



Идентификация и характеристика возбудителей фузариозной сухой гнили картофеля

© 2025. О. П. Гаврилова, А. С. Орина, Т. Ю. Гагкаева✉

ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений»,
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

В результате проведённых исследований уточнён таксономический статус 11 штаммов грибов комплекса видов *Fusarium oxysporum*, выделенных из клубней картофеля с симптомами фузариозной сухой гнили из трёх федеральных округов РФ, а также охарактеризована их патогенность к клубням трёх сортов картофеля и чувствительность к фунгицидам, рекомендованным для защиты этой культуры. С помощью филогенетического анализа фрагментов генов фактора элонгации трансляции (*tef*) и большой субъединицы РНК полимеразы II (*rpb2*) анализируемые штаммы идентифицированы как представители двух видов – *F. oxysporum* s. str. (4 шт.) и *F. nirenbergiae* (7 шт.). Штаммы *F. nirenbergiae* были более агрессивными к клубням картофеля сортов Гала, Импала и Ред Скарлет, вызывая в среднем в 1,3–1,9 раза более обширные повреждения растительной ткани (19,0–41,6 мм) по сравнению со штаммами *F. oxysporum* (3,2–34,6 мм), у которых отмечена значительная вариабельность этого признака. По чувствительности к четырём фунгицидам, содержащим действующие вещества из разных химических классов, выявлены как межвидовые, так и внутривидовые различия. Наибольшую чувствительность штаммы обоих видов проявили к препарату, содержащему беномил, который эффективно ингибировал их рост ($EC_{50} = 0,0003\%$ в среднем для каждого вида). Наименьшая чувствительность штаммов, особенно *F. oxysporum*, отмечена в отношении препарата, содержащего флудиоксонил ($EC_{50} > 1\%$).

Ключевые слова: грибы, *Fusarium*, *Solanum tuberosum*, ДНК, филогения, патогенность, фунгициды, чувствительность, полумаксимальная эффективная концентрация

Благодарности: работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (№ проекта 23-26-00105), <https://rscf.ru/project/23-26-00105/>

Авторы благодарят лаборанта-исследователя ФГБНУ ВИЗР И. И. Трубина за помощь в проведённых исследованиях. Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Гаврилова О. П., Орина А. С., Гагкаева Т. Ю. Идентификация и характеристика возбудителей фузариозной сухой гнили картофеля. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2025;26(3):577–584.

DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.3.577-584>

Поступила: 24.01.2025 Принята к публикации: 28.05.2025 Опубликовано онлайн: 30.06.2025

Identification and characterization of the pathogens causing *Fusarium* dry rot of potatoes

© 2025. Olga P. Gavrilova, Aleksandra S. Orina, Tatiana Yu. Gagkaeva✉

All-Russian Institute of Plant Protection (VIZR), Saint-Petersburg, Russian Federation

Based on the results obtained in this study, the taxonomic status of 11 fungal strains belonging to the *Fusarium oxysporum* species complex isolated from potato tubers with symptoms of *Fusarium* dry rot collected in three federal districts of the Russian Federation was clarified. The pathogenicity of strains to tubers of three potato cultivars and their sensitivity to fungicides recommended for the protection of this crop were characterized. The phylogenetic analysis of fragments of translation elongation factor (*tef*) and large subunit of RNA polymerase II (*rpb2*) genes allowed to identify the analyzed *Fusarium* strains as representatives of two species – *F. oxysporum* s. str. (4) and *F. nirenbergiae* (7). The *F. nirenbergiae* strains turned out more aggressive to tubers of potato cultivars ‘Gala’, ‘Impala’ and ‘Red Scarlett’ and caused on average 1.3–1.9 times more extensive damage of plant tissue (19.0–41.6 mm) compared to *F. oxysporum* strains (3.2–34.6 mm), which demonstrated high intraspecific variability in pathogenicity. Characterization of strain’s sensitivity to four fungicides containing active substances from different chemical classes revealed both interspecific and intraspecific differences of fungi. The strains of both species were the most sensitive to the benomyl-containing fungicide, which effectively inhibited fungal growth ($EC_{50} = 0.0003\%$ on average for each species). The lowest sensitivity of the strains, especially *F. oxysporum*, was found in relation to the fludioxonil-containing fungicide ($EC_{50} > 1\%$).

Keywords: fungi, *Fusarium*, *Solanum tuberosum*, DNA, phylogeny, pathogenicity, fungicides, sensitivity, half-maximum effective concentration

Acknowledgments: the study was supported by the Russian Science Foundation (project No. 23-26-00105), <https://rscf.ru/project/23-26-00105/>

The authors thank I. I. Trubin for assistance in this research.

The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

Conflict of interest: the authors declare no conflict of interest.

For citation: Gavrilova O. P., Orina A. S., Gagkaeva T. Yu. Identification and characterization of the pathogens causing Fusarium dry rot of potatoes. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2025;26(3):577–584. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.3.577-584>

Received: 24.01.2025

Accepted for publication: 28.05.2025

Published online: 30.06.2025

Ежегодно при производстве и сохранении урожая картофеля возникают значительные потери, обусловленные его инфицированностью патогенными микроорганизмами, среди которых особой вредоносностью характеризуются грибы рода *Fusarium*, вызывающие фузариозную сухую гниль клубней (ФСГК). Видовой состав возбудителей этого широко распространённого во всех картофелепроизводящих регионах мира заболевания может различаться [1]. На территории РФ состав доминирующих патогенов значительно варьирует в зависимости от географического происхождения партий картофеля [2]. Чаще остальных фузариевых грибов, как правило, встречаются представители комплексов видов *Fusarium sambucinum* [3, 4, 5], а также *F. oxysporum* (FO) [6, 7].

В настоящее время в онлайн-базе данных MycoBank¹, где задокументированы номенклатурные названия грибов, число корректных записей о видах комплекса FO насчитывает более 200. Из-за высокого фенотипического сходства разграничение видов этого комплекса по морфологии затруднительно, поэтому для точной идентификации необходимо привлечение молекулярно-генетических методов [8].

Виды комплекса FO часто демонстрируют высокую агрессивность к клубням картофеля, однако среди них могут встречаться и непатогенные [9, 10, 11]. При проведении защитных мероприятий необходимо учитывать множество факторов, в том числе видовой состав патогенов в конкретном регионе и устойчивость возделываемых сортов картофеля. Кроме того, применение фунгицидов против возбудителей ФСГК является одним из обязательных условий получения и сохранения здорового картофеля [12, 13]. Однако следует учитывать, что у разных видов *Fusarium*, и даже среди штаммов одного вида, чувствительность к действующим веществам (д. в.) химических препаратов может значительно варьировать [14, 15].

Цель исследования – выявление филогенетического разнообразия видов комплекса *Fusarium oxysporum* и сравнительная характеристика штаммов *F. oxysporum* s. str. и *F. nirenbergiae*.

Научная новизна – впервые в РФ проведена оценка генетически охарактеризованных штаммов близкородственных видов комплекса *F. oxysporum*, ассоциированных с клубнями картофеля, выращенного в трёх федеральных округах РФ, по патогенности и чувствительности к фунгицидам.

Материал и методы. Для уточнения видовой идентификации и дальнейшего изучения свойств грибов *Fusarium* из коллекции микроорганизмов лаборатории микологии и фитопатологии ФГБНУ ВИЗР выбрали одиннадцать штаммов, отнесённых по морфологическим признакам к комплексу видов FO. Все штаммы выделены авторами из клубней с симптомами ФСГК, полученных из Приволжского (Башкортостан, Саратовская обл.), Северо-Кавказского (Ставропольский край) и Центрального (Тульская обл., Ярославская обл.) федеральных округов РФ (табл.).

Выделение ДНК из мицелия грибов, предварительно выращенных на картофеле-сахарозной агаризованной среде (КСА), проводили согласно общепринятой методике [16]. Таксономический статус грибов определяли с помощью мультилокусного секвенирования информативных для этой группы грибов участков генов и последующего филогенетического анализа полученных комбинированных нуклеотидных последовательностей. Амплифицировали фрагменты генов фактора элонгации трансляции EF-1α (*tef*) и гена, кодирующего большую субъединицу РНК полимеразы II типа (*rpb2*) согласно протоколам [16], а затем их нуклеотидные последовательности определяли с помощью секвенатора ABIPrism 3500 (Applied Biosystems, Япония) и набора реактивов BigDye Terminator v3.1 Cycle Sequencing Kit (Applied Biosystems, США). Полученные нуклеотидные последовательности ДНК анализированных штаммов депонировали в базе данных NCBI GenBank (OR020713, OR020721, OR020723, OR020733, OR634784–OR634788, OR634790, OR634793, OR727735–OR727739, OR727741, OR727744, OR727745, OR727747, OR727749, OR727750, OR727739), откуда также выбрали референсные последовательности 34 штаммов 15 близкородственных видов FO для оценки

¹MycoBank Database. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.mycobank.org> (дата обращения: 20.01.2025).

филогенетических отношений между таксонами методами максимального правдоподобия и Байеса с использованием программ IQ-TREE v. 2.1.2

и MrBayes v. 3.2.1. Достоверность топологии филогенетических деревьев определяли с помощью бутстрэп-анализа (1000 повторностей).

Таблица – Штаммы грибов Fusarium, включенные в исследование /
Table – Fusarium strains included in this study

<i>Вид Fusarium /</i> <i>Fusarium species</i>	<i>Номер</i> <i>в коллекции /</i> <i>Collection number</i>	<i>Происхождение /</i> <i>Origin</i>	<i>Сорт</i> <i>картофеля /</i> <i>Potato cultivar</i>	<i>Год</i> <i>выделения /</i> <i>Year of isolation</i>
<i>F. oxysporum</i>	MFG 70125	Тульская обл. / Tula oblast	Альянс / 'Al'yans'	2020
<i>F. oxysporum</i>	MFG 70127	Ставропольский край / Stavropol Krai	Коломба / 'Colomba'	2020
<i>F. oxysporum</i>	MFG 70128	Ставропольский край / Stavropol Krai	Коломба / 'Colomba'	2020
<i>F. oxysporum</i>	MFG 70145	Самарская обл. / Samara oblast	Королева Анна / 'Queen Anne'	2020
<i>F. nirenbergiae</i>	MFG 70132	Ярославская обл. / Yaroslavl oblast	Аппой / 'Arrow'	2020
<i>F. nirenbergiae</i>	MFG 70136	Ставропольский край / Stavropol Krai	Неизвестный / Unknown	2020
<i>F. nirenbergiae</i>	MFG 70137	Ставропольский край / Stavropol Krai	Неизвестный / Unknown	2020
<i>F. nirenbergiae</i>	MFG 70139	Ставропольский край / Stavropol Krai	Неизвестный / Unknown	2020
<i>F. nirenbergiae</i>	MFG 70157	Башкортостан / Bashkortostan	Удача / 'Udacha'	2021
<i>F. nirenbergiae</i>	MFG 70159	Башкортостан / Bashkortostan	Удача / 'Udacha'	2021
<i>F. nirenbergiae</i>	MFG 70178	Ставропольский край / Stavropol Krai	Неизвестный / Unknown	2021

Патогенность всех штаммов *F. nirenbergiae* и трёх штаммов *F. oxysporum* оценивали при инокуляции каждым штаммом не менее 5 клубней картофеля каждого из трёх столовых сортов Гала, Импала и Ред Леди по описанной ранее методике [17]. Спустя 28 суток инкубации при 23 °С клубни разрезали вдоль оси инокуляции и измеряли симптомы поражения клубня (мм) в перпендикулярных направлениях, рассчитывая среднее значение. Размеры симптомов в каждом варианте оценивали без учёта размеров инокуляционного канала в контроле: в среднем 13,5±0,1 мм – для клубней сорта Гала, 13,7±0,1 мм – сорта Импала и 14,6±0,4 мм – сорта Ред Леди.

Анализировали чувствительность всех штаммов к четырём фунгицидам: Бенорад, СП (беномил, 500 г/кг); Квадрис, СК (азоксистробин, 250 г/л); Максим, КС (флудиоксонил, 25 г/л); Эместо Сильвер, КС (комбинация пенфлуфена, 100 г/л и протиокназола, 18 г/л). Препараты разводили в стерильной воде до необходимой концентрации и вносили в охлажденную до 55 °С КСА, на которой затем культивировали

грибы [18]. Концентрации Квадрис, Максим и Эместо Сильвер в среде составили 1,0; 0,1; 0,01 и 0,001 % от концентрации рабочего раствора, содержащего максимальную дозу д. в. согласно рекомендации производителей². Выбранные концентрации Бенорада были значительно ниже 0,001; 0,002; 0,0001 и 0,00001 % из-за предварительно установленной высокой чувствительности штаммов к д. в. этого препарата. В программе Quest Graph™ EC50 Calculator рассчитывали концентрацию фунгицида, приводящую к 50%-му подавлению роста каждого штамма гриба (EC₅₀).

Статистическую обработку полученных данных (расчёт средних значений, доверительных интервалов, корреляционный анализ, однофакторный дисперсионный анализ) проводили в Microsoft Excel 2010 и STATISTICA 12.

Результаты и их обсуждение. Филогенетический анализ полученных нуклеотидных последовательностей позволил установить принадлежность выбранных штаммов к двум видам комплекса FO. Штаммы распределились

²Государственный каталог пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации, по состоянию на 9 ноября 2023 г. Часть I. Пестициды. М.: Минсельхоз, 2023. 201 с.

на молекулярно-филогенетическом дереве в две хорошо поддерживаемые клады: четыре из них кластеризовались с типовым штаммом *F. oxysporum* s. str., тогда как 7 других входили в состав клады, включающей референсные последова-

тельности вида *F. nirenbergiae* (рис. 1). Оба вида являются широко распространенными неспециализированными патогенами [8], которые выявляли в составе микробиоты клубней картофеля, выращенного в РФ [19, 20].

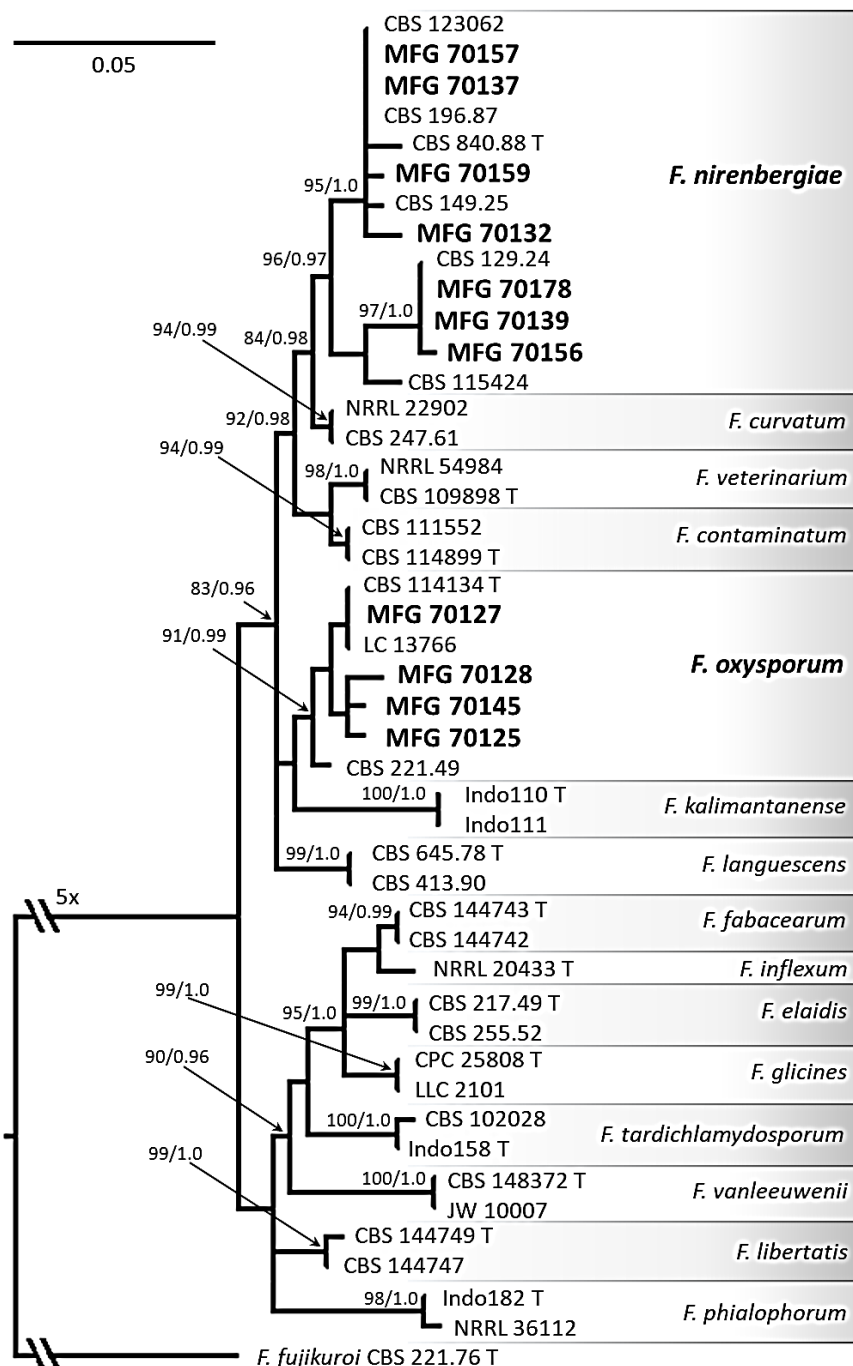


Рис. 1. Дендрограмма филогенетического сходства видов комплекса *Fusarium oxysporum*, построенная на основе комбинированных последовательностей фрагментов генов *tef* и *rpb2* методом максимального правдоподобия. В узлах приведены значения бутстреп-поддержки (> 70 %) при анализе методом максимального правдоподобия, а также значения Байесовской апостериорной вероятности (> 0,95). Штамм CBS 221.76 *F. fujikuroi* выбран в качестве внешней группы. Анализируемые штаммы выделены полужирным шрифтом. Т – типовой штамм вида /

Fig. 1. Maximum likelihood (ML) phylogenetic tree based on DNA sequence data from *tef* and *rpb2* loci of *Fusarium oxysporum* species complex. ML bootstrap support values > 70 %, followed by Bayesian posterior probability (BP) scores > 0.95 are shown at the nodes. The tree was rooted on sequences of *F. fujikuroi* strain CBS 221.76. The studied strains are in bold. T, ex-type strain

Инокуляция клубней штаммами *F. oxysporum* и *F. nirenbergiae* приводила к значительным повреждениям растительной ткани, размеры которых варьировали в зависимости от вида патогена и сорта картофеля (рис. 2). При инокуляции клубней штаммами *F. oxysporum* размеры повреждений составили от 22,0 до 27,3 мм (сорт Гала), от 5,4 до 31,0 мм

(сорт Импала) и от 3,2 до 34,6 мм (сорт Ред Леди), а при инокуляции *F. nirenbergiae* варьировали в пределах – 29,7–38,4 мм (Гала), 28,7–40,5 мм (Импала) и 19,0–41,6 мм (Ред Леди). В среднем штаммы *F. nirenbergiae* были в 1,3–1,9 раза более агрессивными к клубням трех сортов картофеля ($p = 0,0037 \div p = 0,012$) достоверно по сравнению со штаммами *F. oxysporum*.

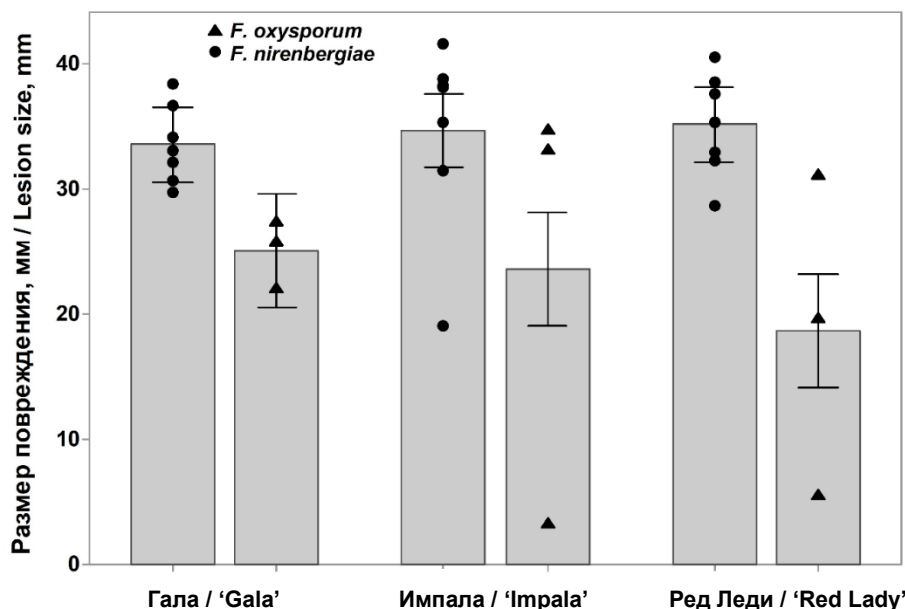


Рис. 2. Средние размеры симптомов фузариозной сухой гнили картофеля трёх сортов (столбцы) при инокуляции штаммами *F. oxysporum* и *F. nirenbergiae* (23 °C, 4 недели). Фигурными знаками приведены значения индивидуальных штаммов. Отрезками указаны доверительные интервалы при уровне значимости 95 % /

Fig. 2. Average sizes of Fusarium dry rot symptoms of tubers of three cultivars of potato (columns) under inoculation with *F. oxysporum* and *F. nirenbergiae* strains (23 °C, 4 weeks). Figured signs mean the values of individual strains. Bars indicate confidence intervals at the significance level of 95 %

Типичными симптомами фузариозной сухой гнили являются темные углубления различного размера вокруг места инфицирования клубня, усыхание ткани с формированием концентрических колец на поверхности. Также в зависимости от агрессивности гриба наблюдается образование в клубне внутренних полостей разного размера, окаймленных от внешне здоровой ткани границей от светло- до темно-коричневого цвета и часто выстланных мицелием и спороношением гриба. Однако некоторые штаммы грибов *Fusarium* могут также вызывать обширную мацерацию окружающей ткани вокруг образовавшейся полости, достигающей до перидермы клубня (рис. 3). Такое размягчение и чрезмерное увлажнение ткани, возникающее под действием вторичных метаболитов фузариевых грибов, мало похоже на классический симптом фузариозной сухой гнили, что следует учитывать при визуальной диагностике заболеваний клубней.

В нашем исследовании не установлены достоверные различия между сортами по устойчивости к инфицированию штаммами двух видов FO, несмотря на то что при инокуляции клубней другими патогенами *Fusarium* такие различия выявляли [5, 21]. Достоверная связь отмечена между размерами повреждений клубней, вызванных анализируемыми штаммами обоих видов, для сортов Импала и Ред Леди (коэффициент корреляции составил 0,73 при $p = 0,0016$).

Добавление фунгицидов в КСА ограничивало рост всех штаммов с различной эффективностью. Рассчитанные значения EC_{50} препаратов выявили различия в чувствительности штаммов двух видов *Fusarium* к фунгицидам, выбранным для исследования. В подавлении роста штаммов грибов обоих видов наиболее эффективен препарат Бенорад: значения EC_{50} для *F. oxysporum* и *F. nirenbergiae* в среднем были сходными и составили 0,0003 % от кон-

центрации рабочего раствора. Все анализируемые штаммы также оказались чувствительны к препарату Эместо Сильвер, содержащему пенфлуфен и протиокназол, без значительных различий по чувствительности: EC_{50} препарата для штаммов *F. oxysporum* и *F. nirenbergiae* в среднем составила 0,052 % (диапазон значений 0,024–0,087 %) и 0,040 % (0,01–0,059 %) соответственно. В то же время штаммы *F. oxysporum* оказались в среднем в 7 раз менее чувствительны (EC_{50} = 0,16 % от концентрации рабочего раствора) к препарату Квадрис, содержа-

щему азоксистробин, чем штаммы *F. nirenbergiae* (EC_{50} = 0,023 %), причем у двух штаммов *F. oxysporum* MFG 70125 и *F. nirenbergiae* MFG 70178 обнаружена низкая чувствительность к этому препарату (EC_{50} превышала 1,0 %). Все штаммы *F. oxysporum* и два штамма *F. nirenbergiae* (MFG 70157 и MFG 70178) характеризовались низкой чувствительностью к препарату Максим, содержащему флудиоксонил, EC_{50} превышала 1,0 %, а для остальных штаммов *F. nirenbergiae* EC_{50} в среднем составила 0,0061 %.

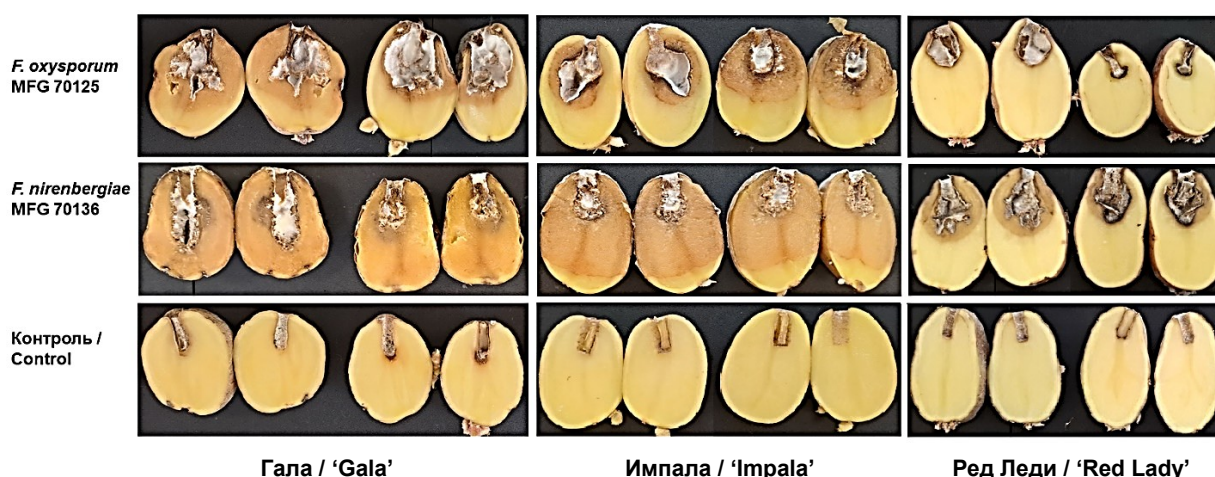


Рис. 3. Симптомы фузариозной сухой гнили клубней картофеля трёх сортов при инокуляции грибами *F. oxysporum* и *F. nirenbergiae* (23 °C, 4 недели) /

Fig. 3. Symptoms of Fusarium dry rot of tubers of three potato cultivars under inoculation with *F. oxysporum* and *F. nirenbergiae* strains (23 °C, 4 weeks)

В недавнем исследовании показано, что фунгицид, содержащий пенконазол, эффективно подавлял рост штаммов *F. oxysporum*, выделенных из картофеля, в отличие от препарата, содержащего флудиоксонил, низкие концентрации которого приводили к увеличению роста мицелия штаммов по сравнению с контролем [22]. Снижение чувствительности к флудиоксонилю отмечено среди разных видов *Fusarium* – возбудителей ФСГК, в том числе *F. oxysporum* [14, 15, 23], и вызывает серьезные опасения относительно перспектив использования фенилпирролов или их производных в качестве фунгицидов для защиты картофеля.

Заключение. Среди штаммов, выделенных из клубней картофеля различного географического происхождения, по морфологическим признакам отнесенных к комплексу видов FO с помощью филогенетического анализа на основании последовательностей фрагментов генов *tef* и *rpb2* подтверждена принадлежность к двум видам – *F. oxysporum* и *F. nirenbergiae*.

Характеристика патогенности этих штаммов к клубням картофеля трёх сортов выявила, что штаммы *F. nirenbergiae* являлись более агрессивными по сравнению со штаммами *F. oxysporum*. Различий сортов картофеля по восприимчивости к инфицированию грибами обоих видов не установлено. Присутствие беномила в питательной среде приводило к наиболее эффективному ингибированию роста штаммов обоих видов комплекса FO по сравнению с другими анализируемыми д. в. Доля штаммов, проявивших низкую чувствительность к азоксистробину и флудиоксонилю, составила 18 и 55 % от общего числа соответственно, что указывает на риск снижения эффективности широко применяемых фунгицидов, содержащих в своём составе эти д. в., для контроля возбудителей фузариозной сухой гнили картофеля. Полученные результаты позволят проводить более целенаправленный подбор химических препаратов для эффективного подавления патогенов с целью получения качественного урожая картофеля и увеличения срока его

хранения. Кроме того, корректно идентифицированные штаммы *Fusarium* с известными свойствами также могут служить объектами

в дальнейших исследованиях по разработке новых перспективных химических и биологических препаратов для защиты картофеля.

References

1. Tiwari R. K., Kumar R., Sharma S., Sagar V., Aggarwal R., Naga K. C., et al. Potato dry rot disease: current status, pathogenomics and management. 3 Biotech. 2020;10(11):503. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13205-020-02496-8>
2. Гагкаева Т. Ю., Орина А. С., Гаврилова О. П., Трубин И. И., Хютти А. В. Распространение фузариозной сухой гнили клубней картофеля в Российской Федерации. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2025;26(1):98–106. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.1.98-106> EDN: NCEOJJ
3. Gagkaeva T. Yu., Orina A. S., Gavrilova O. P., Trubin I. I., Khiutti A. V. Distribution of *Fusarium* dry rot of potato tubers in Russian Federation. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2025;26(1):98–106. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.1.98-106>
4. Azil N., Stefańczyk E., Sobkowiak S., Chihat S., Bouregghda H., Śliwka J. Identification and pathogenicity of *Fusarium* spp. associated with tuber dry rot and wilt of potato in Algeria. European Journal of Plant Pathology. 2021;159:495–509. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10658-020-02177-5>
5. Гагкаева Т. Ю., Орина А. С., Трубин И. И., Гаврилова О. П., Хютти А. В. *Fusarium sambucinum* – возбудитель сухой гнили клубней картофеля. Вестник защиты растений. 2023;106(3):137–145. DOI: <https://doi.org/10.31993/2308-6459-2023-106-3-16041> EDN: AXVWVQ
6. Gagkaeva T. Yu., Orina A. S., Trubin I. I., Gavrilova O. P., Khyutti A. V. *Fusarium sambucinum*: causing dry tuber rot of potatoes. *Vestnik zashchity rasteniy* = Plant Protection News. 2023;106(3):137–145. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31993/2308-6459-2023-106-3-16041>
7. Christian C. L., Rosnow J., Woodhall J. W., Wharton P. S., Duellman K. M. Pathogenicity of *Fusarium* species associated with potato dry rot in the Pacific Northwest of the United States. Plant Disease. 2024;ja. DOI: <https://doi.org/10.1094/PDIS-10-24-2136-RE>
8. Elansky A. S., Mislavskiy S. M., Chudinova E. M., Kokaeva L. Yu., Elansky S. N., Denisova E. E., et al. *Fusarium* species affecting potato tubers and tomato fruits in Uganda. Mycology and Phytopathology. 2024;58(2):161–172. DOI: <https://doi.org/10.31857/S0026364824020077>
9. Kim N. S., Hong S. J., Won H. S., Kim B. S., Gwon S. H. Identification and pathogenicity of species isolated from stored potato tubers showing symptoms of dry rot disease. Potato Research. 2024;67:1797–1808. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11540-024-09709-0>
10. Lombard L., Sandoval-Denis M., Lamprecht S. C., Crous P. W. Epitypification of *Fusarium oxysporum* – clearing the taxonomic chaos. Persoonia. 2019;43:1–47. DOI: <https://doi.org/10.3767/persoonia.2019.43.01>
11. Du M., Ren X., Sun Q., Wang Y., Zhang R. Characterization of *Fusarium* spp. causing potato dry rot in China and susceptibility evaluation of Chi-nese potato germplasm to the pathogen. Potato Research. 2012;55:175–184. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11540-012-9217-6>
12. Gashgari R. M., Gherbawy Y. A. Pathogenicity of some *Fusarium* species associated with superficial blemishes of potato tubers. Polish Journal of Microbiology. 2013;62(1):59–66. DOI: <https://doi.org/10.33073/pjm-2013-007>
13. Stefańczyk E., Sobkowiak S., Brylińska M., Śliwka J. Diversity of *Fusarium* spp. associated with dry rot of potato tubers in Poland. European Journal of Plant Pathology. 2016;145:871–884. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10658-016-0875-0>
14. Bojanowski A., Avis T. J., Pelletier S., Tweddell R. J. Management of potato dry rot. Postharvest Biology and Technology. 2013;84:99–109. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2013.04.008>
15. Зейрук В. Н., Белов Г. Л., Васильева С. В., Мальцев С. В., Колесова Е. А. Как избежать потерь при хранении картофеля. Защита и карантин растений. 2024;(1):14–17. DOI: https://doi.org/10.47528/1026-8634_2024_1_14 EDN: EPMTH
16. Zeyruk V. N., Belov G. L., Vasilyeva S. V., Maltsev S. V., Kolesova E. A. How to minimize potato tuber losses during storage. *Zashchita i karantin rasteniy*. 2024;(1):14–17. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.47528/1026-8634_2024_1_14
17. Gachango E., Hanson L. E., Rojas A., Hao J. J., Kirk W. W. *Fusarium* spp. causing dry rot of seed potato tubers in Michigan and their sensitivity to fungicides. Plant Disease. 2012;96:1767–1774. DOI: <https://doi.org/10.1094/PDIS-11-11-0932-RE>
18. Орина А. С., Гаврилова О. П., Трубин И. И., Гагкаева Т. Ю. Действие фунгицидов на возбудителей фузариозной сухой гнили картофеля. Агрохимия. 2024;(3):37–42. DOI: <https://doi.org/10.31857/S0002188124030057> EDN: DNVIKE
19. Orina A. S., Gavrilova O. P., Trubin I. I., Gagkaeva T. Yu. Effect of fungicides on fusarium fungi caused potato dry rot. *Agrokimiya*. 2024;(3):37–42. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31857/S0002188124030057>
20. O'Donnell K., Laraba I., Geiser D. M. Pure culture and DNA sequence-based identification of *Fusarium* from symptomatic plants and diverse substrates. *Fusarium wilt. Methods in molecular biology*. New York: Humana, 2022. pp. 1–20. DOI: https://doi.org/10.1007/978-1-0716-1795-3_1
21. Gavrilova O., Orina A., Trubin I., Gagkaeva T. Identification and pathogenicity of *Fusarium* fungi associated with dry rot of potato tubers. Microorganisms. 2024;12(3):598. DOI: <https://doi.org/10.3390/microorganisms12030598>

18. Трубин И. И., Орина А. С., Гаврилова О. П., Гагкаева Т. Ю. Патогенность и чувствительность к флудиоксонилю грибов рода *Fusarium* – возбудителей сухой гнили клубней картофеля. Защита и карантин растений. 2024;(2):19–22. DOI: https://doi.org/10.47528/1026-8634_2024_2_19 EDN: BOCSDC

Trubin I. I., Orina A. S., Gavrilova O. P., Gagkaeva T. Yu. Pathogenicity and sensitivity to fludioxonil for fungi of *Fusarium* spp., associated with dry rot of potato tubers. *Zashchita i karantin rasteniy*. 2024;(2):19–22. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.47528/1026-8634_2024_2_19

19. Хадиева Г. Ф., Лутфуллин М. Т., Акосах Й. А., Малова А. В., Мочалова Н. К., Вологин С. Г. и др. Анализ микромицетов рода *Fusarium*, изолированных из инфицированных клубней картофеля, выращенных в Республике Татарстан. Достижения науки и техники АПК. 2018;32(3):34–39. DOI: <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2018-10307> EDN: YWENZR

Khadieva G. F., Lutfullin M. T., Akosakh Y. A., Malova A. V., Mochalova N. K., Vologin S. G. et al. Analysis of fusarium micromycetes, isolated from infected potato tubers grown in the Republic of Tatarstan. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* = Achievements of Science and Technology of AICis. 2018;32(3):34–39. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2018-10307>

20. Белосохов А. Ф., Ярмеева М. М., Долгов А. М., Миславский С. М., Албантов Г. П., Курчаев М. Л. и др. Грибы рода *Fusarium* на клубнях картофеля. Современная микология в России: мат-лы 5-го съезда микологов России. М.: Академия микологии, 2022. Т. 9. С. 250–252.

Режим доступа: <https://istina.ipmnet.ru/publications/article/504031416/>

Belosokhov A. F., Yarmeeva M. M., Dolgov A. M., Mislavskiy S. M., Albantov G. P., Kurchaev M. L. et al. Fungi of the genus *Fusarium* on potato tubers. Modern Mycology in Russia: Proceedings of the 5th Congress of Mycologists of Russia. Moscow: *Akademiya mikologii*, 2022. Vol. 9. pp. 250–252. URL: <https://istina.ipmnet.ru/publications/article/504031416/>

21. Aydin M. H., İnal B. Comparative susceptibility of some commercial potato cultivars to *Fusarium sambucinum* and *F. solani* isolates causing tuber dry rot. Applied Ecology and Environmental Research. 2018;16(4):4879–4892. DOI: https://doi.org/10.15666/aer/1604_48794892

22. Akosah Y. A., Kostennikova Z. S., Lutfullin M. T., Lutfullina G. F., Afordoanyi D. M., Vologin S. G., Mardanova A. M. Induced expression of *CYP51A* and *HK1* genes associated with penconazole and fludioxonil resistance in the potato pathogen *Fusarium oxysporum*. Microorganisms. 2023;11(5):1257. DOI: <https://doi.org/10.3390/microorganisms11051257>

23. Peters R. D., Platt H. W., Drake K. A., Coffin R. H., Moorehead S., Clark M. M., et al. First report of fludioxonil-resistant isolates of *Fusarium* spp. causing potato seed-piece decay. Plant Disease. 2008;92(1):172. DOI: <https://doi.org/10.1094/PDIS-92-1-0172A>

Сведения об авторах

Гаврилова Ольга Павловна, кандидат биол. наук, старший научный сотрудник, лаборатория микологии и фитопатологии, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений», ш. Подбельского, д. 3, г. Санкт-Петербург-Пушкин, Российская Федерация, 196608, e-mail: info@vizr.spb.ru,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5350-3221>

Орина Александра Станиславовна, кандидат биол. наук, старший научный сотрудник, лаборатория микологии и фитопатологии, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений», ш. Подбельского, д. 3, г. Санкт-Петербург-Пушкин, Российская Федерация, 196608, e-mail: info@vizr.spb.ru,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7657-6618>

✉ **Гагкаева Татьяна Юрьевна**, кандидат биол. наук, ведущий научный сотрудник, лаборатория микологии и фитопатологии, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений», ш. Подбельского, д. 3, г. Санкт-Петербург-Пушкин, Российская Федерация, 196608, e-mail: info@vizr.spb.ru,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3276-561X>, e-mail: t.gagkaeva@mail.ru

Information about the authors

Olga P. Gavrilova, PhD in Biology, senior researcher, the Laboratory of Mycology and Phytopathology, All-Russian Institute of Plant Protection (VIZR), Podbelskogo shosse, 3, St. Petersburg, Pushkin, Russian Federation, 196608, e-mail: info@vizr.spb.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5350-3221>

Aleksandra S. Orina, PhD in Biology, senior researcher, the Laboratory of Mycology and Phytopathology, All-Russian Institute of Plant Protection (VIZR), Podbelskogo shosse, 3, St. Petersburg, Pushkin, Russian Federation, 196608, e-mail: info@vizr.spb.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7657-6618>

✉ **Tatiana Yu. Gagkaeva**, PhD in Biology, leading researcher, the Laboratory of Mycology and Phytopathology, All-Russian Institute of Plant Protection (VIZR), Podbelskogo shosse, 3, St. Petersburg, Pushkin, Russian Federation, 196608, e-mail: info@vizr.spb.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3276-561X>, e-mail: t.gagkaeva@mail.ru

✉ – Для контактов / Corresponding author