

УДК 632.04.01/.08:633.11“321”(571.1)

Работа посвящена светлой памяти основателя Сибирской научной школы защиты растений, профессора, заслуженного деятеля науки РФ Валентины Андреевны Чулкиной

## ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ НИШИ ГРИБОВ РОДА *Fusarium* Link. НА РАСТЕНИЯХ РАЗНЫХ СОРТОВ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ В ЗАПАДНОЙ СИБИРИ<sup>1</sup>

© 2021 г. Е. Ю. Торопова<sup>1, 2,\*</sup>, И. Г. Воробьева<sup>3</sup>, В. В. Пискарев<sup>4</sup>, Р. И. Трунов<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Новосибирский государственный аграрный университет  
630039 Новосибирск, ул. Добролюбова, 160, Россия

<sup>2</sup> Всероссийский научно-исследовательский институт фитопатологии  
143050 Московская обл., Одинцовский р-н, р.п. Большие Вяземы, ул. Институтская, влад. 5, Россия

<sup>3</sup> Центральный сибирский ботанический сад СО РАН  
630090 Новосибирск, ул. Золотодолинская, 101, Россия

<sup>4</sup> Федеральный исследовательский центр Институт цитологии и генетики Сибирского отделения РАН 630090  
Новосибирск, просп. Академика Коптюга, 10, Россия

\*E-mail: 89139148962@yandex.ru

Поступила в редакцию 28.05.2021 г.

После доработки 16.06.2021 г.

Принята к публикации 12.07.2021 г.

Реализация почвенными фитопатогенами экологических ниш в подземных органах растений-хозяев – сложный процесс, определяющий видовой состав патогенных комплексов. Цель исследования состояла в определении динамики реализации экологических ниш фитопатогенами из рода *Fusarium* в системе подземных органов растений разных сортов яровой пшеницы. Исследование проводили на 20-ти сортах яровой пшеницы в 2019–2021 гг. в северной лесостепи Приобья по общепринятым и авторским методикам. Основными фитопатогенами были *Bipolaris sorokiniana* Sacc. Shom. и грибы рода *Fusarium* Link., встречаемость которых на подземных органах растений достигала 100%. Видовой состав фузариевых грибов был представлен 10 основными видами, биологическое разнообразие которых было максимальным в фазе цветения на вторичных корнях у 50% сортов. Доминирующим видом патогенного микоценоза корневых гнилей яровой пшеницы был *F. poae*, субдоминирующим видом – *F. oxysporum*, дополнительными видами – *F. sambucinum*, *F. equiseti*, *F. graminearum* и *F. solani*, редкими видами были *F. sporotrichioides*, *F. culmorum*, *F. heterosporum* и *F. acuminatum*. Сукцессия грибов рода *Fusarium* проявилась в приуроченности *F. equiseti* к основаниям стеблей на фазе всходов, *F. graminearum* и *F. sporotrichioides* – к корневой системе растений в фазе колошения–цветения, *F. solani* и *F. culmorum* – к концу вегетации безотносительно подземных органов растений. Максимальная (93.1%) степень перекрытия реализованных экологических ниш по частоте совместного паразитирования была выявлена у доминирующих видов *F. poae* и *F. oxysporum*. Более, чем в 2 раза, меньшее перекрытие ниш выявлено у доминирующих видов с *F. sambucinum* и *F. equiseti*, перекрытие ниш с *F. culmorum*, *F. graminearum*, *F. solani* составило 25.6–31.2%. Практически полное отсутствие перекрытия реализованных ниш у *F. equiseti* с *F. acuminatum*, *F. heterosporum* и *F. culmorum* было обусловлено временной дивергенцией, а также приуроченностью *F. equiseti* к основаниям стеблей растений.

**Ключевые слова:** корневая гниль, яровая пшеница, сорт, *Fusarium*, биологическое разнообразие, экологическая ниша, встречаемость.

**DOI:** 10.31857/S0002188121100161

### ВВЕДЕНИЕ

Большинство корне-клубневых фитопатогенов обитали в почве до начала земледелия. Пола-

гают, что под влиянием пестицидов в почвенных микоценозах со временем увеличивается доля токсиногенных видов и форм микробиоты [1–3].

Грибы рода *Fusarium* Link. являются постоянными обитателями почвы и вызывают распространенные и вредоносные болезни сельскохо-

<sup>1</sup> Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-016-00079.

зайственных и дикорастущих растений [4–6]. Среда обитания фузариевых грибов значительно изменилась в 21 веке из-за климатических вариаций и изменения агротехнологий [7–9]. Среди факторов, обеспечивающих доминирование фузариев в патокомплексе корневых гнилей во всем мире, следует отметить повышение контрастности и засушливости климата, минимизацию обработки почвы, ежегодную обработку семян сельскохозяйственных культур триазольными препаратами, засорение почвы семенами сорняков [10].

Паразитарная активность грибов рода *Fusarium*, локализация и размер их реализованных экологических ниш определяется активностью природных и антропогенных экологических факторов [5, 7]. Фундаментальные экологические ниши фузариевых фитопатогенов отличаются сложностью и многомерностью. С точки зрения реализуемого авторами в ряде работ системного подхода к анализу экологических ниш патогенных микромицетов, следует различать основные и дополнительные экологические ниши первого и второго порядков, функции и значение которых отличаются в сложном жизненном цикле фитопатогенных микромицетов [11, 12]. Закономерное изменение степени реализации фундаментальных экологических ниш фитопатогенами в пространстве и времени в ходе онтогенеза видов растений-хозяев отражается в неоднородности видового состава патогенных микоценозов и обусловлено сложностью межвидовых отношений в системе растение–фитопатоген–антагонисты почвы [11, 13].

Для анализа экологических ниш патогенных микромицетов была предложена эволюционно-экологическая классификация, согласно которой фундаментальные экологические ниши фитопатогенов можно разделить на ниши первого и второго порядков [11]. Разделение связано с локализацией в соответствующих местах обитания патогенных микромицетов в период осуществления ими тактик жизненного цикла: *P* – размножения, *B* – выживания и *T* – трофической активности. Ниши первого порядка – это ниши патогенных микромицетов в организме растений-хозяев, служащие для питания и воспроизводства, ниши второго порядка обеспечивают выживание (циркуляцию) вида во времени и пространстве. Для количественной оценки размера экологических ниш их делят на основные, определяющие массовую циркуляцию патогенных микромицетов в агро- и (или) природных экосистемах, а также дополнительные, которые реализуются только в благоприятных условиях и не имеют решающего значения для поддержания численности вида в

природе, однако часто имеют большое практическое значение в сезонной динамике видов [11, 13].

Фитопатогенные микромицеты рода *Fusarium* реализуют основные и дополнительные экологические ниши первого порядка в (на) органах растений в период вегетации, обеспечивая трофические и репродуктивные функции микромицетов в агро- и природных экосистемах.

Основной экологической нишей фитопатогенных грибов рода *Fusarium* являются подземные органы растений, дополнительной нишей, которую они реализуют при благоприятных гидротермических условиях, являются генеративные надземные органы. Заражение колоса может происходить по сосудам или воздушно-капельным путем [4, 14]. Интенсивность заражения колоса фитопатогенными фузариями определяется рядом абиотических и биотических факторов, среди которых существенную роль играют погодные условия, сортовые особенности культуры, фитосанитарное состояние почвы, конкуренция с другими фитопатогенами [15–17]. Несмотря на региональное разнообразие технологий возделывания и погодных условий вегетации, по многолетним данным, распространенность грибов рода *Fusarium* в Западной Сибири ежегодно превышает пороговые величины (10%) для большинства семенных партий яровой пшеницы [18].

При реализации фузариевыми грибами дополнительных экологических ниш в генеративных органах зерновых культур может развиваться микотоксикоз зерна, поскольку грибы *p. Fusarium* продуцируют ряд токсических соединений, крайне опасных для здоровья человека и животных [19–21].

С помощью покоящихся (склероции, хламидоспоры, покоящийся мицелий) и пропативных (макро- и микроконидии) структур фузариевые фитопатогены реализуют экологические ниши второго порядка для выживания популяций во времени и пространстве в агро- и (или) природных экосистемах. Микромицеты приспособлены к выживанию во времени в почве, на (в) растительных остатках и семенах [4, 14].

Уровень перекрытия реализованных экологических ниш отдельных видов рода *Fusarium* отражает их попарные межвидовые отношения и во многом определяет состав патогенного комплекса дискретного фитоценоза и даже сорта растения-хозяина [22].

Сортовые особенности сельскохозяйственных культур существенным образом влияют на реализацию экологических ниш почвенными фитопатогенными микромицетами [16, 23, 24]. Это воз-

действие обусловлено как непосредственным морфолого-биохимическим взаимодействием растений-хозяев с фитопатогенами, так и влиянием растений на биотические факторы эпифитотического процесса корневых гнилей [14]. К важнейшим биотическим активаторам инфицирования почвенными микромицетами подземных органов яровой пшеницы относят ее повреждение злаковыми мухами [25]. К депрессантам инфекции следует отнести высокую супрессивность почвы, особенно ризосферной, которая носит специфический и индуцируемый характер, в значительной мере определяя видовой состав патогенного микоценоза подземных органов яровой пшеницы [24].

Несмотря на исключительную актуальность и востребованность знаний о взаимодействии фузариев и растений, не установлена степень приуроченности экологических ниш отдельных видов грибов из рода *Fusarium* к сортам и органам растений, степень перекрытия реализованных ниш отдельных видов, сукцессионные закономерности видового состава фитопатогенов в онтогенезе растений. Цель работы – определение динамики реализации экологических ниш фитопатогенами из рода *Fusarium* в системе подземных органов растений разных сортов яровой пшеницы.

Задачи исследования: 1 – определить паразитическую активность почвенных патогенных микромицетов в системе подземных органов растений разных сортов яровой пшеницы в различных фазах вегетации, 2 – выявить представленность видов рода *Fusarium* в патогенных микоценозах органов, 3 – оценить степень перекрытия реализованных экологических ниш видов рода *Fusarium* по частоте совместной встречаемости на подземных органах растений разных сортов яровой пшеницы.

## МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование проводили в 2019–2021 гг. в северной лесостепи Приобья. Были высеяны сорта из коллекции яровой пшеницы ФИЦ Институт цитологии и генетики СО РАН (лаборатория генофонда растений), изученные в рамках бюджетного проекта ИЦиГ СО РАН № 0259-2021-0018. Изучали сорта из различных регионов: Новосибирская 15, Сибирская 17, Обская 2 (Новосибирская обл.), ЛТ-3 (Ленинградская обл.), Воронежская 18 (Воронежская обл.), Тулайковская надежда (Самарская обл.), Зауралочка (Курганская обл.), Long Fu 13 (Китай), Степная 53 (Казахстан), DL 803-2 (Индия), Maou 1 (Сирия), Remus (Германия), Manu (Финляндия), Quagna (Швей-

цария), Тома (Белоруссия), Evros (Греция), Calingiri (Австралия), NIL Thatcher Lr35 (Канада), M83-1541 (США), Karee (ЮАР). Площадь делянки под каждым сортом – 2 м<sup>2</sup> в трехкратной повторности, предшественник – пар, почва – выщелоченный чернозем.

Гидротермические условия вегетаций 2019, 2020 и 2021 гг. были довольно экстремальными и способствовали развитию фузариозно-гельмитоспориозной инфекции яровой пшеницы. Растения периодически испытывали гидротермические стрессы, поскольку периоды повышенного увлажнения сменялись острозасушливыми периодами. Растения подвергались повреждениям внутрискелетными вредителями – до 10 экономических порогов вредоносности (ЭПВ = 10% поврежденных стеблей) [24, 25].

Аналитические исследования проводили общепринятыми и авторскими методами, протоколы которых приведены в работе [26]. Для определения фитопатогенов использовали определители [27, 28]. Распределение фитопатогенов в группы по встречаемости было проведено по следующим критериям: доминирующий вид – максимальная частота встречаемости в образцах подземных органов растений пшеницы в течение всей вегетации; субдоминирующий вид – второй по встречаемости, выделен из всех органов во всех фазах вегетации; дополнительный вид – встречаемость в 2 и более раз меньше, чем у доминирующих видов, возможно отсутствие на одном из органов в одной из фаз учета; редкий (случайный) вид – характеризуется полным отсутствием на всех органах растения-хозяина в одной из фаз вегетации.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В период исследования паразитическая активность почвенных фитопатогенов была высокой в течение всей вегетации: порог вредоносности был превышен в период всходов до 2.8 раза (сорт Тулайковская надежда из Самарской обл.), в колосшение – до 5 раз (немецкий сорт Remus) и в зрелость – до 4 раз (австралийский сорт Calingiri). Этому способствовали как абиотические (гидротермические стрессы), так и биотические (повреждение внутрискелетными вредителями) стресс-факторы.

Подземные органы растений разных сортов яровой пшеницы являются для почвенных фитопатогенов основной экологической нишей, где они осуществляют все 3 экологические тактики – размножение, выживание и трофические связи. В период исследования таксономический состав

**Таблица 1.** Распространенность почвенных микромицетов на подземных органах растений разных сортов яровой пшеницы в различных фазах развития (2019–2021 гг.), %

Микромицет	Пределы изменения			Частота встречаемости		
	первичные корни	вторичные корни	основания растений	первичные корни	вторичные корни	основания растений
Всходы						
<i>Bipolaris sorokiniana</i>	16.1–43.3	–	0–50.0	100	–	88.9
<i>Alternaria</i> spp.	0–22.2	–	0–3.6	10.0	–	5.6
<i>Fusarium</i> spp.	50–83.9	–	50–100	100	–	100
Цветение						
<i>Bipolaris sorokiniana</i>	3.3–50.0	0–52.0	0–46.7	100	95.0	95.0
<i>Alternaria</i> spp.	0–15.0	0–5.0	0	30.0	5.0	0
<i>Fusarium</i> spp.	50–86.2	50–100	53.3–100	100	100	100
Спелость						
<i>Bipolaris sorokiniana</i>	5.0–55.0	6.0–41.0	0–48.0	100	100	90.0
<i>Alternaria</i> spp.	0–15.0	0–18.0	0–30.0	25.0	20.0	15.0
<i>Fusarium</i> spp.	44.0–95.0	59.0–90.0	30–100	100	100	100

патогенных микромицетов на подземных органах растений разных сортов в целом был типичным для зоны (табл. 1).

В течение всей вегетации основными фитопатогенами были *Bipolaris sorokiniana* Sacc. Shom. и грибы рода *Fusarium* Link., их встречаемость на подземных органах растений в течение вегетации была высокой, достигая 100%, при незначительной встречаемости грибов рода *Alternaria* Nees. *B. sorokiniana* был сильнее всего представлен в патогенных комплексах корневых гнилей финского сорта Ману (50 и 32.8% в среднем на органах), а также китайского сорта Long Fu 13 (34.3 и 35.3% в среднем на органах) в фазах всходов и спелости соответственно. В фазе цветения максимальная средняя на органах представленность *B. sorokiniana* в патогенных комплексах корневых гнилей была выявлена у канадского сорта Nil Thatcher Lr35 (30%), сорта Зауралочка из Курганской обл. (33.3%) и индийского сорта DL 803-2 (33.9%).

Грибы рода *Fusarium* были представлены в патогенных комплексах корневых гнилей подземных органов всех сортов на протяжении вегетации и на ряде сортов достигали 100%, являясь единственной таксономической группой фитопатогенов. Биологическое разнообразие фузариев значительно отличалось в зависимости от сорта (табл. 2).

Видовой состав фузариевых грибов был представлен 10 основными видами: *F. poae* (Peck.) Wollenw., комплексом видов *F. oxysporum* Schltdl., *F. solani* Koord., *F. equiseti* (Corda) Sacc., *F. sambucinum* Fuckel, *F. graminearum* Schwabe, *F. sporotrichioides*

*des* Sherb., *F. culmorum* Sacc., *F. heterosporum* Nees., *F. acuminatum* Ellis & Verh. Биологическое разнообразие грибов рода *Fusarium* изменялось в зависимости от сорта, органа и фазы развития растений-хозяев. Максимальное среднее биологическое разнообразие было отмечено в фазе цветения на вторичных корнях, 50% сортов имели на этих органах максимальное за вегетацию биологическое разнообразие фузариев. Самое низкое среднее за вегетацию разнообразие микромицетов рода *Fusarium* (2.9 вида) было выявлено на сорте яровой пшеницы Зауралочка из Курганской обл. Самое высокое среднее за вегетацию биологическое разнообразие грибов рода *Fusarium* (5 видов) было выявлено на американском сорте M83-1541.

Таким образом, особенности сорта влияли на биологическое разнообразие патогенного микозноза корневых гнилей. Дисперсионный анализ по схеме трехфакторного опыта показал, что сила влияния сорта на биологическое разнообразие фитопатогенов составила 21.1% и была достоверна на 5%-ном уровне. Влияние сорта на видовой состав фитопатогенов было во многом обусловлено специфической индукцией супрессивности ризосферной почвы, которая определяла вклад отдельных видов фузариев в патогенный комплекс [24].

Если рассмотреть динамику реализации экологических ниш отдельными видами микромицетов, то можно говорить о сукцессии фузариев в системе подземных органов растений разных сортов яровой пшеницы в течение вегетации

(табл. 3). Показано, что доминирующим (постоянным) видом патогенного микоценоза корневых гнилей яровой пшеницы был *F. poae*. Его экологическая ниша была успешно реализована во всех подземных органах разных сортов в течение всего вегетационного периода. Его средняя представленность в патогенных комплексах составила 37.5%, т.е. этот вид составлял более 1/3 патогенного микоценоза в целом. Частота встречаемости этого вида составила в зависимости от сорта 90–100%. Он относительно равномерно инфицировал все подземные органы с некоторой тенденцией к предпочтению оснований растений.

Субдоминирующим (субпостоянным) видом микоценоза следует признать *F. oxysporum*, средний вклад которого в патогенный комплекс корневых гнилей 20-ти сортов яровой пшеницы составил 18%. Экологическая ниша этого фитопатогена была успешно реализована во всех подземных органах сортов на протяжении всей вегетации. Встречаемость *F. oxysporum* в зависимости от сорта составила в фазе всходов 77.8–95.0%, в фазе цветения достигла 100%, не снижаясь до конца вегетации. Таким образом, можно предположить у этого вида некоторый рост конкурентной способности в течение вегетации.

К дополнительным видам патогенного микоценоза яровой пшеницы следует отнести *F. sambucinum*, *F. equiseti*, *F. graminearum* и *F. solani*. Эти виды входили в состав патогенных комплексов корневых гнилей сортов на протяжении всей вегетации, но их частоты встречаемости и представленность в патогенных комплексах были существенно меньше, чем *F. poae* и *F. oxysporum*. Например, средняя представленность *F. sambucinum* в патогенных комплексах корневых гнилей составила 5.9%, а встречаемость менялась в зависимости от органа и фазы развития от 20 до 80%, достигнув максимума на вторичных корнях в фазе цветения яровой пшеницы. Средняя представленность *F. equiseti* в патогенных комплексах корневых гнилей разных сортов составила 4.4%. Наиболее успешно этот вид реализовывал экологическую нишу в основаниях стеблей растений, где его вклад в патогенные комплексы был в 1.5–10 раз больше по сравнению с корневой системой. Встречаемость вида менялась в зависимости от органа и фазы развития от 10 до 72.2%, была больше в фазе всходов, снизившись к фазе спелости в 2.5 раза на всех органах. *F. graminearum* имел относительно небольшую среднюю представленность в патогенных комплексах корневых гнилей – 3.9%. Частота встречаемости этого основного возбудителя фузариоза колоса менялась в зависимости от органа и фазы развития от 15 до 60%

**Таблица 2.** Биологическое разнообразие грибов рода *Fusarium* на подземных органах растений разных сортов яровой пшеницы (2019–2020 гг.)

Сорт	Размах изменений числа видов	Средние для органов и фаз вегетации
Новосибирская 15	2–4	3.0
Сибирская 17	3–4	3.3
Обская 2	2–5	3.3
Remus	3–6	4.0
Nil Thatcer Lr35	3–7	4.5
Long Fu 13	2–6	4.1
Зауралочка	2–3	2.9
ЛТ-3	2–7	3.9
Тулайковская надежда	3–6	4.8
Manu	2–6	3.4
Quarna	3–6	4.3
Calingiri	2–5	3.5
Тома	2–5	3.3
Воронежская 18	2–7	4.8
Evros	2–6	3.8
DL 803-2	3–5	4.0
Степная 53	2–5	3.5
Mayon 1	3–6	4.9
M83-1541	3–7	5.0
Karee	4–5	4.1
<i>HCP</i> <sub>05</sub> частных средних	–	0.5

и была максимальной (в 2 раза больше) в фазе цветения–колошения, когда этот вид расширял экологическую нишу, инфицируя колос. Следует отметить полное отсутствие *F. graminearum* на подземных органах растений сибирских сортов (Новосибирская 15, Сибирская 17, Обская 2) в течение всей вегетации. Средняя представленность *F. solani* в патогенных комплексах корневых гнилей составила 1.4%, а встречаемость менялась в зависимости от органа и фазы развития от 0 до 45%, достигая максимума к концу вегетации. Этот фитопатоген полностью отсутствовал на влагищах прикорневых листьев всходов. Его можно считать пограничным между дополнительными и случайными видами патогенных микоценозов.

К редким или случайным видам фитопатогенного микоценоза следует отнести *F. sporotrichioides*, *F. culmorum*, *F. heterosporum* и *F. acuminatum*. Например, *F. sporotrichioides* был выделен из под-

**Таблица 3.** Средняя представленность видов рода *Fusarium* в патогенных комплексах корневых гнилей 20-ти сортов яровой пшеницы (2020 г.), %

Вид	Всходы		Цветение			Спелость		
	1	3	1	2	3	1	2	3
<i>F. poae</i>	42.0	59.0	30.0	27.0	40.0	31.0	29.0	42.0
<i>F. oxysporum</i>	9.0	9.3	16.0	20.0	23.0	25.0	29.0	13.0
<i>F. equiseti</i>	5.7	8.3	0.99	3.5	9.9	0.95	1.9	4.0
<i>F. sambucinum</i>	9.5	2.2	13.0	12.0	2.5	2.5	1.1	4.7
<i>F. graminearum</i>	1.2	3.0	8.4	9.3	4.2	2.1	2.1	0.75
<i>F. solani</i>	0.97	0	0.3	0.98	1.6	3.1	2.6	1.9
<i>F. sporotrichioides</i>	0	0	1.6	2.0	0.4	0.7	0.4	0.5
<i>F. culmorum</i>	0	0	0.4	0	0	4.7	5.2	4.1
<i>F. heterosporum</i>	0	0	2.0	0.3	0.3	0	0	0
<i>F. acuminatum</i>	0	0	0	0.4	0.5	0	0	0

Примечание. В графе 1 – первичные, 2 – вторичные корни, 3 – основание растения.

земных органов только начиная с фазы цветения, что подтверждало роль подземных органов растений как стартовой площадки для заражения колоса, где этот вид становился доминирующим на (в) семенах яровой пшеницы [15, 18]. На подземных органах он больше (в 3 раза) был приурочен к корневой системе, чем к основаниям стеблей растений. Частота его встречаемости менялась в зависимости от органа и фазы развития от 0 до 35%. Вид *F. culmorum* инфицировал подземные органы яровой пшеницы преимущественно в фазе спелости. Органы проростков, а также вторичные корни и основания стеблей в фазе цветения не содержали этого фитопатогена. В конце вегетации его встречаемость была значительной и составила 75% на первичных корнях, 65% – на вторичных и 55% – на основаниях стеблей. По-видимому, условия конца вегетации были наиболее благоприятными для *F. culmorum* и он, обладая высокой конкурентной способностью, смог вытеснить другие виды фитопатогенов из подземных органов растений большинства сортов яровой пшеницы в фазе спелости. Напротив, *F. heterosporum* и *F. acuminatum* были отмечены в патогенных комплексах корневых гнилей только в фазе цветения растений и их встречаемость была невелика.

Таким образом, степень реализации экологических ниш отдельными патогенными микромицетами из рода *Fusarium* значительно отличалась в зависимости от органа и фазы развития растений, проявляясь в сукцессии видов. Следует отметить

приуроченность *F. equiseti* к фазе всходов, особенно к основаниям стеблей, *F. graminearum* и *F. sporotrichioides* – к фазе цветения–колошения, особенно к корневой системе растений, *F. solani* и *F. culmorum* – к концу вегетации безотносительно подземных органов растений.

Сукцессия фузариев в подземных органах растений сортов яровой пшеницы обусловила разную степень перекрытия их реализованных экологических ниш. Оценка была сделана по частоте совместной встречаемости видов микромицетов из рода *Fusarium* в дискретных патогенных комплексах (табл. 4). Показано, что максимальная степень перекрытия реализованных экологических ниш в течение вегетации была выявлена у доминирующих видов *F. poae* и *F. oxysporum*. Более, чем в 2 раза, меньшее перекрытие ниш (в среднем 41.8%) выявлено у этих видов с *F. sambucinum* и *F. equiseti*. *F. poae* и *F. oxysporum* с частотой 25.6–31.2%. Они паразитировали в системе подземных органов растений-хозяев совместно с *F. culmorum*, *F. graminearum*, *F. solani*. Что касается попарного перекрытия экологических ниш дополнительных и редких видов, то следует отметить практически полное отсутствие перекрытия реализованных ниш у *F. equiseti* с *F. acuminatum*, *F. heterosporum* и *F. culmorum*, которые паразитировали на подземных органах яровой пшеницы в разные временные периоды, а также приуроченность *F. equiseti* к преимущественному паразитированию на основаниях стеблей растений. Обращает на себя вни-

**Таблица 4.** Перекрытие экологических ниш видов рода *Fusarium* в подземных органах растений разных сортов яровой пшеницы в зависимости от частоты совместной встречаемости, %

<i>F. poae</i>	1.2	1.2	25.6	13.1	31.2	45.0	40.6	25.6	93.1	–
<i>F. oxysporum</i>	1.2	1.2	25.0	13.1	30.0	42.5	38.8	25.0	–	–
<i>F. solani</i>	1.2	0	8.8	4.4	9.4	10.6	10.0	–	–	–
<i>F. equiseti</i>	0	0.6	0	5.0	14.4	15.0	–	–	–	–
<i>F. sambucinum</i>	0.6	0.6	8.8	7.5	17.5	–	–	–	–	–
<i>F. graminearum</i>	0.6	1.2	6.9	8.8	–	–	–	–	–	–
<i>F. sporotrichioides</i>	0.6	0	3.1	–	–	–	–	–	–	–
<i>F. culmorum</i>	0	0	–	–	–	–	–	–	–	–
<i>F. heterosporum</i>	0	–	–	–	–	–	–	–	–	–
<i>F. acuminatum</i>	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	<i>F. acuminatum</i>	<i>F. heterosporum</i>	<i>F. culmorum</i>	<i>F. sporotrichioides</i>	<i>F. graminearum</i>	<i>F. sambucinum</i>	<i>F. equiseti</i>	<i>F. solani</i>	<i>F. oxysporum</i>	<i>F. poae</i>

мание незначительное (в среднем 4.2%) перекрытие экологических ниш у *F. sporotrichioides* со всеми дополнительными и редкими видами фузариев. Это отражает ограниченные конкурентные способности *F. sporotrichioides* к другим видам рода, поскольку этот микромицет в значительной мере приурочен к генеративным органам яровой пшеницы в регионе Западной Сибири [15, 18].

Таким образом, реализация и перекрытие экологических ниш фитопатогенных микромицетов из рода *Fusarium* отражает их приуроченность к паразитированию на определенных органах растений в особые периоды вегетации. Кроме того, совместное паразитирование на одних и тех же органах растений может ограничивать и попарные конкурентные отношения между видами рода *Fusarium* [22].

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, была выявлена высокая паразитическая активность почвенных фитопатогенов с превышением порога вредоносности в фазе всходов до 2.8 раза, в колошение – до 5 раз, в зрелость – до 4 раз. Основными фитопатогенами были *Bipolaris sorokiniana* Sacc. Shom. и грибы рода *Fusarium* Link., встречаемость которых на подземных органах растений достигала 100%. Были выявлены существенные различия таксономического состава корневых гнилей у разных сортов яровой пшеницы. Видовой состав фузариевых

грибов был представлен 10 основными видами, биологическое разнообразие которых было максимальным (7 видов) в фазе цветения на вторичных корнях у 50% сортов. Среднее за вегетацию разнообразие микромицетов рода *Fusarium* различалось в зависимости от сорта в 1.7 раза. Доминирующим видом патогенного микоценоза корневых гнилей яровой пшеницы был *F. poae*, средняя представленность которого в патогенных комплексах составила 37.5%, а частота встречаемости в зависимости от сорта – 90–100%. Субдоминирующим видом патогенного микоценоза был *F. oxysporum*, средний вклад которого в патогенный комплекс корневых гнилей составил 18%, а встречаемость в фазе всходов – 77.8–95.0%, в фазах цветения и спелости – 100%. Дополнительными видами патогенного микоценоза яровой пшеницы были *F. sambucinum*, *F. equiseti*, *F. graminearum* и *F. solani*, их средний вклад в патогенные комплексы составлял 1.4–5.9%, встречаемость менялась в зависимости от органа и фазы развития от 0 до 80%. Редкими или случайными видами были *F. sporotrichioides*, *F. culmorum*, *F. heterosporum* и *F. acuminatum*.

Сукцессия фитопатогенных грибов в системе подземных органов яровой пшеницы проявилась в приуроченности *F. equiseti* к фазе всходов, особенно к основаниям стеблей, *F. graminearum* и *F. sporotrichioides* – к фазе цветения–колошения и к корневой системе растений, *F. solani* и *F. culmorum* – к концу вегетации безотносительно под-

земных органов растений. Максимальная степень перекрытия реализованных экологических ниш по частоте совместного паразитирования была выявлена у доминирующих видов *F. poae* и *F. oxysporum*. Более, чем в 2 раза, меньшее перекрытие ниш (в среднем 41.8%) выявлено у доминирующих видов *F. sambucinum* и *F. equiseti*. Виды *F. poae* и *F. oxysporum* с частотой 25.6–31.2% паразитировали в системе подземных органов растений-хозяев совместно с *F. culmorum*, *F. graminearum*, *F. solani*. Практически полное отсутствие перекрытия реализованных ниш у *F. equiseti* с *F. acuminatum*, *F. heterosporum* и *F. culmorum* было обусловлено паразитированием фитопатогенов на подземных органах яровой пшеницы в разные временные периоды, а также приуроченностью *F. equiseti* к основаниям стеблей растений.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Dixon G.R., Tilston E.L. Soil-borne pathogens and their interactions with the soil environment // Soil Microbiol. Sustain. Crop Product. 2010. P. 197–271.
- Sokolov M.S., Semenov A.M., Spiridonov Yu.Ya., Toropova E.Yu., Glinushkin A.P. Healthy Soil – condition for sustainability and development of the argo and socio spheres // Probl. Analyt. Rev. Biol. Bul. 2020. V. 47. № 1. P. 18–26. <https://doi.org/10.1134/S1062359020010148>
- Левитин М.М. Микроорганизмы в условиях глобального изменения климата // Сел.-хоз. биол. 2015. Т. 50. № 5. С. 641–647.
- Билай В.И. Фузариоз. Киев: Наукова думка, 1977. 443 с.
- Bernhoft A., Torp M., Clasen P.-E., Loes A.-K., Kristoferssen A.B. Influence of agronomic and climatic factors on *Fusarium* infestation and mycotoxin contamination of cereals in Norway // Food Addit. Contamin. 2012. Part A. P. 1–12.
- Торопова Е.Ю., Казакова О.А., Воробьева И.Г., Селюк М.П. Фузариозные корневые гнили зерновых культур в Западной Сибири и Зауралье // Защита и карантин раст. 2013. № 9. С. 23–26.
- Doohan F.M., Brennan J., Cooke B.M. Influence of climatic factors on *fusarium* species pathogenic to cereals // Europ. J. Plant Pathol. 2003. V. 109. № 7. P. 755–768.
- Magan N., Medina A., Aldred D. Possible climate-change effects on mycotoxin contamination of food crops pre and postharvest // Plant Pathol. 2011. V. 60. № 1. P. 150–63.
- Гагкаева Т.Ю., Гаврилова О.П., Левитин М.М. Биоразнообразие и ареалы основных токсинопродуцирующих грибов рода *Fusarium* // Биосфера. 2014. Т. 6. № 1. С. 36–45.
- Торопова Е.Ю., Селюк М.П., Казакова О.А. Факторы доминирования грибов рода *Fusarium* в патомикселе корневых гнилей зерновых культур // Агрохимия. 2018. № 5. с. 73–82.
- Vorobyeva I.G., and Toropova E.Yu. On the Issue of ecological niches of plant pathogens in Western Siberia // Contempor. Probl. Ecol. 2019. V. 12. № 6. P. 667–674. Pleiades Publishing, Ltd, 2019. <https://doi.org/10.1134/S1995425519060155>
- Чулкина В.А., Торопова Е.Ю., Воробьева И.Г., Ховалыг Н.А. Значение экологических ниш вредных организмов в агроэкосистемах // Защита и карантин раст. 2012. № 1. С. 14–17.
- Vorob'eva I., Toropova E. Fungi ecological niches of the genus *Fusarium* Link. // Inter. Conf. "Plant diversity: status, trends, conservation concept". 2020. BIO Web of Conferences 24. 00095 (2020) <https://doi.org/10.1051/bioconf/20202400095>.
- Торопова Е.Ю., Стецов Г.Я., Чулкина В.А. Эпифитиология / Под ред. Соколова М.С., Чулкиной В.А. Новосибирск, 2011. 711 с.
- Гагкаева Т.Ю., Гаврилова О.П., Левитин М.М. Фузариоз зерновых культур // Прилож. к журн. "Защита и карантин растений". 2011. № 5. С. 70–112.
- Аблова И.Б., Беспалова Л.А., Колесников Ф.А., Набоков Г.Д., Ковтуненко В.Я., Филобок В.А., Давоян Р.О., Худокормова Ж.Н., Мохова Л.М., Левченко Ю.Г., Тархов А.С. Принципы и методы селекции пшеницы на устойчивость к болезням в КНИИСХ им. П.П. Лукьяненко // Зерн. хоз-во России. 2016. № 5. С. 32–36.
- Манукян И.Р., Басиева М.А. Селекция озимой пшеницы на устойчивость к фузариозу колоса для условий предгорной зоны Северного Кавказа // Вестн. АПК Ставрополья. 2016. № 3(23). С. 194–196.
- Торопова Е.Ю., Воробьева И.Г., Мустафина М.А., Селюк М.П. Мониторинг грибов рода *Fusarium* Link. и их микотоксинов на зерне пшеницы в Западной Сибири // Агрохимия. 2019. № 5. С. 76–82.
- Hussein H.S., Brasel J.M. Toxicity, metabolism, and impact of mycotoxins on humans and animals // Toxicology. 2001. V. 167. № 2. P. 101–134.
- Мазыгула Е.Д., Харламова М.Д. Оценка токсичности и экологической опасности сырья и кормов, содержащих микотоксины // Вестн. Рос. ун-та дружбы народов. Сер. экология и безопасность жизнедеятельности. 2015. № 1. С. 50–56.
- Монастырский О.А. Микотоксины – глобальная проблема безопасности продуктов питания и кормов // Агрохимия. 2016. № 6. С. 67–71.
- Казакова О.А., Торопова Е.Ю., Воробьева И.Г. Взаимоотношения фитопатогенов семян ячменя в Западной Сибири // АПК России. 2016. Т. 23. № 5. С. 931–934.
- Торопова Е.Ю., Пискарев В.В., Сухомлинов В.Ю. Поиск сортов яровой пшеницы с групповой устойчивостью к фузариозно-гельминтоспориозным корневым гнилям // Агрохимия. 2019. № 11. С. 57–62. <https://doi.org/10.1134/S0002188119110139>
- Торопова Е.Ю., Воробьева И.Г., Кириченко А.А., Пискарев В.В., Трунов Р.И. Повышение эффективности отбора яровой пшеницы на устойчивость к почвенным инфекциям // Вестн. НГАУ. 2020.



- Т. 57. № 4. С. 46–55.  
<https://doi.org/10.31677/2072-6724-2020-57-4-46-55>
25. Торопова Е.Ю., Стецов Г.Я., Воробьева И.Г., Сухомлинов В.Ю. Взаимодействие консортов в агроценозах яровой пшеницы Западной Сибири // Достиж. науки и техн. АПК. 2020. Т. 34. № 9. С. 50–57.  
<https://doi.org/10.24411/0235-2451-2020-10900>
26. Чулкина В.А., Торопова Е.Ю., Стецов Г.Я., Кириченко А.А., Мармулева Е.Ю., Гришин В.М., Казакова О.А., Селюк М.П. Фитосанитарная диагностика агроэкосистем / Под ред. Тороповой Е.Ю. Барнаул, 2017. 210 с.
27. Gerlach W., Nirenberg H. The genus *Fusarium* - a pictorial atlas. Berlin–Dahlem: Mitt. Biol. Bundesanst. Land-Forstw., 1982. 406 p.
28. Шупилова Н.П., Иващенко В.Г. Систематика и диагностика грибов рода *Fusarium* на зерновых культурах. СПб., 2008. 84 с.

## Ecological Niches of Fungi of the Genus *Fusarium* Link. on Plants of Different Varieties of Spring Wheat in Western Siberia

E. Yu. Toropova<sup>a, b, #</sup>, I. G. Vorob'ova<sup>c</sup>, V. V. Piskarev<sup>d</sup>, and R. I. Trunov<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Novosibirsk State Agrarian University

ul. Dobrolyubova 160, Novosibirsk 630039, Russia

<sup>b</sup> Russian Federal Research Institute of Phytopathology

ul. Institut, vlad. 5, Moscow region, Odintsovo district, r.p. Bolshye Vyazemy 143050, Russia

<sup>c</sup> Central Siberian Botanical garden SB RAS

ul. Zolotodolinskaya 101, Novosibirsk 630090, Russia

<sup>d</sup> The Federal Research Center Institute of Cytology and Genetics the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences  
 prosp. Akademika Koptyuga 10, Novosibirsk 630090, Russia

<sup>#</sup> E-mail: 89139148962@yandex.ru

The ecological niches implementation by soil phytopathogens in the underground organs of host plants is a complex process that determines the species composition of pathogenic complexes. The purpose of the research was to determine the dynamics of the ecological niches implementation by phytopathogens from the genus *Fusarium* in the system of spring wheat varieties underground organs. The studies were carried out on 20 spring wheat varieties in 2019–2021 in the northern forest-steppe of the Ob region according to generally accepted and author's methods. The main phytopathogens were *Bipolaris sorokiniana* Sacc. Shom. and fungi of the genus *Fusarium* Link., the occurrence of which on underground plant organs reached 100%. The species composition of *Fusarium* fungi was represented by 10 main species, the biological diversity of which was maximal in the flowering phase on secondary roots in 50% of varieties. *F. poae* was the dominant in pathogenic mycocenosis of spring wheat root rot, *F. oxysporum* was a subdominant species, *F. sambucinum*, *F. equiseti*, *F. graminearum*, and *F. solani* were additional species; *F. sporotrichioides*, *F. culmorum*, *F. heterosporum* and *F. acuminatum* were rare species. The genus *Fusarium* fungi succession manifested itself in the confinement of *F. equiseti* to the stems bases at the germination phase, *F. graminearum* and *F. sporotrichioides* to the plants root system at the heading-flowering phase of varieties, *F. solani* and *F. culmorum* to the end of the growing season, regardless of plants underground organs. The maximum (93.1%) degree of the realized ecological niches overlapping in terms of the joint parasitism frequency was found in the dominant species *F. poae* and *F. oxysporum*. More than half less the niches overlapping was found in the dominant species with *F. sambucinum* and *F. equiseti*, the overlapping of the same niches with *F. culmorum*, *F. graminearum*, *F. solani* was 25.6–31.2%. The almost complete absence of the realized niches overlapping in *F. equiseti* with *F. acuminatum*, *F. heterosporum*, and *F. culmorum* was due to temporary divergence, as well as the confinement of *F. equiseti* to the bases of plant stems.

**Key words:** root rot, spring wheat, variety, *Fusarium*, biological diversity, ecological niche, occurrence.