015, no. 6, pp. 26-28.
11. *Klassifikatsiya i diagnostika pochv SSSR* [Classification and diagnostics of soils of the USSR] / V.V. Egorov, V.M. Fridland, E.N. Ivanova, N.N. Rozov, V.A. Nosin, T.A. Frie. Moscow: Kolos Publ., 1977, 221 p.
12. Kozlov A.V., Kulikova A.Kh., Selitskaya O.V., Uromova I.P. Ustoychivost' mikrobiologicheskoy aktivnosti dernovo-podzolistoy pochvy v usloviyakh primeneniya diatomita i tseolita [Stability of the microbiological activity of sod-podzolic soil in the use of diatomite and zeolite]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya*, 2019, no. 46, pp. 26-47. <https://doi.org/10.17223/19988591/46/2>
13. Korchagina I.A., Yushkevich L.V. *Sorta pshenicy v intensivnom zemledelii Omskogo Priirya* [Wheat varieties in intensive agriculture of the Omsk Irtysh region.]. Omsk: Omsk Agrarian Scientific Center Publ., 2023, 172 p.
14. Kuznetsova L.N. Tsellyulozorazrushayushchaya sposobnost' mikroorganizmov pri «Nulevoy» tekhnologii [Cellulose-destroying ability of microorganisms with "Zero" technology]. *Vestnik Kurskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* [Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy], 2014, no. 7, pp. 49-51.
15. Mishustin E.N. *Mikroorganizmy kak komponenty biogeotsenoza* [Microorganisms as components of biogeocenosis]. Moscow: Nauka Publ., 1984, 134 p.

16. Muha V.D. O pokazatelyah, otrazhayushchih intensivnost' i napravlennost' pochvennyh processov [On indicators reflecting the intensity and direction of soil processes]. *Sbornik nauchnykh trudov Khar'kovskogo SKhI* [Collection of scientific papers of Kharkov Agricultural Institute]. Kharkiv: Kharkiv Agricultural Institute, 1980, vol. 273. pp. 13–16.
17. Tepper E.Z., Shil'nikova V.K. *Praktikum po mikrobiologii uchebnoe posobie dlya vuzov* [Microbiology Workshop textbook for universities] / pod red. V.K. Shil'nikovoj. Moscow: Drofa Publ., 2004, 256 p.
18. Shuliko N.N., Timokhin A.Yu., Tukmacheva E.V. Ekologicheskoe sostoyanie lugovo-chernozemnoy pochvy pri dlitel'nom orosheni [Ecological state of meadow-chernozem soil under prolonged irrigation]. *Vestnik Ul'yanovskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* [Bulletin of the Ulyanovsk State Agricultural Academy], 2021, no. 3(55), pp. 79-85. <https://doi.org/10.18286/1816-4501-2021-3-79-85>.
19. E' Effektivnost' zashchity yarovoy pshenitsy biopreparatami i fungitsidami v lesostepi Priob'ya: II. Osobennosti deystviya v usloviyakh nedostatka vlagi [The effectiveness of protection of spring wheat with biologics and fungicides in the forest-steppe of the Ob region: II. Features of action in conditions of lack of moisture] / N.G. Vlasenko, V.A. Pavlyushin, O.I. Teplyakova, O.V. Kulagin, D.O. Morozov. *Vestnik zashchity rasteniy* [Bulletin of Plant Protection], 2022, vol. 105, no. 4, pp. 181-192. <https://doi.org/10.31993/2308-6459-2022-105-4-15357>
20. Anilkumar R.R., Edison L.K., Pradeep N.S. Exploitation of fungi and actinobacteria for sustainable agriculture / Patra J.K., Vishnuprasad Ch.N., Das G. (eds.). *Microbial biotechnology. Applications in agriculture and environment*, 2017, pp. 135-162. [https://doi.org/10.1007/978-981-10-6847-8\\_6](https://doi.org/10.1007/978-981-10-6847-8_6)
21. Berg B., Laskowski R. Litter decomposition: a guide to carbon and nutrient turnover. *Advances in Ecological Research*, 2006, vol. 38, 421 p. [https://doi.org/10.1016/S0065-2504\(05\)38001-9](https://doi.org/10.1016/S0065-2504(05)38001-9)
22. Frac M., Jezierska-Tys S., Yaguchi T. Occurrence, detection, and molecular and metabolic characterization of heat-resistant fungi in soils and plants and their risk to human health. *Advances in Agronomy*, 2015, vol. 132, pp. 161-204. <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2015.02.003>
23. Horz H.P., Barbrook A., Field C.B., Bohannon B.J.M. Ammonia oxidizing bacteria respond to multifactorial global change. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2004, vol. 101(42), pp. 15136-15141. <https://doi.org/10.1073/pnas.0406616101>
24. Influence of long-term intensive use of irrigated meadow-chernozem soil on the biological activity and productivity of the arable layer / N.N. Shuliko, O.F. Khamova,

- A. Yu. Timokhin, V.S. Boiko, E.V. Tukmacheva, Krempa A. *Scientific Reports*, 2022, vol. 12, no. 1, p. 14672. URL: <https://www.nature.com/articles/s41598-022-18639-1>
25. Kheyrodin H., Ghazvinian K., Taherian M. Tillage and manure effect on soil microbial biomass and respiration, and on enzyme activities. *African Journal of Biotechnology*, 2012, vol. 11 (81), pp. 14652-14659. <https://doi.org/10.5897/AJB09.1335>
26. Kowalchuk G.A., Stephen J.R. Ammonia oxidizing bacteria: a model for molecular microbial ecology. *Annual Reviews Microbiology*, 2001, vol. 55, pp. 485-529. <https://doi.org/10.1146/annurev.micro.55.1.485>
27. Qiu S., Chen G., Zhou Y. Abundance and diversity of ammonia oxidizing bacteria in relation to ammonium in a Chinese shallow eutrophic urban lake. *Brazilian Journal of Microbiology*, 2010, vol. 41, pp. 218-226. <https://doi.org/10.1590/S1517-838220100001000031>
28. Response of soil microbial communities to the herbicide mesotrione: a dose-effect microcosm approach / O. Crouzet, I. Batisson, P. Besse-Hoggan, F. Bonnemoy, C. Bardot, F. Poly, J. Bohatier, C. Mallet. *Soil Biology and Biochemistry*, 2010, vol. 42 (2), pp. 193-202. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2009.10.016>
29. Sebiomo A., Ogundero V.W., Bankole S.A. Effect of four herbicides on microbial population, soil organic matter and dehydrogenase activity. *African journal of biotechnology*, 2010, vol. 10 (31), pp. 770-778.
30. The distribution of microorganisms in different types of agricultural soils in the Vojvodina province / J. Marinkovic, D. Bjelic, J. Vasin, B. Tintor, J. Ninkov. *Research Journal of Agricultural Science*, 2012, vol. 44 (3), pp. 73-78.
31. The impact of agricultural soil usage on activity and abundance of ammonifying bacteria in selected soils from Poland / A. Wolińska, A. Szafraniek-Nakonieczna, A. Banach, M. Błaszczyk, Z. Stępniewska. *Springer Plus*, 2016, vol. 5, pp. 565. <https://doi.org/10.1186/s40064-016-2264-8>
32. Wielgosz E., Józwiakowski K., Bielińska E.J. Numbers of ammonifying, nitrifying and denitrifying bacteria in sewage treated in a system of biological stabilisation ponds. *Teka Kom Ochr Kszt Środ Przyr*, 2010, vol. 7, pp. 446-456. <https://doi.org/10.1186/s40064-016-2264-8>
33. *World reference base for soil resources: 2006: a framework for international classification, correlation and communication* / E. Micheli, P. Schäd, O. Spaargaren, D. Dent, F. Nachtergaele, WRB IUSS. FAO: Rome, 2006, 130 p.

### ВКЛАД АВТОРОВ

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку статьи для публикации.

## AUTHOR CONTRIBUTIONS

The authors contributed equally to this article.

## ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

**Шулико Наталья Николаевна**, к.с.-х.н., заведующая лабораторией микробиологии

*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение  
«Омский аграрный научный центр»*

*пр. Королева 26, г. Омск, 644012, Российская Федерация*

*shuliko@anc55.ru*

**Тукмачева Елена Васильевна**, к.б.н., старший научный сотрудник лаборатории микробиологии

*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение  
«Омский аграрный научный центр»*

*пр. Королева 26, г. Омск, 644012, Российская Федерация*

*tuktacheva@anc55.ru*

**Корчагина Ирина Анатольевна**, к.с.-х.н., старший научный сотрудник лаборатории микробиологии

*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение  
«Омский аграрный научный центр»*

*пр. Королева 26, г. Омск, 644012, Российская Федерация*

*korchagina@anc55.ru*

**Киселёва Алина Андреевна**, младший научный сотрудник лаборатории микробиологии

*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение  
«Омский аграрный научный центр»*

*пр. Королева 26, г. Омск, 644012, Российская Федерация*

*veybender@anc55.ru*

**Хамова Ольга Федоровна**, к.б.н., ведущий научный сотрудник лаборатории микробиологии

*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение  
«Омский аграрный научный центр»*

*пр. Королева 26, г. Омск, 644012, Российская Федерация*

*olkhaa48@mail.ru*

**Тимохин Артем Юрьевич**, к.с.-х.н., заведующий лабораторией полевого кормопроизводства  
*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение  
«Омский аграрный научный центр»  
пр. Королева 26, г. Омск, 644012, Российская Федерация  
timokhin@anc55.ru*

**Паршуткин Юрий Юрьевич**, к.с.-х.н., заведующий отделом семеноводства  
*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение  
«Омский аграрный научный центр»  
пр. Королева 26, г. Омск, 644012, Российская Федерация  
parshutkin@anc55.ru*

**Кубасова Екатерина Владимировна**, к.с.-х.н., старший научный сотрудник лаборатории микробиологии  
*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение  
«Омский аграрный научный центр»  
пр. Королева 26, г. Омск, 644012, Российская Федерация  
kubasova@anc55.ru*

#### DATA ABOUT THE AUTHORS

**Natalya N. Shuliko**, Cand.Sci. (Agric.), Head of Laboratory of Microbiology  
*Omsk Agrarian Scientific Center  
26, Koroleva Ave., Omsk, 644012, Russian Federation  
shuliko@anc55.ru  
SPIN-code: 7601-1991  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5641-434X>  
ResearcherID: ABF-6522-2021*

**Elena V. Tukmacheva**, Cand.Sci. (Biol.), Senior Researcher of Laboratory of Microbiology  
*Omsk Agrarian Scientific Center  
26, Koroleva Ave., Omsk, 644012, Russian Federation  
tukmacheva@anc55.ru  
SPIN-code: 1881-1679  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1312-3881>  
ResearcherID: AAD-9301-2021*

**Irina A. Korchagina**, Cand.Sci. (Agric.), Senior Researcher of Laboratory of Microbiology

*Omsk Agrarian Scientific Center*

*26, Koroleva Ave., Omsk, 644012, Russian Federation*

*korchagina@anc55.ru*

*SPIN-code: 7818-1663*

*ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5188-7148>*

*ResearcherID: JRS-6928-2023*

*Scopus Author ID: 9434827600*

**Alina A. Kiseleva**, Junior Researcher of Laboratory of Microbiology

*Omsk Agrarian Scientific Center*

*26, Koroleva Ave., Omsk, 644012, Russian Federation*

*veybender@anc55.ru*

*SPIN-code: 1146-1516*

*ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5089-3703>*

**Olga F. Khamova**, Cand.Sci. (Biol.), Leading Researcher of Laboratory of Microbiology

*Omsk Agrarian Scientific Center*

*26, Koroleva Ave., Omsk, 644012, Russian Federation*

*olkhaa48@mail.ru*

*SPIN-code: 1764-9875*

*ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0757-7008>*

*Scopus Author ID: 9434827600*

**Artem Yu. Timokhin**, Cand.Sci. (Agric.), Head of Laboratory of Field feed production

*Omsk Agrarian Scientific Center*

*26, Koroleva Ave., Omsk, 644012, Russian Federation*

*timokhin@anc55.ru*

*SPIN-code: 5162-2346*

*ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5120-4068>*

*ResearcherID: JPL-4190-2023*

*Scopus Author ID: 57213195613*

**Yuri Yu. Parshutkin**, Cand.Sci. (Agric.), Head of Department of Seed Production

---

*Omsk Agrarian Scientific Center*  
*26, Koroleva Ave., Omsk, 644012, Russian Federation*  
*parshutkin@anc55.ru*  
*SPIN-code: 6010-1314*  
*ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9333-0401>*  
*Scopus Author ID: 57221963824*

**Ekaterina V. Kubasova**, Cand.Sci. (Agric.), Senior Researcher of Laboratory  
of Microbiology *Omsk Agrarian Scientific Center*  
*26, Koroleva Ave., Omsk, 644012, Russian Federation*  
*kubasova@anc55.ru*  
*SPIN-code: 9127-5995*  
*ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-3166-0028>*  
*ResearcherID: JRX-6869-2023*

Поступила 08.12.2023

После рецензирования 19.01.2024

Принята 10.02.2024

Received 08.12.2023

Revised 19.01.2024

Accepted 10.02.2024