

Перевод на английский язык <https://vavilov.elpub.ru/jour>

## Выявление разнообразия микромицетов рода *Fusarium* в агроэкосистемах равнинной части Северного Кавказа для пополнения Государственной коллекции фитопатогенных микроорганизмов ФГБНУ ВНИИФ

Н.С. Жемчужина<sup>1</sup>, М.И. Киселева<sup>1</sup>, Т.М. Коломиец<sup>1</sup> , И.Б. Аблова<sup>2</sup>, А.П. Глинушкин<sup>1</sup>, С.А. Елизарова<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Всероссийский научно-исследовательский институт фитопатологии (ВНИИФ), Московская область, Россия

<sup>2</sup> Национальный центр зерна им. П.П. Лукьяненко, Краснодар, Россия

 lomi1@yandex.ru

**Аннотация.** С целью предотвращения потерь урожая сельскохозяйственных культур от наиболее опасных и экономически значимых патогенных организмов нужно не только проводить контроль генофонда вирулентности, но и изучать характер изменчивости патогенов, определять потенциальную возможность появления новых генов и рас. Для этого необходимы централизованные коллекции живых культур, характеризующиеся набором стабильных штаммов для обеспечения фитопатологических, иммунологических, селекционных, генетических, токсикологических, паразитологических и других исследований. Государственная коллекция фитопатогенных микроорганизмов Всероссийского научно-исследовательского института фитопатологии – государственный депозитарий фитопатогенных микроорганизмов, непатогенных для человека и сельскохозяйственных животных. В настоящее время она насчитывает более 4500 единиц хранения патогенных для растений штаммов – грибов, оомицетов, бактерий, вирусов, фитоплазм – и ежегодно пополняется. С этой целью было проведено изучение межвидового и внутривидового генетического разнообразия фузариевых грибов в агроэкосистемах Краснодарского края. В 2020 г. Государственная коллекция фитопатогенных микроорганизмов была пополнена штаммами 13 видов грибов рода *Fusarium*, выделенными из тканей растений озимой пшеницы из нескольких районов Краснодарского края. В комплексе фузариевых грибов озимой пшеницы наиболее часто выявляли *Fusarium oxysporum*, *F. culmorum*, *F. lolii*, *F. graminearum*, *F. fujikuroi*, *F. sporotrichioides* и др. Отмечено влияние предшественника озимой пшеницы на частоту выделяемых видов грибов рода *Fusarium*. После серии моноконидиальных клонирований изолятов в коллекцию был отобран 21 штамм грибов разных видов со стабильными морфолого-культуральными признаками и известными патогенными и фитотоксичными свойствами. Патогенная активность у грибов как между видами *Fusarium*, так и в пределах одного вида существенно различалась: от отсутствия признаков влияния спорных суспензий на развитие проростков до полного их угнетения. Фитотоксическая активность в отношении проростков пшеницы варьировала от средней до высокой. Наибольшую опасность для проростков пшеницы представляют виды, обладающие высокой интенсивностью проявления фитотоксической активности, так как они способствуют накоплению опасных фитотоксинов в тканях растений.

Ключевые слова: коллекции микроорганизмов; микромицеты; генетическое разнообразие; озимая пшеница; фитопатогены; *Fusarium*.

**Для цитирования:** Жемчужина Н.С., Киселева М.И., Коломиец Т.М., Аблова И.Б., Глинушкин А.П., Елизарова С.А. Выявление разнообразия микромицетов рода *Fusarium* в агроэкосистемах равнинной части Северного Кавказа для пополнения Государственной коллекции фитопатогенных микроорганизмов ФГБНУ ВНИИФ. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2021;25(8):874-881. DOI 10.18699/VJ21.101

## Revealing the diversity of *Fusarium* micromycetes in agroecosystems of the North Caucasus plains for replenishing the State Collection of Phytopathogenic Microorganisms of the All-Russian Scientific Research Institute of a Phytopathology

N.S. Zhemchuzhina<sup>1</sup>, M.I. Kiseleva<sup>1</sup>, T.M. Kolomiets<sup>1</sup> , I.B. Ablova<sup>2</sup>, A.P. Glinushkin<sup>1</sup>, S.A. Elizarova<sup>1</sup>

<sup>1</sup> All-Russian Scientific Research Institute of a Phytopathology (ARS RIP), Moscow region, Russia

<sup>2</sup> National Center of Grain named after P.P. Lukyanenko, Krasnodar, Russia

 lomi1@yandex.ru

**Abstract.** In order to prevent crop yield losses from the most dangerous and economically important pathogenic organisms, it is necessary not only to monitor the virulence gene pool, but also to study the nature of pathogen variability and determine the potential for the emergence of new genes and races. This requires centralized collections

of fungal cultures characterized by a set of stable strains to provide for phytopathological, immunological, breeding, genetic, toxicological, parasitological and other studies. The State Collection of Phytopathogenic Microorganisms of the ARSRIP is the State Depository of Phytopathogenic microorganisms that are non-pathogenic to humans or farmed animals. Currently, it has more than 4,500 accessions of plant pathogenic strains of fungi, oomycetes, bacteria, viruses, phytoplasmas, and the collection is updated annually. For this purpose, the study of the inter- and intraspecific genetic diversity of genus *Fusarium* was carried out in agricultural systems of the Krasnodar Territory. In 2020, the State Collection of Phytopathogenic Microorganisms was supplemented with 13 strains of *Fusarium* fungi isolated from tissues of winter wheat plants collected in several locations of the Krasnodar region. The complex of *Fusarium* fungi revealed on winter wheat usually included *Fusarium oxysporum*, *F. culmorum*, *F. lolii*, *F. graminearum*, *F. fujikuroi*, *F. sporotrichioides*, etc. The effect of the preceding crop on the frequency of *Fusarium* species isolated from winter wheat was observed. After series cloning of collected isolates, 21 strains of different fungal species characterized by stable morphology traits and known pathogenic and phytotoxic properties were selected for collection replenishment. Significant differences in pathogenic activity were revealed between fungi belonging to either the same or different species; the manifestation of this activity varied from the absence of any effect of spore suspensions on seedling development to a complete inhibition of their growth. The phytotoxic activity towards wheat seedlings varied from medium to high. Species possessing a high intensity of phytotoxic activities are the most dangerous for wheat, since they promote accumulation of dangerous phytotoxins in plant tissues.

Key words: microorganism collections; micromycetes; genetic diversity; winter wheat; plant pathogens; *Fusarium*.

**For citation:** Zhemchuzhina N.S., Kiseleva M.I., Kolomiets T.M., Ablova I.B., Glinushkin A.P., Elizarova S.A. Revealing the diversity of *Fusarium* micromycetes in agroecosystems of the North Caucasus plains for replenishing the State Collection of Phytopathogenic Microorganisms of the All-Russian Scientific Research Institute of a Phytopathology. *Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Seleksii = Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2021;25(8):874-881. DOI 10.18699/VJ21.101

## Введение

Для успешного решения задач по продовольственной безопасности страны необходимо создание устойчивых к особо опасным болезням сортов. С целью предотвращения потерь урожая сельскохозяйственных культур от наиболее опасных и экономически значимых патогенных организмов необходимо не только проводить контроль генофонда вирулентности, но и изучать характер изменчивости патогенов, определять потенциальную вероятность появления новых генов и рас, возможно, опасных, в разных популяциях. Для этого необходимы централизованные коллекции живых культур, отличающиеся набором стабильных свойств для обеспечения фитопатологических, иммунологических, селекционных, генетических, токсикологических, паразитологических и других исследований. Подобные коллекции фитопатогенных организмов созданы и успешно функционируют в большинстве развитых стран мира.

Государственная коллекция фитопатогенных микроорганизмов Всероссийского научно-исследовательского института фитопатологии (ВНИИФ) представляет собой основной генофонд рас, биотипов, патотипов фитопатогенных грибов, бактерий и вирусов, распространенных на обширной территории Российской Федерации. Подобный генофонд в России создан впервые, до недавнего времени в различных учреждениях и подразделениях института существовали лишь разрозненные рабочие коллекции отдельных видов фитопатогенных микроорганизмов. Коллекции фитопатогенных микроорганизмов ВНИИФ постановлением Правительства РФ «О мерах по сохранению и рациональному использованию коллекций микроорганизмов» от 24.06.1996. № 725-47с присвоено название «Государственная коллекция фитопатогенных микроорганизмов и сортов-идентификаторов (дифференциаторов) патогенных штаммов микроорганизмов» и определен статус Государственного депозитария фитопатогенных микроорганизмов, непатогенных для человека и сельскохозяйственных животных. В настоящее время она на-

считывает более 4500 единиц хранения патогенных для растений штаммов – грибов, оомицетов, бактерий, вирусов, фитоплазм – и ежегодно пополняется. Для этой цели проведено изучение межвидового и внутривидового разнообразия фузариозных грибов в агроэкосистемах Краснодарского края.

Согласно данным литературы, факультативные паразиты из рода *Fusarium* часто отмечаются на озимой пшенице. Эти микромицеты хорошо адаптированы к меняющимся внешним факторам окружающей среды, что обеспечивает их выживание в широком диапазоне погодных условий, а потому они распространены практически повсюду, где культивируется озимая пшеница (Рукавицина, 2008; Чулкина и др., 2009; Торопова и др., 2013). Мониторинг структуры и локализации популяций грибов рода *Fusarium* в экосистемах пшеницы имеет важное практическое значение не только для селекции болезнеустойчивых сортов, но и для повышения эффективности защитных мероприятий, улучшения экологической обстановки на посевах сельскохозяйственных культур.

В последние десятилетия в южных регионах России, где широко возделывается озимая пшеница, отмечается нарастание заболеваний, вызываемых грибами рода *Fusarium* (Жалиева, 2010). Известно, что на пшенице паразитируют 28 видов грибов этого рода. На Северном Кавказе преобладают виды *Fusarium graminearum*, *F. poae*, *F. sporotrichioides*, *F. tricinctum*, *F. nivale*. Как правило, они проявляются как возбудители обыкновенной корневой гнили, вызывая ослабление и гибель всходов, снижая потенциал продуктивности пораженных взрослых растений.

В отдельные годы широкое распространение получает фузариоз колоса и зерна, нанося существенный ущерб зернопроизводству. На вегетативных и генеративных органах растений, в зависимости от условий погоды, устойчивости выращиваемых сортов, предшественников пшеницы, агротехники и многих других факторов, видовой состав грибов может быть неоднозначным (Чулкина и др., 2009; Жалиева, 2010).

Оценка разнообразия морфологических признаков грибов *Fusarium* spp., выявление амплитуды их изменчивости, в том числе по уровню патогенности и фитотоксичности, имеет значение для отбора и пополнения коллекции штаммами микромицетов (Booth, 1971; Thrane et al., 2004; Коломиец и др., 2018).

Необходимость сохранения материала штаммов и изолятов *Fusarium* spp. и постоянного отбора образцов для пополнения коллекции объясняется актуальностью проведения научных исследований по разработке методов биологической защиты, для изучения динамики развития и расселения грибов, оценки их патогенной и токсичной активности на растениях-хозяевах. Коллекционный материал нужен также при оценке и отборе образцов пшеницы для селекции на устойчивость к болезни и т. п. (Дубовой и др., 2016; Жемчужина, Elizarova, 2019).

В связи с этим основные задачи при создании коллекции уникальных изолятов *Fusarium* spp. – не только сохранение жизнеспособности спор и их генетической стабильности по морфолого-культуральным признакам в течение длительного времени, но и пополнение фондов новыми изолятами с различным спектром патогенных свойств, а также расширение круга географических территорий отбора изолятов (Гагкаева, Левитин, 2005; Гагкаева и др., 2008).

Для выполнения этих задач образцы зараженных растений, поступающие ежегодно из различных районов страны, подвергаются микологическим исследованиям, и на основании данных анализа материала проводится отбор наиболее патогенных и фитотоксичных образцов в коллекцию. Штаммы и изоляты из рода *Fusarium* занимают важное место в коллекции, которая служит для поддержания штаммов указанных микроорганизмов в жизнеспособном состоянии, сохранения их патогенных свойств и обеспечения инфекционным материалом исследований фитопатологического, иммунологического, селекционного, генетического и токсикологического плана (Kolomiets, Zhemchuzhina, 2018).

Цель наших исследований состояла в оценке видовой и внутривидового разнообразия микромицетов рода *Fusarium* в посевах пшеницы в агроэкосистемах Краснодарского края для отбора и пополнения в 2020 г. Государственной коллекции фитопатогенных микроорганизмов (ГКФМ) штаммами и изолятами грибов, выделенных с корней и листьев нижнего яруса вегетирующих растений озимой пшеницы в нескольких районах Краснодарского края.

## Материалы и методы

Материалом для исследований служили растения районированных сортов озимой пшеницы с признаками поражения грибными инфекциями на листьях и корнях. Образцы были отобраны во второй декаде мая 2019 г. на посевах озимой пшеницы по разным предшественникам в Павловском, Кореновском, Усть-Лабинском, Каневском и Приморско-Ахтарском районах Краснодарского края. Образцы содержали по 10–20 растений пшеницы, находящихся в фазе колошения–зернообразования. Все работы выполнены с использованием оборудования ЦКП ГКФМ ФГБНУ ВНИИФ (<http://www.vniif.ru/vniif/page/skr-gkmf/1373>).

Выделение грибов из пораженных растений проводили с использованием 2 % голодного, картофельно-глюкозного и картофельно-морковного агара. Грибы из образцов пшеницы изолировали по стандартной методике (Билай, 1977; Билай, Элланская, 1982). Для этого отмытые водопроводной водой больные растения каждого образца разрезали на фрагменты размером 5–10 мм, стерилизовали в 50 % спирте в течение 20–30 с и в асептических условиях раскладывали на поверхность 2 % картофельно-глюкозного агара в чашки Петри (по 4–6 фрагментов в каждую). Каждый образец был представлен не менее чем 150–200 фрагментами пораженной ткани. Чашки Петри помещали в термостат с температурой 22–24 °С.

Наблюдение за развитием грибов проводили ежедневно. По мере роста колоний грибов делали отсев кусочком мицелия на питательную среду в центр чашки Петри. Чистые культуры грибов просматривали под микроскопом. Виды грибов рода *Fusarium* определяли по основным морфологическим признакам колоний и спор: скорости роста, окраске мицелия и его структуре, пигментации; форме, размерам апикальной и базальной клеток макроконидий, наличию микроконидий. Для оценки размера макроконидий брали средний показатель микрокопирования 300 конидий. В качестве справочной литературы при установлении видовой принадлежности гриба использовали определители (Gerlach, Nirenberg, 1982; Leslie, Summerell, 2006; Dictionary..., 2008; Watanabe, 2010).

Оценку степени споруляции проводили на 14-дневных колониях гриба. При этом результаты споруляции определяли по среднему значению количества спор на чашку при смыве с 10 чашек Петри одного морфотипа. Спорующую способность колоний гриба определяли по стандартной методике путем подсчета спор в камере Горяева (Билай, 1977).

Для отбора в коллекцию штаммов грибов рода *Fusarium*, стабильных по морфолого-культуральным признакам, по общепринятой методике проводили серию моноспоровых клонирований изолятов микромицетов (Билай, 1977; Билай, Элланская, 1982).

Изоляты грибов, выделенные из пораженных образцов пшеницы, помещали на хранение в холодильник при температуре 7–10 °С в биологических пробирках на косяках питательной среды – картофельно-глюкозном агаре (Билай, Элланская, 1982).

Патогенные и токсичные свойства штаммов изучали с помощью метода биопробы на семенах. Патогенность споровых суспензий и фитотоксичность фильтратов культуральных жидкостей (ФКЖ) грибов рода *Fusarium* тестировали на семенах пшеницы (сорт Мироновская 808). О степени патогенности и токсичности штаммов судили по влиянию суспензий конидий и ФКЖ на всхожесть семян пшеницы, развитие ростка и первичных корней проростков. Однако основным показателем считали длину корней.

Определение степени патогенности и токсичности проводили на пятые сутки от начала проращивания семян. Если длина проростков и корней (в мм) в опытном варианте составляла 0–30 % от длины контроля, то это свидетельствовало о сильной патогенной (П) и сильной токсичной (Т) активности гриба; 31–50 % – умеренной пато-

генности (УП) и умеренной токсичности (УТ); 51–70 % – слабой патогенности (СП) и слабой токсичности (СТ); 71–100 % – о непатогенных (НП) и нетоксичных (НТ) свойствах изолята. Длину ростков и первичных корней семян, пророщенных в воде, считали контролем и принимали за 100 %.

## Результаты и обсуждение

При проведении микологических исследований опытных образцов отмечено, что грибы рода *Fusarium* имели одни и те же симптомы на органах растений, но отмытые и фламбированные над огнем кусочки тканей разных органов, разложенные во влажные камеры, на третьи-пятые сутки образовывали характерный мицелий и конидии, что позволяло идентифицировать вид микромицета. Изучение в культуре основных микро- и макроморфологических признаков грибов по наличию, форме и размерам макро- и микроконидий (при наличии), скорости роста колонии, окраске и структуре мицелия, проведенное более чем на 400 изолятах грибов, позволило определить следующие 13 видов рода *Fusarium*: *F. oxysporum* Schlecht., *F. culmorum* (Sm.) Sacc., *F. lolii* (Wm. G. Sm.) Sacc., *F. graminearum* Schwabe, *F. moniliforme* J. Sheld. (син. *F. fujikuroi* Nirenberg), *F. sporotrichioides* Swerb., *F. avenaceum* (Fr.) Sacc., *F. poae* (Peck) Wollenw., *F. sambucinum* Fuckel. (син. *F. roseum* Link), *F. acuminatum* Ellis & Everh., *F. equiseti* (Corda) Sacc. (син. *F. gibbosum* Appel & Wollenw.), *F. chlamydosporum* Wollenw. & Reinking, *F. solani* (Mart.) Sacc. (табл. 1).

В комплексе фузариевых грибов озимой пшеницы в Краснодарском крае в 2019 г. наиболее часто (20.1 %) выделяли *F. oxysporum* (Schlecht.) Snyd. et Hans. Гриб отмечен на посевах озимой пшеницы в Усть-Лабинском, Павлов-

ском, Кореновском, Приморско-Ахтарском районах. Несомненно, культура, предшествующая озимой пшенице, оказывала влияние на частоту встречаемости *F. oxysporum*. Так, доля изолятов гриба составила по предшественникам: пшеница – 7.2 %, подсолнечник – 5.5, горох – 4.2, кукуруза – 1.2 %. Часто в чистой культуре вместе с этим видом гриба отмечались *F. avenaceum*, *F. acuminatum*, *F. sambucinum*, а также *Alternaria* spp., бактерии и др.

Второе место по частоте встречаемости занимал *F. culmorum* (Sm.) Sacc. Изоляты гриба были получены с образцов пораженных корней и прикорневой части стебля озимой пшеницы практически во всех обследуемых районах. Доля этого возбудителя в комплексе грибов рода *Fusarium* составила 18.2 %. Наиболее часто *F. culmorum* находили в образцах озимой пшеницы, предшественниками которой являлись пшеница, подсолнечник и горох.

*F. lolii* (Wm. G. Sm.) Sacc. (телеоморфа *Gibberella cyanea* (Sollm.) Wt., син. *F. heterosporum* Nees.), как правило, выделяли с сильно пораженных гнилью и усохших корней озимой пшеницы, предшественниками которой были пшеница (6.2 %) и подсолнечник (3.5 %).

*F. graminearum* Schwabe (телеоморфа *G. zeae* (Schwein.) Petch.) был обнаружен на корнях и прикорневых стеблях озимой пшеницы в большинстве районов сбора инфекционного материала, причем гриб выделяли чаще, если предшественниками служили пшеница и кукуруза (5.1 и 5 % соответственно).

*F. moniliforme* J. Sheld. (телеоморфа *G. moniliformis* Wippland; син. *F. fujikuroi* Nirenberg) – возбудитель розовой плесени и корневой гнили зерновых, обнаружен на листьях, стеблях и корнях озимой пшеницы в Приморско-Ахтарском, Павловском и Каневском районах. Более часто

**Таблица 1.** Виды рода *Fusarium*, обнаруженные на посевах озимой пшеницы в Краснодарском крае, 2019 г. (в %)

| Вид гриба                                     | Предшественник |      |              |          |       | Частота встречаемости видов |
|---|----------------|------|--------------|----------|-------|-----------------------------|
|   | пшеница        | пар  | подсолнечник | кукуруза | горох |                             |
| <i>F. acuminatum</i>                          | 1.2            | 0.9  | 0.7          | 0        | 0     | 2.8                         |
| <i>F. avenaceum</i>                           | 1.2            | 0    | 0.7          | 1.2      | 0.9   | 3.9                         |
| <i>F. chlamydosporum</i>                      | 0.7            | 0    | 0.5          | 0        | 0     | 1.2                         |
| <i>F. culmorum</i>                            | 5.8            | 1.2  | 5.3          | 2.8      | 3.5   | 18.2                        |
| <i>F. equiseti</i> ( <i>F. gibbosum</i> )     | 0              | 0    | 1.2          | 0.7      | 0     | 1.8                         |
| <i>F. graminearum</i>                         | 5.5            | 1.2  | 0.5          | 5.1      | 0     | 12.0                        |
| <i>F. lolii</i>                               | 6.2            | 2.8  | 3.5          | 2.8      | 0     | 15.8                        |
| <i>F. moniliforme</i> ( <i>F. fujikuroi</i> ) | 2.1            | 1.2  | 2.3          | 4.2      | 0     | 9.7                         |
| <i>F. oxysporum</i>                           | 7.2            | 1.2  | 5.5          | 2.3      | 4.2   | 20.1                        |
| <i>F. poae</i>                                | 1.2            | 0.7  | 0.7          | 0        | 1.2   | 3.6                         |
| <i>F. sambucinum</i> ( <i>F. roseum</i> )     | 1.2            | 0.5  | 1.2          | 0.5      | 0     | 3.2                         |
| <i>F. solani</i>                              | 0              | 0    | 0.2          | 0        | 0.7   | 0.9                         |
| <i>F. sporotrichioides</i>                    | 1.8            | 1.8  | 0.9          | 2.5      | 0     | 7.1                         |
| Кол-во изолятов, %                            | 33.9           | 11.3 | 22.6         | 21.7     | 10.4  | 100                         |
| Кол-во изолятов, ед.                          | 147            | 49   | 98           | 94       | 45    | 433                         |

гриб выделяли с пшеницы, предшественниками которой были кукуруза (4.2 %), подсолнечник (2.3 %) и пшеница (2.1 %).

*F. sporotrichioides* Sherb. выделен с пораженных корней, корневой шейки и стеблей озимой пшеницы (7.1 %) из Павловского и Кореновского районов.

Изоляты *F. avenaceum* (Fr.) Sacc. (телеоморфа *G. avenacea* Cook) обнаружены на листьях, приземных частях стеблей и корнях озимой пшеницы из Павловского и Кореновского районов. В комплексе грибов из рода *Fusarium*, выделенных из образцов озимой пшеницы, частота встречаемости *F. avenaceum* составила 3.9 %. Гриб отмечен в образцах озимой пшеницы, предшествующими культурами которых были пшеница и кукуруза.

Вид *F. poae* (Peck) Wollenw. с невысокой частотой (3.6 %) найден в Павловском районе. Чаще изоляты этого вида были отмечены на образцах пшеницы, предшественниками которой были пшеница и горох.

Следует отметить, что в ряде случаев из одного образца пораженной ткани озимой пшеницы идентифицировали по два и более фитопатогенов из рода *Fusarium*. Такой фитопатоген, как *F. acuminatum* Ellis & Verh. (телеоморфа *G. acuminata* Wr.), более чем в половине случаев выявлялись совместно с *F. oxysporum*.

Подобная закономерность отмечена и для *F. sambucinum* Fuckel (телеоморфа *G. pulicaris* (Fr.) Sacc.). Этот гриб, независимо от места локализации на растении (лист, стебель, корень), всегда выделялся вместе с *F. oxysporum*, при этом ему часто сопутствовала бактериальная инфекция.

Изоляты *F. acuminatum* встречались в Усть-Лабинском и Павловском районах с невысокой частотой (2.8 %) в пораженных корнях озимой пшеницы, предшественниками которой были пшеница, пар и подсолнечник.

Изоляты *F. equiseti* (Corda) Sacc. (телеоморфа *G. intricans* Wollenw.; син. *F. gibbosum* Appel & Wollenw. Emend Vilai) были обнаружены в основном на побуревших стеблях озимой пшеницы в Усть-Лабинском и Кореновском районах.

Доля изолятов *F. chlamydosporum* Wollenw. & Reinking в комплексе фузариозных грибов не превышала 1.2 %. Гриб был определен на корнях двух образцов пшеницы из Кореновского района. Наряду с *F. chlamydosporum* на тех же корнях с высокой частотой встречались сапрофитные и патогенные виды грибов.

*F. solani* (Mart.) Sacc. (телеоморфа *Nectria haematococca* Berk. & Wroome) обнаружен в Павловском районе в небольшом количестве на корнях пшеницы.

На основании морфологических признаков полученные изоляты грибов рода *Fusarium* отнесены к 13 таксономическим группам. После серии моноконидиальных клонирований изолятов в коллекцию были отобраны штаммы грибов разных видов со стабильными морфолого-культуральными признаками. При отборе культур гриба в коллекцию особое внимание обращали на характерные для каждого вида макро- и микроморфологические признаки.

Штаммы микромицетов *Fusarium* spp. различались по морфологии и структуре воздушного и реверсного мицелия, размерам и форме макро- и микроконидий, споруляции колоний. Различия между штаммами в пределах одного вида часто отмечали только при изучении мак-

роморфологических признаков – окраски и структуры мицелия, споруляции. При анализе данных микроморфологических признаков, т. е. формы и размера конидий, способа их образования, между штаммами одного вида различия были минимальными.

Из всех таксономических групп *Fusarium* spp., выявленных на посевах озимой пшеницы Северного Кавказа в 2019 г., в коллекцию передан 21 штамм гриба (табл. 2).

Полученный биологический материал *Fusarium* spp. был изучен по степени выраженности патогенных и фитотоксичных свойств. Результаты влияния споровых суспензий и метаболитов фильтратов культуральных жидкостей 21 штамма грибов из рода *Fusarium* на развитие проростков пшеницы сорта Мироновская 808 (всхожесть семян, длина ростка и корней) приведены в табл. 3.

Показано, что штаммы грибов в пределах одного вида различались по степени патогенности и фитотоксичности. Широким внутривидовым разнообразием по этим признакам обладали штаммы *F. oxysporum* (СК-5к, СК-9л, СК-9к) и *F. lolii* (СК-6к-1, СК-6л, СК-6к-5). Среди них встречались разные категории показателей: от патогенных/токсичных до непатогенных/слаботоксичных.

Фитотоксичные и патогенные штаммы *F. culmorum* и *F. graminearum* подавляли развитие проростков сорта Мироновская 808 в сильной степени.

Моноизоляты *F. acuminatum* (СК-13к, СК-16к) оказались непатогенными к проросткам сорта-тестера, но обладали слабой и умеренной фитотоксичностью.

Грибы *F. avenaceum* (СК-7л), *F. equiseti* (СК-8л), *F. poae* (СК-7к, СК-6к-1) и *F. chlamydosporum* (СК-3к) и других характеризовались весьма слабыми патогенными и фитотоксичными свойствами.

Обнаружено, что споровые суспензии изолятов грибов мало влияли на всхожесть семян (80–100 %), но впоследствии оказывали воздействие на развитие проростков: патогенные изоляты грибов тормозили их рост (до 33.3 % – штамм *F. oxysporum* СК-9л) или непатогенные – стимулировали (до 102.3 % – штамм *F. acuminatum* СК-13к). Отмечено более сильное воздействие споровых суспензий на рост и развитие первичных корней (12.6–95.3 %).

Обработка семян ФКЖ штаммами грибов рода *Fusarium* слабо отразилась на их всхожести (63.3–100 %), хотя в дальнейшем интенсивность развития проростков семян значительно замедлялась. Длина проростков под действием ФКЖ штаммов грибов, по сравнению с контролем, составляла 24.4–96.9 %. Средняя длина первичных корней под действием ФКЖ штаммов была 5.7–74.2 %, что позволило группировать изоляты по степени токсичности.

Полученные результаты свидетельствуют о межвидовом и внутривидовом генетическом разнообразии фузариумов из краснодарской популяции по морфологическим, патогенным и фитотоксическим признакам.

## Заключение

При анализе полученных данных отмечено влияние предшественника озимой пшеницы, с которой брали опытные образцы, на частоту выделяемых видов грибов рода *Fusarium*. Показано, что патогенная активность у грибов как между видами *Fusarium*, так и в пределах одного вида существенно различается: от отсутствия признаков

**Таблица 2.** Характеристика штаммов грибов 13 видов рода *Fusarium*, отобранных в ГКФМ ВНИИФ, по макро- и микроморфологическим свойствам

| Вид гриба                  | Шифр штамма | Морфолого-культуральные признаки штаммов грибов 13 видов рода <i>Fusarium</i> |                   | Споруляция, млн/ч. Петри | Размеры макроконидий, мкм |                   |                     | Наличие микроконидий |
|----------------------------|-------------|---|-------------------|--------------------------|---------------------------|-------------------|---------------------|----------------------|
|                            |             | Воздушный мицелий   | Реверс            |                          | продольный                | поперечный        |                     |                      |
|                            |             |   |                   |                          | $X_{\min}-X_{\max}$       | HCP <sub>05</sub> | $X_{\min}-X_{\max}$ |                      |
| <i>F. avenaceum</i>        | СК-7л       | Темно-розовый, слабообразный  | Бордово-оливковый | 195.0 ± 4.6              | 30.5–85.7                 | 35.7              | 3.3–6.1             | –                    |
| <i>F. acuminatum</i>       | СК-13к      | Бело-розовый, низкий с секторами лизиса                                       | Светло-бурый      | 210.3 ± 6.8              | 18.5–22.4                 | 5.7               | 4.0–5.0             | –                    |
|                            | СК-16к      | Бело-розовый, ватообразный  | Темно-бордовый    | 195.5 ± 5.2              | 18.1–22.7                 | 5.9               | 4.0–5.0             | –                    |
| <i>F. chlamyosporum</i>    | СК-3к       | Светло-кремовый, бархатистый, войлочный                                       | Кремовый          | 45.7 ± 3.2               | 30.5–40.5                 | 11.1              | 3.6–4.1             | +                    |
| <i>F. culmorum</i>         | СК-14к-1    | Оливково-красный, рыхло-хлопьевидный  | Бордовый          | 201.5 ± 5.8              | 16.0–48.5                 | 18.5              | 3.9–6.5             | –                    |
|                            | СК-14к-5    | Бледно-розовый, пушистый  |                   | 115.7 ± 2.7              | 16.7–49.3                 | 21.1              | 3.8–6.7             | –                    |
| <i>F. equiseti</i>         | СК-8л       | Бело-кремовый, невысокий, рыхло-пушистый                                      | Бордовый          | 195.1 ± 7.8              | 15.5–70.5                 | 38.8              | 4.0–4.5             | +                    |
| <i>F. graminearum</i>      | СК-10к-2    | Оливково-розовый, хлопьевидно-пушистый  | Бордовый          | 112.0 ± 2.2              | 21.5–75.0                 | 31.5              | 4.3–4.5             | –                    |
|                            | СК-11к-3    |   | Темно-бордовый    | 175.5 ± 3.7              | 23.1–77.7                 | 28.7              | 4.3–4.5             | –                    |
| <i>F. lolii</i>            | СК-6к-1     | Светло-кремовый, пушистый   | Светло-кремовый   | 55.2 ± 3.2               | 20.5–35.5                 | 13.9              | 4.0–4.3             | –                    |
|                            | СК-6л       | Светло-кремовый, войлочный  |                   | 140.5 ± 4.2              | 19.7–35.5                 | 15.3              | 4.0–4.3             | –                    |
|                            | СК-6к-5     |   |                   | 109.1 ± 8.7              | 19.1–36.7                 | 14.5              | 4.1–4.3             | –                    |
| <i>F. moniliforme</i>      | СК-4л       | Светло-кремовый до лилового, стелющийся                                       | Светло-бурый      | 75.3 ± 3.3               | 23.0–60.5                 | 25.8              | 3.6–4.0             | +                    |
| <i>F. oxysporum</i>        | СК-5к       | Бледно-сиреневый, стелющийся  | Светло-бурый      | 23.3 ± 4.1               | 28.3–35.2                 | 17.5              | 3.5–4.5             | +                    |
|                            | СК-9л       | Белый с лиловыми участками,   | Темно-лиловый     | 110.7 ± 3.4              | 26.5–37.1                 | 23.1              | 3.3–4.5             | +                    |
|                            | СК-9к       | ватообразный  | Бледно-лиловый    | 95.5 ± 2.5               | 29.4–40.0                 | 12.7              | 3.2–4.6             | +                    |
| <i>F. poae</i>             | СК-7к       | Кремово-розовый, стелющийся   | Кремовый          | 24.7 ± 7.7               | 17.2–40.5                 | 22.6              | 3.5–5.5             | +                    |
|                            | СК-15к      | Оливково-розовый, пушистый  | Бордовый          | 10.5 ± 2.9               | 17.0–40.1                 | 20.3              | 3.5–5.5             | +                    |
| <i>F. sambucinum</i>       | СК-5к-1     | Светло-кремовый, рыхлый   | Кремово-бордовый  | 70.0 ± 4.3               | 17.5–24.5                 | 8.2               | 3.6–4.5             | –                    |
| <i>F. solani</i>           | СК-13к-1    | Кремово-розовый, войлочно-пушистый  | Бурый             | 105.1 ± 5.0              | 21.5–42.5                 | 19.4              | 3.5–4.9             | +                    |
| <i>F. sporotrichioides</i> | СК-4к       | Бело-розовый, пушистый  | Бордовый          | 150.4 ± 5.8              | 26.0–45.0                 | 15.1              | 3.5–5.0             | +                    |

**Таблица 3.** Характеристика штаммов грибов рода *Fusarium* по патогенности споровых суспензий и фитотоксичности культуральной жидкости на проростках пшеницы сорта Мироновская 808 (в % к контролю)

| Шифр штамма                                 | Патогенность (споровая суспензия) |                    |             | Токсичность (культуральная жидкость) |                    |                    |            |                 |
|---|-----------------------------------|--------------------|-------------|--------------------------------------|--------------------|--------------------|------------|-----------------|
|   | Всхожесть семян, %                | Длина, %<br>ростка |             | Степень влияния                      | Всхожесть семян, % | Длина, %<br>ростка |            | Степень влияния |
|   |                                   |                    | корней      |                                      |                    |                    | корней     |                 |
| <i>F. avenaceum</i> (Fr.) Sacc.             |                                   |                    |             |                                      |                    |                    |            |                 |
| СК-7л                                       | 96.7                              | 92.3 ± 1.5         | 63.5 ± 1.4  | СП                                   | 100.0              | 96.9 ± 2.1         | 71.3 ± 2.0 | НТ              |
| <i>F. acuminatum</i> Ellis & Everh.         |                                   |                    |             |                                      |                    |                    |            |                 |
| СК-13к                                      | 100.0                             | 102.3 ± 1.9        | 93.9 ± 2.1  | НП                                   | 96.7               | 85.0 ± 3.7         | 49.2 ± 2.4 | УТ              |
| СК-16к                                      | 100.0                             | 101.9 ± 3.1        | 85.7 ± 2.3  | НП                                   | 100.0              | 90.6 ± 4.0         | 61.4 ± 2.5 | СТ              |
| <i>F. chlamyosporum</i> Wollenw. & Reinking |                                   |                    |             |                                      |                    |                    |            |                 |
| СК-3к                                       | 100.0                             | 90.9 ± 1.8         | 68.9 ± 1.8  | СП                                   | 96.7               | 88.8 ± 2.3         | 48.8 ± 2.2 | УТ              |
| <i>F. culmorum</i> (Sm.) Sacc.              |                                   |                    |             |                                      |                    |                    |            |                 |
| СК-14к-1                                    | 86.7                              | 79.5 ± 3.2         | 29.1 ± 2.5  | П                                    | 85.5               | 69.4 ± 5.0         | 13.0 ± 1.2 | Т               |
| СК-14к-5                                    | 95.5                              | 84.1 ± 2.6         | 47.5 ± 3.1  | УП                                   | 83.3               | 63.3 ± 1.5         | 22.3 ± 1.5 | Т               |
| <i>F. equiseti</i> (Corda) Sacc.            |                                   |                    |             |                                      |                    |                    |            |                 |
| СК-8л                                       | 100.0                             | 94.4 ± 2.2         | 87.4 ± 2.1  | НП                                   | 100.0              | 87.1 ± 2.5         | 87.7 ± 2.7 | НТ              |
| <i>F. graminearum</i> Schwabe               |                                   |                    |             |                                      |                    |                    |            |                 |
| СК-10к-2                                    | 96.4                              | 38.5 ± 5.2         | 12.6 ± 5.1  | П                                    | 63.3               | 36.2 ± 3.1         | 5.7 ± 2.3  | Т               |
| СК-11к-3                                    | 96.7                              | 72.0 ± 5.5         | 56.7 ± 5.2  | УП                                   | 70.0               | 24.4 ± 1.6         | 10.9 ± 1.2 | Т               |
| <i>F. lolii</i> (Wm. G. Sm.) Sacc.          |                                   |                    |             |                                      |                    |                    |            |                 |
| СК-6к-1                                     | 100.0                             | 98.1 ± 2.5         | 60.8 ± 2.2  | СП                                   | 100.0              | 92.2 ± 1.8         | 44.4 ± 1.7 | УТ              |
| СК-6л                                       | 100.0                             | 97.2 ± 2.4         | 64.9 ± 1.6  | СП                                   | 96.7               | 84.3 ± 3.8         | 52.8 ± 2.9 | СТ              |
| СК-6к-5                                     | 95.5                              | 67.5 ± 4.2         | 27. ± 2.7   | П                                    | 80.0               | 71.4 ± 5.0         | 28.6 ± 2.2 | Т               |
| <i>F. moniliforme</i> J. Sheld.             |                                   |                    |             |                                      |                    |                    |            |                 |
| СК-4л                                       | 100.0                             | 101.9 ± 3.0        | 103.9 ± 4.0 | НП                                   | 100.0              | 96.2 ± 3.1         | 65.0 ± 1.6 | СТ              |
| <i>F. oxysporum</i> Schlecht.               |                                   |                    |             |                                      |                    |                    |            |                 |
| СК-5к                                       | 100.0                             | 93.1 ± 3.8         | 67.7 ± 3.0  | НП                                   | 100.0              | 39.0 ± 1.7         | 13.0 ± 1.7 | Т               |
| СК-9л                                       | 80.0                              | 33.3 ± 3.1         | 27.7 ± 2.3  | П                                    | 100.0              | 79.0 ± 1.8         | 63.0 ± 1.9 | СТ              |
| СК-9к                                       | 91.5                              | 64.3 ± 2.4         | 28.1 ± 1.7  | П                                    | 100.0              | 86.7 ± 2.4         | 61.3 ± 1.7 | СТ              |
| <i>F. poae</i> (Peck) Wollenw.              |                                   |                    |             |                                      |                    |                    |            |                 |
| СК-7к                                       | 100.0                             | 101.3 ± 1.8        | 93.8 ± 2.2  | НП                                   | 100.0              | 92.3 ± 2.6         | 65.4 ± 1.8 | СТ              |
| СК-15к                                      | 100.0                             | 99.1 ± 2.8         | 95.3 ± 4.1  | НП                                   | 100.0              | 96.9 ± 2.0         | 74.2 ± 2.9 | НТ              |
| <i>F. sambucinum</i> Fuckel                 |                                   |                    |             |                                      |                    |                    |            |                 |
| СК-5к-1                                     | 90.0                              | 58.6 ± 5.1         | 19.5 ± 1.6  | П                                    | 90.0               | 83.1 ± 4.1         | 61.6 ± 2.7 | СТ              |
| <i>F. solani</i> (Mart.) Sacc.              |                                   |                    |             |                                      |                    |                    |            |                 |
| СК-13к-1                                    | 100.0                             | 89.1 ± 3.8         | 90.3 ± 2.1  | НП                                   | 96.7               | 84.3 ± 2.8         | 62.8 ± 1.9 | СТ              |
| <i>F. sporotrichioides</i> Swerb.           |                                   |                    |             |                                      |                    |                    |            |                 |
| СК-4к                                       | 100.0                             | 38.5 ± 3.5         | 14.8 ± 1.9  | П                                    | 100.0              | 29.7 ± 1.8         | 6.3 ± 1.0  | Т               |

Примечание. НП/НТ – непатогенный/нетоксичный; СП/СТ – слабопатогенный/слаботоксичный; УП/УТ – умереннопатогенный/умереннотоксичный; П/Т – патогенный/токсичный.

влияния споровых суспензий на развитие проростков до полного их угнетения. Фитотоксическая активность фузариевых грибов на проростках пшеницы варьировала от средней до высокой. Наибольшую опасность для проростков пшеницы представляют виды, обладающие высокой интенсивностью проявления фитотоксической активности, связанной с тем, что они способствуют накоплению опасных токсинов в тканях растений.

По результатам полученных данных в коллекцию отобраны и помещены штаммы 13 видов рода *Fusarium* из агроценозов равнинной части Северного Кавказа. Все штаммы охарактеризованы по морфологическим, патогенным и фитотоксичным свойствам.

## Список литературы / References

Билай В.И. Фузариум. Киев: Наук. думка, 1977.

[Bilay V.I. Fusaria. Kiev: Naukova Dumka Publ., 1977. (in Russian)]

Билай В.И., Элланская И.А. Основные микологические методы в фитопатологии. В: Методы экспериментальной микологии. Киев: Наук. думка, 1982;418-431.

[Bilay V.I., Ellanskaya I.A. Basic mycological methods in plant pathology. In: Methods of Experimental Mycology. Kiev: Naukova Dumka Publ., 1982;418-431. (in Russian)]

Гагкаева Т.Ю., Гаврилова О.П., Левитин М.М. Современное состояние таксономии грибов рода *Fusarium* секции *Sporotrichiella*. *Микология и фитопатология*. 2008;42(3):201-214.

[Gagkaeva T.Yu., Gavrilova O.P., Levitin M.M. Modern taxonomy of fungi from the genus *Fusarium* of the section *Sporotrichiella*. *Mikologiya i Fitopatologiya = Mycology and Phytopathology*. 2008; 42(3):201-214. (in Russian)]

Гагкаева Т.Ю., Левитин М.М. Современное состояние таксономии грибов комплекса *Gibberella fujikuroi*. *Микология и фитопатология*. 2005;39(6):1-14.

[Gagkaeva T.Yu., Levitin M.M. The current state of the taxonomy of fungi of the *Gibberella fujikuroi* complex. *Mikologiya i Fitopatologiya = Mycology and Phytopathology*. 2005;39(6):3-14. (in Russian)]

Дубовой В., Жемчужина Н., Елизарова С., Горелов П. Государственная коллекция фитопатогенных микроорганизмов ВНИИФ. *Аналитика*. 2016;1:76-78.

[Dubovoy V., Zhemchuzhina N., Elizarova S., Gorelov P. State collection of phytopathogenic microorganisms from All-Russian research institute of phytopathology. *Analitika = Analytics*. 2016;1: 76-78. (in Russian)]

Жалиева Л.Д. Грибы рода *Fusarium* в агроценозе озимой пшеницы в условиях Краснодарского края. Паразитизм и симбиоз. *Иммунопатология, аллергология, инфектология*. 2010;1:101.

[Zhalieva L.D. Fungi of the genus *Fusarium* in the agroecosis of winter wheat in the Krasnodar region: Parasitism and symbiosis. *Immunopatologiya, Allergologiya, Infektologiya = Immunopathology, Allergology, Infectology*. 2010;1:101. (in Russian)]

Жемчужина Н.С., Елизарова С.А. Использование штаммов Государственной коллекции фитопатогенных микроорганизмов ФГБНУ ВНИИФ в фитопатологических, селекционных и генетических исследованиях. В: Наука, производство, бизнес: современное состояние и пути инновационного развития аграрного сектора на примере Агрохолдинга «Байсерке-Агро»: Сб. тр. междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 70-летию заслуженного деятеля Республики Казахстан Досмухамбетова Темирхана

Мынайдаровича (04-05 апреля 2019 года, Алматы, Казахстан). Алматы: ТОО "Luxe Media Group", 2019;64-66.

[Zhemchuzhina N.S., Elizarova S.A. The use of strains of the State Collection of Phytopathogenic Microorganisms of the All-Russian Research Institute of Phytopathology in phytopathological, breeding, and genetic studies. In: Science, Production, Business: current state and ways of innovative development of the agricultural sector by the example of the Baiserke-Agro Agricultural Holding. Proceedings of the International Scientific and Practical Conference dedicated to the 70th anniversary of the Honored Worker of the Republic of Kazakhstan Temirkhan Dosmukhambetov (April 4-5, 2019, Almaty, Kazakhstan). Almaty: Luxe Media Group Publ., 2019;64-66. (in Russian)]

Коломиец Т.М., Жемчужина Н.С., Панкратова Л.Ф., Александрова А.В., Киселева М.И., Елизарова С.А. Микромитеты Государственной коллекции фитопатогенных микроорганизмов, вызывающие микозы и микотоксикозы человека и животных. *Усп. мед. микологии*. 2018;19:371-372.

[Kolomiets T.M., Zhemchuzhina N.S., Pankratova L.F., Alexandrova A.V., Kiseleva M.I., Elizarova S.A. Micromycetes of the State Collection of phytopathogenic microorganisms causing mycoses and mycotoxicoses in humans and animals. *Uspekhi Meditsinskoy Mikologii = Advances in Medical Mycology*. 2018;19:371-372. (in Russian)]

Рукавицина И.В. Биология и экология альтернариоза, фузариоза и гельминтоспориоза пшеницы. Шортанды, 2008.

[Rukavitsina I.V. Biology and Ecology of Alternariosis, Fusariosis and Helminthosporiosis of Wheat. Shortandy, 2008. (in Russian)]

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 растений*. 2013;9:23-26.

[Tropova E.Yu., Kazakova O.A., Vorobyeva I.G., Selyuk M.P. Fusarium root rot of grain crops in West Siberia and Transuralia. *Zashchita i Karantin Rasteniy = Plant Protection and Quarantine*. 2013;9:23-26. (in Russian)]

Чулкина В.А., Торопова Е.Ю., Стецов Г.Я. Интегрированная защита растений: фитосанитарные системы и технологии. М.: Колос, 2009.

[Chulkina V.A., Tropicova E.Yu., Stetsov G.Ya. Integrated Plant Protection: Phytosanitary Systems and Technologies. Moscow: Kolos Publ., 2009. (in Russian)]

Booth C. The Genus *Fusarium*. Kew, Surrey, England: Commonwealth Mycological Inst., 1971.

Dictionary of the Fungi. Eds. P.M. Kirk, P.F. Cannon, D.W. Minter, J.A. Stalpers. 10th ed. CAB International, 2008.

Gerlach W., Nirenberg H. The Genus *Fusarium* – a Pictorial Atlas. Mitt. Biol. Bundesans Land-Forstwirtschaft Berlin-Dahlem, 1982.

Kolomiets T., Zhemchuzhina N. Genetic resources of the State Collection of Phytopathogenic Microorganisms of the All-Russian Research Institute of Phytopathology (ARRIP). In: Conf. proc. of XXXVII Annual Meeting of the European Culture Collection Organisation, 13-15 September 2018, Moscow. 2018;45-46.

Leslie J.F., Summerell B.A. The *Fusarium* Laboratory Manual. 2nd ed. Iowa: Blackwell Publishing, 2006.

Thrane U., Adler A., Clasen P.E. Diversity in metabolite production by *Fusarium langsethiae*, *Fusarium poae*, and *Fusarium sporotrichioides*. *Int. J. Food Microbiol.* 2004;95:257-266. DOI 10.1016/j.ijfoodmicro.2003.12.005.

Watanabe T. Pictorial Atlas of Soil and Seed Fungi. Morphologies of Cultured Fungi and Key to Species. 3rd ed. New York: CRC Press, 2010.

## ORCID ID

T.M. Kolomiets orcid.org/0000-0002-1897-2380  
I.B. Ablova orcid.org/0000-0002-3454-9988

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 16.07.2021. После доработки 30.08.2021. Принята к публикации 31.08.2021.