

УДК 632.4:633.16“321”:632.118.39(470.333)

ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРЫ МИКОЦЕНОЗОВ ЯЧМЕНЯ ЯРОВОГО И СВОЙСТВА ГРИБОВ С ОТЧУЖДЕННЫХ РАДИОАКТИВНО ЗАГРЯЗНЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ НОВОЗЫБКОВСКОГО РАЙОНА БРЯНСКОЙ ОБЛАСТИ

© 2024 г. С. Н. Михалева^{1,*}, Л. Н. Ульяненко¹, Н. И. Будынков¹, А. П. Глинушкин¹¹Всероссийский научно-исследовательский институт фитопатологии
143050, Московская обл., Одинцовский р-н, р.п. Большие Вяземы, ул. Институт, влад. 5, Россия

*E-mail: svetlanova-1985@mail.ru

Изучены особенности структуры микоценозов ячменя ярового сорта Гонар на отчужденных территориях Новозыбковского р-на Брянской обл., загрязненных радионуклидами в результате аварии на Чернобыльской АЭС. Исследование проводили в 1991–1998 гг. (плотность загрязнения ¹³⁷Cs ~1.8 МБк/м²) с использованием традиционных полевых методов наблюдения и лабораторных анализов по идентификации видов грибов и определения их активности. Через 7 лет после аварии эпифитная микробиота семян ячменя характеризовалась повышенной активностью грибов из рода *Fusarium* с доминированием возбудителя снежной плесени *F. nivale* Ces. (*Microdochium nivale*) и микотоксичного гриба *F. sporotrichiella* Bilai. (sin. *F. sporotrichioides*). Для сравнения, в то же время микробиота семян ячменя на полях Раменского р-на Московской обл. отличалась не только по видовому составу грибов, но и по их свойствам: отмечено отсутствие таких видов грибов как *Nigrospora oryzae* и *Ulocladium consortiala*, довольно многочисленных на брянских полях, и присутствие в консорциуме микроорганизмов гриба *F. sambucinum* Fuckel, не обнаруженного на загрязненных ¹³⁷Cs и выведенных из хозяйственного оборота полях. В структуре внутрисеменной инфекции ячменя также отмечено заметное присутствие грибов из рода *Fusarium*. Определены свойства метаболитов грибов из рода *Penicillium*: суспензии спор грибов *P. expansum* и *P. cyclopium*, используемые для обработки семян ячменя, вызывали депрессию – достоверное снижение всхожести семян и морфофизиологических характеристик развития проростков. Проведен скрининг изолятов 26 видов грибов по их влиянию на выживаемость парамеций и составлен их рейтинг. Показано, что в условиях отсутствия планового ведения растениеводства по региональным технологиям и применения средств защиты растений от болезней в течение 7 лет после аварии произошел сдвиг в структуре видов грибов, присутствующих на корнях и стеблях ячменя сорта Гонар в сторону увеличения доли фитопатогенных грибов. При близком числе видов микромитетов на растениях ячменя на загрязненных радионуклидами полях Брянской обл. и “чистых” угодьях Московской обл. (22 вида против 21 соответственно) на техногенных территориях было выделено 9 видов фитопатогенов (41% от общего числа видов) и 7 видов (33%). При этом суммарная активность фитопатогенов на отчужденных радиоактивно загрязненных территориях составила 18 баллов, на “чистых” – 13. Соотношение Фитопатогены/Сапрофиты, рассчитанное по суммарной активности этих групп грибов, в Брянской обл. было на 37.5% больше, чем в Московской обл., а по соотношению Фитопатогены/Антагонисты – в 2.2 раза больше. При этом тенденция преобладания фитопатогенов над другими видами грибов на радиоактивно загрязненных территориях была закономерной, что подтверждено результатами более ранних исследований.

Ключевые слова: микоценоз, ячмень яровой, радиоактивно загрязненные территории, активность, фитопатогены.

DOI: 10.31857/S0002188124020068

ВВЕДЕНИЕ

Масштабный и долговременный характер последствий аварии на Чернобыльской АЭС на каждом временном этапе имеет свои особенности. Спустя более 35 лет после аварии ретроспективный анализ ранее полученных данных позволяет оценить их значимость

с точки зрения экологических изменений и поиска инструментов выявления общебиологических закономерностей последствий загрязнения почв. Тем более, что устойчивость агроэкосистем имеет определяющее значение для техногенно загрязненных территорий [1, 2]. Исходя из постулата, что на радиоактивно загрязненных территориях роль вредных

организмов сохраняется [3, 4], возникает необходимость в более полной информации о реакциях компонентов агроценозов на это воздействие. И если для основного компонента — сельскохозяйственных растений — такая информация классифицирована и даже рассматривают аспекты использования ответных реакций растений в качестве критерия оценки состояния окружающей среды [5], то сведения о консорциуме возбудителей болезней растений, изменении их свойств либо рассматриваются в контексте нарушения агротехники возделывания культур на загрязненных территориях [6], либо как констатация развития болезней в различных биотопах [7, 8].

Принимая во внимание комплексный подход к отработке системы мероприятий, направленных на смягчение негативных последствий радиационных аварий, а в агросфере, прежде всего, на реализацию возможностей получения растениеводческой продукции с минимальным содержанием радионуклидов и возвращение в хозяйственный оборот отчужденных после аварии сельскохозяйственных угодий [6, 9], результаты полевых исследований в разные периоды после аварии могут иметь первостепенное значение.

Цель работы — изучение особенностей формирования структуры микробных консорциев ячменя ярового сорта Гонар, произраставшего на отчужденных радиоактивно загрязненных территориях Новозыбковского р-на Брянской обл., и определение свойств грибов.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование проводили в 1991–1998 гг. в зоне отчуждения на выведенных из севооборота после аварии на Чернобыльской АЭС полях колхоза “Комсомолец” Новозыбковского р-на Брянской обл. (ныне СХПК “Комсомолец”). Почвы этого региона — дерново-подзолистые песчаные и супесчаные, с низким плодородием. Содержание гумуса не превышает 2%, рН 5.4–6.4, содержание подвижного фосфора составляло 34–40 мг/100 г почвы, подвижного калия — 8–10 мг/100 г. Гамма-фон на бывших сельскохозяйственных угодьях СХПК “Комсомолец” в 1991–1998 гг. составлял от 50 до 100 мкР/ч (измерения проведены дозиметром ДРГ-01Т на высоте 100 см от поверхности почвы), плотность загрязнения ^{137}Cs доходила до 1800 кБк/м² [10]. По оценкам авторов [11], средневзвешенная плотность загрязнения ^{137}Cs в 1998 г. на сенокосах и пастбищах этого региона составила 1262 кБк/м².

Объектами исследования были различные виды микроскопических грибов, характерных для микоценозов ячменя ярового. Грибы выделяли в чистые культуры, изучали их морфолого-культуральные и патогенные свойства [12]. Идентификацию грибов проводили по культурально-морфологическим признакам

с использованием общепризнанных определителей, отражающих токсонимическую номенклатуру видов. Патогенные виды выделяли из семян, предварительно дезинфицированных спиртом или хлораминном, многократно промывали стерильной водой или фламбировали пламенем горелки. Микотоксикозную активность видов грибов определяли по влиянию их водных экстрактов на морфофизиологические характеристики развивающихся проростков и выживаемость простейших одноклеточных организмов (парамеций) по принятым методикам [13].

Фитосанитарную экспертизу семян проводили в соответствии с существующими рекомендациями [14]. Показатели развития проростков в опытах *in vitro* и лабораторную всхожесть (ЛВ, %) семян ячменя ярового определяли согласно ГОСТ [15].

Статистическую обработку экспериментальных данных методом дисперсионного анализа проводили с применением пакета прикладных программ в составе Microsoft Excel 97.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На основании результатов изучения консорциума микробиоты злаковых культур в Новозыбковском р-не Брянской обл. с плотностью загрязнения ^{137}Cs 555–1480 кБк/м² и выше было установлено, что спектр видов микроскопических грибов зерновых культур в основном соответствовал типичному для данного региона [16]. Анализ активности колонизирующей микробиоты семян ячменя, собранных с отчужденных полей СХПК “Комсомолец” Новозыбковского р-на Брянской обл. через 7 лет после аварии на Чернобыльской АЭС, свидетельствовал о высоком распространении грибов, вызывающих корневые гнили (табл. 1).

Возбудители фузариозной (виды грибов из рода *Fusarium*) и гельминтоспориозной (возбудитель *Bipolaris sorokiniana*) корневых гнилей относятся к достаточно частым представителям комплекса патогенов на растениях ячменя. Во многих зерносеющих регионах РФ фузариевые грибы видов *F. avenaceum* (Fr.) Sacc., *F. culmorum* (Sm.) Sacc., *F. graminearum* Shwabe, *F. gibbosum* App. et Wr., *F. oxysporum* Sclht., *F. solani* (Mart) App. et Wr. отличаются высокой встречаемостью [17, 18]. В Новозыбковском р-не Брянской обл. наиболее распространенными оказались *F. nivale* Ces. и *F. sporotrichiella* Bilai. Им уступали по активности *F. culmorum* и *F. moniliforme* J. Sheld., распространение которых совпадало с *Microdochium bolleyi* (Sprag.) и *Nigrospora oryzae* (Berk. & Broome) Petch. Высокую встречаемость на семенах ячменя с отчужденных полей имели *Bipolaris sorokiniana* Shoem. и *Ulocladium consortiale* (Thum.) E.G. Simmons, способные, как и *Nigrospora oryzae*, снижать всхожесть семян.

Таблица 1. Активность колонизирующей микробиоты семян ячменя с отчужденных радиоактивно загрязненных полей Брянской и “чистых” полей Московской обл. (1993 г.)

Вид грибов	Активность патогенов*	
	Брянская обл.	Московская обл.
<i>Bipolaris sorokiniana</i> Shoem.	+++	+++
<i>Drechslera teres</i> Sacc.	+	+++
<i>Fusarium culmorum</i> (Sm.) Sacc.	++	+++
<i>Fusarium nivale</i> Ces.	+++	+
<i>Fusarium moniliforme</i> J. Sheld.	+	+
<i>Fusarium sambucinum</i> Fuckel	–	+
<i>Fusarium sporotrichiella</i> Bilai	+++	+++
<i>Fusarium oxysporum</i>	–	–
<i>Fusarium solani</i>	–	–
<i>Microdochium bolleyi</i> (Sprag.)	++	+
<i>Nigrospora oryzae</i> (Berk. & Broome) Petch.	++	–
<i>Rhizoctonia cerealis</i> van der Hoven	+	++
<i>Ulocladium consortiale</i> (Thum.) E. G. Simmons	+++	–
Суммарная активность (расчет по баллам)	21	18

* Активность: +++ – высокая (или 3 балла), ++ – средняя (или 2 балла), + – слабая (или 1 балл), – не обнаружена.

Для сравнения, микробиота семян ячменя с незагрязненных радионуклидами полей Раменского р-на Московской обл. отличалась высокой активностью *Bipolaris sorokiniana* Shoem., *Drechslera teres* Sacc., *F. culmorum* и *F. sporotrichiella*. Однако в этих экологических условиях отмечено отсутствие таких видов как *Nigrospora oryzae* и *Ulocladium consortiale* и наличие гриба *F. sambucinum* Fuckel, не обнаруженного на техногенно загрязненных ¹³⁷Cs территориях.

По частоте встречаемости грибов в эпифитной микрофлоре семян ячменя сорта Гонар доминирующее

положение занимали грибы из рода *Fusarium* (*F. nivale* и *F. avenaceum*), на долю которых суммарно приходилось 76.4% от общей колонизации поверхности семени. Однако частота встречаемости фитопатогенов (*Bipolaris sorokiniana*, *Drechslera teres*) была в этом случае невысокой (2%), но для фузариев составляла 13% (табл. 2).

Грибы *Bipolaris sorokiniana* и *Drechslera teres* были представлены в равных долях – 11.8% от величины общей колонизации. Среди сапрофитных грибов доминировал *Alternaria alternata* (66.7%). Кроме этого,

Таблица 2. Видовой состав микрофлоры и сопутствующих видов грибов семян ячменя ярового сорта Гонар

Вид грибов	Эпифитная микрофлора		Глубинная инфекция	
	частота встречаемости грибов	доля от общей колонизации	частота встречаемости грибов	доля от общей колонизации
	%			
	Фитопатогены			
<i>Bipolaris sorokiniana</i>	2*	11.8	8	18.2
<i>Drechslera teres</i>	2	11.8	6	13.6
<i>Fusarium</i> sp. (<i>F. nivale</i> , <i>F. avenaceum</i>)	13	76.4	30	68.2
	Сапрофиты			
<i>Alternaria alternata</i>	66	66.7	73	59.3
<i>Penicillium</i> sp.	13	13.1	20	16.3
<i>Mucor</i> sp.	20	20.2	26	21.1
<i>Epicoccum lignorum</i>	0	0	4	3.3
	Антагонисты			
<i>Trichoderma lignorum</i>	2	100	10	100

* Представлены средние данные, ошибка среднего арифметического не превышала 7%.

встречались грибы из родов *Mucor* (20.2%) и *Penicillium* (13.1%). Грибы—антагонисты были представлены только видом *Trichoderma lignorum*, частота встречаемости которого составила 2%.

Следует отметить, что структура колонизирующих фитопатогенов внутри семян была близкой к структуре их распределения на поверхности с доминирующим положением грибов из рода *Fusarium*. Это в целом касалось и комплекса сапрофитных, и грибов-антагонистов, хотя по частоте встречаемости, например, для *Trichoderma lignorum* на поверхности и внутри семян различия оказались 5-кратными, а сапрофитный гриб *Epicoccum purpurascens* был выявлен только внутри семени.

На корнях и стеблях ячменя сорта Гонар на отчужденных полях с высокой плотностью загрязнения радионуклидами спустя 7 лет после аварии на Чернобыльской АЭС наиболее распространенной группой видов фитопатогенов были грибы из рода *Fusarium*, с преобладанием *F. nivale* и *F. sporotrichiella*, активность которых совпадала (по 3 балла) с активностью *Bipolaris sorokiniana* (табл. 3).

Возможно, преимущества распространения этого патогена связаны с его выраженной способностью передаваться с семенами, что возможно и для *F. nivale*. Повышение активности гриба *F. nivale*, вызывающего корневые гнили, трахиомикозы стеблей и поражение верхних листьев в период колошения, способно привести к быстрому “старению” растений

Таблица 3. Заселенность грибами корней и стеблей ячменя в различных регионах РФ спустя 7 лет после аварии на ЧАЭС (1993 г.)

Вид грибов	Активность грибов	
	Брянская обл.	Московская обл.
	Фитопатогены	
<i>Bipolaris sorokiniana</i> Shoem.	3	3
<i>Fusarium culmorum</i> (Sm.) Sacc.	2	3
<i>Fusarium nivale</i> Ces.	3	2
<i>Fusarium sporotrichiella</i> Bilai	3	2
<i>Fusarium oxysporum</i> (Schl.) Shyd.et Hans.	1	0
<i>Nigrospora oryzae</i> (Berk. & Broome) Petch.	2	0
<i>Microdochium bolleyi</i> (Sprag.)	2	1
<i>Rhizoctonia cerealis</i> van der Hoven	1	1
<i>Pythium</i> spp. Hesse	0	1
<i>Borytis cinerea</i> Fr.	1	0
	Сапрофиты	
<i>Alternaria alternata</i>	3	3
<i>Aspergillus mulifurena</i>	0	1
<i>Aureobasidium pullans</i>	1	2
<i>Bricoccus purpurances</i>	1	0
<i>Cladosporium herbarum</i>	3	3
<i>Penicillium</i> spp.	2	3
<i>Rhizopus nigricans</i>	3	2
<i>Mucor</i> sp.	2	2
<i>Ulocladium consortiala</i> J. Sac.	2	0
	Антагонисты	
<i>Acremontium alternatum</i>	1	1
<i>Penicillium chrysogenum</i>	1	1
<i>Gliocladium roseum</i>	1	2
<i>G. virens</i>	2	1
<i>G. album</i>	0	1
<i>Oospora pyalylnula</i>	0	1
<i>Trichoderma lignorum</i>	2	3

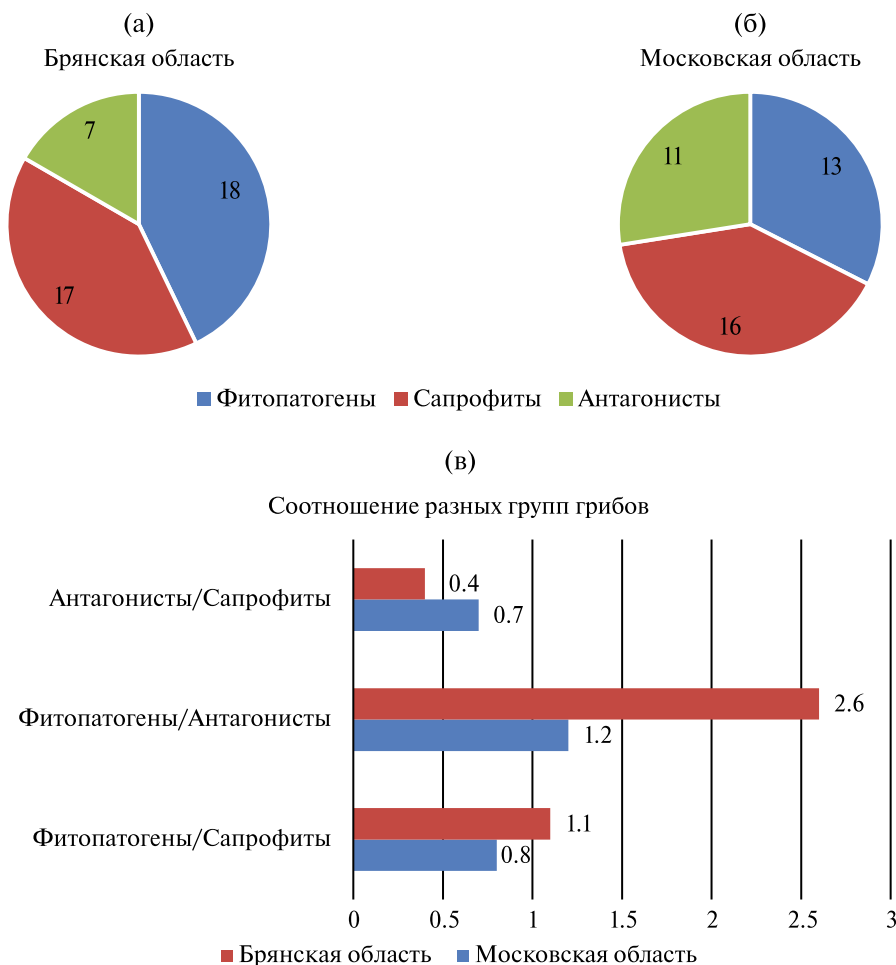


Рис. 1. Структура микоценоза на отчужденных полях Новозыбковского р-на Брянской обл. (а) и “чистых” полях Раменского р-на Московской обл. (б) и соотношение различных групп грибов (в).

и, как следствие, потере натуре зерна и особенно качества [19]. Кроме этого, среди сообщества грибов были обнаружены виды *Nigrospora oryzae* и *Ulocladium consortiale*. Фитопатогены, вызывающие прикорневые гнили ячменя (*Microdochium bollei* и *Rhizoctonia cerealis*), имели балл распространения, равный 2. Грибы *Fusarium sporotrichiella*, *F. nivale* и ряд других видов грибов из рода *Fusarium* относятся к общим патогенам для многих зерновых культур [20, 21], чем и объясняется в севооборотах с доминированием злаковых культур их широкое распространение на растениях ячменя, произрастающего в непосредственной близости с другими зерновыми культурами (озимой рожью, озимой пшеницей, овсом) на отчужденных территориях. Следует отметить, что на полях Московской обл. только для *Bipolaris sorokiniana* была отмечена сходная активность (3 балла) с отчужденными территориями Брянской обл. На “чистых” территориях Московской обл. вредоносная активность *F. nivale* и *F. sporotrichiella* была на 1 балл меньше, такая же тенденция отмечена для *Fusarium oxysporum*, *Microdochium*

bolleyi, *Borytis cinerea* и *Nigrospora oryzae*. Распространение грибов-антагонистов имело свои особенности в каждом из регионов наблюдения.

В целом в микоценозах на изученных постоянных площадках отчужденных территорий Новозыбковского р-на Брянской обл. было обнаружено 22 вида грибов, из них 9 – фитопатогенных, на долю которых приходилось 41%, тогда как на экспериментальных площадках Раменского р-на Московской обл. насчитывали 21 вид грибов с долей фитопатогенов 33% (7 видов фитопатогенов). Суммарная активность фитопатогенов на отчужденных радиоактивно загрязненных территориях Брянской обл. достигала 18 баллов, а на “чистых” территориях их активность была ниже – 13 баллов (рис. 1). Структура сапрофитных грибов оказалась очень близкой как по составу (8 и 7 видов в Брянской и Московской обл.), так и по суммарной активности (17 и 16 баллов соответственно), при этом в обеих областях обнаружены грибы с микотоксичными свойствами (*Cladosporium*

Таблица 4. Влияние метаболитов грибов из рода *Penicillium*, выделенных из стеблей ячменя, на показатели развития семян и проростков ячменя сорта Гонар

Вариант	Лабораторная всхожесть семян		Длина проростков	
	%	% к контролю	см	% к контролю
Контроль (семена замочены в воде)	82		12.7	
Семена замочены в суспензии спор грибов:				
<i>Penicillium expanseum</i>	40	48.8	4.0	31.5
<i>Penicillium cyclopium</i>	42	51.2	4.4	34.6
<i>Penicillium cyaneo-fulvum</i>	76	92.7	8.5	66.9
<i>Penicillium viridicatum</i>	82	100	10.6	83.5
HCP ₀₅	11		1.7	

Таблица 5. Влияние изолятов грибов микофлоры зерновых культур с отчужденных радиоактивно загрязненных территорий Новозыбковского р-на Брянской обл. на жизнеспособность одноклеточных организмов

Вид грибов	Время наступления гибели парameций, мин
<i>Fusarium graminearum</i>	4
<i>Gliocladium penicilloides</i>	4
<i>Acroconidiella tropaeoli</i>	5
<i>Fusarium oxysporum</i>	6
<i>Bipolaris specifera</i>	20
<i>Rhizoctonia solani</i>	20
<i>Epicoccum purpurascens</i>	27
<i>Mycellia sterilla</i>	30
<i>Pyrenophora teres</i>	30
<i>Sclerotinia sclerotiorum</i>	60
<i>Acremonium charticola</i> , <i>Aureobasidium pullulans</i> , <i>Botrytis cinerea</i> , <i>Coniothyrium zeae</i> , <i>Glocotinia tenulenta</i> , <i>Harria acremoides</i> , <i>Microdochium bolleyi</i> , <i>Nigrospora oryzae</i> , <i>Cospora hyalinula</i> , <i>Penicillium</i> sp., <i>Phoma</i> sp., <i>Rhynchosporium graminicola</i> , <i>Septoria nodorum</i> , <i>Trichoderma lignorum</i> , <i>Trichothecium roseum</i> , <i>Virgariella atra</i>	Парameции оставались живы в течение всего периода наблюдений (1 ч)

herbarum) с высокой активностью. Высокое распространение на ячмене на “чистых” полях Московской обл. имели формы видов сапрофитных грибов из рода *Penicillium*, которые заселяют растения бессимптомно и обладают отрицательным действием на прорастание семян. На загрязненных радионуклидами территориях Брянской обл. частота встречаемости пенициллов была меньше, что, вероятно, обусловлено приоритетной активностью фитопатогенных грибов (табл. 3, рис. 1а, б).

Напротив, в супесчаных почвах Новозыбковского р-на реже, чем в дерново-подзолистых, встречались грибы-антагонисты из родов *Trichoderma* и *Gliocladium*. Число видов грибов-антагонистов на техногенно загрязненных территориях было меньше на 40% (5 против 7), а общий балл активности снижен на 30%. Патогенные грибы проникают в растительные ткани, за ними – токсинообразующие сапрофитные грибы и антагонисты, что приводит к интенсивному патологическому процессу,

обусловленному активизацией агрессивных свойств эндогенно сохраняющихся грибов. Такой механизм характерен для возбудителей фузариозных и гелиминтоспориозных заболеваний, а также ризоктониоза и глеоспороза, которые обнаруживаются в проростках и симптомы заболеваний проявляются со второй половины вегетации растений.

Величина общей активности представителей всех групп микроскопических грибов в Брянской и Московской обл. была близкой и составляла 42 и 39 баллов соответственно (различия составили ≈8%). Соотношение Фитопатогены/Сапрофиты и, рассчитанное по вредоносной активности этих групп грибов, в Брянской обл. было на 37.5% больше, чем в Московской обл., а соотношение Фитопатогены/Антагонисты – в 2.2 раза больше (рис. 1в).

Выявлено, что метаболиты грибов из рода *Penicillium*, выделенные из стеблей ячменя, произрастающего на отчужденных территориях, при добавлении в среду для проращивания семян снижали их

всхожесть и показатели развития проростков. При замачивании семян ячменя в суспензии спор грибов *P. expansum* и *P. cyclopium* отмечено значимое (HSP_{05}) практически двукратное подавление лабораторной всхожести семян. В этих же вариантах снижение длины проростков составило 68.5 и 65.4% соответственно (HSP_{05}). Использование суспензии спор *P. cyanocephalum* вызывало подавление роста проростков на 33, *P. viridicatum* – всего на 16% (табл. 4).

Кроме того, скрининг изолятов 26 видов грибов, выделенных с зерновых культур, произрастающих на отчужденных радиоактивно загрязненных территориях, свидетельствовал о различном их влиянии на жизнеспособность одноклеточных организмов. Например, при добавлении в среду изолятов *Fusarium graminearum*, *Gliocladium penicilloides*, *Acroconidiella tropaeola* и *Fusarium oxysporum* гибель парameций (семейство парameции, род инфузории, вид инфузория-туфелька), наступала в течение 4–6 мин (табл. 5).

При добавлении в среду изолятов грибов видов *Bipolaris specifera*, *Rhizoctonia solani*, *Epicoccum purpurascens*, *Mycelia sterilia* и *Pyrenophora teres* наступление гибели парameций наступало в течение 20–30 мин, а при введении изолята *Sclerotinia sclerotiorum* – в течение 20–30 мин. При воздействии изолятов таких видов грибов как *Acremoniella charticola*, *Aureobasidium pullulans*, *Botrytis cinerea*, *Coniothyrium zeae*, *Glocotinia tenulenta*, *Harria acremoides*, *Microdochium bolleyi*, *Nigrospora oryzae*, *Cospora hyalinula*, *Penicillium* sp., *Phoma* sp., *Rhynchosporium graminicola*, *Septoria nodorum*, *Trichoderma lignorum*, *Trichothecium roseum*, *Virgariella atra* в течение 1 ч наблюдения гибели парameций не обнаружено.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Известно, что наиболее динамичные агробиоценозы одними из первых реагируют на изменения экологической ситуации. Вместе с тем в зонах техногенного радиоактивного загрязнения оснований для элиминации видов и быстрой смены видового состава микробиоты агробиоценозов нет, что связано с высокой устойчивостью микроскопических грибов к воздействию ионизирующих излучений [22–25]. С другой стороны, на фоне повышенного содержания в почвах радионуклидов и последующего отчуждения полей, сопровождающегося полным или частичным отказом от мероприятий по защите растений от вредных организмов, на этих территориях происходит сдвиг в структуре микробиоценозов и, как следствие, ухудшение фитосанитарной ситуации. На процессы сукцессии действуют абиотические факторы, прежде всего, влажно-температурный режим, что в значительной степени оказывает влияние на распространение и численность популяций вредных организмов, в частности, возбудителей болезней растений. Этим,

в том числе, могут быть обусловлены изменения численности специализированных видов, их активность или приуроченность к определенным фазам развития растений изменения.

Видовой состав микробиоты на выведенных из оборота полях СХПК “Комсомолец” Новозыбковского р-на Брянской обл. через 5 лет после аварии на ЧАЭС, как показано в исследовании [10], был представлен в основном патогенами-полифагами (*Fusarium culmorum*, *F. graminearum*, *F. moniliforme*, *F. nivale*, *F. oxysporum*, *F. solani*, *F. sporotrichiella*, *Pythium debarianum*, *Rhizoctonia cerealis*), патогенами ограниченной специализации (*Bipolaris sorokiniana*, *Gaeumannomyces graminis* (*Ophiobolis graminis*), *Typhula borealis*, *Microdochium bolleyi* (*Gloeosporium bolleyi*), *Drechslera teres* (*Helmintosporium teres*), *Rhynchosporium graminicola*, *Septoria avenae*, *Drechslera avenae*, *Claviceps purpurea*, *Erysiphe graminis* (*Blumeria graminis*), *Puccinia recondita*, *Puccinia anomala*, *Ustilago nuda*) и токсикогенными грибами, в основном из родов *Fusarium* и *Penicillium*. Фитопатогены из родов *Bipolaris*, *Fusarium*, *Rhizoctonia*, *Pythium*, *Microdochium* при изменении экологических условий могут преодолевать буферные барьеры биоценозов, тем более что дерново-подзолистые (супесчаные, легкие песчаные) почвы, преобладающие в Новозыбковском р-не Брянской обл., слабо заселены микромицетами-антагонистами [26, 27].

В рамках представленного исследования показано, что через 7 лет после аварии на Чернобыльской АЭС (плотность загрязнения $^{137}\text{Cs} \sim 1,8 \text{ МБк/м}^2$) эпифитная микробиота семян ячменя сорта Гонар на отчужденных территориях характеризовалась повышенной активностью грибов из рода *Fusarium* с доминированием *F. nivale* Ces. и гриба *F. sporotrichiella* Bilai. Микробиота семян ячменя на полях Раменского р-на Московской обл. отличалась от полученных в зоне отчуждения результатов не только по видовому составу грибов, но и по их агрессивным свойствам: отмечено отсутствие таких видов грибов как *Nigrospora oryzae* и *Ulocladium consortiala* и присутствие в консорциуме *F. sambucinum* Fuckel, отсутствующего на загрязненных ^{137}Cs и выведенных из хозяйственного оборота полях. В структуре внутрисеменной инфекции семян ячменя из зоны отчуждения также преобладали грибы из рода *Fusarium*. Следует отметить, что через 5 лет после аварии микологический анализ семян ячменя, полученных со стационаров в зоне отчуждения, свидетельствовал об их значительной колонизации грибом *Alternaria alternata* (86%) [10].

Исследованиями ряда авторов [28, 29] на примере штаммов *Purpureocillium lilacinum*, выделенных из почв Чернобыльской зоны с высокой плотностью загрязнения радионуклидами (до $0,6 \text{ МБк/м}^2$) и фоновых почв, свидетельствовали о высокой устойчивости грибов из Чернобыльской зоны к окислительному

стрессу по сравнению с контрольными, что связывают как с повышенным содержанием меланинов, так и изменением дыхательной активности, сопровождавшейся расходом дополнительных источников энергии, что подтверждено физиологическими и биохимическими исследованиями.

В нашем исследовании отмечено, что суспензии спор грибов *Penicillium expansum* и *P. cyclopium* вызвали достоверное снижение всхожести семян ячменя и морфофизиологических характеристик развития проростков. Проведенный скрининг изолятов 26 видов грибов по воздействию на жизнеспособность параметрий позволил составить их рейтинг (по убыванию): *Fusarium graminearum*, *Gliocladium penicilloides*, *Acroconidiella tropaeola* и *Fusarium oxysporum*; наименьшей – *Acremoniella charticola*, *Aureobasidium pullulans*, *Botrytis cinerea*, *Coniothyrium zaeae*, *Glocotinia tenulenta*, *Harria acremoides*, *Microdochium bolleyi*, *Nigrospora oryzae*, *Cospora hyalinula*, *Penicillium* sp., *Phoma* sp., *Rhynchosporium graminicola*, *Septoria nodorum*, *Trichoderma lignorum*, *Trichothecium roseum*, *Virgariella atra*.

Показано, что в условиях отсутствия планового ведения растениеводства по региональным технологиям и применения средств защиты растений от болезней в течение 7 лет после аварии происходил сдвиг в структуре присутствующих на корнях и стеблях ячменя сорта Гонар видов колонизирующих грибов в сторону фитопатогенов. При близком числе видов грибов на загрязненных радионуклидами в Брянской обл. и “чистых” полях Московской обл. (22 вида против и 21-го соответственно), число видов фитопатогенов на загрязненных территориях составило 9 (41% от общего числа видов), в Московской – 7 (33%). В условиях, когда заброшенные сельскохозяйственные угодья частично вовлекали в хозяйственное использование (выращивание многолетних злаковых трав на сено, зерновых культур и картофеля по упрощенным технологиям, в том числе, с целью изучения перехода радионуклидов из почвы в урожай), поддерживалось видовое разнообразие консорциума микроорганизмов разных групп специализации при высокой вероятности смены доминант. Наличие в фитоценозах злаковой сорной растительности повышало возможность распространения болезней, вызываемых патогенами-полифагами.

Суммарная величина активности фитопатогенов на отчужденных радиоактивно загрязненных территориях через 7 лет после аварии составила 18 баллов, на “чистых” – 13 (различия составляли 38.5%). Очень близкие результаты получены при сравнении активности региональных популяций грибов микоценоза зерновых культур через 5 лет [30] после аварии, характеризующиеся более высокой величиной активности на отчужденных территориях – 42 балла против 34 в Московской обл. (различия составляли 23.5%) [10].

Соотношение Фитопатогены/Сапрофиты, рассчитанное по суммарной активности разных групп грибов, в Брянской обл. через 7 лет после аварии было на 37.5% больше, чем в Московской обл., а по соотношению Фитопатогены/Антагонисты – в 2.2 раза больше. Можно предположить, что фитотоксичные виды грибов в условиях техногенного радиоактивного загрязнения почв обладают более высокими потенциальными возможностями по освоению экологической ниши в сравнении с другими видами и способны нанести вред культурным растениям [26]. При этом тенденция преобладания фитопатогенов над другими видами грибов на радиоактивно загрязненных территориях носит закономерный характер. Так, по частоте встречаемости через 5 лет после аварии на ячмене из отчужденных территорий соотношение Фитопатогены/Сапрофиты составило 2.1.

Следовательно, в сложившейся в Новозыбковском регионе Брянской обл. ситуации после аварии на Чернобыльской АЭС, на биогеоценозы действует целый ряд факторов, среди которых вычленили влияние только радиационного фактора достаточно сложно. Несмотря на то, что биоценозы отчужденных территорий относительно стабилизировались, их влияние на агроэкосистемы сопредельных полей невозможно прогнозировать без постоянного и детального изучения структуры микоценозов, встречаемости доминирующих видов и фитосанитарной обстановки в целом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Экологические последствия аварии на Чернобыльской АЭС и их преодоление: Двадцатилетний опыт МАГАТЭ, Вена: МАГАТЭ, 2008. STI/PUB1239. 199 с.
2. Дутов А.И., Пузанова Л.А. Формирование устойчивости сельскохозяйственного производства к радионуклидному загрязнению агроэкосистем (на примере аварии на Чернобыльской АЭС) // Инновации в АПК: пробл. и перспективы 2021. № 4. С. 129–135.
3. Соколов М.С., Дородных Ю.Л., Марченко А.И. Здоровая почва как необходимое условие жизни человека // Почвоведение. 2010. № 7. С. 858–866.
4. Филипас А.С., Ульяненко Л.Н. Действие ионизирующих излучений на агроценозы. Радиобиологические последствия острого и хронического облучения основных компонентов. Germany: Palmarium, Academic publishing, 2012. 65 с.
5. Ульяненко Л.Н., Удалова А.А. Оценка состояния окружающей среды по реакции сельскохозяйственных растений на действие ионизирующих излучений // Бюл. Нац. радиационно-эпидемиол. регистра “Радиация и риск”. 2015. Т. 24. № 1. С. 118–131.
6. Алексахин Р.М., Санжарова Н.И., Ульяненко Л.Н., Шубина О.А., Жигарева Т.Л. Рекомендации по организации земледелия на техногенно загрязненных сельскохозяйственных угодьях (загрязнение ра-

- дионуклидами и тяжелыми металлами). Обнинск: ВНИИСХРАЭ РАСХН, 2006. 66 с.
7. Симонов В.Ю., Ничипоров А.В. Фитосанитарный мониторинг состояния зерновых агробиоценозов Брянской обл. // Агроэкологические аспекты устойчивого развития АПК. Брянск, 2012. С. 169–172.
 8. Лой Н.Н., Шишко В.И. Оценка фитосанитарного состояния на отчужденных сельскохозяйственных угодьях Брянской обл. // Сб. докл. междунар. науч.-практ. конф. “Радиоэкологические последствия радиационных аварий”. К 35-й годовщине аварии на ЧАЭС. Обнинск, 2021. С. 199–202.
 9. Паренюк Е.Ю., Шаванова Е.Е., Ильенко В.В., Титова Л.В., Левчук С.Е., Гудков И.Н. Влияние почвенной микрофлоры на переход ¹³⁷Cs в растения // Радиацион. биол. Радиоэкол. 2015. Т. 55. № 1. С. 51–56.
 10. Filipas A., Oulianenko L., Alexakhin R., Pimenov E., Rudakov O., Mikhailova S. Phytopathological state of cereal crop stands on agricultural lands contaminated by radioactive substances following the accident at the Chernobyl NPP // Arch. Phytopathol. Plant Protect. 1997. V. 31. P. 133–140.
 11. Кречетников В.В., Титов И.Е., Шубина О.А., Прудников П.В. Оценка текущей радиоэкологической обстановки на сельскохозяйственных угодьях Новозыбковского района Брянской обл. // Вестн. Брянск. ГСХА. 2017. № 4 (62). С. 25–30.
 12. Билай В.И. Методы экспериментальной микологии. Киев: Наукова думка, 1982. 550 с.
 13. Билай В.И., Курбатская В.И. Определитель токсикообразующих микроорганизмов. Киев: Наукова думка, 1990. 236 с.
 14. Фитосанитарная экспертиза зерновых культур. (Болезни растений). Рекомендации. М.: Росинформгротех, 2002. 140 с.
 15. ГОСТ 12038-84 Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести. Методы анализа: Сб. ГОСТов. М.: Изд-во стандартов, 2004.
 16. Михалева С.Н., Ульяненко Л.Н., Глинушкин А.П. Фитосанитарное состояние почв на территориях, загрязненных радионуклидами ЧАЭС, и подходы к решению проблем, возникающих при их возврате в сельскохозяйственный оборот // Достиж. науки и техн. АПК. 2022. Т. 36. № 2. С. 37–41. https://doi.org/10.53859/02352451_2022_36_2_37
 17. Бudyнков Н.И., Михалева С.Н., Проскурин А.В. Динамика доминирующих факультативных паразитов грибной природы в полевых агроценозах с минимальной обработкой почвы в западной части Волгоградской обл. // Агрохимия. 2021. № 1. С. 62–69.
 18. Бudyнков Н.И., Михалева С.Н. Прогрессирующее накопление опасных фузариев на зерне озимой пшеницы в хозяйствах юга России (2014–2020 гг.) // Агрохимия. 2022. № 1. С. 66–77.
 19. Санин С.С., Жохова Т.П. Влияние болезней и средств защиты растений на качество зерна пшеницы // Защита и карантин раст. 2012. № 11. С. 16–19.
 20. Санина А.А., Назарова Л.Н., Мотовилин А.А., Пахолкова Е.В., Ибрагимов Т.З., Никифоров Е.В., Стрежекозин Ю.А., Карлова Л.В., Корнева Л.Г., Жохова Т.П., Полякова Т.М., Абрамова Т.А., Рулева О.М. Фитосанитарная экспертиза зернового поля и принятие решений по опрыскиванию пшеницы фунгицидами. Теория и практические рекомендации // Прилож. к журн. “Защита и карантин растений”. 2016. № 5. С. 54–88.
 21. Санин С.С., Сандухадзе Б.И., Мамедов Р.З., Карлова Л.В., Корнева Л.Г., Рулева О.М. Интенсификация производства зерна пшеницы, фитосанитария и защита в Центральном районе России // Агрохимия. 2020. № 10. С. 36–44.
 22. Лой Н.Н., Ульяненко Л.Н., Филипас А.С., Степанчикова Н.С. Заражение пшеницы уредоспорами стеблевой ржавчины, подверженными воздействию ионизирующих излучений, и устойчивость растений к патогену // Докл. РАСХН. 2010. № 3. С. 30–33.
 23. Белозерская Т.А., Егорова А.С., Геслер Н.Н., Рязанова Л.П., Кулаковская Т.В. Метаболические механизмы адаптации грибов-экстремофилов Чернобыльской зоны // Усп. мед. микол. 2014. Т. 12. С. 88–90.
 24. Геслер Н.Н., Егорова А.С., Белозерская Т.А. Меланиновые пигменты грибов в экстремальных условиях существования (обзор) // Прикл. биохим. и микробиол. 2014. Т. 50. № 2. С. 125.
 25. Jung K.W., Yang D.H., Kim M.K., Seo H.S., Lim S., Bahn Y.-S. Unraveling fungal radiation resistance regulatory networks through the genome-wide transcriptome and genetic analyses of *Cryptococcus neoformans* // mBio. 2016. V. 11. N. 6. e01483–16. <https://doi.org/10.1128/mBio.01483-16>.
 26. Торопова Е.Ю., Соколов М.С., Глинушкин А.П. Индукция супрессивности почвы – важнейший фактор лимитирования вредоносности корневых гнилей // Агрохимия. 2016. № 8. С. 44–55.
 27. Соколова Г.Д., Глинушкин А.П. Антагонисты фитопатогенного гриба *Fusarium graminearum* // Микол. и фитопатол. 2017. Т. 51. Вып. 4. С. 191–201.
 28. Егорова А.С., Геслер Н.Н., Рязанова Л.П., Кулаковская Т.В., Белозерская Т.А. Исследование механизмов стрессоустойчивости грибов-индикаторов высоких уровней радиоактивного загрязнения чернобыльской зоны // Микробиология. 2015. Т. 84. № 2. С. 184–191.
 29. Белозерская Т.А., Егорова А.С., Геслер Н.Н., Рязанова Л.П., Кулаковская Т.В. Метаболические механизмы адаптации грибов-экстремофилов Чернобыльской зоны // Усп. мед. микол. 2014. Т. 12. С. 88–90.
 30. Филипас А.С., Ульяненко Л.Н., Пименов Е.П., Алексехин Р.М., Титова К.Д., Рудаков О.Л., Михалева С.Н., Моисеенко Ф.В. Развитие болезней злаковых культур на радиоактивно загрязненных сельскохозяйственных угодьях // Докл. РАСХН. 1996. № 2. С. 3–5.

Structure Particularity of Spring Barley Mycocenoses and Properties of Mushrooms from Alienated Radioactively Contaminated Territories of the Novozybkovsky District of the Bryansk Region

S. N. Mikhaleva^{a, #}, L. N. Ulyanenko^a, N. I. Budynkov^a, A. P. Glinushkin^a

^aAll-Russian Research Institute of Phytopathology,

ul. Institut, poss. 5, Moscow region, Odintsovsky district, r.p. Bolshiye Vyazemy 143050, Russia

[#]E-mail: svetlanova-1985@mail.ru

The features of the structure of mycocenoses of spring barley Gonar in the alienated territories of the Novozybkovsky district of the Bryansk region, contaminated with radionuclides as a result of the Chernobyl accident, have been studied. The study was carried out in 1991–1998 (pollution density ^{137}Cs ~1.8 MBq/m²) using traditional field methods of observation and laboratory analyses to identify fungal species and determine their activity. 7 years after the accident, the epiphytic microbiota of barley seeds was characterized by increased activity of fungi from the genus *Fusarium* with the dominance of the causative agent of snow mold *F. nivale* Ces. (*Microdochium nivale*) and the mycotoxic fungus *F. sporotrichiella* Bilai. (sin. *F. sporotrichioides*). For comparison, at the same time, the microbiota of barley seeds in the fields of the Ramenskoye district of the Moscow region differed not only in the species composition of fungi, but also in their properties: the absence of such species of fungi as *Nigrospora oryzae* and *Ulocladium con-sortiala*, quite numerous in the Bryansk fields, and the presence of micro-roorganisms of the fungus *F. sambucinum* Fuckel, not found on polluted ^{137}Cs and fields removed from economic turnover. There is also a noticeable presence of fungi from the genus *Fusarium* in the structure of the intra-seed infection of barley. The properties of metabolites of fungi from the genus *Penicillium* were determined: suspensions of fungal spores *P. expansum* and *P. cyclopium* used for processing barley seeds caused depression – a significant decrease in seed germination and morphophysiological characteristics of the development of seedlings. Isolates of 26 species of fungi were screened for their effect on the survival of paramecia and their rating was compiled. It is shown that in the absence of planned management of crop production by regional technologies and the use of plant protection products against diseases for 7 years after the accident, there was a shift in the structure of fungal species present on the roots and stems of barley of the Gonar variety towards an increase in the proportion of phytopathogenic fungi. With a large number of micromycete species on barley plants on radionuclide-contaminated fields of the Bryansk region and “clean” lands of the Moscow region (22 species versus 21, respectively), 9 species of phytopathogens (41% of the total number of species) and 7 species (33%) were isolated in technogenic territories. At the same time, the total activity of phytopathogens in the alienated radioactively contaminated territories was 18 points, in the “clean” ones – 13. Ratio of Phytopathogens/Saprophytes, calculated by the total activity of these groups of fungi, in the Bryansk region was 37.5% more than in the Moscow region, and by the ratio of Phytopath-genes/Antagonists – 2.2 times more. At the same time, the tendency of phytopathogens to prevail over other types of fungi in radioactively contaminated areas was natural, which was confirmed by the results of earlier studies.

Keywords: mycocenosis, spring barley, radioactively contaminated territories, activity, phytopathogens.