

OECD+WoS: 1.06+RQ

[http://doi.org/10.31993/2308-6459-2019-1\(99\)-10-18](http://doi.org/10.31993/2308-6459-2019-1(99)-10-18)

Полнотекстовая статья

ПЕРВОЕ ОБНАРУЖЕНИЕ ГРИБА *FUSARIUM GLOBOSUM* В МИКОБИОТЕ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР НА ТЕРРИТОРИИ УРАЛА И СИБИРИ

Т.Ю. Гагкаева*, О.П. Гаврилова, А.С. Орина

Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений, Санкт-Петербург

* ответственный за переписку, e-mail: t.gagkaeva@mail.ru

Вид *Fusarium globosum* выявлен в результате изучения микобиоты образцов зерна мягкой и твердой пшеницы и ячменя, полученных из Новосибирской и Челябинской областей, а также Алтайского края в 2017–2018 годах. Это первое обнаружение гриба *F. globosum* на территории России и четвёртая находка в мире. Этот вид является представителем филогенетически близких грибов комплекса *Fusarium fujikuroi*, которые характеризуются способностью образовывать фумонизины – группу опасных микотоксинов, обладающих канцерогенными свойствами. В статье приведены описания микро- и макроморфологических характеристик российских штаммов *F. globosum*. Морфологическая идентификация была подтверждена с помощью секвенирования таксономически значимого участка гена фактора элонгации 1α. Проанализированы скорость роста в широком температурном диапазоне и патогенность штаммов *F. globosum* в сравнении с филогенетически близкими видами *Fusarium proliferatum* и *Fusarium verticillioides*. Не выявлены существенные различия между видами по температурному оптимуму роста (между 20 и 25 °С), при этом диапазон благоприятных температур для *F. proliferatum* и *F. verticillioides* значительно шире, чем для *F. globosum*. Патогенность штаммов всех трёх видов, охарактеризованная на листьях двух сортов пшеницы, была слабой, без различий между видами. По всей видимости, ареал *F. globosum* занимает территорию как минимум от Урала до Западной Сибири. В связи с изменениями условий среды и глобализацией растениеводства этот вид может потенциально распространяться на значительные территории.

Ключевые слова: пшеница, ячмень, *Fusarium globosum*, первое обнаружение, Урал, Сибирь, Россия

Поступила в редакцию: 07.02.2019

Принята к печати: 06.03.2019

Введение

Изучение видового разнообразия грибов рода *Fusarium* Link в той или иной экосистеме имеет не только большой научный интерес, но и практическую значимость.

Поскольку речь идёт о грибах, наносящих значительный экономический ущерб в сельском хозяйстве, ценность

знания об их ареалах, таксономическом статусе и биологических особенностях несомненна.

Грибы рода *Fusarium* – это группа чрезвычайно разнообразных организмов, в которой на сегодняшний день описано более 250 видов (O'Donnell et al., 2015). Виды рода *Fusarium* характеризуются различной экологической валентностью: некоторые широко распространены по всему миру, другие являются эндемичными и выявлены только в узлокальных местообитаниях. Многие фузариевые грибы являются активными биодеструкторами, продуцентами биологически активных и лекарственных веществ (Goyal et al., 2016). Некоторые виды рода *Fusarium* являются опасными патогенами, вызывая вредоносные болезни растений в период вегетации и оказывая негативное влияние на посевные качества семян. Кроме того, некоторые фузариевые грибы в процессе жизнедеятельности выделяют высокотоксичные вторичные метаболиты – микотоксины, в результате чего субстрат, в котором они присутствуют, может становиться непригодным для использования для пищевых и кормовых целей.

Наиболее вредоносным заболеванием вызываемым этими грибами является фузариоз зерна. В микобиоте зерна встречаются десятки видов *Fusarium*, характеризующихся широким диапазоном свойств: от эндофитов до патогенов, продуцирующих как биологически активные вещества, защищающие растения, так и микотоксины, опасные для живых организмов. Разнообразие и частота встречаемости различных видов в значительной степени зависят от эколого-климатических особенностей региона и меняются при изменении факторов среды.

Знания о видовом составе грибов *Fusarium* в микобиоте зерна необходимы для прогнозирования ущерба и планирования мероприятий по его предотвращению. Анализ зараженности зерна и идентификация представителей микобиоты постоянно проводится во всём мире. Такой обширный мониторинг видового состава грибов на зерновых культурах позволяет обобщить информацию на глобальном уровне, выявляя границы ареалов грибов и обуславливающие их факторы.

Изучением состава патогенов зерна в нашей стране в региональном аспекте занимались многие исследователи (Левитин и др., 1994; Иващенко и др., 1997, 2000, 2004; Кононенко и др., 1999; Малиновская и др., 2004; Пирязева, Малиновская, 2009; Гаврилова и др., 2009; Гагкаева и др., 2014).

В 2004 году опубликована сводная информация о распространении видов грибов рода *Fusarium* в основных зерносеющих регионах России, в том числе, представленная в виде карт (Иващенко, Шипилова, 2004). Показаны ареалы и частота встречаемости видов грибов в партиях зерна, обозначены эпифитотийно опасные зоны возникновения фузариоза. Позднее карты распространения заболеваний растений фузариозной этиологии на территории России были созданы и опубликованы в рамках проекта “Агроэкологический атлас России и сопредельных стран: экономически значимые растения, их болезни, вредители и сорные растения” (Афонин и др., 2008). Однако эта работа была проведена без детализации видового состава грибов. Кроме того, ряд наблюдений свидетельствуют о том, что происходящие в последние годы изменения климата

приводят к изменению видового состава грибов, характерных для того или иного региона (Chakraborty, Newton, 2011; Roos et al., 2011; Левитин, 2015).

Оценка существующего разнообразия грибов рода *Fusarium* сталкивается со сложностью дифференциации видового состава. Знание современной морфологической концепции конкретных видов грибов и их точная идентификация имеют важное значение для выявления структуры микоценозов, отслеживания происходящих в них изменений во времени и пространстве. Изучение грибов *Fusarium* (видового состава, метаболитного спектра) и их изменчивости – важнейшая задача. Однако ограниченность и нестабильность морфологических признаков грибов *Fusarium*, использование устаревших названий видов и осуществление идентификации, основанной на субъективном восприятии концепции вида, часто приводят к появлению публикаций с некорректной информацией.

К одним из самых трудно идентифицируемых видов относятся грибы, составляющие комплекс *Fusarium fujikuroi* (*Fusarium fujikuroi* species complex; FFSC). Представители видов FFSC являются объектом пристального внимания многих исследователей. Прежде всего, это связано с их широкой встречаемостью в природе, обитанием на экономически важных сельскохозяйственных культурах, способностью к образованию биологически активных веществ и микотоксинов. Безусловно, наиболее вредоносными из FFSC являются виды *F. verticillioides* (Sacc.) Nirenberg, типичный представитель микобиоты кукурузы, и *F. proliferatum* (Matsush.) Nirenberg ex Gerlach et Nirenberg, выявляемый на широком круге растений. Также филогенетически близкий вид *F. fujikuroi* Nirenberg, часто встречающийся на рисе, хорошо известен как продуцент значительного количества фитогормона гиббереллина, вызывающего симптомы удлинения ростков – «баканэ» или болезнь «дурных побегов» на рисе (Leslie, 1995). К сожалению, многие российские исследователи традиционно, следуя таксономической системе В.И. Билай (1955), идентифицируют всё разнообразие существующих морфологически сходных видов FFSC как *F. moniliforme* Sheld. – концепция которого давно устарела и не отвечает генетическому разнообразию грибов, объединенных в этот комплекс. Или же, не задумываясь, используют конкретное видовое название «*F. verticillioides*» как синоним для всех видов FFSC.

Проблема точной видовой идентификации грибов стоит остро, невзирая на постоянное совершенствование методов исследований и использование современного оборудования. В последние годы в таксономию грибов активно внедряются методы, основанные на анализе полиморфизма ДНК (Stakheev et al., 2018; Yli-Mattila et al., 2008, 2018). Возможности молекулярно-генетических методов для корректной идентификации грибов позволяют на новом уровне решать различные исследовательские задачи в процессе познания биологического разнообразия и его изменения во времени.

Целью данной публикации является информация о новом на территории России виде гриба *Fusarium globosum* Rheeder, Marasas & P.E. Nelson, выявленном в результате исследований образцов зерна из Уральского и Западно-Сибирского регионов России.

Материалы и методы

За 2017–2018 годы было проанализировано 224 образца зерна пшеницы и ячменя из различных регионов России, в том числе 103 образца из Уральского региона и Западной Сибири. Образцы зерна были любезно предоставлены сотрудниками региональных НИИ, филиалов ФГБУ «Россельхозцентра», производителей и дистрибьюторов пестицидов, зерновых компаний.

Микологический анализ зерна проводился по методике, традиционно принятой в лаборатории микологии и фитопатологии ФГБНУ ВИЗР (Гагкаева и др., 2011). Обязательным элементом этого анализа является тщательная поверхностная стерилизация зерна для исключения роста случайных контаминантов, а также добавление антибиотиков в питательную среду для подавления роста бактерий.

Таксономический статус грибов *Fusarium* выявляли с использованием базового определителя В. Герлах и Г. Ниренберг (Gerlach, Nirenberg, 1982), а также последующих научных публикаций, ссылки на которые будут приведены далее в тексте.

Микро- и макроморфологические характеристики штаммов оценивали при выращивании грибов на питательных средах различного состава: картофельно-сахарозный агар (КСА), морковный агар (МА) и среда Ниренберг (SNA) (Samson et al., 2002). Штаммы выращивали в условиях темноты и переменного освещения (16 часов день и 8 часов ночь) при температуре 25 °С. Микроскопические характеристики моноспоровых культур были исследованы и зафиксированы с помощью микроскопа Olympus SZX16.

Все выделенные штаммы *F. globosum* сохранены в коллекции микроорганизмов лаборатории микологии и фитопатологии ФГБНУ ВИЗР.

Видовой статус штаммов *F. globosum* был подтвержден с помощью секвенирования участка гена фактора элонгации 1 α с использованием праймеров TEF-1 α /TEF-2 α (O'Donnell et al. 1998). Нуклеотидную последовательность фрагментов определяли на секвенаторе ABIPrism 3500 (Applied Biosystems – Hitachi) с использованием набора реактивов BigDye Terminator v3.1 Cycle Sequencing Kit (ABI) согласно инструкции изготовителя. Процедуры выравнивания и ручного редактирования нуклеотидных последовательностей проводили с помощью программы Vector NTI Advance 10 (Thermo Fisher Scientific). Полученные сиквенсы были отредактированы в приложении

BioEdit и проверены на сходство с депонированными в международной информационной базе данных NCBI.

Для сравнительного изучения патогенных свойств и определения оптимальных температур роста грибов из коллекции лаборатории микологии и фитопатологии ФГБНУ ВИЗР были взяты штаммы близкородственных к *F. globosum* видов *F. verticillioides* (2 штамма), *F. proliferatum* (6 штаммов).

Патогенные свойства грибов оценивали в лабораторных условиях путем инокуляции отрезков листьев двух сортов озимой пшеницы Безостая 100 и Васса. Растения пшеницы выращивали в течение 10–14 суток в горшках с почвой при постоянном освещении. Отрезки листьев длиной 5–7 см помещали в металлические кюветы на фильтровальную бумагу, увлажненную водным раствором 0.004%-ного бензимидазола, в центре каждого отрезка листа делали прокол. Инокуляцию десяти отрезков листьев проводили с помощью дисков (\varnothing 5 мм), которые вырезали из 14-суточной культуры гриба, выращенной на КСА в чашках Петри. Кюветы с инокулированными листьями пшеницы помещали на светоустановку с переменным освещением 16 часов день и 8 часов ночь при температуре 25 °С. Через 6 суток после инокуляции оценивали длину некроза (мм) каждого отрезка листьев. Эксперимент проводили двукратно.

Температурный оптимум для роста штаммов оценивали по накоплению биомассы при глубинном культивировании. Инокулюм получали смывом конидий с поверхности колоний грибов, предварительно выращенных 7–14 суток на КСА, и доводили до концентрации 5×10^6 КОЕ/мл. В 100 мл жидкой питательной среды Чапека, содержащей 1% аспарагина, вносили 1 мл суспензии конидий. Культуры грибов инкубировали в течение 7 суток в термостатируемых орбитальных шейкерах Innova 44R (Eppendorf) при температурах 10, 15, 20, 25, 30, 35 и 40 °С и постоянном перемешивании со скоростью 100 об/мин. Отделение биомассы грибов от культуральной жидкости проводили методом вакуум-фильтрации. Фильтры с мицелием сутки высушивали при температуре 55 °С и взвешивали. Эксперимент проводили двукратно, в двух биологических повторностях.

Статистическую обработку результатов проводили с использованием программ MS Excel 2010.

Результаты

В 2017 году в зерне ячменя сорта Квенч из Новосибирской области, а в 2018 году в зерне пшеницы из Алтайского края (мягкая пшеница, сорт Алтайская жница) и Челябинской области (твердая пшеница, сорт Безенчукская золотистая) был выявлен новый вид гриба *Fusarium* для территории России – *F. globosum*. Зараженность этим видом составила 1% в стандартных анализированных пробах, содержащих по 100 зерен каждого образца. Биологические повторения инфицированных образцов подтвердили указанную частоту его выявления.

Для штаммов *F. globosum*, как и для всех видов FFSC, характерно образование воздушного мицелия обильно-плотного, нежно-хлопьевидного, войлочного (Рис. 1). Часто поверхность мицелия *F. globosum* имеет припорошенный вид из-за наличия большого количества

микрoконидий, образующихся в цепочках и головках. Изначально мицелий кремового, бледно-телесного цвета, позднее приобретает фиолетово-лиловые оттенки. Как и все виды FFSC гриб *F. globosum* никогда не образует отчетливый розово-красный пигмент. Реверс колоний, как правило, темно-фиолетовых, лиловых, винных или кремовых оттенков. Пигментация гриба на питательных средах существенно зависит от освещенности – в темноте окраска реверса колоний слабее. Штаммы *F. globosum*, выращенные на КСА в условиях темноты, характеризуются слабыми лиловыми оттенками, которые становятся насыщенными при культивировании в условиях постоянного и переменного освещения. При росте на МА штаммы образуют обильный плотно-пушистый мицелий желтоватого оттенка вследствие роста на ярко оранжевой среде,

содержащей каротины моркови. Реверс колонии также желтоватый с лиловыми оттенками.

Виды комплекса FFSC образуют сходные по форме и размерам макроконидии (3–5 перегородок, в среднем 40–60 мкм) и, как правило, не образуют типичных хламидоспор. Микроконидии *F. globosum* в подавляющем

числе одноклеточные, образуются на монофиалидах и хорошо выраженных полифиалидах в коротких цепочках или в фальшивых головках, булавовидные, эллипсоидальные, грушевидные (3–12×2–4 мкм) (Рис. 2). Кроме того, штаммы *F. globosum* также обильно образуют второй тип микроконидий – шаровидные микроконидии (10–15 мкм),

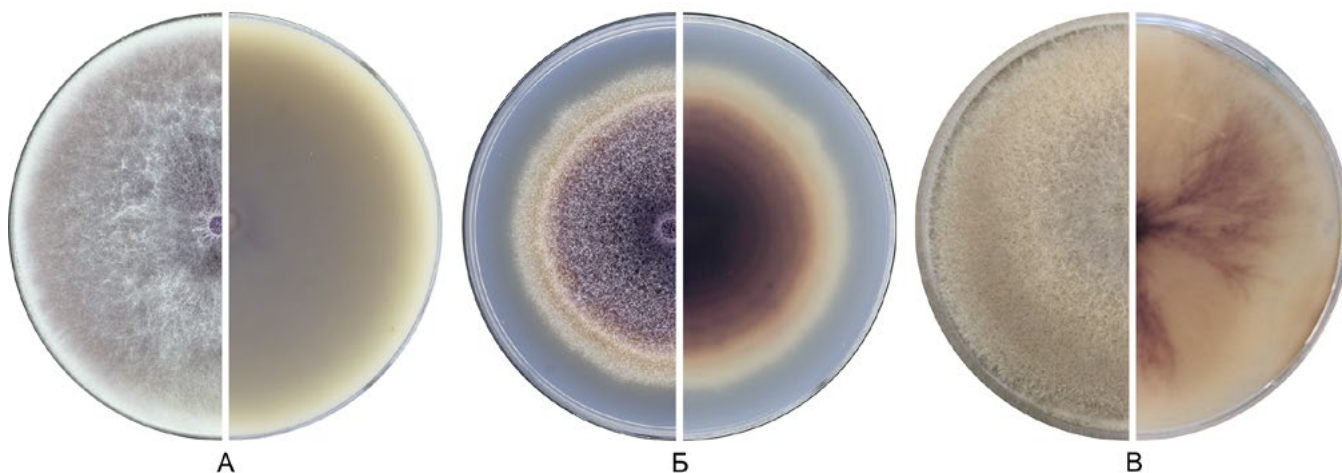


Рисунок 1. *Fusarium globosum* на КСА в темноте (А) и при освещении в режиме 16 день/8 ночь (Б), на морковном агаре при постоянном освещении (В), после двух недель роста при 25 °С

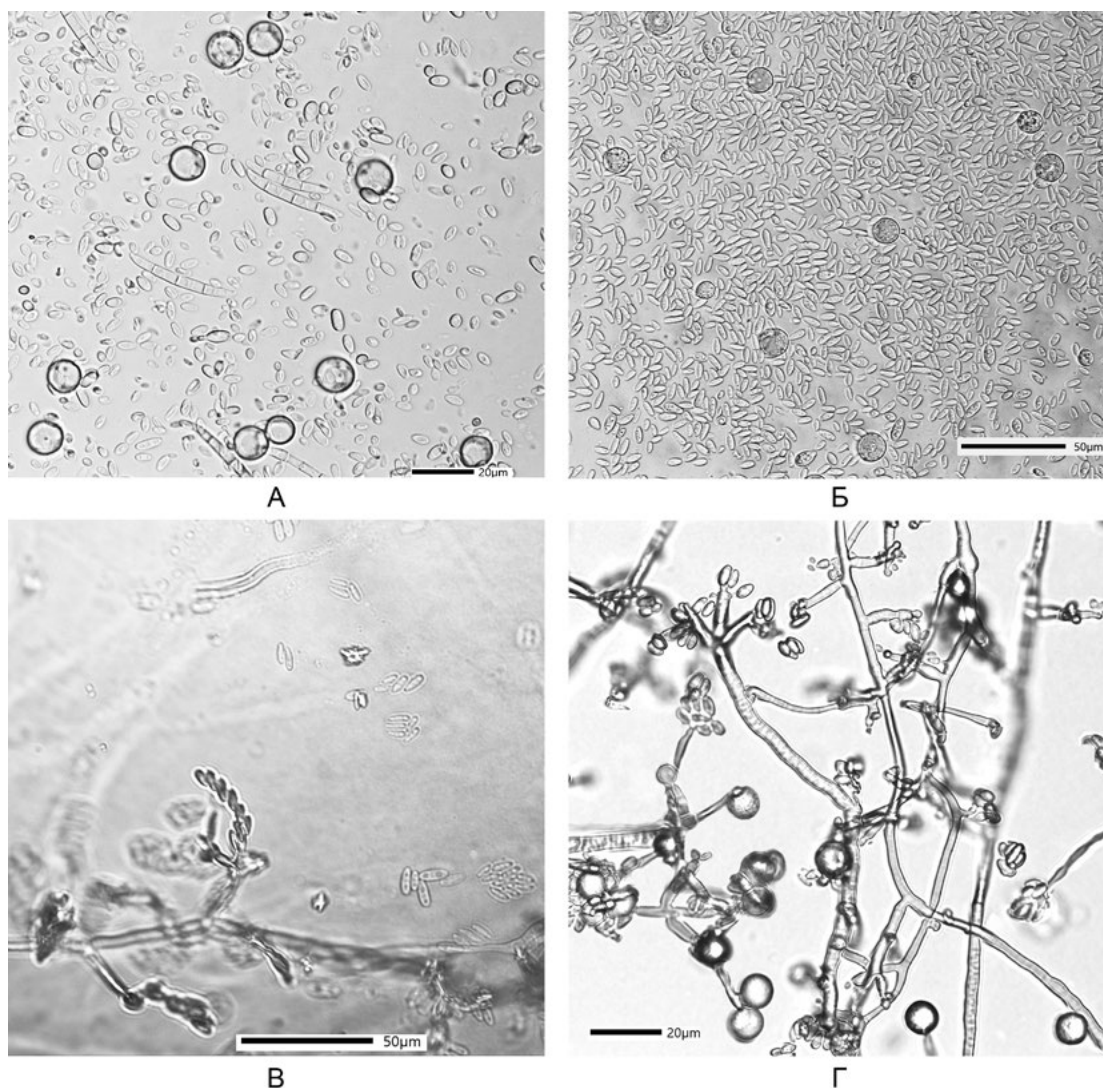


Рисунок 2. Микроморфологические структуры гриба *Fusarium globosum* на SNA, 2 недели роста в темноте: типичные макроконидии и микроконидии (А), микроконидии (Б), формирование на полифиалидах и монофиалидах микроконидий в цепочках (В) и фальшивых головках (Г)

одиночные или в кластерах. Образование шаровидных микроконидий может быть отмечено у других представителей FFSC, но не столь массово, хотя этот признак в значительной степени зависит от штамма и условий роста.

Секвенирование таксономически значимого участка гена фактора элонгации 1 α показало 98% сходство с гомологичным участком референтного штамма *F. globosum* CBS 430.97 (Южная Африка, семена кукурузы). Полученный результат послужил подтверждением факта выявления этого вида на территории Урала и Западной Сибири. Нуклеотидные последовательности участка генома двух штаммов *F. globosum* были депонированы в международной информационной базе NCBI (MH446372 и MH446373).

Инокуляция отрезков листьев пшеницы штаммами *F. proliferatum* и *F. globosum* привела к образованию незначительных некрозов. Максимальная длина вызванных штаммами некрозов достигала 10 мм. Достоверных различий по патогенности между штаммами трёх видов и по реакции сортов на инокуляцию выявлено не было.

Для всех анализируемых штаммов *F. globosum*, а также *F. proliferatum* и *F. verticillioides*, температурный оптимум роста располагался между 20–25 °С. Диапазон благоприятных температур, выходящий за пределы среднестатистического оптимального значения роста, у штаммов *F. proliferatum* и *F. verticillioides* был значительно шире, чем у *F. globosum* (Рис. 3). Показано, что температуры 10 и

выше 35 °С были критическими и приводили к остановке роста штаммов *F. globosum*, в то время как штаммы видов *F. proliferatum* и *F. verticillioides* были способны при таких условиях накапливать биомассу. Величина биомассы штаммов *F. globosum*, накапливаемая при температуре 35 °С, составила 6.5% от биомассы, выросшей при оптимальной температуре 20 °С. Это же соотношение величины биомассы у видов *F. proliferatum* и *F. verticillioides* составило 76.8–83.6%.

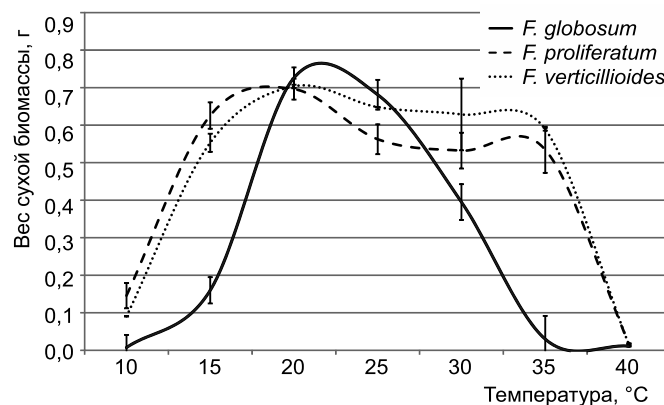


Рисунок 3. Накопление биомассы мицелия штаммами *Fusarium globosum*, *F. proliferatum* и *F. verticillioides*, выращенных методом глубинного культивирования при различных температурах

Обсуждение

Гриб *F. globosum* является представителем морфологически сходных видов комплекса FFSC, многие из которых характеризуются способностью образовывать фумонизины – группу опасных микотоксинов, обладающих канцерогенными свойствами (Marasas, 1996). Разнообразие грибов FFSC привлекает значительный интерес исследователей, недавние работы в области молекулярной систематики показали, что FFSC включает в себя не менее 50 различных видов или филогенетических линий и, по меньшей мере, 20 видов грибов продуцируют один или несколько микотоксинов (O'Donnell et al., 1998, 2000, 2015; Leslie, Summerell, 2006, Kvas et al., 2009).

Как правило, имея определенный опыт, установить принадлежность штамма к FFSC на основании достаточно характерных морфологических признаков этой группы видов не составляет особой трудности. Однако видовая идентификация штамма представляет значительные сложности из-за схожести и перекрывания видовых характеристик внутри FFSC и зачастую требует подкрепления молекулярно-генетическими и биохимическими методами (Гагкаева, Левитин, 2005; Thrane et al., 2001; Ryazantsev et al., 2008).

Впервые *F. globosum* выявлен в 1992 году на зерне кукурузы в Южной Африке (Rheeder et al., 1996), затем в 1999 году этот вид обнаружен на основании стеблей пшеницы в субтропических регионах Японии (Aoki, Nirenberg, 1999), а в 2014 году появилась информация о нахождении этого вида на тростнике гигантском (*Arundo donax* L.) в Иране (Heydari-Nezhad et al., 2014). Интересно, что в отличие от филогенетически близкого *F. proliferatum*, встречающегося на широком круге растений, до настоящего времени вид

F. globosum выявлен только на злаковых растениях семейства *Poaceae* Barnh.

Территория Западной Сибири и Урала является четвертым географическим регионом, где выявлен *F. globosum*, и этот вид был выявлен в нескольких отдаленных точках в течение двух лет. Информация о первом обнаружении *F. globosum* в 2017 году в зерне ячменя из Новосибирской области опубликована (Gagkaeva et al., 2019). Ранее было показано, что штаммы из Японии отличаются по ряду признаков от южноафриканских (Moses et al., 2010). Согласно нашим наблюдениям, российские штаммы *F. globosum* более сходны со штаммами, выделенными в Японии, поскольку не образуют спородохии и склероции на МА, в отличие от южноафриканских штаммов (Moses et al., 2010).

Южноафриканские исследователи показали способность выделенных штаммов продуцировать фумонизин В1, значительно меньше фумонизинов В2 и В3, и не образовывать монилиформин (Sydenham et al., 1997). Невзирая на единичные случаи выявления, штаммы *F. globosum*, благодаря уникальности своей генетической конституции, часто используются в филогенетических исследованиях при изучении кластеров генов, ответственных за синтез фумонизинов (Proctor et al., 2003; Jurado et al., 2012; Covarelli et al., 2012; Sandoval-Denis et al., 2018).

Основываясь на мультигенной филогении, виды FFSC были разделены на три большие клады: «африканскую», «американскую» и «азиатскую», существование которых объясняется биогеографической гипотезой, основанной на происхождении растений-хозяев, из которых были выделены соответствующие виды грибов, включенные в исследование (более 33 вида FFSC) (O'Donnell et al., 1998, Kvas et al., 2009). Виды *F. fujikuroi*, *F. proliferatum*, *F. globosum*

and *F. fractiflexum* T. Aoki, O'Donnell & K. Ichik. формируют хорошо обособленную группу внутри «азиатской» клады. Таким образом, мы можем предположить, что южноафриканские штаммы *F. globosum* являются адвентивными, а центром происхождения данного таксона является территория Азии.

Виды FFSC, как правило, гетероталлические, образующие телеоморфную стадию, относящуюся к роду *Gibberella* Sacc., что позволило в 1971 году впервые получить перитеции при скрещивании в культуре морфологически сходных, но генетически изолированных штаммов гриба *F. moniliforme* и описать «интерстерильные группы» (Hsieh et al., 1977; Kuhlman, 1982). Этот критерий активно использовался для дифференциации видов (Leslie, 1999) до тех пор, пока не возникла возможность выявлять филогенетическое родство грибов более информативными методами ДНК-технологий (O'Donnell et al., 1998). По результатам исследований генетических локусов спаривания у штаммов *F. globosum* установлено, что в одном генотипе совмещены *MAT-1* и *MAT-2* идиоморфы и, вероятно, *F. globosum* является гомоталлическим видом. Однако получить в лабораторных условиях половую стадию этого гриба не удалось (Moses et al., 2010). Российские штаммы *F. globosum* в условиях, которые обычно используют для получения половой стадии (Leslie, Summerell, 2006), также не образовывали перитеции в течение 5 месяцев культивирования.

Как правило, большинство видов FFSC являются обычными контаминантами растений в субтропических и тропических климатических зонах. Интересно, что оптимум температур для роста всех штаммов российского происхождения, использованных в исследовании, лежал в диапазоне 20–25 °С. тогда как для штаммов *F. proliferatum* и *F. verticillioides*, выделенных из кукурузы в Испании, оптимум роста показан между 25 и 30 °С (Samarundo et al., 2005; Marin et al., 2010). Анализируемые российские штаммы *F. proliferatum* и *F. verticillioides* также показали значительную толерантность к высоким температурам, что соответствует их частому выявлению в регионах РФ с жаркими условиями вегетационного периода.

Чаще всего виды этого комплекса характеризуются как эндофиты. Даже гриб *F. verticillioides*, широко встречающийся в микобиоте кукурузы и приводящий к розовой

плесени стеблей и початков, нуждается в насекомых-переносчиках для проникновения и преодоления защитных барьеров растений (Bakan et al., 2002; Munkvold, 2003; Blandino et al., 2008). Патогенность всех штаммов *F. globosum*, *F. proliferatum* и *F. verticillioides* даже при механическом повреждении листьев пшеницы в наших лабораторных исследованиях была слабой.

Можно предположить, что самый вероятный путь распространения *F. globosum* – перенос структур гриба насекомыми или мигрирующими птицами, роль которых в подобных процессах уже была продемонстрирована (Moskvitina et al., 2014; Selikhovkin et al., 2018).

Биологический смысл характерного для *F. globosum* обильного образования довольно крупных, шаровидных по форме микроконидий не ясен. Можно предположить, что данное свойство обеспечивает конкурентные преимущества и адаптивность этого гриба.

До настоящего времени, на территории Уральского и Сибирского регионов штаммы морфологически сходные с видами FFSC отмечались редко и с незначительной частотой (Иващенко, Шипилова, 2004; Литовка, 2017). В наших исследованиях 2017–2018 гг. в анализированном зерне выявить других представителей грибов, относящихся к FFSC, кроме *F. globosum*, не удалось.

Безусловно, обнаружение вида *F. globosum* в урожае зерна, полученном из Западной Сибири в 2017 г., явилось большой неожиданностью, и предполагалось, что это останется случайной единичной находкой. Однако выявление *F. globosum* в 2018 г. в географических точках, удаленных от места первого обнаружения на расстояние около 1500 км, позволяет говорить о существовании этого вида на территории от Урала до Западной Сибири.

В связи с изменениями климата и расширением посевов кукурузы было ожидаемо и уже отмечается усиление роли вида *F. verticillioides* на зерновых культурах, приводящего к увеличению загрязнения продукции фузонидами (Гагкаева и др., 2018). Вероятно, что и другие виды FFSC могут стать обычными представителями микобиоты зерновых культур, возделываемых на территории нашей страны. Даже малочисленные виды грибов могут войти в состав доминирующих видов при изменении условий окружающей среды.

Исследование выполнено при поддержке проекта РФФИ № 14-26-00067.

Библиографический список (References)

- Афонин АН, Грин СЛ, Дзюбенко НИ, Фролов АН (2008) Агроэкологический атлас России и сопредельных стран: экономически значимые растения, их вредители, болезни и сорные растения. URL: <http://www.agroatlas.ru> (04.02.2019)
- Билай ВИ (1955) Фузариозы. Киев: АН УССР. 320 с.
- Гаврилова ОП, Гагкаева ТЮ, Буркин АА, Кононенко ГП (2009) Зараженность грибами рода *Fusarium* и контаминация микотоксинами зерна овса и ячменя на севере Нечерноземья. *Сельскохозяйственная биология* 6:89–93
- Гагкаева ТЮ, Гаврилова ОП, Левитин ММ, Новожилов КВ (2011) Фузариоз зерновых культур. Приложение к журналу *Защита и карантин растений* 5:69–120
- Гагкаева ТЮ, Гаврилова ОП, Левитин ММ (2014) Биоразнообразии и ареалы основных токсинопродуцирующих грибов рода *Fusarium*. *Биосфера* 6(1):36–45
- Гагкаева ТЮ, Левитин ММ (2005) Современное состояние таксономии грибов комплекса *Gibberella fujikuroi*. *Микология и фитопатология* 39(6):1–14
- Гагкаева ТЮ, Орина АС, Гаврилова ОП, Аблова ИБ и др (2018) Характеристика сортов озимой пшеницы по устойчивости к фузариозу зерна. *Вавиловский журнал генетики и селекции* 22(6):685–692. <http://www.doi.org/10.18699/VJ18.411>
- Иващенко ВГ, Шипилова НП (2004) Грибы рода *Fusarium* на семенах хлебных злаков в основных зерновых регионах России (ареалы, частота встречаемости, соотношение). СПб.: РАСХН ВИЗР. 20 с.

- Иващенко ВГ, Шипилова НП, Левитин ММ (2009) Видовой состав грибов рода *Fusarium* на злаках в азиатской части России. *Микология и фитопатология* 34(4):54–68
- Иващенко ВГ, Шипилова НП, Назаровская ЛА (2004) Фузариоз колоса хлебных злаков. СПб.: РАСХН ВИЗР 164 с.
- Иващенко ВГ, Шипилова НП, Нефедова ЛИ (1997) Биоэкологические и фитосанитарные аспекты исследования фузариоза колоса. *Микология и фитопатология* 31(2):58–63
- Кононенко ГП, Малиновская ЛС, Соболева НА (1999) Распространенность и токсинообразующие свойства грибов хлебных злаков в Московской области. *Микология и фитопатология* 33(2):118–123
- Левитин ММ (2015) Микроорганизмы в условиях глобального изменения климата. *Сельскохозяйственная биология* 50(5):641–647. <http://www.doi.org/10.15389/agrobiology.2015.5.641rus>
- Левитин ММ, Иващенко ВГ, Шипилова НП, Нестеров АН и др (1994) Возбудители фузариоза колоса зерновых культур и форм проявления болезни на северо-западе России. *Микология и фитопатология* 28(3):58–64
- Литовка ЮА (2017) Видовой состав и представленность грибов рода *Fusarium* на зерновых культурах (пшеница и ячмень), выращиваемых в условиях средней Сибири. *Вестник Красноярского государственного аграрного университета* 6(129):140–149
- Малиновская ЛС, Пирязева ЕА, Кислякова ОС (2004) Выявление доминантных видов рода *Fusarium* в зерне из различных регионов РФ *Успехи медицинской микологии* 3:278–280
- Пирязева ЕА, Малиновская ЛС (2009) Распространенность грибов рода *Fusarium* Link, поражающих зерно хлебных злаков в различных регионах Восточной Сибири. *Проблемы ветеринарной санитарии, гигиены и экологии* 2:14–19
- Aoki T, Nirenberg H (1999) *Fusarium globosum* from subtropical Japan and the effect of different light conditions on its conidiogenesis. *Mycoscience* 40:1–9. <http://www.doi.org/10.1007/BF02465667>
- Bakan B, Melcion D, Richard-Molard D, Cahagnier B (2002) Fungal growth and *Fusarium* mycotoxin content in isogenic traditional maize and genetically modified maize grown in France and Spain. *J Agric Food Chem* 50(4):728–731. <http://www.doi.org/10.1021/jf0108258>
- Blandino M, Reyneri A, Vanara F, Pascale M et al (2008) Effect of sowing date and insecticide application against European corn borer (Lepidoptera: Crambidae) on fumonisin contamination in maize kernels. *Crop Prot* 27:1432–1436. <http://www.doi.org/10.1016/j.cropro.2008.06.005>
- Chakraborty AS, Newton C (2011) Climate change, plant diseases and food security: an overview. *Plant Dis* 60(1):2–14. <http://www.doi.org/10.1111/j.1365-3059.2010.02411.x>
- Covarelli L, Stifano S, Beccari G, Raggi L et al (2012) Characterization of *Fusarium verticillioides* strains isolated from maize in Italy: fumonisin production, pathogenicity and genetic variability. *Food Microbiol* 31(1):17–24. <http://www.doi.org/10.1016/j.fm.2012.02.002>
- Gagkaeva T, Gavrilova O, Orina A (2019) First report of *Fusarium globosum* associated with barley grain in the southwestern part of Siberia. *Plant Dis* 103(3):588 <http://www.doi.org/10.1094/PDIS-06-18-1108-PDN>
- Gerlach W, Nirenberg HI (1982) The genus *Fusarium* – a pictorial atlas. *Mitt Biol Bundesanst Land-Forstw Berlin-Dahlem* 209. 406 p.
- Goyal S, Ramawat KG, Mérillon JM (2016) Different shades of fungal metabolites: An overview. *Fungal metabolites*. 1–29. http://www.doi.org/10.1007/978-3-319-19456-1_34-1
- Heydari-Nezhad AM, Babaeizad V, Mirhosseini HA, Khaksari M (2014) First report of a disease caused by *Fusarium globosum* on giant cane in Iran. *J Plant Pathol* 96(4):113–131. <http://www.doi.org/10.4454/JPP.V96I4.035>
- Hsieh WH, Smith SN, Snyder WC (1977) Mating groups in *Fusarium moniliforme*. *Phytopathology* 67:1041–1043. <http://www.doi.org/10.1094/Phyto-67-1041>
- Jurado M, Marín P, Vazquez C, González-Jaén MT (2012) Divergence of the IGS rDNA in *Fusarium proliferatum* and *Fusarium globosum* reveals two strain specific non-orthologous types. *Mycol Prog* 11(1):101–107. <http://www.doi.org/10.1007/s11557-010-0733-y>
- Kvas M, Marasas WFO, Wingfield BD, Wingfield MJ et al (2009) Diversity and evolution of *Fusarium* species in the *Gibberella fujikuroi* complex. *Fungal Divers* 34:1–21
- Kuhlman EG (1982) Varieties of *Gibberella fujikuroi* with anamorphs in *Fusarium* section *Liseola*. *Mycologia* 74:756–768. <http://www.doi.org/10.2307/3792862>
- Leslie JF (1999) Genetic status of the *Gibberella fujikuroi* species complex. *Plant Pathol* 15:259–269
- Leslie JF (1995) *Gibberella fujikuroi*: available populations and variable traits. *Can J Bot* 73:282–291. <http://www.doi.org/10.1139/b95-258>
- Leslie JF, Summerell BA (2006) Species description: The *Fusarium*. Laboratory manual. Blackwell Publishing. 388 p. <http://www.doi.org/10.1002/9780470278376>
- Marasas WFO (1996) Fumonisin: history, worldwide occurrence and impact. In «Fumonisin in food» Eds Jackson LS, DeVries JW, Bullerman LB. New York: Plenum Press. 1–17
- Marin P, Magan N, Vazquez C, Gonzalez-Jaen MT (2010) Differential effect of environmental conditions on the growth and regulation of the fumonisin biosynthetic gene *fum1* in the maize pathogens and fumonisin producers *Fusarium verticillioides* and *Fusarium proliferatum*. *FEMS Microbiol Ecol* 73:303–311. <http://www.doi.org/10.1111/j.1574-6941.2010.00894.x>
- Moses LM, Marasas WFO, Vismer HF, de Vos L et al (2010) Molecular characterization of *Fusarium globosum* strains from South African maize and Japanese wheat. *Mycopathologia* 170(4):237–249. <http://doi.org/10.1007/s11046-010-9318-1>
- Moskvitina NS, Korobitsyn IG, Tyutenkov OY, Gashkov SI et al (2014) The potential role of migratory birds in the spread of tick-borne infections in Siberia and the Russian Far East. *Achiev Life Sci* 8:118–120. <http://www.doi.org/10.1016/j.als.2015.01.005>
- Munkvold GP (2003) Epidemiology of *Fusarium* diseases and their mycotoxins in maize ears. *Eur J Plant Pathol* 109:705–713. <http://www.doi.org/10.1023/A:1026078324268>
- O'Donnell K, Ward TJ, Robert VARG, Crous PW et al (2015) DNA sequence-based identification of *Fusarium*: Current status and future directions. *Phytoparasitica* 43:583–595. <http://www.doi.org/10.1007/s12600-015-0484-z>
- O'Donnell K, Cidelnik E, Nirenberg HI (1998) Molecular systematic and phylogeography of the *Gibberella fujikuroi*

- species complex. *Mycologia* 90:465–493. <http://www.doi.org/10.2307/3761407>
- O'Donnell K, Nirenberg HI, Aoki T, Cigelnik E (2000) A multigene phylogeny of the *Gibberella fujikuroi* species complex: detection of additional phylogenetically distinct species. *Mycoscience* 41:61–78. <http://www.doi.org/10.1007/BF02464387>
- Proctor RH, Brown DW, Plattner RD, Desjardins AE (2003) Co-expression of 15 contiguous genes delineates a fumonisin biosynthetic gene in *Gibberella moniliformis*. *Fungal Genet Biol* 38:237–249. [http://www.doi.org/10.1016/S1087-1845\(02\)00525-X](http://www.doi.org/10.1016/S1087-1845(02)00525-X)
- Rheeder JP, Marasas WFO, Nelson PE (1996) *Fusarium globosum*, a new species from corn in Southern Africa. *Mycologia* 88:509–513. <http://www.doi.org/10.2307/3760891>
- Roos J, Hopkins R, Kvarnheden A, Dixelius Ch (2011) The impact of global warming on plant diseases and insect vectors in Sweden. *Eur J Plant Pathol* 129(1):9–19. <http://www.doi.org/10.1007/s10658-010-9692-z>
- Ryazantsev DYu, Evstratova SV, Zavriev SK, Abramova SL et al (2008) FLASH-PCR diagnostics of toxigenic fungi of the genus *Fusarium*. *Russian Journal of Bioorganic Chemistry* 34(6):716–724. <http://www.doi.org/10.1134/S1068162008060113>
- Samapundo S, Devlieghere F, De Meulenaer B, Debevere J (2005) Effect of water activity and temperature on growth and the relationship between fumonisin production and the radial growth of *Fusarium verticillioides* and *Fusarium proliferatum* on corn. *J Food Prot* 68(5):1054–1059. <http://www.doi.org/10.4315/0362-028X-68.5.1054>
- Samson RA, Hoekstra ES, Frisvad JC, Filtenborg O (2002) Introduction to food- and airborne fungi. Sixth Ed. Utrecht: Centraalbureau Voor Schimmelcultures. 389 p.
- Sandoval-Denis M, Guarnaccia V, Polizzi G, Crous PW (2018) Symptomatic Citrus trees reveal a new pathogenic lineage in *Fusarium* and two new *Neocosmospora* species. *Persoonia* 40(6):1–25. <http://www.doi.org/10.3767/persoonia.2018.40.01>
- Selikhovkin AV, Markovskaja S, Vasaitis R, Martynov AN et al. (2018) Phytopathogenic fungus *Fusarium circinatum* and potential for its transmission in Russia by insects. *Russian Journal of Biological Invasions* 9(3):245–252. <http://www.doi.org/10.1134/S2075111718030128>
- Stakheev AA, Samokhvalova LV, Mikityuk OD, Zavriev SK (2018) Phylogenetic analysis and molecular typing of trichothecene-producing *Fusarium* fungi from Russian collections. *Acta Naturae* 10(2):79–92
- Sydenham EW, Shephard GS, Stockenström S, Rheeder JP et al (1997) Production of fumonisin B analogues and related compounds by *Fusarium globosum*, a newly described species from corn. *J Agric Food Chem* 45(10):4004–4010. <http://www.doi.org/10.1021/jf9607066>
- Thrane U (2001) Developments in the taxonomy of *Fusarium* species based on secondary metabolites. In Summerell BA (Ed.) *Fusarium*: Paul E. Nelson Memorial Symposium. APS PRESS. 29–49
- Yli-Mattila T, Hussien T, Gavrilova O, Gagkaeva T (2018) Morphological and molecular variation between *Fusarium avenaceum*, *Fusarium arthrosporioides* and *Fusarium anguioides* strains. *Pathogens* 7(4):94. <http://www.doi.org/10.3390/pathogens7040094>
- Yli-Mattila T, Paavananen-Huhtala S, Jestoi M, Parikka P et al (2008) Real-time PCR detection and quantification of *Fusarium poae*, *F. graminearum*, *F. sporotrichioides* and *F. langsethiae* as compared to mycotoxin production in grains in Finland and Russia. *Arch Phytopathology Plant Protect* 41(4):243–260. <http://www.doi.org/10.1080/03235400600680659>

Translation of Russian References

- Afonin AN, Greene SL, Dzyubenko NI, Frolov AN (2008) [Interactive agricultural ecological atlas of Russia and adjacent countries, economic plants and their diseases, pests and weeds] URL: <http://www.agroatlas.ru> (04.02.2019)
- Bilay VI (1955) [Fuzarii] Kiev: AN USSR 320 p. (In Russian)
- Gavrilova OP, Gagkaeva TYu, Burkin AA, Kononenko GP (2009) [Mycological infection by *Fusarium* strains and mycotoxins contamination of oats and barley in the north of Necherozemye]. *Selskokhozyaistvennaya biologiya* 6:89–93 (In Russian)
- Gagkaeva TYu, Gavrilova OP, Levitin MM (2014) [Biodiversity and distribution of the main toxigenic *Fusarium* fungi]. *Biosfera* 6(1):36–45 (In Russian)
- Gagkaeva TYu, Levitin MM (2005) [Current state in the taxonomy of the fungi belonging to *Gibberella fujikuroi* complex]. *Mikologiya i fitopatologiya* 39(6):1–14 (In Russian)
- Gagkaeva TYu, Orina AS, Gavrilova OP, Ablova IB et al (2018) [Characterization of resistance of winter wheat varieties to *Fusarium* head blight]. *Vavilovskij zhurnal genetiki i selekcii* 22(6):685–692 (In Russian) <http://www.doi.org/10.18699/VJ18.411>
- Ivashchenko VG, Shipilova NP (2004) *Griby roda Fusarium na semenakh khlebykh zlakov v zernovykh regionakh Rossii (arealy, chastota vstrechayemosti, sootnosheniye)* [Fungi of *Fusarium* genus on the cereals seeds in the main grain regions of Russia (areas, frequency, ratio)]. SPb.: RASKHN. VIZR. 20 p. (In Russian)
- Ivashchenko VG, Shipilova NP, Levitin MM (2000) [Species composition of *Fusarium* fungi on cereals in the Asian part of Russia]. *Mikologiya i fitopatologiya* 34(4):54–68 (In Russian)
- Ivashchenko VG, Shipilova NP, Nazarovskaya LA (2004) *Fuzarioz kolosa khlebykh zlakov [Fusarium head blight of cereals]*. SPb.: RASKHN VIZR. 164 p. (In Russian)
- Ivashchenko VG, Shipilova NP, Nefedova LI (1997) [Bioecological and phytosanitary aspects of the study of *Fusarium* head blight]. *Mikologiya i fitopatologiya* 31(2):58–63 (In Russian)
- Kononenko GP, Malinovskaya LS, Soboleva NA (1999) [The abundance and toxicological properties of fungi on cereals in the Moscow region] *Mikologiya i fitopatologiya* 33(2):118–123 (In Russian)
- Levitin MM (2015) [Microorganisms and global climate change] *Selskokhozyaistvennaya biologiya* 50(5):641–647 (In Russian) <http://www.doi.org/10.15389/agrobiol.2015.5.641rus>
- Levitin MM, Ivashchenko VG, Shipilova NP, Nesterov AN et al (1994) [The causative agents of *Fusarium* head blight

- and forms of disease manifestation in northwest Russia]. *Mikologiya i fitopatologiya* 28(3):58–64 (In Russian)
- Litovka YuA (2017) [Specific structure and representation of *Fusarium* fungi on the grain crops (wheat and barley) grown up in the conditions of central Siberia]. *Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* 6(129):140–149 (In Russian)
- Malinovskaya LS, Piryazeva EA, Kislyakova OS (2009) [Identification of dominant *Fusarium* species in grain from various regions of Russia]. *Uspekhi medicinskoj mikologii* 3:278–280 (In Russian)
- Piryazeva EA, Malinovskaya LS (2009) [The abundance of fungi of the genus *Fusarium* Link, affecting grain cereals in different regions of Eastern Siberia]. *Problemy veterinarnoy sanitarii, gigeny i ekologii* 2:14–19 (In Russian)

Plant Protection News, 2019, 1(99), p. 10–18

OECD+WoS: 1.06+RQ

[http://doi.org/10.31993/2308-6459-2019-1\(99\)-10-18](http://doi.org/10.31993/2308-6459-2019-1(99)-10-18)

Full-text article

FIRST DETECTION OF *FUSARIUM GLOBOSUM* IN SMALL GRAIN CEREALS ON URAL AND SIBERIAN TERRITORY

T.Yu. Gagkaeva*, O.P. Gavrilova, A.S. Orina

All-Russian Institute of Plant Protection, St. Petersburg, Russia

* *corresponding author, e-mail: t.gagkaeva@mail.ru*

Fusarium globosum was revealed as a result of the study of the fungi composition in the grain samples of bread and durum wheat, and barley obtained from the Novosibirsk and Chelyabinsk Regions, as well as the Altai Territory in 2017–2018. This is the first record of *F. globosum* for Russia and the fourth record for the world. This species is a member of *Fusarium fujikuroi* species complex, which are characterized by their ability to produce fumonisins, representing a group of dangerous mycotoxins with carcinogenic properties. In this paper we provided the descriptions of micro- and macromorphological characteristics of Russian strains of *F. globosum*. Morphological identification was confirmed by sequencing of the taxonomically significant region of the elongation factor 1 α gene. The growth over a wide temperature range and the pathogenicity of *F. globosum* strains were analyzed in comparison with strains of phylogenetically close species *F. proliferatum* and *F. verticillioides*. There were no significant differences between species in the temperature optimum of growth (between 20 and 25 °C), while the range of favorable temperatures for *F. proliferatum* and *F. verticillioides* was much broader than for *F. globosum* strains. The difference in pathogenicity of all the studied strains, characterized by the leaf damage of two wheat varieties, was insignificant. Apparently, the distribution of *F. globosum* covers the territory at least from Ural to Western Siberia. Due to the change in the environmental conditions and globalization of plant industry, *F. globosum* can potentially spread to the larger area.

Key words: wheat, barley, *Fusarium globosum*, first detection, Ural, Siberia, Russia

Received: 07.02.2019

Accepted: 06.03.2019