

СТРУКТУРНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ МИКРОМИЦЕТНОГО КОМПЛЕКСА ПОЧВЫ В АГРОЦЕНОЗАХ ПШЕНИЦЫ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СПОСОБОВ ЕЕ ОБРАБОТКИ

А. В. Пономарев, старший научный сотрудник лаборатории фитосанитарного мониторинга, ponomarev@fnbcbzr.ru, ORCID ID: 0000-0003-0514-5797;

Е. Ю. Гырнец, научный сотрудник лаборатории микробиологической защиты растений, alena_fox95@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-2164-5935;

В. М. Дубяга, научный сотрудник лаборатории микробиологической защиты растений, dubyaga608@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-0083-6505

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение

«Федеральный научный центр биологической защиты растений»,

350039, Краснодарский край, г. Краснодар, ул. им. Калинина, д. 62; e-mail: info@fnbcbzr.ru

Устойчивое фитосанитарное состояние агроэкосистем в значительной мере определяется поддержанием здоровых почв. Одной из приоритетных задач при их оздоровлении выступает фитосанитарный мониторинг и диагностика по группам вредных и полезных почвенных микроорганизмов. Целью данных исследований являлась оценка микологического состава почвы в агроценозах пшеницы озимой в зависимости от различных методов обработки почвы и влияния на динамику патогенной и супрессивной микробиоты. Работа направлена на выявление взаимосвязей между применяемыми агротехническими приемами и формированием почвенных грибных сообществ, что имеет значение для оптимизации стратегий управления фитосанитарным состоянием агроэкосистем. Исследования проводили в 2022–2024 гг. на экспериментальной базе Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр биологической защиты растений» (ФГБНУ ФНЦБЗР), г. Краснодар. В анализе участвовали почвообразцы, отобранные с участков возделывания пшеницы озимой сорта Алексеич с безотвальной и отвальной обработкой почвы. Результаты показали, что различные виды обработки почвы, вероятно, влияют на численность и структуру микробных сообществ. Важно отметить, что агроклиматические условия в период проведения исследований также могли существенно повлиять на динамику численности микромицетов. На всех этапах исследований количество супрессивных грибов было незначительным для оказания заметного эффекта на снижение фитопатогенных грибов. Представленные выводы в работе носят предварительный характер и требуют воспроизводимости экспериментов с целью выявления устойчивых закономерностей влияния агротехнических мероприятий на динамику развития микробных сообществ. Исследования подчеркнули необходимость управления патогенной и сапротрофной микробиотой почвы с целью снижения фитопатогенного пресса и повышения устойчивости агроценозов.

Ключевые слова: микробиота, пшеница озимая, фитосанитарное состояние, *Fusarium*, *Trichoderma*, супрессивность, обработка почвы.

Для цитирования: Пономарев А. В., Гырнец Е. Ю., Дубяга В. М. Структурные изменения микромицетного комплекса почвы в зависимости от способов ее обработки // Зерновое хозяйство России. 2025. Т. 17, № 2. С. 103–111. DOI: 10.31367/2079-8725-2025-97-2-103-111.



STRUCTURAL CHANGES IN THE MICROMYCETE COMPLEX OF SOIL IN WHEAT AGROCENOSSES DEPENDING ON TILLAGE METHODS

A. V. Ponomarev, senior researcher of the laboratory for phytosanitary monitoring, ponomarev@fnbcbzr.ru, ORCID ID: 0000-0003-0514-5797;

E. Yu. Gyurnets, researcher of the laboratory for microbiological plant protection, alena_fox95@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-2164-5935;

V. M. Dubyaga, researcher of the laboratory for microbiological plant protection, dubyaga608@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-0083-6505

Federal State Budgetary Scientific Institution

«Federal Research Center of Biological Plant Protection» (FSBSI FRCBPP)

350039, Krasnodarsky Krai, Krasnodar, Kalinin Str., 62; e-mail: info@fnbcbzr.ru

The sustainable phytosanitary condition of agroecosystems is largely determined by maintaining healthy soils. One of the priority tasks in their improvement is phytosanitary monitoring and diagnostics for groups of harmful and beneficial soil microorganisms. The purpose of the current study was to estimate the mycological composition of soil in winter wheat agroecosystems depending on various tillage methods and the impact on the dynamics of pathogenic and suppressive microbiota. The work has been done to identify the correlation between the applied agrotechnical methods and the formation of soil fungal communities, which is important for optimizing strategies to manage the phytosanitary state of agroecosystems. The study was conducted at the experimental base of the Federal State Budgetary Scientific Institution «Federal Research Center of Biological Plant Protection», Krasnodar in 2022–2024. There have been analyzed soil samples taken from the plots of the winter wheat variety 'Alekseich' after subsoil

and moldboard plowing. The results have shown that different types of tillage likely affect the number and structure of microbial communities. It is important to mention that agroclimatic conditions during the study period could also significantly affect the dynamics of the number of micromycetes. At all stages of the study, the number of suppressive fungi was insignificant to have a noticeable effect on the reduction of phytopathogenic fungi. The conclusions in the paper are preliminary and require reproducibility of the trials in order to identify stable patterns of the effect of agrotechnical measures on the dynamics of microbial community development. The study has emphasized the necessity to manage pathogenic and saprotrophic soil microbiota in order to reduce phytopathogenic pressure and increase the stability of agrocenoses.

Keywords: *microbiota, winter wheat, phytosanitary condition, Fusarium, Trichoderma, suppressiveness, tillage.*

Введение. Основу в экологическом земледелии составляют здоровые и плодородные почвы. Плодородная и биологически активная почва обеспечивает растения достаточным количеством минеральных веществ, необходимых для оптимального роста и развития, тем самым снижая риск повреждений от болезней, вредителей и сорной растительности. Улучшение почвенной экосистемы способствует увеличению и качества урожая, что является важным аспектом долгосрочного планирования (Пономарев и др., 2022).

Обеспечение устойчивого фитосанитарного состояния базируется на поддержании здоровых почв. Первостепенной задачей для их оздоровления служит фитосанитарный мониторинг и диагностика по группам вредных и полезных почвенных микроорганизмов.

К наиболее широко распространенным и вредоносным болезням сельскохозяйственных культур, которые сохраняются в почве и на растительных остатках, относятся корневые и прикорневые гнили (*Fusarium* spp., *Bipolaris* spp., *Rhizoctonia* spp. и т.д.) (Kremneva et al., 2020; Волкова и др., 2016; Lisiecki et al., 2022).

Снижению вредоносности патогенных микровицетов способствует активное развитие грибов-супрессоров, к которым относятся грибы рода *Trichoderma* и некоторые виды *Penicillium* и *Aspergillus*. Качественный и количественный состав почвенных микровицетов обуславливает супрессивные свойства почвы, то есть способность почвы подавлять развитие фитопатогенной микробиоты. Несмотря на то, что вопрос здоровья почвы очень актуален и изучается учеными из разных стран, в настоящее время нет однозначного понимания того, как различные методы возделывания и типы земледелия влияют на почвенные микроорганизмы (Ostandie et al., 2021; Cheng et al., 2021; Theron, 2023).

В современных условиях экологически ориентированного земледелия актуальной задачей остается разработка стратегий управления микробиотой почвы посредством оптимизации ее обработки. Исследование микробиологического состава почвы при различных способах обработки позволит сформировать научно обоснованные подходы к повышению ее биологического потенциала, снижению патогенного прессинга и устойчивому производству сельскохозяйственных культур.

Цель исследования заключалась в оценке микробиологического состава почвы в агроценозах пшеницы озимой в зависимости от различных методов обработки почвы и влияния на динамику патогенной и супрессивной микробиоты. Работа направлена на выявление взаимосвязей между применяемыми агротехническими приемами и формированием почвенных грибных сообществ, что имеет значение для оптимизации стратегий управления фитосанитарным состоянием агроэкосистем.

Материалы и методы исследований. Полевые эксперименты проводили на базе Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр биологической защиты растений» (ФГБНУ ФНЦБЗР) сотрудники лаборатории фитосанитарного мониторинга агроэкосистем и микробиологической защиты растений в 2022–2024 годах. Общая площадь всех опытных участков составляла 1 га, а размер каждой делянки – 56×90 метров (0,5 га). Варианты применяемых обработок: отвальный прием серийным плугом ПЛН-3-35 на глубину 22–25 см. Безотвальный прием серийной бороной БДТ-3 на глубину 10–12 см. Культура – пшеница озимая сорта Алексеич.

Почвенный покров в зоне исследований характеризуется черноземом, выщелоченным мицелярно-карбонатным (черноземы глубокие выщелоченные) со слабокислой реакцией (рН 5,5–6,5). Рыхлые почвообразующие породы – глинистые и тяжелосуглинистые (Слюсарев, 2022). Гумус в пахотном слое почвы – гуматный, составляет 3,0–4,5 %, постепенно уменьшающийся с глубиной. Содержание общего азота – 0,20 %, подвижного фосфора – 1,82 мг/кг почвы, обменного калия – 3,06 мг/кг.

Территория полевой экспериментальной базы ФГБНУ ФНЦБЗР относится к центральной зоне Краснодарского края, по температурному режиму и увлажнению характеризуется умеренно континентальным, умеренно влажным и теплым климатом.

Погодные условия вегетационного сезона 2022–2023 гг. (рис. 1) несколько отличались более низким количеством выпавших осадков, однако относительная влажность воздуха была выше среднееголетних показателей на протяжении всего сезона и составляла от 76,6 до 88,6 %. Температуры весеннего периода колебались в пределах от 8,6 до 16,5 °С, что выше по сравнению со средними многолетними значениями.

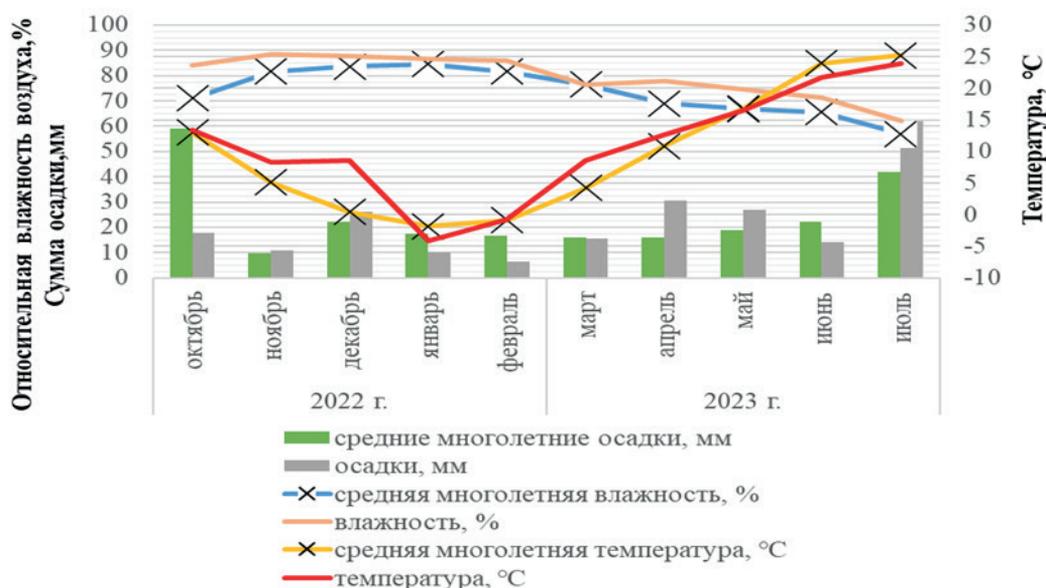


Рис. 1. Погодные условия вегетационного сезона 2022–2023 гг., метеостанция «Круглик», г. Краснодар
Fig. 1. Weather conditions in the vegetation period of 2022–2023, weather station “Kruglik”, Krasnodar

Весенний период вегетационного сезона 2023–2024 гг. (рис. 2) характеризовался низким количеством выпавших осадков и низкой относительной влажностью воздуха по сравнению со средними многолетними значениями.

Температуры воздуха в весенний период составляли от 7,4 до 18,7 °С. Таким образом, вегетационный сезон 2023–2024 гг. стал наиболее теплым и сухим в сравнении с предыдущими годами проведения исследований.



Рис. 2. Погодные условия вегетационного сезона 2023–2024 гг., метеостанция «Круглик», г. Краснодар
Fig. 2. Weather conditions in the vegetation period of 2023–2024, weather station “Kruglik”, Krasnodar

Предпосевную обработку семян проводили 12 октября 2022 г. и 18 октября 2023 года. Все последующие операции по защите культуры выполняли согласно принятой технологии защиты пшеницы озимой в фазы развития культуры, такие как кущение, налив, флаговый лист, колошение – молочно-восковая спелость. В этот период было внесено микробиологическое удобрение широкого спектра действия с фунгицидными и стимулирующими свойствами Геостим Фит марок А, В, С, D, E, G, а так-

же гуминовое удобрение – 10%-й жидкий концентрат сухого порошкообразного препарата «Гумел-Люкс».

Посев пшеницы озимой в 2022 г. проводили 13 октября и 19 октября 2023 г. при норме 4 млн/га на глубину 5–6 см. Вегетационный период в 2023 г. длился до 7 июля и составил 267 суток. Энергия прорастания составляла 96 %, лабораторная всхожесть – 97 % на участках с двумя способами обработки почвы. Вегетационный период в 2024 г. длился

до 5 июля и составил 259 суток. Энергия прорастания составляла 98 %, лабораторная всхожесть – 100 % на участках с двумя способами обработки почвы.

Исследования осуществляли с использованием материально-технической базы Уникальной научной установки (УНУ) «Технологическая линия для получения микробиологических средств защиты растений нового поколения» (<https://ckp-rf.ru/catalog/usu/671367/>).

Отбор почвенных образцов для анализа производили: 1 – 07.10.2022 г.; 2 – 07.07.2023 г.; 3 – 09.10.2023 г.; 4 – 02.04.2024 г., 5 – 02.07.2024 года.

В 2022 г. исследования носили предварительный характер и были направлены на выявление общего фитосанитарного состояния почвы до начала агротехнических мероприятий. В связи с этим проводили отбор одного усредненного образца почвы с экспериментального участка. Полученные данные позволили обосновать необходимость закладки детализированного опыта в последующие годы. С 2023 г. схема отбора проб была расширена и включала три фазы: до агротехнических мероприятий (предпосевной период), в фазу активной вегетации озимой пшеницы, а также после уборки урожая с каждого участка на безотвальной и отвальной обработках почвы.

Образцы почвы получали согласно общепринятым методикам отбора точечных проб – методом конверта (ГОСТ 17.4.4.02-84) из пяти точек и проводили смешивание в один усредненный образец. Почву отбирали с глубины 10 (± 5) см почвенного горизонта в стерильные крафт-пакеты с использованием металлической лопаты. Между вариантами лопату очищали и стерилизовали 96 %-м этиловым спиртом с последующим двукратным прожигом.

Предоставленные образцы почвы обладали высокой влажностью. В связи с этим их просушивали на бумаге в течение семи дней при комнатной температуре. Затем образцы измельчали до максимального размера агрегатов (комочков) 0,5 см. Все посторонние включения удаляли вручную в процессе просева, после чего отбирали средний образец (Кураков, 2001; Литвинов, 2013).

После этого делали навески 1 г почвы всех исследуемых образцов (весы Adventurer Pro (AV4102C), Ohaus (США)), предварительно подсушенные при комнатной температуре, и высушивали при температуре 105 °С до неизменной массы. Повторность опыта трехкратная.

Микологический анализ почвенных образцов выполняли методом последовательного почвенного разведения (Нетрусов, 2025). Рассчитывали численность колонии образующих единиц (КОЕ) на 1 г воздушно-сухой почвы (Литвинов, 2013). Предварительно подсушенную при комнатной температуре почвенную

навеску (1 г) тщательно перетирали в ступке, помещали в колбу со стерильной водой (100 мл) и перемешивали в течение 1 ч на шейкере New Brunswick Scientific Excella E25 (США). Водную суспензию из разведений 10^2 , 10^3 и 10^4 раскапывали и тщательно растирали шпателем по поверхности агаризованной среды. Высев производили на среду Чапека для грибов (Нетрусов, 2025) с pH = 4–4,5. Разведение осуществляли дозаторами переменного объема Eppendorf. Чашки Петри помещали в термостат на шесть суток при температуре 23 °С. Через шесть суток подсчитывали общее количество колоний грибов в каждой чашке Петри и осуществляли идентификацию (Литвинов, 2013; Литвинов, 1969).

КОЕ определяли по формуле (Нетрусов, 2025):

$$M = (A \times 10^n) / V,$$

где A – среднее число колоний; n – разведение; V – объем суспензии, взятой для посева; M – количество КОЕ в 1 г почвы.

Полученные данные пересчитывали на 1 г абсолютно сухой почвы.

Идентификацию культур проводили с использованием микроскопа Axio Scope A1, Carl Zeiss с программным обеспечением для документирования и обработки изображений (Германия) (Литвинов, 2013; Литвинов, 1969; Станчева, 2005).

Результаты и их обсуждение. В результате микологического анализа почвенных образцов в вегетационный период 2022–2024 гг. были выделены и идентифицированы микромицеты с различной трофической специализацией.

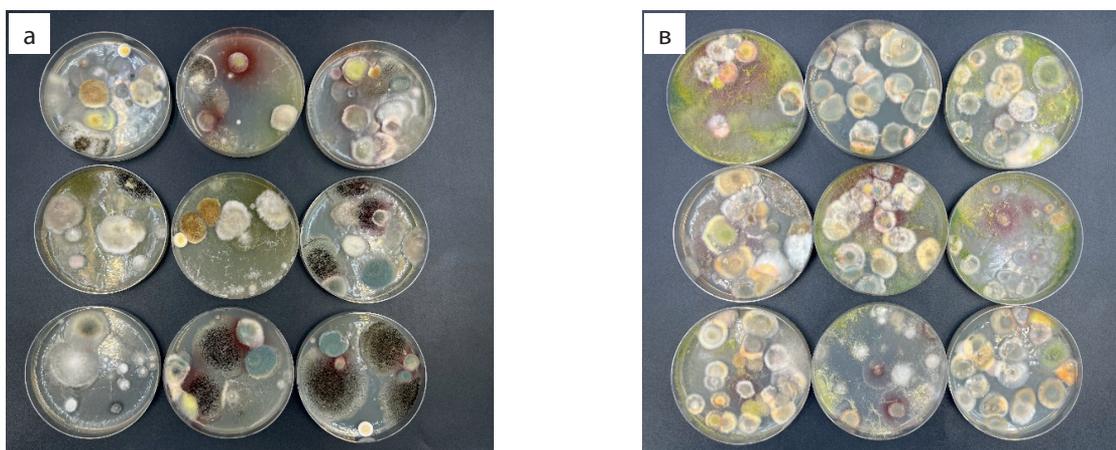
Важно отметить, что исследования в 2022 г. были предварительными и были направлены на выявление общего фитосанитарного состояния почвы до начала агротехнических мероприятий, в то время как в 2023 г. после уборки урожая отбор проб проводили отдельно для каждого варианта обработки почвы, что позволило более детально оценить влияние агротехнических приемов. Согласно данным таблицы 1 в почво-пробе до обработки почвы общее количество выделенных микромицетов достигало $4,3 \times 10^4$ КОЕ/г. Количество патогенных грибов рода *Fusarium* spp. составило $4,4 \times 10^3$ КОЕ/г (10,2 % от общего числа микроорганизмов), а грибов рода *Cladosporium* spp. – $2,9 \times 10^3$ КОЕ/г (6,9 % от общего числа микромицетов). Присутствие указанных фитопатогенов свидетельствует о том, что к моменту закладки опыта в почве был определенный патогенный фон, требующий контроля данного фактора в ходе дальнейших исследований (табл. 1).

Таблица 1. Содержание микроорганизмов в 1 г абсолютно сухой почвы до основной обработки почвы и после уборки урожая, 2022–2023 гг. (ФГБНУ ФНЦБЗР)
Table 1. Number of microorganisms per 1 g of extremely dry soil before primary tillage and after harvesting, 2022–2023 (FSBSI FRCBPP)

Микроорганизм	До обработки почвы		После уборки			
	КОЕ/г	%	КОЕ/г	%	КОЕ/г	%
	средний образец		безотвальная обработка		отвальная обработка	
патогенные						
<i>Fusarium spp.</i>	$(4,4 \pm 0,3) \times 10^3$	10,2	$(1,1 \pm 0,6) \times 10^3$	7,1	$(7,8 \pm 0,7) \times 10^2$	3,1
<i>Verticillium spp.</i>	0	0	0	0	0	0
<i>Cladosporium spp.</i>	$(2,9 \pm 0,9) \times 10^3$	6,9	0	0	0	0
<i>Cephalosporium spp.</i>	0	0	0	0	0	0
<i>Rhizopus spp.</i>	$(1,1 \pm 0,0) \times 10^2$	0,3	$(3,3 \pm 0,7) \times 10^2$	2,1	$(1,1 \pm 0,0) \times 10^2$	0,5
<i>Alternaria spp.</i>	0	0	$(3,3 \pm 0,7) \times 10^2$	2,1	$(1,1 \pm 0,0) \times 10^2$	0,5
сапротрофные						
<i>Trichoderma spp.</i>	$(1,0 \pm 0,1) \times 10^3$	2,3	$(4,4 \pm 0,06) \times 10^2$	2,8	$(7,8 \pm 0,6) \times 10^2$	3,2
<i>Penicillium spp.</i>	$(1,6 \pm 0,1) \times 10^4$	36,4	$(9,2 \pm 1,9) \times 10^3$	58,9	$(1,5 \pm 0,6) \times 10^4$	62,9
<i>Aspergillus spp.</i>	$(1,7 \pm 1,7) \times 10^4$	40,4	$(4,2 \pm 1,5) \times 10^3$	27,0	$(7,3 \pm 1,0) \times 10^3$	29,8
<i>Mucor spp.</i>	0	0	0	0	0	0
<i>Trichothecium spp.</i>	0	0	0	0	0	0
Прочие	$(1,5 \pm 0,6) \times 10^3$	3,5	0	0	0	0
Общее количество	$(4,3 \pm 2,0) \times 10^4$	100	$(1,6 \pm 1,8) \times 10^4$	100	$(2,5 \pm 1,8) \times 10^4$	100

В 2023 г. после уборки урожая проводили отбор проб отдельно с экспериментальных участков безотвальной и отвальной обработки почвы, что позволило выявить отличия в количественном и видовом составе микробиоты в зависимости от варианта исследований. Из почвообразцов было выделено $1,6 \times 10^4$ КОЕ/г и $2,5 \times 10^4$ КОЕ/г микромицетов в одном грамме абсолютно сухой почвы (табл. 1, рис. 3).

В результате проведенного анализа отмечено, что патогенные грибы в образцах почвы были представлены грибами родов *Fusarium* spp., *Alternaria* spp., *Rizopus* spp. Во всех пробах было отмечено значительное количество этого патогена – $7,8 \times 10^2$ КОЕ/г и $1,1 \times 10^3$ КОЕ/г (3,1 и 7,1 % от общего количества микромицетов).



а – безотвальная обработка почвы; в – отвальная обработка почвы

Рис. 3. Колонии микромицетов, выделенные из почвенных образцов (ориг.), ФГБНУ ФНЦБЗР (2023 г.)
Fig. 3. Colonies of micromycetes isolated from soil samples (orig.), FSBSI FRCBPP (2023)

Содержание грибов рода *Alternaria* spp. в образце с безотвальной обработкой почвы было на уровне $3,3 \times 10^2$ КОЕ/г, а в образце с отвальной обработкой почвы его количество было ниже – $1,1 \times 10^2$ КОЕ/г (2,1 и 0,5 % от общего количества микромицетов соответственно). Кроме того, в вариантах были выделены единичные колонии грибов рода *Rizopus* spp. В данных агроклиматических условиях содержание вышеуказанных фитопатогенов не пре-

вышало значимого уровня для вредности на культуре «пшеница озимая».

Важную роль в почвенном консорциуме играют микромицеты, формирующие патогенный потенциал. Установлено, что содержание патогенной микробиоты в почвообразце с отвальной обработкой почвы было в 2,7 раза ниже, чем в варианте с безотвальной обработкой.

Сапротрофная группа грибов была представлена родами *Penicillium* (58,9–62,9 %)

и *Aspergillus* (27,0–29,8 %) от общего количества микромицетов. Доминирующее содержание данных грибов в пробах почвы может быть связано с их хорошей адаптированностью к высоким температурам при относительно низкой увлажненности, что, вероятно, способствовало более активному росту и спорообразованию термотолерантных грибов родов *Penicillium* spp. и *Aspergillus* spp. В данных агроклиматических условиях культуры, относящиеся к этим родам, являются фоновыми. Следует отметить, что некоторые представители *Penicillium*, *Aspergillus* способны поражать сельскохозяйственные культуры в результате их способности продуцировать фитотоксичные вещества и быстро размножаться на органических субстратах.

Грибы рода *Trichoderma* spp. являются одним из ключевых индикаторов супрессивности почв. В исследуемых почвенных образцах № 1 и № 2 было выделено $4,4 \times 10^2$ КОЕ/г и $7,8 \times 10^2$ КОЕ/г микромицетов рода *Trichoderma* spp. соответственно (2,8 и 3,2 % от общего числа микромицетов), обладающих выраженным антагонистическим действием. Однако такое низкое количество супрессивной микробиоты недостаточно для контроля фитопатогенов. Об этом свидетельствует высокий процент и соотношение количества колоний *Fusarium* spp. к грибам рода *Trichoderma* spp.

Таким образом, данные, полученные в предварительном эксперименте, позволили установить количественное соотношение патогенных и сапротрофных микроорганизмов до начала агротехнических мероприятий, в то время как результаты анализа в послеуборочный период выявили различия в составе микробиоты в зависимости от способа обработки почвы. Безотвальная обработка способствовала уме-

ренному снижению численности грибов рода *Fusarium* spp., однако сохранила невысокую концентрацию грибов рода *Trichoderma* spp., что может быть обусловлено чувствительностью грибов-супрессоров к стабильному уровню влажности и умеренной температуре. При отвальной обработке почвы зафиксировано более выраженное снижение доли патогенных микроорганизмов и увеличение общей численности микромицетов, что, вероятно, может быть связано с улучшением аэрации и перемещения фитопатогенов в нижние горизонты почвы.

Исследование влияния различных методов обработки почвы на содержание микроорганизмов в период 2023–2024 гг. представлены в таблицах 2, 3, 4 и позволяют оценить динамику микробиологической активности в почве в зависимости от типа обработки.

В таблице 2 показаны результаты структуры микробиоты почвенных образцов до обработки почвы. Умеренные температуры и достаточная почвенная влага обеспечили высокое общее количество микроорганизмов перед агротехническими мероприятиями, которое варьировало от $4,8 \times 10^4$ до $6,9 \times 10^4$ КОЕ/г. В группе патогенных микроорганизмов в основном были представители грибов рода *Fusarium* spp., которые составили от $3,2 \times 10^3$ до $3,8 \times 10^3$ КОЕ/г. Максимальные показатели были отмечены в варианте, где предполагалась безотвальная обработка $3,8 \times 10^3$ (7,8 % от общего числа микромицетов). Другие патогенные гифомицеты, такие как грибы рода *Cladosporium* spp., присутствовали в меньших количествах – $5,6–7,8 \times 10^2$ КОЕ/г (1,1–1,2% от общего числа микромицетов). Грибы родов *Verticillium* spp., *Alternaria* spp. и *Cephalosporium* spp. в пробах не были обнаружены.

Таблица 2. Содержание микроорганизмов в 1 г абсолютно сухой почвы до основной обработки почвы, 09.10.2023 (ФГБНУ ФНЦБЗР)
Table 2. Number of microorganisms per 1 g of extremely dry soil before primary tillage, 09.10.2023 (FSBSI FRCBPP)

Микроорганизм	КОЕ/г	%	КОЕ/г	%
	безотвальная обработка		отвальная обработка	
патогенные				
<i>Fusarium</i> spp.	$(3,8 \pm 0,1) \times 10^3$	7,8	$(3,2 \pm 0,5) \times 10^2$	4,7
<i>Verticillium</i> spp.	0	0	0	0
<i>Cladosporium</i> spp.	$(5,6 \pm 0,1) \times 10^2$	1,2	$(7,8 \pm 0,1) \times 10^2$	1,1
<i>Cephalosporium</i> spp.	0	0	0	0
<i>Rhizopus</i> spp.	$(2,2 \pm 0,1) \times 10^2$	0,5	$(5,6 \pm 0,2) \times 10^2$	0,8
<i>Alternaria</i> spp.	0	0	0	0
сапротрофные				
<i>Trichoderma</i> spp.	$(7,8 \pm 0,02) \times 10^2$	1,6	$(1,0 \pm 0,0) \times 10^3$	1,4
<i>Penicillium</i> spp.	$(2,3 \pm 2,1) \times 10^4$	48,4	$(3,4 \pm 0,8) \times 10^4$	49,8
<i>Aspergillus</i> spp.	$(1,8 \pm 0,4) \times 10^4$	36,6	$(2,8 \pm 1,3) \times 10^4$	40,6
<i>Mucor</i> spp.	0	0	$(1,1 \pm 0,0) \times 10^2$	0,2
<i>Trichothecium</i> spp.	0	0	0	0
Прочие	$(1,9 \pm 0,3) \times 10^3$	3,9	$(1,0 \pm 0,2) \times 10^3$	1,4
Общее количество	$(4,8 \pm 2,3) \times 10^4$	100	$(6,9 \pm 0,1) \times 10^4$	100

Среди сапротрофных микроорганизмов доминирующими были *Penicillium* spp.

и *Aspergillus* spp., которые суммарно составляли более 80 % от общего числа микроорганиз-

мов во всех вариантах обработки. Это свидетельствует о высокой активности данных групп в разложении органических веществ.

Грибы рода *Trichoderma* spp., известные своими супрессивными свойствами по отношению к патогенным грибам, присутствовали в незначительных количествах во всех пробах почвы – от $7,8 \times 10^2$ до $1,0 \times 10^3$ КОЕ/г. Максимальное содержание было отмечено в вариантах, где предполагалась отвальная обработка почвы – $1,0 \times 10^3$ КОЕ/г, что составило около 1,5 % от общего числа микроорганизмов. Эти данные свидетельствуют о присутствии супрессивных грибов, но их количество на данном этапе было незначительным для оказания заметного эффекта на снижение патогенов.

В почвенных образцах в весенний период вегетации пшеницы озимой было выявлено увеличение содержания патогенных микроорганизмов, что может быть обусловлено повышением температурного режима при ограниченном количестве атмосферных осадков. В частности, грибов рода *Fusarium* spp., которое достигло максимальных значений в варианте с безотвальной обработкой – $6,0 \times 10^3$ КОЕ/г (9,5 % от общего числа микромицетов) (табл. 3). Эти данные, предположительно, свидетельствуют о том, что безотвальная обработка почвы может способствовать накоплению патогенов за счет недостаточной глубины перемешивания и аэрации почвы.

Таблица 3. Содержание микроорганизмов в 1 г абсолютно сухой почвы, 02.04.2024 г. (ФГБНУ ФНЦБЗР)
Table 3. Number of microorganisms per 1 g of extremely dry soil, 02.04.2024 (FSBSI FRCBPP)

Микроорганизмы	Проба, тип обработки почвы			
	безотвальная		отвальная	
	КОЕ/г	%	КОЕ/г	%
патогенные				
<i>Fusarium</i> spp.	$(6,0 \pm 0,6) \times 10^3$	9,5	$(4,2 \pm 0,5) \times 10^3$	9,1
<i>Verticillium</i> spp.	0	0	0	0
<i>Cladosporium</i> spp.	0	0	$(4,4 \pm 0,0) \times 10^2$	0,9
<i>Cephalosporium</i> spp.	0	0	0	0
<i>Rhizopus</i> spp.	0	0	0	0
<i>Alternaria</i> spp.	0	0	0	0
сапрофитные				
<i>Trichoderma</i> spp.	$(1,3 \pm 0,0) \times 10^3$	2,1	$(1,1 \pm 0,1) \times 10^3$	2,4
<i>Penicillium</i> spp.	$(3,2 \pm 5,3) \times 10^4$	51,0	$(2,4 \pm 1,4) \times 10^4$	52,4
<i>Aspergillus</i> spp.	$(2,0 \pm 2,2) \times 10^4$	32,6	$(1,6 \pm 1,9) \times 10^4$	35,2
<i>Mucor</i> spp.	0	0	0	0
<i>Trichothecium</i> spp.	0	0	0	0
Прочие	$(3,0 \pm 0,8) \times 10^3$	4,8	0	0
Общее количество	$(6,3 \pm 8,2) \times 10^4$	100	$(4,7 \pm 1,3) \times 10^4$	100

В условиях дефицита влаги грибы рода *Trichoderma* spp. весной продемонстрировали незначительное увеличение по сравнению с показателями в образцах 2023 года. Их количество варьировалось от $1,0 \times 10^3$ до $1,3 \times 10^3$ КОЕ/г. Максимальное количество этих грибов было зафиксировано в вариантах с безотвальной обработкой – $1,3 \times 10^3$ КОЕ/г, что составляет 2,1 % от общего числа микроорганизмов. Это указывает на некоторое увеличение активности супрессивных грибов, что могло быть связано с улучшением условий для их развития весной, однако их влияние на патогенные микроорганизмы остается ограниченным.

После уборки содержание микроорганизмов изменялось в зависимости от типа обработки почвы (табл. 4). Количество патогенных микроорганизмов *Fusarium* spp. снизилось во всех вариантах опыта по сравнению с весенним периодом – $4,7 \times 10^3$ и $4,4 \times 10^3$ КОЕ/г соответственно (7,2 и 7,3 % от общего числа микромицетов соответственно). Данная динамика, вероятно, обусловлена изменением температурного и влажного режима, отсутствием активно вегетирующих растений-хозяев и конкурентных взаимоотношений с сапротрофной микробиотой, что могло оказать лимитирующее воздействие на популяцию грибов рода *Fusarium* spp.

Таблица 4. Содержание микроорганизмов в 1 г абсолютно сухой почвы после уборки, 02.07.024 г. (ФГБНУ ФНЦБЗР)
Table 4. Number of microorganisms per 1 g of extremely dry soil after harvesting, 02.07.024 (FSBSI FRCBPP)

Микроорганизмы	Проба, тип обработки почвы			
	безотвальная		отвальная	
	КОЕ/г	%	КОЕ/г	%
патогенные				
<i>Fusarium spp.</i>	$(4,7 \pm 0,5) \times 10^3$	7,2	$(4,4 \pm 0,1) \times 10^3$	7,3
<i>Verticillium spp.</i>	0	0	0	0
<i>Cladosporium spp.</i>	$(1,2 \pm 0,2) \times 10^3$	1,9	$(1,2 \pm 0,1) \times 10^3$	2,0
<i>Cephalosporium spp.</i>	0	0	0	0
<i>Rhizopus spp.</i>	$(8,9 \pm 0,2) \times 10^2$	1,4	$(1,2 \pm 0,0) \times 10^3$	2,0
<i>Alternaria spp.</i>	$(2,2 \pm 0,2) \times 10^2$	0,3	0	0
сапрофитные				
<i>Trichoderma spp.</i>	$(7,8 \pm 0,1) \times 10^2$	1,2	$(1,0 \pm 0,0) \times 10^3$	1,6
<i>Penicillium spp.</i>	$(3,0 \pm 1,8) \times 10^4$	46,5	$(2,7 \pm 1,7) \times 10^4$	44,4
<i>Aspergillus spp.</i>	$(2,5 \pm 1,4) \times 10^4$	38,1	$(2,5 \pm 0,6) \times 10^4$	41,2
<i>Mucor spp.</i>	$(2,2 \pm 0,0) \times 10^2$	0,3	$(1,1 \pm 0,0) \times 10^2$	0,2
<i>Trichothecium spp.</i>	0	0	0	0
Прочие	$(2,0 \pm 0,7) \times 10^3$	3,1	$(7,8 \pm 0,1) \times 10^2$	1,3
Общее количество	$(6,5 \pm 2,9) \times 10^4$	100	$(6,1 \pm 1,1) \times 10^4$	100

Увеличение содержания грибов рода *Cladosporium spp.* до 1,9 % в обоих вариантах указывает на возможную активизацию этого рода после уборки в результате достижения оптимальных условий.

Грибы рода *Trichoderma spp.*, которые играют ключевую роль в подавлении патогенных микроорганизмов, показали стабильные результаты во всех вариантах обработки почвы, сохраняясь на уровне $7,8 \times 10^2 - 1,0 \times 10^3$ КОЕ/г. Максимальные значения были зафиксированы при отвальной обработке почвы – $1,0 \times 10^3$ КОЕ/г. Хотя количество этих грибов остается стабильным, их процент в общей доле микробиоты невелик – 1,2–1,6 %, что указывает на необходимость дополнительных мер по стимуляции их развития для улучшения супрессивной активности почвы.

Выводы. Полученные результаты свидетельствуют о том, что различные типы обработки почвы оказывают влияние на численность и структуру сообществ почвенных микроорганизмов. Безотвальная и отвальная обработки привели к увеличению доли *Fusarium spp.* весной 2024 г., возможно, из-за более глубокого перемешивания почвы. Сапрофитные грибы родов *Penicillium spp.* и *Aspergillus spp.* оставались доминирующими группами во всех вариантах обработки почвы на протяжении всего периода исследований, что указывает на их высокую адаптивность и устойчивость к различным агротехническим приемам. Эти грибы играют важную роль в разложении расти-

тельных остатков и формировании почвенного плодородия.

Важно отметить, что агроклиматические условия в период проведения исследований также могли существенно повлиять на динамику численности микромицетов. Изменения гидротермического режима почвы, в частности температуры и влажности, являются значимыми факторами, определяющими активность и развитие почвенных грибов. Наблюдаемое снижение численности фитопатогенных грибов рода *Fusarium spp.* в послеуборочный период может быть связано как с агротехническими мероприятиями, так и с сезонными изменениями климатических параметров.

Следует подчеркнуть, что представленные выводы носят предварительный характер и требуют воспроизводимости экспериментов с целью выявления устойчивых закономерностей в динамике микробных сообществ под влиянием различных агротехнических и экологических факторов.

На основе полученных данных можно заключить, что оптимизация методов обработки почвы имеет потенциал для повышения продуктивности агроэкосистем за счет управления микробным сообществом.

Финансирование. Исследования выполнены при финансовой поддержке Российского научного фонда в рамках научно-инновационного проекта № 23-76-01051 <https://rscf.ru/project/23-76-01051/>.

Библиографический список

1. Волкова Г. В., Кремнева О. Ю., Шумилов Ю. В., Синяк Е. В., Ваганова О. Ф., Сегеда Е. С., Марченко Д. М., Самофалова Н. Е., Скрипка О. В., Дерова Т. Г. Характеристика сортов и линий озимой пшеницы селекции ВНИИЗК им. И. Г. Калиненко по устойчивости к комплексу возбудителей экомических значимых болезней // Зерновое хозяйство России. 2016. № 1. С. 27–32.
2. Кураков А. В. Методы выделения и характеристики комплексов микроскопических грибов наземных экосистем. М.: Макс Пресс, 2001. С. 10–12.
3. Литвинов М. А. Определитель микроскопических почвенных грибов. Рипол Классик, 2013. С. 214–265.

4. Литвинов М. А. Методы изучения почвенных микроскопических грибов. Л.: Изд-во «Наука», 1969. 124 с.
5. Нетрусов А. И. Микробиология: теория и практика: учебник для вузов. М.: Издательство Юрайт, 2025. 456 с.
6. Пономарев А. В., Кремнева О. Ю., Гасиян К. Э., Данилов Р. Ю. Влияние способов обработки почвы на развитие болезней пшеницы // Юг России: экология, развитие. 2022. № 4(65). С. 174–181. DOI: 10.18470/1992-1098-2022-4-174-181
7. Слюсарев В. Н. Почвы Краснодарского края. Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина, 2022. 260 с.
8. Станчева И. Атлас болезней сельскохозяйственных культур. Т. 1. 2005. С. 152–156.
9. Cheng H., Zhang D., Ren L., Song Z., Li Q., Wu J., Fang W., Huang B., Yan D., Li Y., Wang Q., Cao A. Bio-activation of soil with beneficial microbes after soil fumigation reduces soil-borne pathogens and increases tomato yield // Environmental Pollution. 2021. Vol. 283, DOI: 10.1016/j.envpol.2021.117160
10. Kremneva O. Y., Volkova G. V., Kim Y. S., Mironenko N. V., Kovalenko N. M., Baranova O. A. Resistance of winter wheat varieties to tan spot in the North Caucasus region of Russia // Saudi Journal of Biological Sciences. 2021. Vol. 3. P. 1787–1794. DOI: 10.1016/j.sjbs.2020.12.021
11. Lisiecki K. Screening winter wheat genotypes for resistance traits against *Rhizoctonia cerealis* and *Rhizoctonia solani* infection // Agriculture. 2022. Vol. 12. P. 1981. DOI: 10.3390/agriculture12121981
12. Ostandie N., Giffard B., Bonnard O., Joubard B., Richart-Cervera S., Thiéry D., Rusch A. Multi-community effects of organic and conventional farming practices in vineyards // Scientific reports. 2021. Vol. 11, DOI: 10.1038/s41598-021-91095-5
13. Theron J. S. The effect of crop rotation and tillage practice on *Fusarium* crown rot and agronomic parameters of wheat in South Africa // Crop Protection. 2023. Vol. 166, DOI: 10.1016/j.cropro.2022.106175

References

1. Volkova G. V., Kremneva O. Yu., Shumilov Yu. V., Sinyak E. V., Vaganova O. F., Segeda E. S., Marchenko D. M., Samofalova N. E., Skripka O. V., Derova T. G. Kharakteristika sortov i linii ozimoi pshenitsy selektsii VNIIZK im. I. G. Kalinenko po ustoichivosti k kompleksu vzbuditelei ekonomicheskii znachimykh boleznei [Characteristics of winter wheat varieties and lines developed by the All-Russian Research Institute of Grain Crops named after I.G. Kalinenko according to resistance to a complex of pathogens of economically significant diseases] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2016. № 1. S. 27–32.
2. Kurakov A. V. Metody vydeleniya i kharakteristiki kompleksov mikroskopicheskikh gribov nazemnykh ekosistem [Methods for identifying and characterizing complexes of microscopic fungi in terrestrial ecosystems]. M.: Maks Press, 2001. S. 10–12.
3. Litvinov M. A. Opredelitel' mikroskopicheskikh pochvennykh gribov [Identifier of microscopic soil fungi]. M.: Ripol Klassik, 2013. S. 214–265.
4. Litvinov M. A. Metody izucheniya pochvennykh mikroskopicheskikh gribov [Methods for studying soil microscopic fungi]. L.: Izd-vo «Nauka», 1969. 124 s.
5. Netrusov A. I. Mikrobiologiya: teoriya i praktika: uchebnyk dlya vuzov [Microbiology: theory and practice: textbook for universities]. M.: Izdatel'stvo Yurait, 2025. 456 s.
6. Ponomarev A. V., Kremneva O. Yu., Gasiyan K. E., Danilov R. Yu. Vliyanie sposobov obrabotki pochvy na razvitie boleznei pshenitsy [Effect of tillage methods on the development of wheat diseases] // Yug Rossii: ekologiya, razvitie. 2022. № 4(65). S. 174–181. DOI: 10.18470/1992-1098-2022-4-174-181
7. Slyusarev V. N. Pochvy Krasnodarskogo kraja [Soils of the Krasnodar Territory]. Krasnodar: Kubanskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet imeni I. T. Trubilina, 2022. 260 s.
8. Stancheva I. Atlas boleznei sel'skokhozyaistvennykh kul'tur [Atlas of agricultural crop diseases]. T. 1. 2005. S. 152–156.
9. Cheng H., Zhang D., Ren L., Song Z., Li Q., Wu J., Fang W., Huang B., Yan D., Li Y., Wang Q., Cao A. Bio-activation of soil with beneficial microbes after soil fumigation reduces soil-borne pathogens and increases tomato yield // Environmental Pollution. 2021. Vol. 283, DOI: 10.1016/j.envpol.2021.117160
10. Kremneva O. Y., Volkova G. V., Kim Y. S., Mironenko N. V., Kovalenko N. M., Baranova O. A. Resistance of winter wheat varieties to tan spot in the North Caucasus region of Russia // Saudi Journal of Biological Sciences. 2021. Vol. 3. P. 1787–1794. DOI: 10.1016/j.sjbs.2020.12.021
11. Lisiecki K. Screening winter wheat genotypes for resistance traits against *Rhizoctonia cerealis* and *Rhizoctonia solani* infection // Agriculture. 2022. Vol. 12. P. 1981. DOI: 10.3390/agriculture12121981
12. Ostandie N., Giffard B., Bonnard O., Joubard B., Richart-Cervera S., Thiéry D., Rusch A. Multi-community effects of organic and conventional farming practices in vineyards // Scientific reports. 2021. Vol. 11, DOI: 10.1038/s41598-021-91095-5
13. Theron J. S. The effect of crop rotation and tillage practice on *Fusarium* crown rot and agronomic parameters of wheat in South Africa // Crop Protection. 2023. Vol. 166, DOI: 10.1016/j.cropro.2022.106175

Поступила: 13.03.25; доработана после рецензирования: 27.03.25; принята к публикации: 31.03.25.

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

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Авторский вклад. Пономарев А. В., Гырнец Е. Ю. – концептуализация исследования; Пономарев А. В., Гырнец Е. Ю., Дубяга В. М. – подготовка опыта; Пономарев А. В., Гырнец Е. Ю., Дубяга В. М. – выполнение полевых / лабораторных опытов и сбор данных; Пономарев А. В., Гырнец Е. Ю. – анализ данных и их интерпретация; Пономарев А. В., Гырнец Е. Ю. – подготовка рукописи.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.