

СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ МИКРОБИОЛОГИЯ И МИКОЛОГИЯ / AGRICULTURAL MICROBIOLOGY AND MYCOLOGY

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.6.1309-1319>
УДК 579.64:632.4



Изучение биоконтрольных свойств комплексов *Trichoderma atroviride* и diaзотрофов, оценка их экологической безопасности

© 2025. П. А. Стариков[✉], А. С. Олькова², Т. К. Шешегова³, Л. М. Щекленна³, П. Д. Степанов¹

¹ФГБОУ ВО «Вятский государственный агротехнологический университет», г. Киров, Российская Федерация,

²ФГБОУ ВО «Вятский государственный университет», г. Киров, Российская Федерация,

³ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока им. Н. В. Рудницкого», г. Киров, Российская Федерация

Обеспечение производства качественной растениеводческой продукции определяет необходимость разработки новых экологически безопасных подходов в биологическом контроле распространения фитопатогенов. Цель работы – изучение биоконтрольных свойств монокультур и комплексов гриба *Trichoderma atroviride*, бактерий-диазотрофов *Fischerella muscicola* и *Azotobacter chroococcum* в отношении фитопатогена *Fusarium culmorum* P/3-16, оценить экологическую безопасность используемых штаммов-антагонистов. Впервые проведено исследование способности комплексов *T. atroviride* и diaзотрофов к биоконтролю в почве *F. culmorum* – основного возбудителя корневых гнилей зерновых культур. Модельный опыт по выявлению биоконтрольной активности штаммов проводили в микрокосмах с почвой, инокулированной исследуемыми микробными культурами. Спустя 45 суток инкубации, на поверхность почвы высевали яровую пшеницу (*Triticum aestivum* L.) сорта Баженка, через 7 суток после посева оценивали показатели роста и степени развития инфекции у проростков. Установлено, что самым сильным биоконтрольным действием обладали комплексы *T. atroviride* + *A. chroococcum* + *F. muscicola*, а также *T. atroviride* + *F. muscicola*, которые снижали развитие корневых гнилей в 4,12–4,97 раза относительно инфекционного фона без внесения антагонистов. Под действием триходермы и diaзотрофов на инфекционном фоне увеличивалась сухая масса проростков пшеницы на 72,9 % по сравнению с инокуляцией почвы монокультурой *F. culmorum* P/3-16. Подтверждена экологическая безопасность фильтратов жидких культур *T. atroviride* K-01П (разбавление 1:100), *F. muscicola* 300 (разбавление 1:10–1:100) для препарата Эколюм и ракообразных *Daphnia magna*. Данные полевых исследований за 2022–2023 гг. свидетельствуют об отсутствии негативного влияния *T. atroviride* K-01П и *F. muscicola* 300 на аборигенных представителей микромицетов и аммонифицирующих бактерий в почве прикорневой зоны пшеницы. Результаты исследования расширяют традиционные представления о возможности применения грибов рода *Trichoderma* и diaзотрофов в биологическом контроле грибных фитопатогенов и определяют перспективу использования микробных комплексов на их основе в земледелии.

Ключевые слова: *Trichoderma*, *Fusarium*, *Fischerella*, *Azotobacter*, *Triticum aestivum* L., биоконтроль, антагонизм, биотестирование

Благодарности: работа выполнена в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого» (тема № FNWE-2022-0007).

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Стариков П. А., Олькова А. С., Шешегова Т. К., Щекленна Л. М., Степанов П. Д. Изучение биоконтрольных свойств комплексов микромицета *Trichoderma atroviride* и бактерий-азотфиксаторов, оценка их экологической безопасности. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2025;26(6):1309–1319.

DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.6.1309-1319>

Поступила: 23.09.2025

Принята к публикации: 28.11.2025

Опубликована онлайн: 26.12.2025

Study of biocontrol properties of *Trichoderma atroviride* and diazotroph complexes and assessment of their environmental safety

© 2025. Pavel A. Starikov¹✉, Anna S. Olkova², Tatyana K. Sheshegova³,
Lucia M. Shchekleina³, Pavel D. Stepanov¹

¹Vyatka State Agrotechnological University, Kirov, Russian Federation,

²Vyatka State University, Kirov, Russian Federation,

³Federal Agrarian Scientific Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Kirov, Russian Federation

Ensuring the production of high-quality crops determines the need to develop new environmentally safe approaches in the biological control of the spread of phytopathogens. The aim of the work was to study the biocontrol properties of mono-cultures and complexes of the fungus *Trichoderma atroviride* and diazotrophic bacteria *Fischerella muscicola* and *Azotobacter chroococcum* in relation to the phytopathogen *Fusarium culmorum* R/z-16, to evaluate the environmental safety of the antagonist strains used. For the first time there has been studied the ability of *T. atroviride* complexes and diazotrophs to biocontrol *F. culmorum*, the main causative agent of root rot in grain crops, in the soil. A model experiment to identify the biocontrol activity of strains was carried out in microcosms with soil inoculated with the studied microbial cultures. After 45 days of incubation, spring wheat (*Triticum aestivum* L.) of the 'Bazhenka' cultivar was sown on the soil surface and 7 days after the sowing, the growth and infection rates of the seedlings were evaluated. It was found that the complexes of *T. atroviride* + *A. chroococcum* + *F. muscicola*, as well as *T. atroviride* + *F. muscicola* had the strongest biocontrol effect, which reduced the development of root rot by 4.12–4.97 times relative to the infectious background without the introduction of antagonists. Under the influence of trichoderma and diazotrophs on an infectious background, the dry weight of wheat seedlings increased by 72.9 % compared with soil inoculation with *F. culmorum* monoculture R/z-16. The ecological safety of filtrates of liquid cultures of *T. atroviride* K-01P (dilution 1:100), *F. muscicola* 300 (dilution 1:10-1:100) for the preparation *Ecolume* and *Daphnia magna* crustaceans has been confirmed. Field research data for 2022-2023 indicate the absence of a negative effect of *T. atroviride* K-01P and *F. muscicola* 300 on native representatives of micromycetes and ammonifying bacteria in the soil of the root zone of wheat. The results of the study expand traditional ideas about the possibility of using fungi of the genus *Trichoderma* and diazotrophs in the biological control of fungal phytopathogens and determine the prospects of using microbial complexes based on them in agriculture.

Keywords: *Trichoderma*, *Fusarium*, *Fischerella*, *Azotobacter*, *Triticum aestivum* L., biocontrol, antagonism, bioassay

Acknowledgments: the research was carried out within the state assignment of Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky (theme No. FNWE-2022-0007).

The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

Conflict of interest: the authors stated that there was no conflict of interest.

For citation: Starikov P. A., Olkova A. S., Sheshegova T. K., Shchekleina L. M., Stepanov P. D. Study of biocontrol properties of *Trichoderma atroviride* and diazotroph complexes and assessment of their environmental safety. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2025;26(6):1309–1319. (In Russ.).

DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.6.1309-1319>

Received: 23.09.2025

Accepted for publication: 28.11.2025

Published online: 26.12.2025

Использование в сельском хозяйстве комплексных биопрепаратов обеспечивает многоканальное воздействие на агробиоценозы [1, 2]. В частности, одним из важных направлений биологизации земледелия является применение комбинированных препаратов на основе микромикетов рода *Trichoderma* и прокариотных штаммов [3]. При этом в качестве микробов-партнёров *Trichoderma* spp. могут выступать свободноживущие бактерии-дiazотрофы. Показано, что партнёрство триходермы с ассоциативными азотфиксаторами, такими как бактерии pp. *Azotobacter*, *Azospirillum*, *Anabaena* позволяет повысить показатели продуктивности растений, усилить их иммунитет, а также осуществлять более эффективный контроль распространения фитопатогенов в сравнении с действием микробных моно-

культур [4, 5, 6, 7]. В связи с этим для расширения представлений об агробиотехнологическом потенциале триходермально-дiazотрофных комплексов мы изучили возможность биоконтроля в почве фитопатогенного гриба *Fusarium culmorum*.

Цель исследований – изучить биоконтрольные свойства комплексов гриба *Trichoderma atroviride*, бактерий-дiazотрофов *Fischerella muscicola* и *Azotobacter chroococcum* в отношении фитопатогена *Fusarium culmorum*. Оценить экологическую безопасность используемых штаммов-антагонистов.

Научная новизна – впервые исследована способность комплексов *Trichoderma atroviride* и diazотрофов к биоконтролю в почве *F. culmorum* – основного возбудителя корневых гнилей зерновых культур.

Материал и методы. Для проведения исследований использовали среднесуглинистую дерново-подзолистую почву, которую отбирали в фитопитомнике ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока им. Н. В. Рудниченко» (г. Киров – 58°56.8080' N, 49°67.6426' E) из пахотного горизонта с глубины 0–20 см. По данным агрохимического анализа, почва содержит: органического вещества (гумуса) – 1,85 %; обменного калия (K₂O) – 260 мг/кг; подвижного фосфора (P₂O₅) – 280 мг/кг; нитратного азота (NO₃⁻) – 5,4 мг/кг; pH водной вытяжки – 6,2; pH солевой вытяжки 5,0. Агрохимический анализ проводили на базе Кировского филиала ФГБУ «РосАгрохимслужба».

Отобранную почву освобождали от растительных остатков, высушивали, просеивали через сито с диаметром отверстий 3 мм и растирали в ступке. Затем навески почвы в воздушно-сухом состоянии (70±1 г) помещали в чашки Петри и стерилизовали в автоклаве (режим стерилизации 121 °C, 60 минут). Далее стерильную почву искусственно заражали конидиями фитопатогена *F. culmorum* P/3-16 и инокулировали суспензиями *T. atroviride* К-01П, *A. chroococcum* РП-22, *F. muscicola* 300 и их сочетаниями.

Штамм Р-3/16 *F. culmorum* выделен из зерна озимой ржи, изолят *T. atroviride* К-01П – из почвы на берегу р. Мостовица (г. Киров). Оба микромицета идентифицированы до вида с помощью анализа последовательностей ITS1-генов 5.8S рРНК-ITS2. Штамм *A. chroococcum* РП-22 выделен из ризосферы

яровой пшеницы (г. Киров) и идентифицирован до вида с использованием анализа вариативного участка V3-V4 гена 16S рРНК. Идентификацию обоих штаммов проводили в ООО «Синтол» (г. Москва). Альгологически чистая культура цианобактерии (ЦБ) *F. muscicola* 300 из коллекции фототрофных и гетеротрофных микроорганизмов кафедры агробиотехнологии, ландшафтной архитектуры и пищевых производств Вятского ГАТУ выделена из луговой дерново-подзолистой почвы на территории Кировской области (Оричевский район).

Для получения микробных инокулянтов проводили культивирование микромицетов на агаризованной среде Чапека, *A. chroococcum* – на плотной среде Эшби, *F. muscicola* – на жидкой среде Громова №6 без источника азота. Культуры *T. atroviride*, *F. culmorum*, *A. chroococcum* смывали с поверхности агаровой среды стерильной дистиллированной водой. Жидкую культуру *F. muscicola* центрифугировали (12000 g, 10 мин) для отделения биомассы от супернатанта, после чего биомассу клеток суспендировали в стерильной дистиллированной воде и смешивали на малом гомогенизаторе МРВ-302 (Польша) в течение 3 мин, режим скорости – 9000 об./мин. Воздушно-сухую почву опытных вариантов увлажняли до 60 % полной влагоёмкости путём внесения по 27 мл микробных суспензий, содержащих исследуемые штаммы в виде монокультур и их комплексов (табл. 1).

Таблица 1 – Схема модельного опыта /
Table 1 – Scheme of the model experiment

Вариант / Variant	Количество клеток (КОЕ*) в почве в начале опыта / The number of cells (CFU*) in the soil at the beginning of the experiment			
	клеток/(г почвы**) / cells/(g soil**)			КОЕ/(г почвы) / CFU/(g soil)
	<i>Fusarium</i>	<i>Trichoderma</i>	<i>Fischerella</i>	<i>A. chroococcum</i>
Контроль / Control	-	-	-	-
<i>Fusarium</i>	7,2×10 ⁴	-	-	-
<i>Fusarium</i> + <i>Fischerella</i>	7,2×10 ⁴	-	7,2×10 ⁴	-
<i>Fusarium</i> + <i>Azotobacter</i>	7,2×10 ⁴	–	-	7,2×10 ⁶
<i>Fusarium</i> + <i>Trichoderma</i>	7,2×10 ⁴	7,2×10 ⁴	-	-
<i>Fusarium</i> + <i>Azotobacter</i> + <i>Trichoderma</i>	7,2×10 ⁴	3,6×10 ⁴	-	3,6×10 ⁶
<i>Fusarium</i> + <i>Trichoderma</i> + <i>Fischerella</i>	7,2×10 ⁴	3,6×10 ⁴	3,6×10 ⁴	-
<i>Fusarium</i> + <i>Azotobacter</i> + <i>Fischerella</i>	7,2×10 ⁴	–	3,6×10 ⁴	3,6×10 ⁶
<i>Fusarium</i> + <i>Azotobacter</i> + <i>Trichoderma</i> + + <i>Fischerella</i>	7,2×10 ⁴	2,4×10 ⁴	2,4×10 ⁴	2,4×10 ⁶

Примечания: *Fusarium* – *F. culmorum*; *Fischerella* – *F. muscicola*; *Azotobacter* – *A. chroococcum*; *Trichoderma* – *T. atroviride*; *КОЕ – колониеобразующая единица; **значения количества клеток (КОЕ) приведены для почвы с влажностью 60 % от полной влагоёмкости /

Notes: *Fusarium* – *F. culmorum*; *Fischerella* – *F. muscicola*; *Azotobacter* – *A. chroococcum*; *Trichoderma* – *T. atroviride*; *CFU – colony-forming unit; **cell (CFU) values are given for soil with moisture content of 60 % of the total moisture capacity

В контроле влажность почвы обеспечивали добавлением стерильной дистиллированной воды. Титр суспензий пропагул микромицетов и клеток ЦБ подсчитывали в камере Горяева, *A. chroococcum* – методом серийных разведений.

При проведении опыта чашки Петри экспонировали при температуре 23 ± 1 °С и фотопериоде 12/12 (освещенность 5000 лк). Влажность почвы на уровне 55–65 % от полной влагоемкости контролировали на протяжении опыта путём периодического взвешивания чашек Петри, заполненных почвой, и увлажнения почвы стерильной дистиллированной водой. После появления визуально заметных массовых разрастаний биоплёнок в вариантах с внесением ЦБ (через 45 суток с момента инокуляции почвы) на поверхность почвы высевали семена мягкой яровой пшеницы сорта Баженька по 20 штук на чашку и проращивали 7 суток в тех же условиях освещённости и температуры. Далее определяли всхожесть, степень развития болезни проростков по потемнению поверхности стебля на уровне корневой шейки по методике [8], измеряли длину надземной части и сухую массу побегов.

Для оценки экологической безопасности метаболитов штаммов-антагонистов вырастили 10-суточную жидкую культуру *T. atroviride* К-01П (титр – $1,5 \times 10^7$ конидий/мл; сухая биомасса $3,24 \pm 0,31$ мг/мл) на среде Чапека и 3-месячную культуру *F. muscicola* 300 (титр – $2,0 \times 10^7$ кл./мл) на среде Громова №6 без источника азота. Штаммы культивировали при температуре 24 ± 1 °С (*T. atroviride* – в темноте, *F. muscicola* – при фотопериоде 12/12, 5000 лк), после чего подвергали культуры фильтрации через фильтровальную бумагу. Экоотоксикологическую оценку фильтратов проводили в аккредитованной экоаналитической лаборатории Вятского ГУ по интенсивности биолюминесценции бактериального препарата Эколюм на основе *Escherichia coli* за 30 мин экспозиции¹, а также по смертности *Daphnia magna* за 96 ч [9].

В полевом опыте (2022-2023 гг.) исследовали влияние штаммов *T. atroviride* К-01П и *F. muscicola* 300, а также фитопатогена *F. culmorum* P/з-16 в качестве искусственного инфекционного фона на урожайность яровой пшеницы

сорта Баженька и состояние аборигенной микробиоты в ризосфере растений. Мелкоделяночный опыт закладывали в соответствии со схемой: 1 – без обработки семян (контроль); 2–9 – обработка семян: 2 – *T. atroviride*; 3 – *F. muscicola*; 4 – *F. culmorum*; 5 – *T. atroviride* + *F. muscicola*; 6 – *T. atroviride* + *F. culmorum*; 7 – *F. muscicola* + *F. culmorum*; 8 – *T. atroviride* + *F. muscicola* + *F. culmorum*; 9 – фунгицид Максим, КС (концентрат суспензии), действующее вещество «флудиоксонил». Методика полевого опыта подробно изложена в статье [10]. После уборки урожая пшеницы выкопали корни растений, отобрали прикорневую почву с глубины 0–5 см, которую подсушивали на воздухе при температуре 23 °С до воздушно-сухого состояния. Количественный учет микробиоты проводили методом разведения с дальнейшим посевом на селективные питательные среды: микромицеты – на среде Чапека, бактерии-аммонификаторы – на среде ГРМ-агар.

Повторность опытов трёхкратная. Статистическую обработку полученных данных произвели методом дисперсионного анализа в программах Microsoft Excel и AGROS 2.07.

Результаты и их обсуждение. Биоконтрольная активность микробных комплексов по отношению к *F. culmorum*. В ранее проведенных исследованиях методом встречных культур была доказана способность *T. atroviride* К-01П к подавлению мицелиального роста фитопатогена *F. culmorum* P/з-16 [11]. Также показано, что внесение в почву ЦБ *F. muscicola* 300 в условиях инфекционного фона *F. culmorum* способствует снижению уровня окислительного стресса у растений *Melissa officinalis* L. [12]. В настоящем исследовании сосредоточено внимание на сравнении биоконтрольного потенциала комплексов *T. atroviride* с бактериями-дiazотрофами и монокультур исследуемых штаммов на проростках мягкой яровой пшеницы.

Согласно полученным результатам, во всех вариантах с заражением почвы фузариумом и последующим посевом пшеницы отмечено снижение длины ($>18,8$ %) и массы ($>26,6$ %) побега в сравнении с контролем (стерильная почва), что свидетельствует о токсическом действии *F. culmorum* P/з-16 на проростки (табл. 2).

¹Методика определения интегральной токсичности поверхностных, в том числе морских, грунтовых, питьевых, сточных вод, водных экстрактов почв, отходов, осадков сточных вод по изменению интенсивности бактериальной биолюминесценции тест-системой «Эколюм» ПНД Ф Т 14.1:2:3:4.11-04. М., 2010. [Электронный ресурс]. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293837/4293837368.htm> (дата обращения: 18.08.2025).

Таблица 2 – Показатели роста проростков мягкой яровой пшеницы сорта Баженька в модельном опыте (7 суток с момента посева) /

Table 2 – Growth rates of soft spring wheat seedlings of the 'Bazhenka' cultivar in a model experiment (7 days from the moment of sowing)

Вариант / Variant	Всхожесть, % / Germination rate, %	Длина побега, мм / Shoot length, mm	Сухая масса, мг / Dry weight, mg	
			1 побега / of 1 shoot	всех побегов / of all shoots
Контроль / Control	100,0±0	130,1±4,5	12,20±0,41	244,00±8,18
<i>Fusarium</i>	78,3±20,8	82,0±26,9	5,78±0,97	92,33±36,69
<i>Fusarium</i> + <i>Fischerella</i>	93,3±5,8	93,2±12,4	9,19±1,50	171,00±32,36
<i>Fusarium</i> + <i>Azotobacter</i>	80,0±8,7	89,1±13,9	7,21±1,41	117,00±36,43
<i>Fusarium</i> + <i>Trichoderma</i>	75,0±13,2	70,3±2,6	6,21±0,20	93,33±17,62
<i>Fusarium</i> + <i>Azotobacter</i> + <i>Trichoderma</i>	83,3±10,4	93,1±18,8	7,94±0,59	133,00±24,52
<i>Fusarium</i> + <i>Trichoderma</i> + <i>Fischerella</i>	70,0±13,2	74,0±9,6	7,58±0,86	104,67±8,08
<i>Fusarium</i> + <i>Azotobacter</i> + <i>Fischerella</i>	80,0±15,0	81,5±14,4	7,00±0,41	112,00±20,66
<i>Fusarium</i> + <i>Azotobacter</i> + <i>Trichoderma</i> + <i>Fischerella</i>	91,7±5,8	105,7±13,0	8,73±0,56	159,67±8,14
HCP ₀₅ / LSD ₀₅	-	25,365	1,549	43,935

Примечания / Notes: *Fusarium* – *F. culmorum*; *Fischerella* – *F. muscicola*; *Azotobacter* – *A. chroococcum*; *Trichoderma* – *T. atroviride*

Внесение исследуемых штаммов в условиях инфекционного фона не привело к достоверным изменениям показателей всхожести и длины побега относительно варианта с монокультурой *F. culmorum*. Но при интродукции в почву *F. muscicola* и комплекса *T. atroviride* + *A. chroococcum* + *F. muscicola* сухая масса побега

возросла на 59,0 и 50,8 % относительно варианта с инфекцией без внесения триходермы и диазотрофов. Кроме того, микробы-интродуценты вызывали снижение инфекционной нагрузки на проростки, что выражалось в уменьшении степени развития корневых гнилей относительно варианта с монокультурой *F. culmorum* (рис. 1).

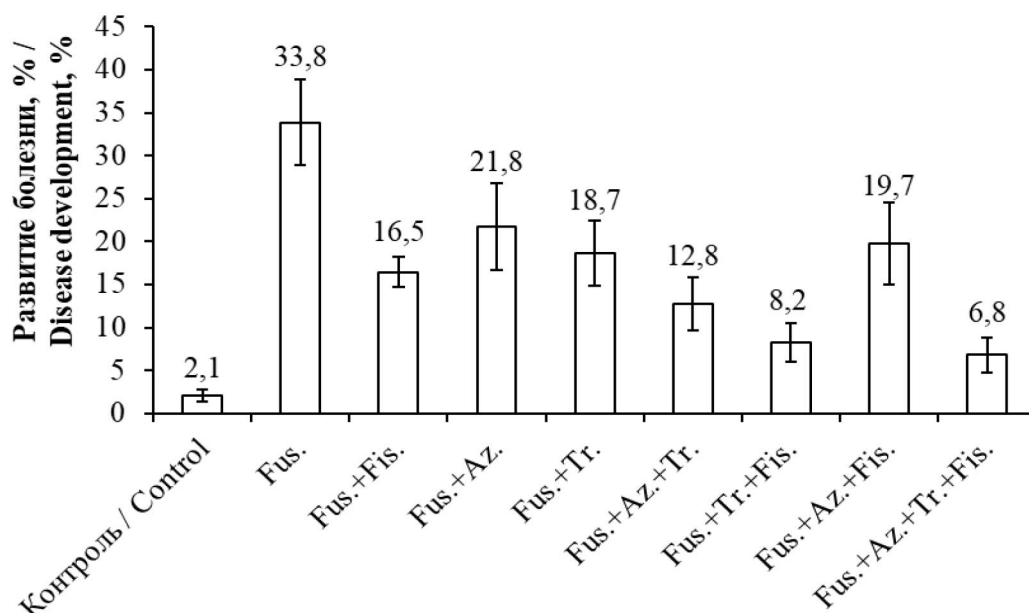


Рис. 1. Степень развития корневых гнилей у проростков яровой мягкой пшеницы в вариантах модельного опыта (HCP₀₅=5,897). Fus. – *F. culmorum*; Az. – *A. chroococcum*; Tr. – *T. atroviride*; Fis. – *F. muscicola*. Планки погрешностей отражают значения стандартного отклонения /

Fig. 1. The degree of root rot development in spring soft wheat seedlings in the model experiment variants (LSD₀₅ = 5.897). Fus. – *F. culmorum*; Az. – *A. chroococcum*; Tr. – *T. atroviride*; Fis. – *F. muscicola*. The error bars reflect the standard deviation values

Интродукция всех исследуемых штаммов-антагонистов по отдельности, а также комплекса *A. chroococcum* + *F. muscicola* показала сопоставимое защитное действие от поражения инфекцией: развитие корневых гнилей у 7-дневных проростков в 1,55–2,05 раза отмечено ниже, чем в варианте с монокультурой *F. culmorum*. В случае бинарных комплексов с *T. atroviride* и инокулянта *T. atroviride* + *A. chroococcum* + *F. muscicola* наблюдали ещё более низкое развитие болезни, причём наиболее эффективны в этом отношении – комплексы *T. atroviride* + *F. muscicola* и *T. atroviride* + *A. chroococcum* + *F. muscicola* (снижение развития корневых гнилей в 4,12 и 4,97 раза соответственно). В варианте *T. atroviride* + *A. chroococcum* + *F. muscicola* также выявили достоверную прибавку (+67,34 г, или 72,9 %) по общей массе проростков относительно варианта с инокуляцией почвы монокультурой фитопатогена (табл. 2). Коэффициент корреляции между развитием корневых гнилей и сухой массой побега составил $r = -0,78$ (при $r \geq 0,95$), между развитием корневых гнилей и общей массой побегов – $-0,69$, что соответствует сильной отрицательной связи.

В настоящее время известно о способности грибов рода *Trichoderma*, а также ЦБ *F. muscicola* и штаммов *Azotobacter* spp. продуцировать активные метаболиты, подавляющие развитие фитопатогенов рода *Fusarium* [13, 14, 15]. Известно, что *F. culmorum* является одним из агрессивных патогенов злаковых в условиях умеренной климатической зоны [16]. Среди штаммов *T. atroviride* выявлен изолят BC0584, улучшающий всхожесть семян кукурузы (*Zea mays* L.), заражённых патогенами *Fusarium avenaceum* и *F. culmorum* [17]. Отмечается способность представителей *T. atroviride* активизировать синтез антиоксидантных ферментов и фенолов в тканях пшеницы (*Triticum durum* Desf. и *T. aestivum* L.), обеспечивающих индуцированную устойчивость растений к поражению *F. culmorum* [18]. Среди *Azotobacter* spp. выявлен штамм Azt 31 *A. salinestrus*, проявляющий антагонизм к *F. culmorum* как в условиях опыта *in vitro* с двойными культурами, так и при инокуляции семян кукурузы (*Z. mays* L.), сорго (*Sorghum bicolor* L.) и пшеницы (*T. aestivum* L.) [19]. Активность в отношении данного фитопатогена проявляют и некоторые виды цианобактерий. В частности, в модельном опыте показано, что при внесении в почву спор *F. culmorum* добавление ЦБ *Nostoc com-*

mune, *Nostoc paludosum* и *Microchaeta tenera* вызвало супрессивный эффект в отношении гриба, что проявилось в полном исчезновении мицелия фитопатогена через 7 суток инкубации [2]. Отмечено, что ЦБ *F. muscicola* 300 обладает биопротекторными свойствами: её ассоциация с *N. commune* и *N. paludosum* проявила биоконтрольное действие, значительно сократив количество пропагул (в 3,7 раза) и длину мицелия фитопатогена *F. culmorum* (в 12,7 раза) [20]. Таким образом, проведенное исследование расширяет имеющиеся представления о биоконтрольном потенциале микромикотов рода *Trichoderma* и диазотрофов в отношении грибных фитопатогенов рода *Fusarium*.

Экологическая оценка штаммов-антагонистов. В процессе жизнедеятельности микробные культуры способны продуцировать различные экзометаболиты, оказывающие влияние на другие организмы. Поэтому для доказательства возможности последующего внедрения изучаемых микроорганизмов в практику экологически ориентированного сельского хозяйства оценивали экологическую безопасность фильтратов суспензий жидких культур штаммов методами биотестирования. Основное внимание в данном исследовании сосредоточено на экологической оценке *T. atroviride* K-01П и *F. muscicola* 300, которые показали способность увеличивать урожайность мягкой яровой пшеницы в мелкоделяночных испытаниях 2022-2023 гг. [10]. Согласно результатам теста на препарате Эколном, метаболиты в составе фильтрата жидкой культуры (ФЖК) *F. muscicola* 300 (с разбавлением и без) не вызывали угнетения биолуминесценции. Разбавленные ФЖК *T. atroviride* K-01П также не подавляли биолуминесценцию, при этом неразбавленный ФЖК угнетал свечение бактериального препарата, что говорит о его токсическом действии на тест-систему (табл. 3).

В биотесте на *Daphnia magna* показано, что ФЖК *T. atroviride* в разбавлении 1:100 оказался полностью безопасным для этих тест-организмов: в течение 96 часов особи дафний сохраняли жизнеспособность и оставались активными (табл. 4). Более концентрированные культуральные фильтраты *T. atroviride* вызывали гибель рачков в тесте на острую токсичность. ФЖК *F. muscicola* 300, даже в неразбавленном виде, не вызывал гибели *D. magna* через 96 часов с момента начала инкубации, хотя и угнетал их активность, при этом в случае разбавленного фильтрата особи оставались активными на протяжении всего времени опыта.

Таблица 3 – Результаты биотестирования фильтратов культур *T. atroviride* и *F. muscicola* на препарате Эколюм /

Table 3 – Results of biotesting of filtrates of *T. atroviride* and *F. muscicola* cultures using the Ecolum preparation

Культура / Culture	Индекс токсичности / Toxicity index				
	питательная среда / culture medium	разбавление фильтрата жидкой культуры / dilution of liquid culture filtrate			
		1:100	1:50	1:10	неразбавленный / undiluted
<i>T. atroviride</i>	-538,06	-229,18	-268,39	-555,64	1642,81
<i>F. muscicola</i>	-176,59	-127,20	-100,49	-116,14	-169,38

Примечание. В таблице указаны средние значения показателя для 3 определений. Отрицательные значения свидетельствуют об отсутствии токсического действия /

Note. The table shows average values for the indicator for 3 measurements. Negative values indicate the absence of toxic effects

Таблица 4 – Результаты оценки острой токсичности фильтратов культур *T. atroviride* и *F. muscicola* на *Daphnia magna* /

Table 4 – Results of the assessment of the acute toxicity of *T. atroviride* and *F. muscicola* culture filtrates on *Daphnia magna*

Культура / Culture	Количество выживших дафний, % / Активность дафний / Number of surviving daphnia, % / Daphnia activity		
	разбавление фильтрата жидкой культуры / dilution of liquid culture filtrate		
	1:100	1:10	неразбавленный / undiluted
<i>T. atroviride</i>	100/A	0/-	0/-
<i>F. muscicola</i>	100/A	100/A	100/H

Примечания: А – особи активны; Н – особи неактивны / Notes: А – individuals are active; Н – individuals are inactive

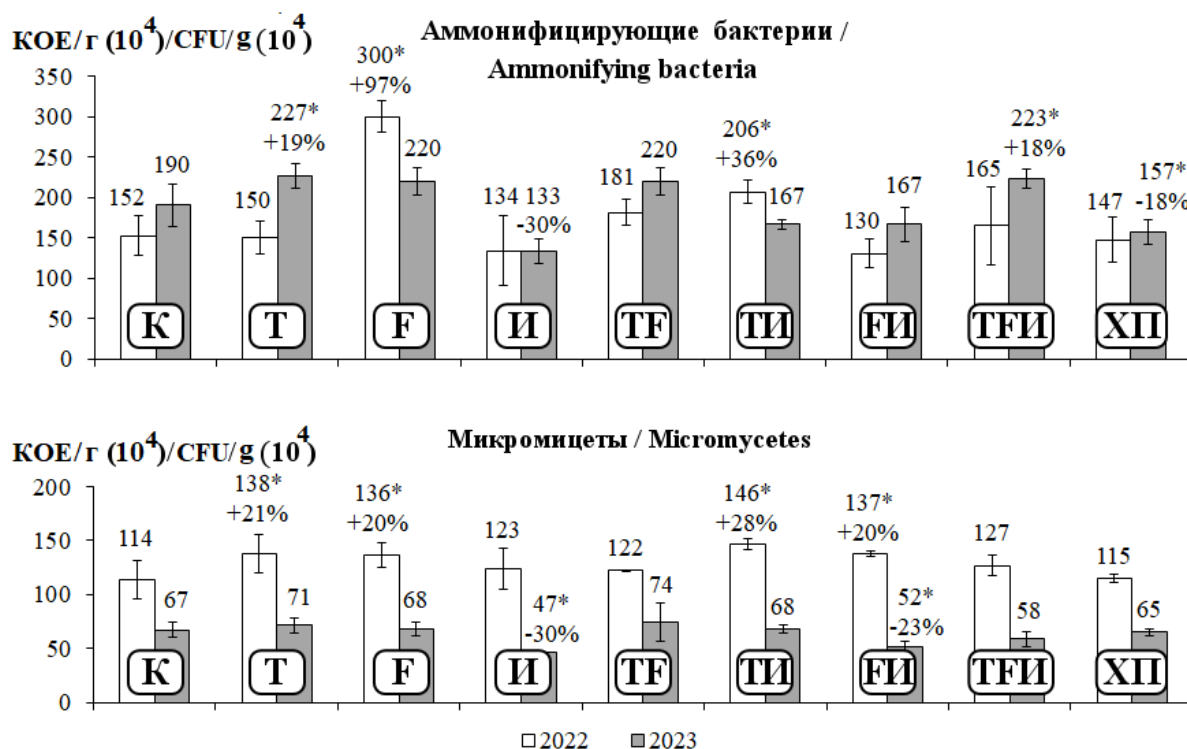
Таким образом, согласно результатам эколого-токсикологической оценки, фильтраты культур *F. muscicola* 300 (разбавления 1:10 и 1:100) и *T. atroviride* К-01П (разбавление 1:100) безопасны для чувствительных тест-организмов, что открывает перспективу использования данных микробных штаммов и их метаболитов в сельском хозяйстве.

Результаты количественного учета микроорганизмов в почве, отобранной под посевами яровой пшеницы, показали, что под действием инокулянтов в составе микробных комплексов происходят определённые изменения. В относительно благоприятных условиях 2022 г. наибольшую численность бактерий-аммонификаторов и микромицетов в прикорневой зоне наблюдали при обработке семян ЦБ *F. muscicola* 300 (рис. 2). Также в 2022 г. значимое увеличение численности учитываемых в опыте микробных групп отмечено в варианте с инокуляцией семян *T. atroviride* К-01П в сочетании с искусственным заражением *F. culmorum* Р/3-16. Вероятно, это обусловлено накоплением к концу вегетации в ризосфере пшеницы под действием данных инокулянтов большего

количества остатков целлюлозы, а также белковых соединений и аминокислот, которые являются питательными субстратами для учитываемых групп аборигенной микробиоты.

Примечательно, что в 2023 г., который отличался нестабильными погодными условиями и более сильным развитием корневых гнилей [10], на искусственном инфекционном фоне было зафиксировано снижение на 1/3 общей численности микромицетов и бактерий-аммонификаторов. Предполагаем, что под действием *F. culmorum* к концу вегетации корневая система развивалась слабее и, как следствие, сформировался меньший пул исследуемых экологических групп микроорганизмов.

В 2023 г. под посевами на поверхности почвы были визуально заметны признаки «цветения». Анализ альгоцианофлоры образцов почвы, отобранных с её поверхности, показал, что в отличие от химического фунгицида Максим, который значительно подавлял развитие микроводорослей и цианобактерий, микробная инокуляция не привела к радикальным сдвигам в состоянии наземных фототрофных микробных сообществ [21].



* Различия с контролем достоверны при $p \leq 0,05$. В процентах указаны различия показателей с контролем /
*Differences with the control are significant at $p \leq 0.05$. The differences in indicators with the control are indicated as a percentage

Рис. 2. Численность микроорганизмов в почве, отобранной под посевами яровой пшеницы сорта Баженька, КОЕ/г абсолютно сухой почвы (полевой опыт, 2022-2023 гг.): К – контроль; Т – *T. atroviride*; Ф – *F. muscicola*; И – *F. culmorum*; ХП – химический препарат (Максим).

Fig. 2. The number of microorganisms in the soil selected for spring wheat crops of the 'Bazhenka' cultivar, CFU/g of absolutely dry soil (field experiment, 2022-2023): К – control; Т – *T. atroviride*; Ф – *F. muscicola*; И – *F. culmorum*; ХП – chemical fungicide (Maskim).

Таким образом, результаты исследования микробиоты в почве под посевами пшеницы свидетельствуют об отсутствии негативного воздействия микробных инокулянтов на основе *T. atroviride* К-01П и *F. muscicola* 300 на микромицетов и бактерий-аммонификаторов прикорневой зоны.

Закключение. Использование искусственных комплексов эукариотных и прокариотных микробов-антагонистов (*T. atroviride*, *A. chroococcum* и *F. muscicola*) приводит к усилению биоконтроля фитопатогенного гриба *F. culmorum* по сравнению с их интродукцией по отдельности. В исследовании выявлены новые эффективные комплексы с сильным биоконтрольным действием: *T. atroviride* + *A. chroococcum* + *F. muscicola*, а также *T. atroviride* + *F. muscicola*, снижающие развитие корневых гнилей проростков пшеницы в условиях лабораторного опыта в 4,12–4,97 раза относительно искусственного фона без внесения антагонистов.

Положительное действие комплекса *T. atroviride* + *A. chroococcum* + *F. muscicola* проявилось и в возрастании на 72,9 % общей сухой биомассы проростков пшеницы.

Согласно результатам экотоксикологической оценки, фильтраты жидких культур *T. atroviride* К-01П (разбавление 1:100) и *F. muscicola* 300 (разбавление 1:10–1:100) не обладают токсическим действием на живые организмы (*E. coli* и *D. magna*), поэтому их можно применять в практике борьбы с инфекционными болезнями растений. Кроме того, получены данные полевых исследований 2022-2023 гг. об отсутствии негативного влияния *T. atroviride* К-01П и *F. muscicola* 300 на численность аборигенных представителей микромицетов и аммонифицирующих бактерий под посевами пшеницы, что усиливает практическое значение проводимых исследований и разработок экологически безопасных микробных биопрепаратов.

Список литературы

1. Панкратова Е. М., Трефилова Л. В., Зяблых Р. Ю., Устюжанин И. А. Цианобактерия *Nostoc paludosum* как основа для создания агрономически полезных микробных ассоциаций на примере бактерий рода *Rhizobium*. Микробиология. 2008;77(2):266–272. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=9934461> EDN: HNRBNW
2. Домрачева Л. И., Широких И. Г., Фокина А. И. Антифузариозное действие цианобактерий и актиномицетов в почве и ризосфере. Микология и фитопатология. 2009;43(2):157.
3. Poveda J., Eugui D. Combined use of *Trichoderma* and beneficial bacteria (mainly *Bacillus* and *Pseudomonas*): Development of microbial synergistic bio-inoculants in sustainable agriculture. Biological Control. 2022;176:105100. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2022.105100>
4. Velmourougane K., Prasanna R., Chawla G., Nain L., Kumar A., Saxena A. K. *Trichoderma*–*Azotobacter* biofilm inoculation improves soil nutrient availability and plant growth in wheat and cotton. Journal of Basic Microbiology. 2019;59(6):632–644. DOI: <https://doi.org/10.1002/jobm.201900009>
5. Velmourougane K., Prasanna R. *Trichoderma*–*Azotobacter* biofilm-based formulation enhance natural plant defense enzyme activities in wheat and cotton seedlings. National Academy Science Letters. 2024;47:61–64. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40009-023-01324-w>
6. Михайловская Н. А., Войтка Д. В., Юхновец А. В., Барашенко Т. Б., Дюсова С. В. Сравнительная эффективность раздельного и совместного применения *A. brasilense*, *B. circulans* и *T. longibrachiatum* на посевах тритикале озимого на эродированных дерново-подзолистых суглинистых почвах. Почвоведение и агрохимия. 2021;(1):129–138. Режим доступа: <https://soil.belal.by/jour/article/view/790> EDN: DILLUV
7. Prasanna R., Babu S., Bidyarani N., Kumar A., Triveni S., Monga D. et al. Prospecting cyanobacteria-fortified composts as plant growth promoting and biocontrol agents in cotton. Experimental Agriculture. 2015;51(1):42–65. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0014479714000143>
8. Григорьев М. Ф. Методические указания по изучению устойчивости зерновых культур к корневым гнилям. Л.: ВИР, 1976. 59 с.
9. Кузнецова О. И., Гончарова Е. Н. Эколого-токсикологический анализ биопрепаратов. Рациональное использование природных ресурсов и переработка техногенного сырья: фундаментальные проблемы науки, материаловедение, химия и биотехнология: мат-лы Международ. научн. конф., Алушта-Белгород, 30 мая – 03 июня 2022 года. Белгород: БелГТУ им. В. Г. Шухова, 2022. С. 432–437. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=49347249> EDN: EZVSEM
10. Шешегова Т. К., Щеклеина Л. М., Стариков П. А. Влияние микробной инокуляции семян на биоконтроль корневых гнилей, биометрию растений и урожайность яровой пшеницы. Таврический вестник аграрной науки. 2024;(1(37)):187–197. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.10930956> EDN: VRNNTW
11. Стариков П. А., Домрачева Л. И., Фокина А. И., Олькова А. С., Ахмедов Г. Р., Степанов П. Д., Кирева А. Р. Возможные пути применения консортивных связей нового штамма *Trichoderma atroviride* с азотфиксаторами в агробиотехнологии. Теоретическая и прикладная экология. 2025;(1):140–150. DOI: <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2024-4-140-150> EDN: EMHNJO
12. Фокина А. И., Скугорева С. Г., Трефилова Л. В., Даровских Л. В. Определение показателей окислительного стресса в мелisse лекарственной при действии микромицета *Fusarium culmorum* и его антагонистов. Теоретическая и прикладная экология. 2022;(2):77–83. DOI: <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2022-2-077-083> EDN: GDATMV
13. Guzmán-Guzmán P., Etesami H., Santoyo G. *Trichoderma*: a multifunctional agent in plant health and microbiome interactions. BMC microbiology. 2025;25(1):434. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12866-025-04158-2>
14. Домрачева Л. И. «Цветение» почвы и закономерности его развития. Сыктывкар: Ин-т биологии Коми НЦ УрО РАН, 2005. 336 с. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=19507910> EDN: OUFGBS
15. Nagaraja H., Chennappa G., Rakesh S., Naik M. K., Amaresh Y. S., Sreenivasa M. Y. Antifungal activity of *Azotobacter nigricans* against trichothecene-producing *Fusarium* species associated with cereals. Food science and biotechnology. 2016;25(4):1197–1204. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10068-016-0190-8>
16. Орина А. С., Гаврилова О. П., Гагкаева Т. Ю., Лоскутов И. Г. Симбиотические взаимоотношения грибов рода *Fusarium* и *Alternaria*, колонизирующих зерно овса. Сельскохозяйственная биология. 2017;52(5):986–994. DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiol.2017.5.986rus> EDN: ZRXOCX
17. Coninck E., Scaufaire J., Gollier M., Liénard C., Foucart G., Manssens G. et al. *Trichoderma atroviride* as a promising biocontrol agent in seed coating for reducing *Fusarium* damping-off on maize. Journal of applied microbiology. 2020;129(3):637–651. DOI: <https://doi.org/10.1111/jam.14641>
18. Belhadj Benyahia F., Kthiri Z., Hamada W., Bouregghda H. *Trichoderma atroviride* induces biochemical markers associated with resistance to *Fusarium culmorum*, the main crown rot pathogen of wheat in Algeria. Biocontrol Science and Technology. 2020;31(4):357–372. DOI: <https://doi.org/10.1080/09583157.2020.1853676>
19. Nagaraja H., Chennappa G., Deepa N., Naik M. K., Ajithkumar K., Amaresh Y. S., et al. Antifungal potential of *Azotobacter salinestris* strain Azt 31 against phytopathogenic *Fusarium* spp. associated with cereals. Journal of Fungi. 2022;8(5):473. DOI: <https://doi.org/10.3390/jof8050473>

20. Фокина А. И., Скугорева С. Г., Домрачева Л. И., Ковина А. Л. Антагонистическая и сорбционная активность моно-, бинарных и трёхвидовых биоплёнок почвенных цианобактерий. Теоретическая и прикладная экология. 2020;(3):119–125. DOI: <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2020-3-119-125> EDN: DRETYW

21. Кондакова Л. В., Стариков П. А., Домрачева Л. И. Специфика фототрофных наземных микробных комплексов в посевах пшеницы. Теоретическая и прикладная экология. 2024;(3):115–122. DOI: <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2024-3-115-122> EDN: FRYDAM

References

1. Pankratova E. M., Trefilova L. V., Zyblikh R. Yu., Ustyuzhanin I. A. Cyanobacterium *Nostoc paludosum* kütz as a basis for creation of agriculturally useful microbial associations by the example of bacteria of the genus rhizobium. *Mikrobiologiya* = Microbiology. 2008;77(2):266–272. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=9934461>

2. Domracheva L. I., Shirokikh I. G., Fokina A. I. Cyanobacteria and actinomycetes influence against *Fusarium* species in soil and rhizosphere. *Mikologiya i fitopatologiya* = Mycology and Phytopathology. 2009;43(2):157. (In Russ.).

3. Poveda J., Eugui D. Combined use of *Trichoderma* and beneficial bacteria (mainly *Bacillus* and *Pseudomonas*): Development of microbial synergistic bio-inoculants in sustainable agriculture. *Biological Control*. 2022;176:105100. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2022.105100>

4. Velmourougane K., Prasanna R., Chawla G., Nain L., Kumar A., Saxena A. K. *Trichoderma*–*Azotobacter* biofilm inoculation improves soil nutrient availability and plant growth in wheat and cotton. *Journal of Basic Microbiology*. 2019;59(6):632–644. DOI: <https://doi.org/10.1002/jobm.201900009>

5. Velmourougane K., Prasanna R. *Trichoderma*–*Azotobacter* biofilm-based formulation enhance natural plant defense enzyme activities in wheat and cotton seedlings. *National Academy Science Letters*. 2024;47:61–64. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40009-023-01324-w>

6. Mikhailouskaya N. A., Voitka D. V., Yukhnovets A. V., Barashenko T. B., Dyusova C. V. Efficiency of separate and combine application of *A. brasilense*, *B. circulans* and *T. longibrachiatum* for the treatment of winter triticale sowing on eroded luvisol sandy loam soils. *Pochvovedenie i agrokhimiya* = Soil Science and Agrochemistry. 2021;(1):129–138. (In Russ.). URL: <https://soil.belal.by/jour/article/view/790>

7. Prasanna R., Babu S., Bidyarani N., Kumar A., Triveni S., Monga D. et al. Prospecting cyanobacteria-fortified composts as plant growth promoting and biocontrol agents in cotton. *Experimental Agriculture*. 2015;51(1):42–65. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0014479714000143>

8. Grigorev M. F. Methodological guidelines for studying the resistance of grain crops to root rot. Leningrad: *VIR*, 1976. 59 p.

9. Kuznetsova O. I., Goncharova E. N. Ecological and toxicological analysis of biological products. Rational use of natural resources and processing of man-made raw materials: fundamental problems of science, materials science, chemistry and biotechnology: Proceedings of the international scientific conference, Alushta-Belgorod, May 30 – June 03, 2022. Belgorod: *BeLGTU im. V. G. Shukhova*, 2022. pp. 432–437. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=49347249>

10. Sheshhegova T. K., Shchekleina L. M., Starikov P. A. Effect of microbial inoculation of seeds on root rot biocontrol, biometrical parameters and yield of spring wheat. *Tavrichesky vestnik agrarnoy nauki* = Taurida herald of the agrarian sciences. 2024;(1(37)):187–197. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.10930956>

11. Starikov P. A., Domracheva L. I., Fokina A. I., Olkova A. S., Akhmedov G. R., Stepanov P. D., Kireeva A. R. Possible ways of using consortium relations of *Trichoderma atroviride* new strain with nitrogen fixers in agrobiotechnology. *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya* = Theoretical and Applied Ecology. 2025;(1):140–150. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2024-4-140-150>

12. Fokina A. I., Skugoreva S. G., Trefilova L. V., Darovskikh L. V. Determination of oxidative stress indicators in melissa officinalis under the action of micromycete *Fusarium culmorum* and its antagonists. *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya* = Theoretical and Applied Ecology. 2022;(2):77–83. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2022-2-077-083>

13. Guzmán-Guzmán P., Etesami H., Santoyo G. *Trichoderma*: a multifunctional agent in plant health and microbiome interactions. *BMC microbiology*. 2025;25(1):434. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12866-025-04158-2>

14. Domracheva L. I. Soil bloom and the patterns of its development. Syktyvkar: *In-t biologii Komi NTS UrO RAN*, 2005. 336 p. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=19507910>

15. Nagaraja H., Chennappa G., Rakesh S., Naik M. K., Amaresh Y. S., Sreenivasa M. Y. Antifungal activity of *Azotobacter nigricans* against trichothecene-producing *Fusarium* species associated with cereals. *Food science and biotechnology*. 2016;25(4):1197–1204. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10068-016-0190-8>

16. Orina A. S., Gavrilova O. P., Gagkaeva T. Yu., Loskutov I. G. Symbiotic relationships between aggressive *Fusarium* and *Alternaria* fungi colonizing oat grain. *Selskokhozyaystvennaya biologiya* = Agricultural Biology. 2017;52(5):986–994. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2017.5.986rus>

17. Coninck E., Scauflaire J., Gollier M., Liénard C., Foucart G., Manssens G. et. al. *Trichoderma atroviride* as a promising biocontrol agent in seed coating for reducing *Fusarium* damping-off on maize. Journal of applied microbiology. 2020;129(3):637–651. DOI: <https://doi.org/10.1111/jam.14641>
18. Belhadj Benyahia F., Kthiri Z., Hamada W., Bouregghda H. *Trichoderma atroviride* induces biochemical markers associated with resistance to *Fusarium culmorum*, the main crown rot pathogen of wheat in Algeria. Biocontrol Science and Technology. 2020;31(4):357–372. DOI: <https://doi.org/10.1080/09583157.2020.1853676>
19. Nagaraja H., Chennappa G., Deepa N., Naik M. K., Ajithkumar K., Amaresh Y. S., et al. Antifungal potential of *Azotobacter salinestris* strain Azt 31 against phytopathogenic *Fusarium* spp. associated with cereals. Journal of Fungi. 2022;8(5):473. DOI: <https://doi.org/10.3390/jof8050473>
20. Fokina A. I., Skugoreva S. G., Domracheva L. I., Kovina A. L. Antagonistic and sorption activity of mono-, binary, and three-species biofilms of soil cyanobacteria. *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya* = Theoretical and Applied Ecology. 2020;(3):119–125. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2020-3-119-125>
21. Kondakova L. V., Starikov P. A., Domracheva L. I. Specificity of phototrophic terrestrial microbial complexes under wheat crops. *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya* = Theoretical and Applied Ecology. 2024;(3):115–122. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2024-3-115-122>

Сведения об авторах

✉ **Стариков Павел Андреевич**, аспирант, ассистент кафедры агробиотехнологии, ландшафтной архитектуры и пищевых производств Института инженерии и агробиотехнологии, ФГБОУ ВО «Вятский государственный агротехнологический университет», Октябрьский пр-т, д. 133, г. Киров, Кировская обл., Российская Федерация, 610017, e-mail: info@vgatu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3205-6696>, e-mail: ya.starikov-pavel@yandex.ru

Олькова Анна Сергеевна, доктор биол. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Вятский государственный университет», ул. Московская, д. 36, г. Киров, Кировская обл., Российская Федерация, 610000, e-mail: info@vyatsu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5798-8211>

Шешегова Татьяна Кузьмовна, доктор биологических наук, профессор, ведущий научный сотрудник, заведующая лабораторией иммунитета и защиты растений, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», ул. Ленина, д. 166-а, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2371-4949>

Шеклеина Люция Муллаахметовна, кандидат с.-х. наук, старший научный сотрудник лаборатории иммунитета и защиты растений, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», ул. Ленина, д. 166-а, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3589-5524>

Степанов Павел Дмитриевич, магистрант кафедры агробиотехнологии, ландшафтной архитектуры и пищевых производств Института инженерии и агробиотехнологии, ФГБОУ ВО «Вятский государственный агротехнологический университет», Октябрьский пр-т, д. 133, г. Киров, Кировская обл., Российская Федерация, 610017, e-mail: info@vgatu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-4768-3777>

Information about the authors

✉ **Pavel A. Starikov**, postgraduate student, assistant, the Department of Agrobiotechnology, Landscape Architecture and Food Production, Institute of Engineering and Agrobiotechnology, Vyatka State Agrotechnological University, Oktyabrsky prospekt, 133, Kirov, Kirov Region, Russian Federation, 610017, e-mail: info@vgatu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3205-6696>, e-mail: ya.starikov-pavel@yandex.ru

Anna S. Olkova, DSc in Biological Science, associate professor, Vyatka State University, Moskovskaya str., 36, Kirov, Kirov region, Russian Federation, 610000, e-mail: info@vyatsu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5798-8211>

Tatyana K. Sheshegova, DSc in Biological Science, professor, leading researcher, Head of the Laboratory of Immunity and Plant Protection, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Lenin str., 166-a, Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2371-4949>

Lucia M. Shehekleina, PhD in Agricultural Science, senior researcher, the Laboratory of Immunity and Plant Protection, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Lenin str., 166-a, Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3589-5524>

Pavel D. Stepanov, student, the Department of Agrobiotechnology, Landscape Architecture and Food Production, Institute of Engineering and Agrobiotechnology, Vyatka State Agrotechnological University, Oktyabrsky prospekt, 133, Kirov, Kirov Region, Russian Federation, 610017, e-mail: info@vgatu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-4768-3777>

✉ – Для контактов / Corresponding author