

ЗАЩИТА РАСТЕНИЙ/PLANT PROTECTION

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.1.98-106>
УДК 632.25:632.4.01/.08



Распространение фузариозной сухой гнили клубней картофеля в Российской Федерации

© 2025. Т. Ю. Гагкаева , А. С. Орина, О. П. Гаврилова, И. И. Трубин, А. В. Хютти

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

Фузариозная сухая гниль клубней (ФСГК), вызываемая грибами рода *Fusarium*, повсеместное заболевание картофеля, приводящее к снижению качества семян как при посадке, так и в процессе хранения. Цель исследования – установить распространение ФСГК в РФ и оценить видовое разнообразие грибов, вызывающих это заболевание. В период 2018–2024 гг. был проведен клубневой анализ 342 партий картофеля, полученных из различных регионов 5 федеральных округов (ФО) РФ. Оценивали долю партий картофеля с ФСГК и встречаемость клубней с симптомами заболевания, а также проводили выделение грибов *Fusarium* из этих клубней с последующей идентификацией по сумме морфолого-культуральных признаков. Установлено, что 82,7 % анализированных партий картофеля содержали клубни с симптомами поражения ФСГК – в среднем от 5,7 до 13,5 %. Урожай клубней 2020, 2021, 2023 и 2024 гг. можно охарактеризовать как относительно слабо зараженный ФСГК – встречаемость клубней с симптомами не превышала в среднем 6,5 %, тогда как в 2018 и 2019 гг. отмечена значительная зараженность урожая – 15,3–20,5 % клубней. Согласно результатам дисперсионного анализа, установлено достоверное влияние факторов «происхождение», «год», «сорт» и «репродукция» на проявление ФСГК в партиях картофеля. Идентификация изолятов *Fusarium*, выделенных из клубней, выявила представителей семи комплексов видов: *F. sambucinum* (FSAM), *F. oxysporum* (FO), *F. tricinctum*, *F. incarnatum-equiseti*, *F. redolens* (FR), *F. solani* и *F. nisikadoi*. В Сибирском, Центральном и Северо-Западном ФО из клубней с симптомами ФСГК чаще выделялись представители комплекса видов FSAM (34,2–66,7 % от всех выделенных грибов *Fusarium*, среди которых доминировал *F. sambucinum*). Отмечено преобладание представителей комплекса видов FO в Северо-Кавказском ФО – 68,8 %. В Приволжском ФО с высокой частотой (33,3 %) выявлен грибок *F. redolens* из комплекса видов FR. Понимание, какие именно потенциальные факторы влияют на распространение ФСГК и видовой состав доминирующих патогенов позволит обосновать мероприятия по защите картофеля от заболевания.

Ключевые слова: *Solanum tuberosum* L., виды *Fusarium*, мониторинг, репродукция, сорт, федеральный округ РФ

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

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: 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>

Поступила: 01.11.2024

Принята к публикации: 17.01.2025

Опубликована онлайн: 26.02.2025

Distribution of *Fusarium* dry rot of potato tubers in Russian Federation

© 2025. Tatiana Yu. Gagkaeva , Aleksandra S. Orina, Olga P. Gavrilova, Ilya I. Trubin, Aleksandr V. Khiutti

All-Russian Institute of Plant Protection, Saint-Petersburg, Russian Federation

Fusarium dry rot of tubers (FDR), caused by *Fusarium* fungi, is a widespread potato disease that reduces seed quality both during planting and storage. The aim of the study was to establish the distribution of FDR in Russia and to reveal the species diversity of fungi causing this disease. In 2018–2024, tuber analysis of 342 potato batches obtained from various regions of 5 Federal Districts of the Russia was carried out. The share of batches with FDR and the occurrence of the tubers with disease symptoms were assessed, and *Fusarium* fungi were isolated from these tubers, followed by identification of them based on the morphological and cultural characteristics. It was found that 82.7 % of the analyzed potato batches contained tubers infected with *Fusarium* fungi, the proportion of which varied from 5.7 to 13.5 %. Potato yield of 2020, 2021, 2023 and 2024 can be characterized as a relatively low-infected by FDR, the frequency occurrence of tubers with disease symptoms did not exceed 6.5 % on average, whereas in 2018 and 2019, high potato infestation was noted – 15.3–20.5 % of tubers. According to the results of the dispersion analysis, a reliable effect of the factors “origin”, “year”, “cultivar” and “reproduction” on the FSGC occurrence

in potato batches was established. *Fusarium* fungi isolated from tubers were represented by members of seven species complexes: *F. sambucinum* (FSAMSC), *F. oxysporum* (FOSC), *F. tricinctum*, *F. incarnatum-equiseti*, *F. redolens* (FRSC), *F. solani* and *F. nisikadoi*. In the Siberian, Central and Northwestern Federal Districts, FSAMSC isolates were the most common in the tuber with FDR symptoms (34.2–66.7 % of all isolated *Fusarium* fungi), and *F. sambucinum* dominated among them. In the North Caucasian Federal District, FOSC isolates prevailed – 68.8 % of all isolated *Fusarium* fungi. In the Volga Federal District, the *F. redolens* from the FRSC was detected with a high frequency (33.3 %). Understanding the key factors facilitating on FDR and the species composition of pathogens will make it possible to justify the control of this potato disease.

Keywords: *Solanum tuberosum* L., *Fusarium* species, monitoring, reproduction, cultivar, Federal District of Russian Federation

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

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

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

For citations: 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>

Received: 01.11.2024

Accepted for publication: 17.01.2025

Published online: 26.02.2025

Картофель (*Solanum tuberosum* L.) является важной продовольственной культурой, общий мировой объем производства этой сельскохозяйственной продукции превышает 300 млн т¹. Российская Федерация является одним из крупнейших производителей картофеля в мире: посевные площади этой культуры в 2023 году составили 1075 тыс. га, а производство картофеля – 20,2 млн т^{2, 3}. Наибольшие площади посадок и объемы валового сбора урожая зафиксированы в Центральном, Приволжском и Сибирском федеральных округах (ФО) – 33,6 % (6,9 млн т), 24,4 % (5,0 млн т) и 12,1 % (2,5 млн т) соответственно.

Известно более 3000 сортов картофеля, из которых 535 зарегистрированы в «Государственном реестре селекционных достижений, допущенных к использованию»⁴. Сорта различаются периодом созревания, цветом кожуры и содержанием крахмала, а также устойчивостью к вредным организмам. Такое разнообразие позволяет выбирать наиболее подходящие сорта для выращивания в определенной местности и по целевому назначению.

Основное отличие картофеля от многих других сельскохозяйственных культур – вегетативное размножение клубнями. Репродукция является важной характеристикой партии сортового картофеля. Начиная с первого года получения сева из семян или от меристемного

растения до получения третьей репродукции, проходит 8 лет культивирования. При посадке семян каждой следующей репродукции, как правило, происходит постепенное накопление в клубнях возбудителей различных заболеваний.

Одним из самых вредоносных заболеваний картофеля является фузариозная сухая гниль клубней (ФСГК), вызываемая грибами рода *Fusarium*, которое широко распространено во всем мире и приводит к потерям урожая в период хранения от 30 до 50 %, а также к снижению качества клубней [1]. С сухой гнилью картофеля ассоциировано около 11–13 видов фузариевых грибов, но их состав варьирует в зависимости от условий выращивания [2, 3, 4].

Несомненная целесообразность применения патоген-ориентированных подходов в современных технологиях возделывания культурных растений актуализирует ценность знаний о точном видовом составе возбудителей ФСГК и последующего изучения их свойств. Данная информация позволит расширить возможности получения здорового семенного и продовольственного картофеля с помощью оптимизации методов ограничения заболевания.

Цель исследования – установить распространение ФСГК в пяти картофелепроизводящих федеральных округах РФ в течение 2018–2024 гг. и оценить видовое разнообразие грибов *Fusarium*, вызывающих это заболевание.

¹Potato Facts and Figures. CIP International Potato Center [Электронный ресурс].

URL: <https://cipotato.org/potato/potato-facts-and-figures> (дата обращения: 31.10.2024).

²Федеральная служба государственной статистики. Посевные площади Российской Федерации в 2023 году.

[Электронный ресурс]. URL: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/posev_2023.xlsx (дата обращения: 31.10.2024).

³Федеральная служба государственной статистики. Валовые сборы и урожайность сельскохозяйственных культур по Российской Федерации в 2023 году. Часть 2. [Электронный ресурс].

URL: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Val-2_2023.xlsx (дата обращения: 31.10.2024).

⁴Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. Том 1. Сорта растений.

[Электронный ресурс]. URL: <https://gossortrf.ru/registry> (дата обращения: 31.10.2024).

Научная новизна – сравнительный анализ влияния условий культивирования на распространение ФСГК и разнообразие патогенов, ассоциированных с данным вредоносным заболеванием, на территории РФ ранее не проводился.

Материал и методы. В течение 7 лет провели клубневой анализ 342 партий семенного картофеля из различных регионов пяти ФО РФ. Партии картофеля представляли собой однородную продукцию клубней определенного сорта, изготовленную производителем в одинаковых условиях, оформленную одним сопроводительным документом и доставленную одновременно. Согласно методам^{5, 6}, из каждой партии отбирали среднюю пробу (200 клубней) и оценивали наличие клубней с внешними и внутренними признаками поражения ФСГК. Всего проанализировано в 2018 г. – 39 проб, 2019 – 36, 2020 – 65, 2021 – 57, 2022 – 42, 2023 – 66, 2024 – 37 проб. Учитывали распространённость заболевания – доля (%) партий картофеля из определенного ФО, в которых выявлены клубни с визуально заметными симптомами сухой гнили, а также встречаемость – доля (%) клубней с симптомами ФСГК (среднее, медиана, диапазон). Анализируемые партии картофеля были представлены 81 сортом.

Пораженную ткань клубней картофеля раскладывали на картофельно-сахарозную агаризованную питательную среду (КСА) с добавлением 0,4 мкл/л смеси антибиотиков, состоящей из ампициллина, стрептомицина, пенициллина (HyClone, Австрия) и 0,4 мкл/л 10%-го раствора Triton X-100 (Panreac, Испания). Чашки Петри инкубировали при 23 °С в темноте. Из каждой культуры гриба, выросшего из ткани клубня и первоначально отнесенного к роду *Fusarium*, получали моноспоровый изолят. Для этого готовили суспензию спор гриба, которую распределяли шпателем по поверхности КСА, содержащей Triton X-100, и в дальнейшем отсеивали отдельно выросший изолят, который использовали для последующих исследований [5]. Идентификацию грибов проводили по сумме морфолого-культуральных признаков [6, 7] в соответствии с современными представлениями о таксономии грибов рода *Fusarium* [8]. Все анализируемые моноспоровые изоляты хранятся в коллекции чистых культур грибов лаборатории микологии и фитопатологии ФГБНУ ВИЗР. Полученные данные анализи-

ровали в программах Microsoft Excel 2010 и STATISTICA 12. С помощью критериев Колмогорова и Шапиро-Уилка выявили, что характер распределения данных отличается от нормального, поэтому результаты для каждой из выборок, сформированных на основании происхождения, сорта и года урожая анализируемых партий, представлены в виде средней и медианы. Оценку статистической значимости выявленных различий между группами проводили с помощью непараметрического критерия Краскела-Уоллиса и считали их достоверными при $p < 0,05$. Влияние факторов на долю клубней с симптомами ФСГК оценивали с помощью дисперсионного анализа, используя логарифмическое преобразование данных.

Результаты и их обсуждение. Клубни картофеля с симптомами гнилей, вызванных грибами рода *Fusarium*, встречались в партиях картофеля из всех анализируемых ФО РФ: доля партий с ФСГК варьировала от 77 % в Северо-Западном до 96 % в Северо-Кавказском ФО (табл. 1).

При анализе картофеля из Приволжского ФО выявлены партии, в которых доля клубней с симптомами поражения ФСГК достигала 100 % (сорт Гала, 2019 г.). Достоверные различия по встречаемости заболевания в анализируемых макрорегионах за годы исследований установлены между партиями из Северо-Западного ФО (5,7 %), где зараженность клубней грибами была самой низкой, и партиями из Центрального (9,3 %, $p = 0,026$), и Приволжского ФО (13,5 %, $p < 0,0001$).

Урожай клубней в 2020, 2021, 2023 и 2024 гг. во всех анализируемых ФО можно охарактеризовать как относительно слабо пораженный ФСГК – доля клубней с симптомами заболевания не превышала в среднем 6,5 %, тогда как в 2018 и 2019 гг. отмечена высокая встречаемость заболевания – 15,3–20,5 %.

Среди анализируемых сортов наиболее часто встречающимися являлись Гала и Ред Скарлетт – их доля составила 17,0 и 10,2 % от всех рассмотренных партий. Другие сорта встречались реже: Коломба и Ривьера составляли около 5 % партий каждый; Арроу, Вега, Инноватор, Королева Анна, Ред Леди и Эволюшн – от 2 до 4 %. Остальные сорта были представлены единичными партиями.

⁵ГОСТ 33996-2016. Межгосударственный стандарт. Картофель семенной. Технические условия и методы определения качества. М.: Стандартинформ, 2017. 35 с. URL: <https://fsvps.gov.ru/files/gost-33996-2016-mezhgosudarstvennyj-standart/>

⁶ГОСТ Р 59551-2021. Национальный стандарт Российской Федерации. Картофель семенной. Отбор проб и методы диагностики фитопатогенов. М.: Стандартинформ, 2021. 23 с. URL: <https://npalib.ru/2021/06/03/gost-r-59551-2021-id172151/>

Таблица 1 – Степень поражения картофеля фузариозной сухой гнилью клубней (ФСГК) по федеральным округам РФ (2018–2024 гг.) /

Table 1 – Degree of Fusarium dry rot (FDR) infestation of potato from different Federal districts of Russia (2018–2024)

Федеральный округ РФ (годы исследований) / Federal district of Russian Federation (years of research)	Число партий / Number of batches	Доля партий с ФСГК, % / Share of batches with FDR, %	Доля клубней с симптомами ФСГК в партии, %* / Share of tubers with FDR symptoms, %		
			среднее** / average	медиана / median	диапазон / range
Приволжский / Volga (2018–2024)	72	83	13,5 ^b	8,0	0–100
Северо-Западный / Northwestern (2018–2024)	179	77	5,7 ^a	3,0	3–94
Северо-Кавказский / North Caucasian (2018–2024)	26	96	10,6 ^{ab}	5,3	0–57
Сибирский / Siberian (2020–2023)	20	95	9,7 ^{ab}	3,8	0–45
Центральный / Central (2018–2024)	45	91	9,3 ^b	5,6	0–46

*В каждой партии анализировали среднюю пробу (n = 200); **Средние величины, достоверно различающиеся по непараметрическому критерию Краскела-Уоллиса, обозначены разными надстрочными латинскими буквами /

*The average sample (n = 200) was analyzed in each batch; **The average values, which differ significantly according to the nonparametric Kruskal-Wallis criterion, are indicated by different superscript Latin letters

При сравнении сортов картофеля, представленных в анализируемой выборке более чем 10 партиями (Гала, Ред Скарлетт, Ривьера, Коломба и Ред Леди), по встречаемости ФСГК достоверные различия (p = 0,015) выявлены только между наиболее пораженным сортом Коломба (доля инфицированных партий составляла 95,2 %; средняя/медианная зараженность клубней 13,2/11,0 %) и менее пораженным Ред Леди (69,2 %; 3,1/2,0 %).

По мнению многих исследователей, нет ни одного коммерческого сорта с высокой устойчивостью к ФСГК, но восприимчивость сортов

к этому заболеванию существенно варьирует [9, 10, 11]. Также показано, что восприимчивость сорта может различаться в зависимости от вида *Fusarium*, доминирующего в комплексе возбудителей ФСГК [10, 12, 13].

Репродукция большинства анализируемых партий картофеля (41,2 %) относилась к элите (табл. 2). Достоверные различия по доле пораженных клубней ФСГК в партиях установлены между первой полевой репродукцией и элитой (p = 0,014), а также между первой и второй репродукцией (p = 0,036).

Таблица 2 – Поражение картофеля фузариозной сухой гнилью клубней (ФСГК) в зависимости от репродукции семян (2018–2024 гг.) /

Table 2 – Fusarium dry rot (FDR) infestation of potato in dependence of seed reproduction (2018–2024)

Репродукция / Reproduction	Число партий / Number of batches	Доля партий с ФСГК, % / Share of batches with FDR, %	Доля клубней с симптомами ФСГК, %* / Share of tubers with FDR symptoms, %		
			среднее** / average	медиана / median	диапазон / range
Первая полевая репродукция / The first field reproduction	13	62	1,6 ^a	1,0	0–6
Супер-суперэлита / Super-superelite	46	83	8,1 ^{ab}	4,2	0–57
Суперэлита / Superelite	62	77	5,0 ^{ab}	3,0	0–32
Элита / Elite	141	86	10,3 ^b	5,0	0–100
Первая репродукция / The first reproduction	32	84	8,8 ^{ab}	3,7	0–62
Вторая репродукция / The second reproduction	48	85	9,0 ^b	5,4	0–45

*В каждой партии анализировали среднюю пробу (n = 200); **Средние величины, достоверно различающиеся по непараметрическому критерию Краскела-Уоллиса, обозначены разными надстрочными латинскими буквами /

*The average sample was analyzed in each batch (n = 200); **The average values, which significantly differ according to the nonparametric Kruskal-Wallis criterion, are indicated by different Latin superscript letters

Признаки заболевания были выявлены в более чем 62 % партий картофеля первой полевой репродукции с медианной заражённостью 1 %, доля поражённых клубней возрас- тала и в последующих репродукциях. Вероятно, значительное распространение ФСГК в клубнях ранней репродукции обусловлено инфициро- ванностью почвы, где грибы-возбудители могут сохраняться в виде хламидоспор и мицелия в течение длительного времени. После сбора урожая заражённая почва может оставаться на поверхности клубней, способствуя переносу инфекции в хранилища, где развитие заболе- вания продолжается. В дальнейшем высадка заражённых семян обеспечивает новый и допол- нительный источник инфекции в почве. Таким образом, патогены могут накапливаться с тече- нием времени на полях, где возделывают

картофель, и распространяться с семенами на новые территории [9, 14].

Согласно результатам дисперсионного анализа, установлено достоверное влияние всех учтённых факторов – «происхождение» ($p < 0,001$), «год» ($p < 0,001$), «сорт» ($p < 0,001$) и «репродукция» ($p = 0,01$) – на проявление ФСГК в партиях картофеля. Также выявлено значи- тельное взаимодействие факторов «происхож- дение» и «год», влияющих на встречаемость заболевания ($p < 0,001$).

Идентификация по сумме морфолого- культуральных признаков изолятов *Fusarium*, выделенных из клубней, выявила представителей семи комплексов видов фузариевых грибов – *F. sambucinum* (FSAM), *F. oxysporum* (FO), *F. tricinctum* (FT), *F. incarnatum-equiseti* (FIE), *F. redolens* (FR), *F. solani* (FS) и *F. nisikadoi* (FN) (табл. 3).

Таблица 3 – Разнообразие грибов рода *Fusarium*, выделенных из клубней картофеля с симптомами сухой гнили из различных ФО РФ /

Table 3 – Diversity of *Fusarium* fungi isolated from potato tubers with dry rot symptoms from different Federal Districts of Russia

Федеральный округ РФ / Federal district of Russian Federation	Число изолятов / Number of isolates	Представленность изолятов, относящихся к комплексам видов фузариевых грибов*, % / The proportion of isolates belonging to different <i>Fusarium</i> species complexes*, %						
		FSAM	FO	FT	FIE	FR	FS	FN
Приволжский / Volga	12	16,7	16,7	8,3	16,7	33,3	8,3	0
Северо-Западный / Northwestern	38	34,2	10,5	28,9	13,2	5,3	5,3	2,6
Северо-Кавказский / North Caucasian	16	6,3	68,8	12,3	0	6,3	6,3	0
Сибирский / Siberian	9	66,7	22,2	0	11,1	0	0	0
Центральный / Central	35	57,1	20,0	11,5	5,7	0	5,7	0
Всего	110	38,2	23,6	16,4	9,1	6,4	5,4	0,9

*Комплексы видов / Species complexes: *Fusarium sambucinum* (FSAM), *F. oxysporum* (FO), *F. tricinctum* (FT), *F. incarnatum-equiseti* (FIE), *F. redolens* (FR), *F. solani* (FS), *F. nisikadoi* (FN).

Чаще остальных видов из клубней карто- феля с симптомами сухой гнили, выращенного в Сибирском, Центральном и Северо-Западном ФО, были выделены представители комплекса видов FSAM, среди которых доминировал *F. sambucinum*. Этот гриб характеризуется высокой агрессивностью и является одним из самых распространенных и вредоносных пато- генов клубней картофеля во многих странах [15, 16, 17]. Другие представители комплекса FSAM – *F. sporotrichioides* и *F. graminearum* – выявлены в исследуемом материале из Централь- ного ФО, и только один изолят *F. venenatum* идентифицирован среди грибов, выделенных из клубней картофеля, выращенного в Северо- Западном ФО.

Представители комплекса видов FO встречались во всех регионах, но их значи- тельное доминирование (68,8 %) отмечено в Северо-Кавказском ФО, что предполагает их адаптированность к данным условиям обита- ния, включая устойчивость к воздействию фак- торов абиотического и биологического харак- тера. Структура комплекса видов FO долгое время находилась в «таксономическом хаосе» из-за большого количества криптических видов, возникших из-за использования изменчивых внутривидовых морфологических характе- ристик, а также отсутствия живого типового материала, на котором можно было бы осно- вывать фундаментальные филогенетические анализы грибов данного комплекса [18]. В 2019 г.

исследователи определили эпитип для *F. oxysporum* s. str., используя штаммы, выделенные из клубней картофеля с симптомами сухой гнили в Германии, что также привело к описанию 15 новых видов комплекса FO [18]. Морфолого-культуральные признаки видов FO имеют расплывчатые границы, что значительно усложняет их идентификацию. Мы предполагаем присутствие не менее пяти разных видов FO среди выделенных из клубней изолятов в нашем исследовании, однако установить их точную видовую принадлежность будет возможно лишь с помощью молекулярно-генетических методов. Кроме того, разнообразие видов комплекса FO требует дальнейшего тщательного изучения их свойств для понимания распространения этих грибов, круга растений-хозяев, вредоносности, чувствительности к фунгицидам.

Представители комплекса видов FT выявлены повсеместно, за исключением Сибирского ФО. Максимальная встречаемость изолятов этого комплекса видов среди всего разнообразия выделенных грибов *Fusarium* отмечена в Северо-Западном ФО (28,9 %) с превалированием вида *F. avenaceum*, который является типичным патогеном зерновых культур, возделываемых в данном регионе [19]. Кроме него, единично отмечены *F. acuminatum*, *F. flocciferum*, *F. torulosum* и *F. tricinctum*.

Из представителей FIE *F. equiseti* выявлен во всех анализированных ФО, кроме Северо-Кавказского, с частотой встречаемости 5,7–16,7 %. Гриб *F. redolens* из одноименного комплекса видов FR с высокой частотой (33,3 %) выявлен в Приволжском ФО, и единично изоляты этого вида встречались в Северо-Западном и Северо-Кавказском ФО. Ранее *F. redolens* был выделен из клубней картофеля, выращенного в Татарстане [20] и Красноярском крае [21].

Встречаемость грибов комплекса видов FS являлась относительно низкой по сравнению с представителями других комплексов видов – 5,3–8,3 %, кроме Сибирского ФО, где эти грибы не обнаружены. С использованием филогенетического анализа установлено, что изолированные грибы представлены видами *F. mori*, *F. noneumartii*, *F. stercicola* и *F. vanettenii* [17].

Один изолят *F. commune*, относящийся к комплексу видов FN, выявлен в Северо-Западном ФО. Ранее этот вид уже выделяли из клубней картофеля в Европейской части России [4].

Патогены, зимующие на хранящемся семенном картофеле, являются одним из факторов, влияющих на дальнейшее распространение заболевания. У штаммов отдельных видов грибов *Fusarium* отмечено значительное внутривидовое разнообразие по агрессивности и другим свойствам [3, 9]. Наши исследования штаммов *F. sambucinum*, а также грибов видов комплекса FS, выделенных из картофеля, показали значительные видовые и внутривидовые различия по агрессивности к клубням [15, 17, 22] и чувствительности к фунгицидам [23].

Видовые особенности и агрессивность гриба могут существенно влиять на глубину проникновения инфекции в ткани клубня и на промежуток времени, в течение которого картофель может храниться без потерь урожая. Повреждения перидермы клубней, которые возникают во время механизированных операций, а также раны от насекомых и грызунов способствуют заселению тканей картофеля микроорганизмами [9, 13, 14]. Поскольку в тканях гниющего картофеля вслед за агрессивным этиологическим агентом (патогенный микромицет или бактерия), а также в механически поврежденных клубнях могут поселяться и успешно развиваться сапротрофные и некротрофные организмы, поэтому частая встречаемость определенного гриба не всегда обусловлена его патогенностью. При первичном анализе пораженной ткани клубней на питательной агаризованной среде мы часто отмечали присутствие других микроорганизмов совместно с грибами *Fusarium*.

Полученные результаты могут служить отправной точкой для будущих исследований, включающих мониторинг ФСГК в различных регионах, оценку разнообразия комплекса возбудителей и его изменения под влиянием условий окружающей среды, что станет основой усовершенствованных стратегий возделывания картофеля.

Заключение. Фузариозная сухая гниль клубней (ФСГК), вызываемая грибами *Fusarium*, является распространенным заболеванием картофеля, приводящим к снижению качества семян как при посадке, так и в процессе хранения. При проведении клубневого анализа 342 партий картофеля, выращенного в пяти ФО РФ, выявлено, что 82,7 % из них содержали клубни с симптомами поражения грибами *Fusarium*.

В семенных партиях допускается содержание клубней с признаками ФСГК не более 1 %⁷ и, согласно результатам проведённого исследования, только у 26,0 % партий этот показатель соответствовал норме. Установлено, что с увеличением репродукции картофеля возрастает доля партий клубней с ФСГК, и даже в партиях первой полевой репродукции встречаемость таких клубней может достигать 6 %, что вероятнее всего обусловлено патогенами, сохраняющимися в почве. Микологический анализ пораженных тканей клубней позволил идентифицировать различные виды

Fusarium, относящихся к 7 комплексам видов, из которых FSAM и FO встречались в партиях картофеля из всех макрорегионов. Наибольшее разнообразие идентифицированных видов фузариевых грибов выявлено в Северо-Западном ФО, наименьшее – в Сибирском ФО. Установление ключевых факторов, определяющих распространение ФСГК и доминирующий состав патогенов, а также характеристика их свойств позволят оптимизировать систему защитных мероприятий, приводящую к получению высококачественного урожая картофеля.

Список литературы

1. Kerkeni A., Daami-Remadi M., Khedher M. B. *In vivo* evaluation of compost extracts for the control of the potato *Fusarium* wilt caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *tuberosi*. The African Journal of Plant Science and Biotechnology. 2013;7(1):36–41. URL: https://www.researchgate.net/publication/311970290_In_vivo_Evaluation_of_compost_extract_for_the_control_of_the_potato_Fusarium_wilt_caused_by_Fusarium_oxysporum_f_sp_tuberosi
2. 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>
3. Azil N., Stefańczyk E., Sobkowiak S., Chihat S., Boureghda 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>
4. 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. 2022;9:250–252. Режим доступа: <https://istina.msu.ru/publications/article/504031416/>
5. Гагкаева Т. Ю., Гаврилова О. П., Левитин М. М., Новожилов К. В. Фузариоз зерновых культур. Защита и карантин растений. 2011;(S5):69–120.
6. Gerlach W., Nirenberg H. The genus *Fusarium* - a pictorial atlas. Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt Für Land- und Forstwirtschaft, Berlin – Dahlem. 1982;209:1–405. URL: <https://eurekamag.com/research/001/138/001138278.php>
7. Nirenberg H. I. Morphological differentiation of *Fusarium sambucinum* Fuckel sensu stricto, *F. torulosum* (Berk. & Curt.) Nirenberg comb. nov. and *F. venenatum* Nirenberg sp. nov. Mycopathologia. 1995;129:131–141. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF01103337>
8. Geiser D. M., Al-Hatmi A. M. S., Aoki T., Arie T., Balmas V., Barnes I., et al. Phylogenomic analysis of a 55.1 kb 19-gene dataset resolves a monophyletic *Fusarium* that includes the *Fusarium solani* species complex. Phytopathologia. 2021;111(7):1064–1079. DOI: <https://doi.org/10.1094/PHYTO-08-20-0330-LE>
9. Peters J. C., Lees A. K., Cullen D. W., Sullivan L., Stroud G. P., Cunningham A. C. Characterization of *Fusarium* spp. responsible for causing dry rot of potato in Great Britain. Plant Pathology. 2008;57(2):262–271. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2007.01777.x>
10. 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>
11. 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>
12. Du M., Ren X., Sun Q., Wang Y., Zhang R. Characterization of *Fusarium* spp. causing potato dry rot in China and susceptibility evaluation of Chinese potato germplasm to the pathogen. Potato Research. 2012;55:175–184. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11540-012-9217-6>
13. 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(12):1767–1774. DOI: <https://doi.org/10.1094/PDIS-11-11-0932-RE>
14. Secor G. A., Salas B. *Fusarium* dry rot and *Fusarium* wilt. In: Stevenson W. R., Loria R., Franc G., Weingartner D. P. (Eds.). Compendium of potato diseases. St. Paul: APS Press, 2001. pp. 23–25.
15. Daami-Remadi M., Jabnoum-Khiareddine H., Ayed F., El Mahdjoub M. Effect of temperature on aggressivity of Tunisian *Fusarium* species causing potato (*Solanum tuberosum* L.) tuber dry rot. biocontrol. Journal of Agronomy. 2006;5(2):350–355. DOI: <https://doi.org/10.3923/ja.2006.350.355>
16. Estrada Jr. R., Gudmestad N. C., Rivera V. V., Secor G. A. *Fusarium graminearum* as a dry rot pathogen of potato in the USA: Prevalence, comparison of host isolate aggressiveness and factors affecting aetiology. Plant Pathology. 2010; 59(6):1114–1120. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2010.02343.x>

⁷Руководство ЕЭК ООН по болезням, вредителям и дефектам семенного картофеля. Дата введения 2014-07-01. [Электронный ресурс]. URL: <https://unece.org/ru/trade/publications/rukovodstvo-eek-oon-po-boleznyam-vreditelyam-i-defektam-semennogo-kartofelya> (дата обращения: 09.01.2025).

17. Gavrilo 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. 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>
19. Гаврилова О. П., Ганнибал Ф. Б., Гагкаева Т. Ю. Зараженность грибами *Fusarium* и *Alternaria* зерна овса на Северо-западе России. *Сельскохозяйственная биология*. 2016;51(1):111–118. DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2016.1.111rus> EDN: VPWCMH
20. Хадиева Г. Ф., Лутфуллин М. Т., Акосах Й. А., Малова А. В., Мочалова Н. К., Вологин С. Г., и др. Анализ микромитозов 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
21. Прудникова С. В., Чураков А. А., Овсянкина С. В., Хижняк С. В. Выделение и идентификация автохтонных возбудителей болезней картофеля, распространенных в регионах Сибири. *Биотехнология новых материалов – окружающая среда – качество жизни: мат-лы IV Международ. научн. конф.* Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2021. С. 174–177. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=46578152> EDN: DLSUMC
22. 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: AXVWQ
23. 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

References

1. Kerkeni A., Daami-Remadi M., Khedher M. B. *In vivo* evaluation of compost extracts for the control of the potato *Fusarium* wilt caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *tuberosi*. *The African Journal of Plant Science and Biotechnology*. 2013;7(1):36–41. URL: https://www.researchgate.net/publication/311970290_In_vivo_Evaluation_of_compost_extract_for_the_control_of_the_potato_Fusarium_wilt_caused_by_Fusarium_oxysporum_f_sp_tuberosi
2. 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>
3. 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>
4. Belosokhov A. F., Yarmeeva M. M., Dolgov A. M., Mislavskiy S. M., Albantov G. P., Kurchaev M. L., et al. *Fusarium* fungi on potato tubers. *Sovremennaya mikologiya v Rossii* = Current Mycology in Russia. 2022;9:250–252. (In Russ.). URL: <https://istina.msu.ru/publications/article/504031416/>
5. Gagkaeva T. Yu., Gavrilo O. P., Levitin M. M., Novozhilov K. V. *Fusarium* wilt disease of grain crops. *Zashchita i karantin rasteniy*. 2011;(S5):69–120. (In Russ.).
6. Gerlach W., Nirenberg H. The genus *Fusarium* - a pictorial atlas. *Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt Für Land- und Forstwirtschaft, Berlin – Dahlem*. 1982;209:1–405. URL: <https://eurekamag.com/research/001/138/001138278.php>
7. Nirenberg H. I. Morphological differentiation of *Fusarium sambucinum* Fuckel sensu stricto, *F. torulosum* (Berk. & Curt.) Nirenberg comb. nov. and *F. venenatum* Nirenberg sp. nov. *Mycopathologia*. 1995;129:131–141. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF01103337>
8. Geiser D. M., Al-Hatmi A. M. S., Aoki T., Arie T., Balmas V., Barnes I., et al. Phylogenomic analysis of a 55.1 kb 19-gene dataset resolves a monophyletic *Fusarium* that includes the *Fusarium solani* species complex. *Phytopathologia*. 2021;111(7):1064–1079. DOI: <https://doi.org/10.1094/PHYTO-08-20-0330-LE>
9. Peters J. C., Lees A. K., Cullen D. W., Sullivan L., Stroud G. P., Cunningham A. C. Characterization of *Fusarium* spp. responsible for causing dry rot of potato in Great Britain. *Plant Pathology*. 2008;57(2):262–271. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2007.01777.x>
10. 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>
11. 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>
12. Du M., Ren X., Sun Q., Wang Y., Zhang R. Characterization of *Fusarium* spp. causing potato dry rot in China and susceptibility evaluation of Chinese potato germplasm to the pathogen. *Potato Research*. 2012;55:175–184. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11540-012-9217-6>
13. 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(12):1767–1774. DOI: <https://doi.org/10.1094/PDIS-11-11-0932-RE>
14. Secor G. A., Salas B. *Fusarium* dry rot and *Fusarium* wilt. In: Stevenson W. R., Loria R., Franc G., Weingartner D. P. (Eds.). *Compendium of potato diseases*. St. Paul: APS Press, 2001. pp. 23–25.
15. Daami-Remadi M., Jabnoum-Khiareddine H., Ayed F., El Mahdjoub M. Effect of temperature on aggressivity of Tunisian *Fusarium* species causing potato (*Solanum tuberosum* L.) tuber dry rot. *biocontrol. Journal of Agronomy*. 2006;5(2):350–355. DOI: <https://doi.org/10.3923/ja.2006.350.355>
16. Estrada Jr. R., Gudmestad N. C., Rivera V. V., Secor G. A. *Fusarium graminearum* as a dry rot pathogen of potato in the USA: Prevalence, comparison of host isolate aggressiveness and factors affecting aetiology. *Plant Pathology*. 2010;59(6):1114–1120. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2010.02343.x>

17. 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. 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>
19. Gavrilova O. P., Gannibal F. B., Gagkaeva T. Yu. *Fusarium* and *Alternaria* fungi in grain of oats grown in the North-Western Russia regarding cultivar specificity. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya* = Agricultural Biology. 2016;51(1):111–118. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2016.1.111rus>
20. 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>
21. Prudnikova S. V., Churakov A. A., Ovsyankina S. V., Khizhnyak S. V. Isolation and identification of autochthonous pathogens of potato diseases common in the regions of Siberia. *Biotechnology of new materials – environment – quality of life: Proceedings of the IV International scientific conference*. Krasnoyarsk: *Sibirskiy federal'nyy universitet*, 2021. pp. 174–177. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=46578152>
22. 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>
23. 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>

Сведения об авторах

✉ **Гэггаева Татьяна Юрьевна**, кандидат биол. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории 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

Орина Александра Станиславовна, кандидат биол. наук, старший научный сотрудник лаборатории 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>

Гаврилова Ольга Павловна, кандидат биол. наук, старший научный сотрудник лаборатории 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>

Трубин Илья Иванович, лаборант-исследователь лаборатории 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

Хюгги Александр Валерьевич, кандидат биол. наук, старший научный сотрудник лаборатории иммунитета растений к болезням, 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/0000-0003-1479-7746>

Information about the author

✉ **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

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>

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>

Ilya I. Trubin, research assistant, 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

Aleksandr V. Khiutti, PhD in Biology, senior researcher, the Laboratory of Plant Resistance to Diseases, 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/0000-0003-1479-7746>

✉ – Для контактов / Corresponding author