

Земледелие и защита растений / Soil Fertility and Plant Protection

Научная статья

DOI: [10.12731/2658-6649-2026-18-1-1431](https://doi.org/10.12731/2658-6649-2026-18-1-1431)EDN: [DKFNZM](https://www.edn.ru/entry/10.12731/2658-6649-2026-18-1-1431)

Original article

УДК 632.4.01/08: 632.952: 632.95.025.8



Первое сообщение о патогене *Fusarium Curvatum* L. Lombard & Crous микопатоконплекса корневой гнили яблони в России

И.Л. Астапчук^{1,2}, Г.В. Якуба¹, С.В. Федорович², А.В. Елисютикова²,
Н.А. Кузнецова², А.И. Насонов¹

¹ФГБУН «Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства и виноделия», Краснодар, Российская Федерация

²ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина», Краснодар, Российская Федерация

Аннотация

В результате маршрутных обследований садов Краснодарского края, в патоконплексе корневой гнили яблони был выделен редкий вид *Fusarium* spp. Штамм был изучен на предмет морфолого-культуральных и генетических характеристик и был идентифицирован как *Fusarium curvatum* L. Lombard & Crous. Факт паразитирования подтвержден с соблюдением постулатов Коха.

Ключевые слова: яблоня домашняя; корневая гниль; *Fusarium curvatum*; полногеномное секвенирование

Для цитирования. Астапчук, И. Л., Якуба, Г. В., Федорович, С. В., Елисютикова, А. В., Кузнецова, Н. А., & Насонов А. И. (2026). Первое сообщение о патогене *Fusarium Curvatum* L. Lombard & Crous микопатоконплекса корневой гнили яблони в России. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 18(1), 207–223. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2026-18-1-1431>

First report on the pathogen *Fusarium Curvatum* L. Lombard & Crous of the apple root grain mycopathos complex in Russia

I.L. Astapchuk^{1,2}, G.V. Yakuba¹, S.V. Fedorovich², A.V. Yelisutikova²,
N.A. Kuznetsova², A.I. Nasonov¹

¹North Caucasus Federal Scientific Center for Horticulture, Viticulture, and Winemaking, Krasnodar, Russian Federation

²I. T. Trubilin Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russian Federation

Abstract

As a result of route surveys of the gardens of the Krasnodar Territory, a rare species of *Fusarium* spp. was isolated in the root rot complex of apple trees. After assessing the

morphological, cultural, and genetic characteristics of the monospore culture of the fungus, using the method of whole-genome sequencing, it was identified as *Fusarium curvatum* L. Lombard & Crous. The fact of parasitism was confirmed in accordance with Koch's postulates.

Keywords: domestic apple tree; root rot; *Fusarium curvatum*; whole-genome sequencing

For citation. Astapchuk, I. L., Yakuba, G. V., Fedorovich, S. V., Yelisyutikova, A. V., Kuznetsova, N. A., & Nasonov, A. I. (2026). First report on the pathogen *Fusarium Curvatum* L. Lombard & Crous of the apple root grain mycopathos complex in Russia. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 18(1), 207–223. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2026-18-1-1431>

Промышленное садоводство в России играет важную роль в обеспечении страны плодами и ягодами, а также способствует укреплению продовольственной безопасности. С каждым годом возрастает темп закладки новых многолетних насаждений. Так, общая площадь промышленных насаждений в России составляет около 200 тыс. га, при этом ежегодно закладывается от 10 до 15 тыс. га новых садов [4; 5; 7; 8]. Краснодарский край является одним из лидеров по производству плодов и ягод в России.

Болезни сельскохозяйственных растений ежегодно существенно снижают урожайность во всем мире. Корневая гниль древесных растений – опасное заболевание, ее причинами являются различные микромицеты, которые поражают корневую систему, что приводит к ослаблению и гибели дерева [19; 24; 27; 32].

С каждым годом ученые во всем мире обнаруживают все больше новых и ранее неизвестных микроорганизмов, в том числе возбудителей из рода *Fusarium* Link. Это связано с развитием технологий секвенирования ДНК и микроскопии, а также с тем, что многие микроорганизмы обитают в труднодоступных местах [6; 17; 18; 20; 21; 23; 26; 29-32]. Развитие исследований микробиома (совокупности микроорганизмов, населяющих определенную среду, например, почву) позволяет выявлять ранее неизвестные виды, а также их роль в различных процессах, в том числе в патогенезе древесных растений [1-3; 10-11].

Цель исследования – определить видовую принадлежность микромицета *Fusarium* spp. микопатоксикомплекса корневой гнили яблони, классическим и молекулярно-генетическим методами. В задачи исследований входило подтверждение паразитизма у выявленного вида методом Коха. *Научная новизна* заключается в первом обнаружении микромицета *Fusarium curvatum* в микопатоксикомплексе корневой гнили яблони в России.

В 2023 г. методом маршрутных обследований в промышленных садах Краснодарского края были отобраны растения с визуальными признаками корневой гнили: двухлетние саженцы сорта Эвелина. Поврежденные участки корней, а также корневой шейки нарезали на фрагменты размером 1-2 см², промывали в течение 20 минут под проточной водой, затем 2 %-м раствором NaClO в течение 50 с и ополаскивали стерилизованной водой, после чего закладывали на картофельно-глюкозный агар (КГА) в трехкратной повторности. Через 7 дней инкубации при температуре 25 °С наблюдали колонии с обильным ватообразным воздушным мицелием белого, со временем розового цвета. Моноспоровый изолят с помощью методов микроскопии и определительной литературы [9] был идентифицирован как *Fusarium* spp. Штамму был присвоен номер RR23I/1.1 Морфологические и культуральные признаки штамма были изучены на питательных средах: голодный агар, КГА (картофельно-глюкозный агар), КДА (картофельно-декстрозный агар), ОА (овсяной агар), среда Чапека, среда Ниренберга.

Далее была выделена ДНК колоний штамма сорбентным методом на магнитных частицах (ЗАО «Синтол», Москва). Реакционная смесь для постановки одной реакции объемом 25 мкл содержала 2.5 мкл 10X Encyclo buffer, 0.5 мкл смеси dNTP (10 mM каждого), 0.5 мкл 50X Encyclo polymerase Mix (ООО «Евроген», Москва), 5 pM каждого праймера ITS1 и ITS4, и 50 нг целевой ДНК. Продукты амплификации анализировали методом гель-электрофореза в 2 %-м агарозном геле и 10x TAE буфере. Полученные последовательности размером 490–560 п. о. выделяли из геля с использованием коммерческого набора Cleanup Standard (ООО «Евроген», Москва).

Геномные библиотеки подготавливали с помощью DNA Preparation (M) Tagmentation Kit («Illumina Inc», США). Образцы секвенировали на приборе MiSeq («Illumina Inc», США). Последовательности адаптеров были удалены с помощью Trimmomatic [<https://github.com/timflutre/trimmomatic>], удаление концевых фрагментов низкого качества проводили с использованием Sickle v1.33 software (Version 1.33) [<https://github.com/najoshi/sickle>]. Сборка ридов *de novo* происходила на основе алгоритмов SPAdes v.4.0.0 с использованием функции «careful». Качество сборки проверяли с использованием Checkm2 [<https://github.com/chklovski/CheckM2>]. Для определения видовой принадлежности исследуемых изолятов использовали UFCG (Universal Fungal Core Genes).

Патогенность штамма была оценена в *in vitro* условиях по методике, описанной ранее [11].

По результатам полногеномного секвенирования и сборки генома, штамм под номером RR231/1.1 был отнесен к виду *Fusarium curvatum*. Геном штамма был депонирован в GenBank под номерами: BioProject – PRJNA1254940 и BioSample (NGS) SAMN48128699. Филогенетическое дерево построено с использованием метода максимального правдоподобия на основе объединения набора данных последовательностей, загруженных из GenBank: ITS, USS, TEF, RPB2, TUB2, Actin, McM референсных штаммов [22], с использованием алгоритма FastTree 2.2 [28], с значением бутстрапа 1000. В качестве внешней группы использовался штамм *Fusarium queenslandicum* (рис. 1).

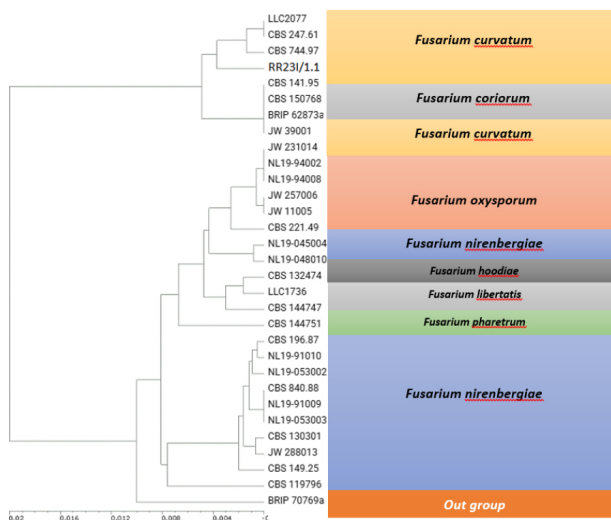


Рис. 1. Филогенетический анализ штамма RR231/1.1 *Fusarium curvatum*

Fig. 1. Phylogenetic analysis of *Fusarium curvatum* strain RR231/1.1

Исследуемый изолят располагается на ветви с высокой степенью поддержки, сформированной штаммами вида *Fusarium curvatum*, с минимальными генетическими расстояниями, что позволяет отнести данный изолят к виду *F. curvatum*.

Геном размером 55.4 Mb, исследуемого изолята *F. curvatum* содержал 6 803 скэффолдов, при общем числе контигов 6,837. Геном был аннотирован по коргенам с помощью инструмента Busco [<http://arxiv.org/abs/2106.11799>]. Контаминация генома отсутствовала. Статистические данные по сборке генома приведены в таблице 1.

Таблица 1.

Характеристики сборки генома *Fusarium curvatum*
Table 1. Characteristics of the *Fusarium curvatum* genome assembly

Genome size	55.4 Mb
Total ungapped length	55.4 Mb
Number of scaffolds	6,803
Scaffold N50	347.9 kb
Scaffold L50	44
Number of contigs	6,837
Contig N50	331.9 kb
Contig L50	47
GC percent	47.5
Genome coverage	33x
Assembly level	Scaffold

Чистая культура гриба депонирована во всероссийской коллекции эубиотических и эпифитных микроорганизмов-КЭЭМ г. Краснодар, Россия под номером KubGAU F-282.

Морфолого-культуральные признаки микромицета соответствовали литературе [22]. Поверхность колоний от бледно-розовой на КГА до бело-серой на других средах, воздушный мицелий – обильный, хлопьевидный; края колоний неправильные, нитевидные (рис. 2). На всех питательных средах гифы – гиалиновые, гладкостенные, без хламидоспор. Обратная сторона бледно-розовая, без диффузионного пигмента.

Средняя радиальная скорость роста колонии штамма при 24 °С была 3,1–4,5 мм/сут. Диаметр мицелия штамма на 7-е сутки составлял, в зависимости от питательной среды, от 5,3 см (КГА) до 8,2 см (среда Ниренберга, табл. 2).

Таблица 2.

Влияние питательных сред на линейный рост колоний *Fusarium curvatum*

Table 2. Effect of culture media on the linear growth of *Fusarium curvatum* colonies

Линейный рост коло- ний	Питательные среды					
	ГА	КГА	КДА	ОА	Среда Чапека	Среда Ниренберга
Диаметр, см	7,2±1,4	5,3±0,1	9,6±0,7	6,0±0,3	9,7±0,0	8,2±0,5
Высота, см	0,0±0,0	0,3±0,2	0,4±0,2	0,4±0,1	0,8±0,0	0,3±0,2

Спорулирующая способность у штамма *F. curvatum* средняя – $2,8 \times 10^2$ в мл суспензии. Макроконидии наблюдали серповидной формы, размером от 37,9 до 51,5 мкм, большинство из которых имели 2 перегородки. Окра-

ска в массе – светлая. Выраженность ножки: не выражена. Микроконидии были эллипсоидной формы, размером от 20,1 до 25,3 мкм.

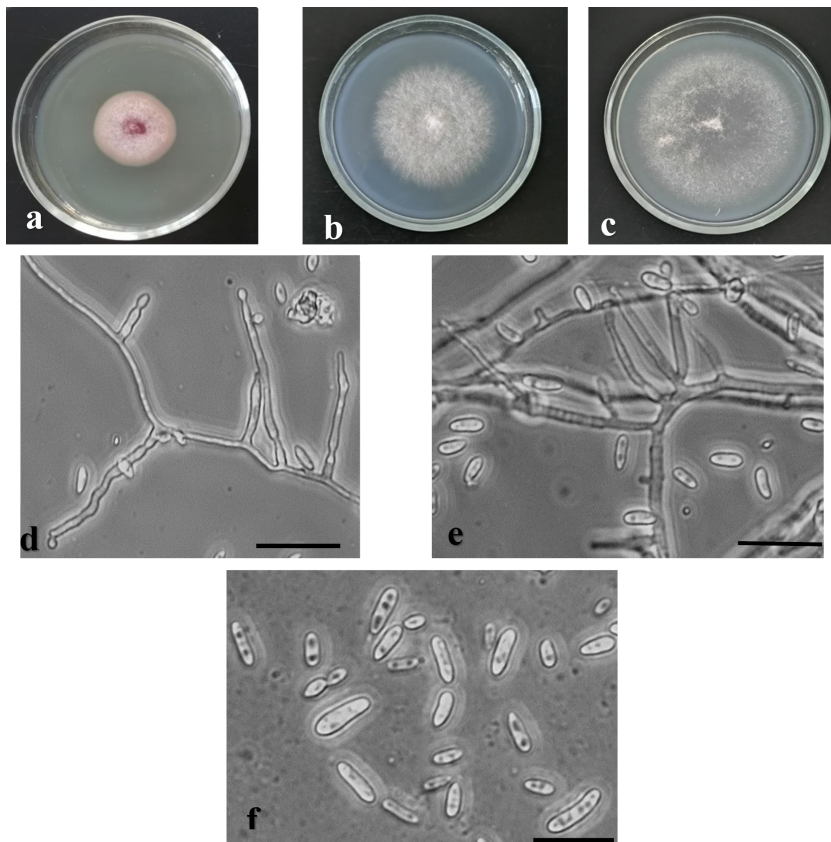


Рис. 2. *Fusarium curvatum* (RR23I/1.1) Внешний вид колонии на питательных средах через 7 дней инкубации при 24°C и непрерывном освещении, а также её микроструктуры. а – КГА, b – среда Чапека; c – КДА; d-e – полифиалиды с цепочками микроконидий; f – микро и макроконидии (КГА) (Bar = 20 мкм)

Fig. 2. *Fusarium curvatum* (RR23I/1.1). Appearance of the colony on culture media after 7 days of incubation at 24°C under continuous illumination, as well as its microstructure.
a – KGA, b – Čapek medium; c – KDA; d-e – polyphialides with chains of microconidia;
f – micro- and macroconidia (KGA) (Bar = 20 µm)

Патогенность штамма была оценена в *in vitro* условиях, через 2 месяца после инокуляции данным штаммом наблюдали полную гибель зара-

женных подвоев, в результате отмирания корневой системы: потемнение и сильное поражение корней, и базальной части стебля, перетяжки на корнях, и отсутствие боковых корней. Подвои в контрольном варианте оставались бессимптомными. Возбудитель был повторно выделен из пораженных корней на КГА и таким образом, была доказана патогенность штамма *F. curvatum*, выделенного из корней яблони с симптомами корневой гнили.

Патоген был подробно описан в 2019 году в работе «Эпитипизация *Fusarium oxysporum* – устранение таксономического хаоса» группой ученых центра биоразнообразия Naturalis и института биоразнообразия грибов Й. Вестердейкав [22]. В 2021 году в рамках Нидерландского проекта «Citizen science» были обнаружены в городских почвах новые фузариоидные грибы (*Nectriaceae*, *Sordariomycetes*), в том числе и штамм *F. curvatum* [14]. О вирулентности описанного вида мало сведений для различных культур. Однако, по последним данным известно, что он вызывает рак древесины, корневую и базальную гниль виноградной лозы в питомниках Турции [13], гибель *Dendrobium officinale* (эпифитная орхидея) в Китае [25], пятнистость листьев вишни [34]. Также он входит в комплекс видов, вызывающих сосудистое увядание салата-латука [15; 33] и увядание ямска (*Dioscorea*) в южно-центральной части Китая [16]. В России штамм *F. curvatum* был выделен из корней пораженного фузариозным увяданием куста томата [12].

Имеются сведения, что данный вид может вызывать грибковый кератит, который, представляет собой серьёзную проблему для здравоохранения во всём мире. Ежегодно в тропических и субтропических регионах от данного заболевания страдают более миллиона человек [26].

Результаты данного исследования показывают значимость как фитосанитарного мониторинга, так и поиска защитных мероприятий против новых возбудителей патоконплекса заболеваний яблони. Насколько нам известно, это первое сообщение о фузариозной корневой гнили яблони, вызванной *F. curvatum*, в России.

Информация о конфликте интересов. Конфликт интересов отсутствует.

Информация о спонсорстве. Исследование выполнено при финансовой поддержке Кубанского научного фонда в рамках проекта № 24-26-20114. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-26-20114, <https://rscf.ru/project/24-26-20114/>

Список литературы

1. Агафонова, В. А., & Попова, В. П. (2021). Перспективы применения методов почвенной метагеномики для определения качества почв садовых ценозов. *Плодоводство и виноградарство Юга России*, 67, 203–225. <https://doi.org/10.30679/2219-5335-2021-1-67-203-225>. EDN: <https://elibrary.ru/KRAQLM>
2. Альсаед, Н., & Селицкая, О. В. (2022). Особенности микологической компоненты микробиома почв при монокультуре и в севообороте. *Естественные и технические науки*, 7, 59–68. <https://doi.org/10.25633/ETN.2022.07.02>. EDN: <https://elibrary.ru/ZJCHGM>
3. Нур, А., Селицкая, О. В., Поздняков, Л. А., Заверткин, И. А., & Шубина, Е. А. (2024). Оценка длительного воздействия бессменного выращивания различных сельскохозяйственных культур на микробные сообщества почвы. *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*, 2, 5–24. <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2024-2-5-24>. EDN: <https://elibrary.ru/DXVZVP>
4. Велибекова, Л. А. (2023). Пути усиления позиций России в мировом производстве свежей и переработанной плодово-ягодной продукции. В *Современные тренды и приоритеты устойчивого развития регионов: Материалы международной научно-практической конференции, посвященной 300-летию Российской академии наук* (с. 217–223). Махачкала: Дагестанский федеральный исследовательский центр РАН.
5. Зайнутдинов, З. З., & Аминова, Е. В. (2024). Взаимосвязь величины и качества урожая плодов яблони и приёмы их повышения в условиях Юга европейской России. *Субтропическое и декоративное садоводство*, 90, 46–54. <https://doi.org/10.31360/2225-3068-2024-90-46-54>. EDN: <https://elibrary.ru/VLEXMV>
6. Литовка, Ю. А., Чен, Х., Ли, В., & Павлов, И. Н. (2023). Грибы рода *Fusarium*, ассоциированные с древесными растениями на территории России. *Сибирский экологический журнал*, 4, 547–563. <https://doi.org/10.15372/SEJ20230411>. EDN: <https://elibrary.ru/PCLRDN>
7. Мережко, О. Е., & Аминова, Е. В. (2023). Анализ современного сортимента и динамики выращивания яблони (*Malus domestica* Borkh.) в садоводстве России. *Вестник Воронежского государственного аграрного университета*, 16(3), 78. https://doi.org/10.53914/issn2071-2243_2023_3_94. EDN: <https://elibrary.ru/RJQVII>
8. Остапчук, Т. В., Хежев, А. М., Свиридова, Л. А., Джанчаров, Т. М., & Снегирев, Д. В. (2023). Изменение объёмов глобального производства и международной торговли яблоками. *International Agricultural Journal*, 66(1), 33. https://doi.org/10.55186/25876740_2023_7_1_33. EDN: <https://elibrary.ru/DHZUQU>
9. Саттон, Д., Фотергил, А., & Ринальди, М. (2001). *Определитель патогенных и условно-патогенных грибов*. Москва: Мир.

10. Черников, Е. А., Астапчук, И. Л., Федорович, С. В., Попова, В. П., & Худокормов, А. А. (2023). Влияние длительной монокультуры сада на агрохимические и микробиологические показатели чернозёмов выщелоченных. *Плодоводство и виноградарство Юга России*, 82(4), 201–218. <https://doi.org/10.30679/2219-5335-2023-4-82-201-218>. EDN: <https://elibrary.ru/TOZKUI>
11. Федорович, С. В., Астапчук, И. Л., Якуба, Г. В., & Насонов, А. И. (2024). Идентификация *Fusarium sporotrichioides*, возбудителя корневой гнили яблони домашней, и оценка его токсиногенности и патогенности. *Научные труды Северо-Кавказского федерального научного центра садоводства, виноградарства, виноделия*, 38, 59–64. <https://doi.org/10.30679/2587-9847-2024-38-59-64>. EDN: <https://elibrary.ru/RJEGSL>
12. Ярмеева, М. М., Чудинова, Е. М., Еланская, А. С., Кокаева, Л. Ю., & Еланский, С. Н. (2025). Грибы рода *Fusarium* на растениях томата в России. *Микология и фитопатология*, 59(2), 169–180. <https://doi.org/10.31857/S0026364825020058>. EDN: <https://elibrary.ru/SQOXY>
13. Akgül, D. S., Önder, S., Savaş, N. G., Yıldız, M., Bülbül, İ., & Özarslandan, M. (2024). Molecular identification and pathogenicity of *Fusarium* species associated with wood canker, root and basal rot in Turkish grapevine nurseries. *Journal of Fungi*, 10(7), 444. <https://doi.org/10.3390/jof10070444>. EDN: <https://elibrary.ru/NLMTZL>
14. Crous, P. W., Hernández-Restrepo, M., Van Iperen, A. L., Starink-Willemse, M., Sandoval-Denis, M., & Groenewald, J. Z. (2021). Citizen science project reveals novel fusarioid fungi (Nectriaceae, Sordariomycetes) from urban soils. *Fungal Systematics and Evolution*, 8(1), 101–127. <https://doi.org/10.3114/fuse.2021.08.09>. EDN: <https://elibrary.ru/XKSGQU>
15. Claerbout, J., Van Poucke, K., Mestdag, H., Delaere, I., Vandeveld, I., Venneman, S., & Höfte, M. (2023). *Fusarium* isolates from Belgium causing wilt in lettuce show genetic and pathogenic diversity. *Plant Pathology*, 72(3), 593–609. <https://doi.org/10.1111/ppa.13668>. EDN: <https://elibrary.ru/AGVDFU>
16. Dongzhen, F., Xilin, L., Xiaorong, C., Wenwu, Y., Yunlu, H., Yi, C., & Chunsheng, G. (1964). *Fusarium* species and *Fusarium oxysporum* species complex genotypes associated with yam wilt in South-Central China. *Front Microbiol*, 11, 1964. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.01964>. EDN: <https://elibrary.ru/NYKNWI>
17. Jang, Y., Yi, H., Maharjan, R., Jeong, M., & Yoon, Y. (2022). First report of root rot caused by *Fusarium armeniacum* on soybean in Korea. *Plant Disease*, 106(4), 1306. <https://doi.org/10.1094/pdis-11-20-2319-pdn>. EDN: <https://elibrary.ru/VDZXUU>
18. Jasarevic, M., Catalani, A., Morales-Rodríguez, C., Tati, M., & Chilosi, G. (2022). First report of *Fusarium brachygibbosum* causing rots on potato tubers in Italy.

- Journal of Plant Pathology*, 104(4), 1591–1591. <https://doi.org/10.1007/s42161-022-01221-z>. EDN: <https://elibrary.ru/MHQOUA>
19. Joshi, N. A., & Fass, J. N. (2011). *Sickle: A sliding-window, adaptive, quality-based trimming tool for FastQ files* (Version 1.33).
 20. Lee, S. H., Shin, H., Lee, H. I., & Lee, S. (2022). The control efficacy of sodium hypochlorite against violet root rot caused by *Helicobasidium mompa* in apple. *The Plant Pathology Journal*, 38(5), 513–521. <https://doi.org/10.5423/ppj.oa.04.2022.0057>. EDN: <https://elibrary.ru/KBKSHS>
 21. Litovka, Y. A., Chen, H., Li, W., & Pavlov, I. N. (2023). Fusarioid fungi associated with woody plants in Russia. *Contemporary Problems of Ecology*, 16(4), 528–540. <https://doi.org/10.1134/s1995425523040066>. EDN: <https://elibrary.ru/HZVYPW>
 22. Lombard, L., Sandoval-Denis, M., Lamprecht, S. C., & Crous, P. W. (2019). Epi-typification of *Fusarium oxysporum*—clearing the taxonomic chaos. *Persoonia—Molecular Phylogeny and Evolution of Fungi*, 43(1), 1–47. <https://doi.org/10.3767/persoonia.2019.43.01>. EDN: <https://elibrary.ru/FIXTEX>
 23. Ma, K., Wang, Y., Wang, J., Zhang, Y., & Gao, J. (2023). First report of ginseng root rot caused by *Fusarium subglutinans*. *Journal of General Plant Pathology*, 89(5), 296–303. <https://doi.org/10.1007/s10327-023-01136-2>. EDN: <https://elibrary.ru/JRPHOQ>
 24. Mannai, S., Benfradj, N., & Boughalleb-M'Hamdi, N. (2024). Occurrence of *Glo-bisporangium* and *Phytophythium* species associated with apple and peach seedlings decline in Tunisian nurseries. *Journal of Plant Pathology*, 106(2), 643–655. <https://doi.org/10.1007/s42161-024-01600-8>. EDN: <https://elibrary.ru/KGEOIA>
 25. Mirghasempour, S. A., Michailides, T., Chen, W., & Mao, B. (2022). *Fusarium* spp. associated with *Dendrobium officinale* dieback disease in China. *Journal of Fungi*, 8(9), 919. <https://doi.org/10.3390/jof8090919>. EDN: <https://elibrary.ru/FWPRJD>
 26. Monteiro, R. C., Yu, M. C. Z., Dolatabadi, S., Hagen, F., Sandoval-Denis, M., Francisco, E. C., & Rodrigues, A. M. (2025). Molecular tracking of emerging *Fusarium* species in keratitis: *F. veterinarium*, *F. contaminatum*, and *F. curvatum*. *Mycopathologia*, 190(1), 22. <https://doi.org/10.1007/s11046-025-00929-7>. EDN: <https://elibrary.ru/JKMYYA>
 27. Nyoni, M., Mazzola, M., Wessels, J. P. B., & McLeod, A. (2021). Phosphonate treatment effects on *Phytophthora* root rot control, phosphite residues and *Phytophthora cactorum* inoculum in young apple orchards. *Plant Disease*, 105(12), 3835–3847. <https://doi.org/10.1094/pdis-01-21-0067-re>. EDN: <https://elibrary.ru/FZUMIF>
 28. Price, M. N., Dehal, P. S., & Arkin, A. P. (2010). FastTree 2—approximately maximum-likelihood trees for large alignments. *PloS One*, 5(3), e9490. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0009490>. EDN: <https://elibrary.ru/NYZTML>
 29. Romero-Arenas, O., Martínez-Salgado, S. J., Rivera, A., Huerta-Lara, M.,

- Laug-García, B., & Villa-Ruano, N. (2022). First report of basal rot caused by *Fusarium equiseti* in onion crops from Puebla, Mexico. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 25(2). <https://doi.org/10.56369/tsaes.4210>. EDN: <https://elibrary.ru/KRPOVJ>
30. Sano, T., Mizuki, M., Matsui, K., Takahashi-Ando, N., Kimura, M., & Nakajima, Y. (2022). First report of *Fusarium armeniacum* isolated from rice in Aichi Prefecture. *JSM Mycotoxins*, 72(1), 1–3. <https://doi.org/10.2520/myco.72-1-1>. EDN: <https://elibrary.ru/QMRESG>
31. Sun, X., Jiang, S., Hong, H., Zhang, M., Xin, Z., Wu, B., & Xin, X. (2024). First report of fruit rot caused by *Fusarium luffae* in cherry tomato in China. *Plant Disease*, 108(3), 788. <https://doi.org/10.1094/pdis-05-23-1019-pdn>. EDN: <https://elibrary.ru/KAKUED>
32. Villanueva, O., & Ellouze, W. (2023). First report of a Canadian isolate of *Phytophthora vexans* causing root rot disease on apple and peach under laboratory conditions. *New Disease Reports*, 48(1). <https://doi.org/10.1002/ndr2.12195>. EDN: <https://elibrary.ru/DQHxDA>
33. Waqas, M., Gilardi, G., Guarnaccia, V., & Spadaro, D. (2025). Host range and molecular characterization of the four races of *Fusarium oxysporum* f. sp. *lactucae*. *Plant Disease*. <https://doi.org/10.1094/pdis-07-24-1505-re>. EDN: <https://elibrary.ru/KUUXPP>
34. Zhou, Y., Zhang, W., Li, X., Ji, S., Chethana, K. W. T., Hyde, K. D., & Yan, J. (2022). *Fusarium* species associated with cherry leaf spot in China. *Plants*, 11(20), 2760. <https://doi.org/10.3390/plants11202760>. EDN: <https://elibrary.ru/OLRAMV>

References

1. Agafonova, V. A., & Popova, V. P. (2021). Prospects for the application of soil metagenomics methods to assess the quality of soils in garden cenoses. *Fruit Growing and Viticulture of the South of Russia*, 67, 203–225. <https://doi.org/10.30679/2219-5335-2021-1-67-203-225>. EDN: <https://elibrary.ru/KRAQLM>
2. Alsaed, N., & Selitskaya, O. V. (2022). Features of the mycological component of the soil microbiome under monoculture and crop rotation. *Natural and Technical Sciences*, 7, 59–68. <https://doi.org/10.25633/ETN.2022.07.02>. EDN: <https://elibrary.ru/ZJCHGM>
3. Nur, A., Selitskaya, O. V., Pozdnyakov, L. A., Zavertkin, I. A., & Shubina, E. A. (2024). Assessment of the long-term impact of continuous cultivation of various agricultural crops on soil microbial communities. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*, 2, 5–24. <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2024-2-5-24>. EDN: <https://elibrary.ru/DXVZVP>

4. Velibekova, L. A. (2023). Ways to strengthen Russia's position in global production of fresh and processed fruit and berry products. In *Modern trends and priorities for sustainable development of regions: Proceedings of the international scientific and practical conference dedicated to the 300th anniversary of the Russian Academy of Sciences* (pp. 217–223). Dagestan Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences.
5. Zaynutdinov, Z. Z., & Aminova, E. V. (2024). The relationship between the quantity and quality of apple fruit yield and methods to improve them in the conditions of the South of European Russia. *Subtropical and Ornamental Horticulture*, 90, 46–54. <https://doi.org/10.31360/2225-3068-2024-90-46-54>. EDN: <https://elibrary.ru/VLEXMV>
6. Litovka, Y. A., Chen, H., Li, W., & Pavlov, I. N. (2023). Fungi of the genus *Fusarium* associated with woody plants in Russia. *Siberian Ecological Journal*, 4, 547–563. <https://doi.org/10.15372/SEJ20230411>. EDN: <https://elibrary.ru/PCLRDN>
7. Merezhko, O. E., & Aminova, E. V. (2023). Analysis of the modern assortment and dynamics of apple (*Malus domestica* Borkh.) cultivation in Russian horticulture. *Bulletin of the Voronezh State Agrarian University*, 16(3), 78. https://doi.org/10.53914/issn2071-2243_2023_3_94. EDN: <https://elibrary.ru/RJQVII>
8. Ostapchuk, T. V., Khezhev, A. M., Sviridova, L. A., Dzhancharov, T. M., & Snegirev, D. V. (2023). Changes in the volumes of global apple production and international trade. *International Agricultural Journal*, 66(1), 33. https://doi.org/10.55186/25876740_2023_7_1_33. EDN: <https://elibrary.ru/DHZUQU>
9. Sutton, D., Fothergill, A., & Rinaldi, M. (2001). *Identification of pathogenic and opportunistic fungi*. Mir.
10. Chernikov, E. A., Astapchuk, I. L., Fedorovich, S. V., Popova, V. P., & Khudokormov, A. A. (2023). The effect of long-term orchard monoculture on the agrochemical and microbiological parameters of leached chernozems. *Fruit Growing and Viticulture of the South of Russia*, 82(4), 201–218. <https://doi.org/10.30679/2219-5335-2023-4-82-201-218>. EDN: <https://elibrary.ru/TOZKUI>
11. Fedorovich, S. V., Astapchuk, I. L., Yakuba, G. V., & Nasonov, A. I. (2024). Identification of *Fusarium sporotrichioides*, the causative agent of root rot in domestic apple trees, and assessment of its toxigenicity and pathogenicity. *Scientific Works of the North Caucasus Federal Scientific Center of Horticulture, Viticulture, and Winemaking*, 38, 59–64. <https://doi.org/10.30679/2587-9847-2024-38-59-64>. EDN: <https://elibrary.ru/RJEGSL>
12. Yarmeeva, M. M., Chudinova, E. M., Elanskaya, A. S., Kokaeva, L. Y., & Elansky, S. N. (2025). Fungi of the genus *Fusarium* on tomato plants in Russia. *Mycology and Phytopathology*, 59(2), 169–180. <https://doi.org/10.31857/S0026364825020058>. EDN: <https://elibrary.ru/SQOXKY>

13. Akgül, D. S., Önder, S., Savaş, N. G., Yıldız, M., Bülbül, İ., & Özarslandan, M. (2024). Molecular identification and pathogenicity of *Fusarium* species associated with wood canker, root and basal rot in Turkish grapevine nurseries. *Journal of Fungi*, 10(7), 444. <https://doi.org/10.3390/jof10070444>. EDN: <https://elibrary.ru/NLMTZL>
14. Crous, P. W., Hernández-Restrepo, M., Van Iperen, A. L., Starink-Willemse, M., Sandoval-Denis, M., & Groenewald, J. Z. (2021). Citizen science project reveals novel fusarioid fungi (Nectriaceae, Sordariomycetes) from urban soils. *Fungal Systematics and Evolution*, 8(1), 101–127. <https://doi.org/10.3114/fuse.2021.08.09>. EDN: <https://elibrary.ru/XKSGQU>
15. Claerbout, J., Van Poucke, K., Mestdag, H., Delaere, I., Vandeveld, I., Venneman, S., & Höfte, M. (2023). *Fusarium* isolates from Belgium causing wilt in lettuce show genetic and pathogenic diversity. *Plant Pathology*, 72(3), 593–609. <https://doi.org/10.1111/ppa.13668>. EDN: <https://elibrary.ru/AGVDFU>
16. Dongzhen, F., Xilin, L., Xiaorong, C., Wenwu, Y., Yunlu, H., Yi, C., & Chunsheng, G. (1964). *Fusarium* species and *Fusarium oxysporum* species complex genotypes associated with yam wilt in South-Central China. *Front Microbiol*, 11, 1964. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.01964>. EDN: <https://elibrary.ru/NYKNWI>
17. Jang, Y., Yi, H., Maharjan, R., Jeong, M., & Yoon, Y. (2022). First report of root rot caused by *Fusarium armeniacum* on soybean in Korea. *Plant Disease*, 106(4), 1306. <https://doi.org/10.1094/pdis-11-20-2319-pdn>. EDN: <https://elibrary.ru/VDZXUU>
18. Jasarevic, M., Catalani, A., Morales-Rodríguez, C., Tati, M., & Chilosi, G. (2022). First report of *Fusarium brachygibbosum* causing rots on potato tubers in Italy. *Journal of Plant Pathology*, 104(4), 1591–1591. <https://doi.org/10.1007/s42161-022-01221-z>. EDN: <https://elibrary.ru/MHQOUA>
19. Joshi, N. A., & Fass, J. N. (2011). *Sickle: A sliding-window, adaptive, quality-based trimming tool for FastQ files* (Version 1.33).
20. Lee, S. H., Shin, H., Lee, H. I., & Lee, S. (2022). The control efficacy of sodium hypochlorite against violet root rot caused by *Helicobasidium mompa* in apple. *The Plant Pathology Journal*, 38(5), 513–521. <https://doi.org/10.5423/ppj.oa.04.2022.0057>. EDN: <https://elibrary.ru/KBKSHS>
21. Litovka, Y. A., Chen, H., Li, W., & Pavlov, I. N. (2023). Fusarioid fungi associated with woody plants in Russia. *Contemporary Problems of Ecology*, 16(4), 528–540. <https://doi.org/10.1134/s1995425523040066>. EDN: <https://elibrary.ru/HZVYPW>
22. Lombard, L., Sandoval-Denis, M., Lamprecht, S. C., & Crous, P. W. (2019). Epitypification of *Fusarium oxysporum*—clearing the taxonomic chaos. *Persoonia—Molecular Phylogeny and Evolution of Fungi*, 43(1), 1–47. <https://doi.org/10.3767/persoonia.2019.43.01>. EDN: <https://elibrary.ru/FIXTEX>

23. Ma, K., Wang, Y., Wang, J., Zhang, Y., & Gao, J. (2023). First report of ginseng root rot caused by *Fusarium subglutinans*. *Journal of General Plant Pathology*, 89(5), 296–303. <https://doi.org/10.1007/s10327-023-01136-2>. EDN: <https://elibrary.ru/JR-PHOQ>
24. Mannai, S., Benfradj, N., & Boughalleb-M'Hamdi, N. (2024). Occurrence of *Glo-bisporangium* and *Phytophythium* species associated with apple and peach seedlings decline in Tunisian nurseries. *Journal of Plant Pathology*, 106(2), 643–655. <https://doi.org/10.1007/s42161-024-01600-8>. EDN: <https://elibrary.ru/KGEOIA>
25. Mirghasempour, S. A., Michailides, T., Chen, W., & Mao, B. (2022). *Fusarium* spp. associated with *Dendrobium officinale* dieback disease in China. *Journal of Fungi*, 8(9), 919. <https://doi.org/10.3390/jof8090919>. EDN: <https://elibrary.ru/FWPRJD>
26. Monteiro, R. C., Yu, M. C. Z., Dolatabadi, S., Hagen, F., Sandoval-Denis, M., Francisco, E. C., & Rodrigues, A. M. (2025). Molecular tracking of emerging *Fusarium* species in keratitis: *F. veterinarium*, *F. contaminatum*, and *F. curvatum*. *Mycopathologia*, 190(1), 22. <https://doi.org/10.1007/s11046-025-00929-7>. EDN: <https://elibrary.ru/JKMYYA>
27. Nyoni, M., Mazzola, M., Wessels, J. P. B., & McLeod, A. (2021). Phosphonate treatment effects on *Phytophthora* root rot control, phosphite residues and *Phytophthora cactorum* inoculum in young apple orchards. *Plant Disease*, 105(12), 3835–3847. <https://doi.org/10.1094/pdis-01-21-0067-re>. EDN: <https://elibrary.ru/FZUMIF>
28. Price, M. N., Dehal, P. S., & Arkin, A. P. (2010). FastTree 2—approximately maximum-likelihood trees for large alignments. *PLoS One*, 5(3), e9490. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0009490>. EDN: <https://elibrary.ru/NYZTML>
29. Romero-Arenas, O., Martínez-Salgado, S. J., Rivera, A., Huerta-Lara, M., Laug-García, B., & Villa-Ruano, N. (2022). First report of basal rot caused by *Fusarium equiseti* in onion crops from Puebla, Mexico. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 25(2). <https://doi.org/10.56369/tsaes.4210>. EDN: <https://elibrary.ru/KRPOVJ>
30. Sano, T., Mizuki, M., Matsui, K., Takahashi-Ando, N., Kimura, M., & Nakajima, Y. (2022). First report of *Fusarium armeniacum* isolated from rice in Aichi Prefecture. *JSM Mycotoxins*, 72(1), 1–3. <https://doi.org/10.2520/myco.72-1-1>. EDN: <https://elibrary.ru/QMRESG>
31. Sun, X., Jiang, S., Hong, H., Zhang, M., Xin, Z., Wu, B., & Xin, X. (2024). First report of fruit rot caused by *Fusarium luffae* in cherry tomato in China. *Plant Disease*, 108(3), 788. <https://doi.org/10.1094/pdis-05-23-1019-pdn>. EDN: <https://elibrary.ru/KAKUED>
32. Villanueva, O., & Ellouze, W. (2023). First report of a Canadian isolate of *Phytophythium vexans* causing root rot disease on apple and peach under laboratory conditions. *New Disease Reports*, 48(1). <https://doi.org/10.1002/ndr2.12195>. EDN: <https://elibrary.ru/DQHXDA>

33. Waqas, M., Gilardi, G., Guarnaccia, V., & Spadaro, D. (2025). Host range and molecular characterization of the four races of *Fusarium oxysporum* f. sp. *lactucae*. *Plant Disease*. <https://doi.org/10.1094/pdis-07-24-1505-re>. EDN: <https://elibrary.ru/KUUXPP>
34. Zhou, Y., Zhang, W., Li, X., Ji, S., Chethana, K. W. T., Hyde, K. D., & Yan, J. (2022). *Fusarium* species associated with cherry leaf spot in China. *Plants*, *11*(20), 2760. <https://doi.org/10.3390/plants11202760>. EDN: <https://elibrary.ru/OLRAMV>

ВКЛАД АВТОРОВ

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку статьи для публикации.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

The authors contributed equally to this article.

ДАнные ОБ АВТОРАХ

Астапчук Ирина Леонидовна, канд. биол. наук, научный сотрудник лаборатории биотехнологического контроля фитопатогенов и фитофагов; заведующий лабораторией фитопатологии центра биотехнологий ФГБУН «Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства и виноделия»; ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина»
ул. 40 лет Победы, 39, г. Краснодар, Российская Федерация; ул. Калинина, 13, г. Краснодар, 350044, Российская Федерация
irina_astapchuk@mail.ru

Якуба Галина Валентиновна, канд. биол. наук, старший научный сотрудник лаборатории биотехнологического контроля фитопатогенов и фитофагов ФГБУН «Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства и виноделия»
ул. 40 лет Победы, 39, г. Краснодар, Российская Федерация
galyayaku@gmail.com

Федорович Святослав Валерьевич, научный сотрудник центра молекулярно-генетических исследований ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина»
ул. Калинина, 13, г. Краснодар, 350044, Российская Федерация
havok11.f@gmail.com

Елисютикова Анастасия Васильевна, лаборант центра молекулярно-генетических исследований

ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина»

ул. Калинина, 13, г. Краснодар, 350044, Российская Федерация

nas-elisyutikova@yandex.ru

Кузнецова Надежда Александровна, лаборант лаборатории фитопатологии центра биотехнологий

ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина»

ул. Калинина, 13, г. Краснодар, 350044, Российская Федерация

N9181102187n@yandex.ru

Насонов Андрей Иванович, канд. биол. наук, заведующий лабораторией биотехнологического контроля фитопатогенов и фитофагов

ФГБУН «Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства и виноделия»

ул. 40 лет Победы, 39, г. Краснодар, Российская Федерация

nasoon@mail.ru

DATA ABOUT THE AUTHORS

Irina L. Astapchuk, Ph.D. in Biology, Research Associate at the Laboratory for Biotechnological Control of Phytopathogens and Phytophages; Head of the Phytopathology Laboratory at the Biotechnology Center

North Caucasus Federal Scientific Center for Horticulture, Viticulture, and Winemaking; I. T. Trubilin Kuban State Agrarian University

39, 40 Let Pobedy Str., Krasnodar, Russian Federation; 13, Kalinina Str., Krasnodar, 350044, Russian Federation

irina_astapchuk@mail.ru

SPIN-code: 8684-6159

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9713-0383>

ResearcherID: K-8646-2018

Scopus Author ID: 57558038700

Galina V. Yakuba, Ph.D. in Biology, Senior Researcher at the Laboratory of Biotechnological Control of Phytopathogens and Phytophages

North Caucasus Federal Scientific Center for Horticulture, Viticulture, and Winemaking
39, 40 Let Pobedy Str., Krasnodar, Russian Federation

galyayaku@gmail.com

SPIN-code: 3835-6760

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7735-960X>

ResearcherID: ABA-4739-2021

Scopus Author ID: 57191370976

Svyatoslav V. Fedorovich, Research Associate at the Center for Molecular and Genetic Research

I. T. Trubilin Kuban State Agrarian University

13, Kalinina Str., Krasnodar, 350044, Russian Federation

havok11.f@gmail.com

Anastasia V. Yelisyutikova, Laboratory Assistant at the Center for Molecular and Genetic Research

I. T. Trubilin Kuban State Agrarian University

13, Kalinina Str., Krasnodar, 350044, Russian Federation

nas-elisyutikova@yandex.ru

SPIN-code: 1971-4994

ResearcherID: ABE-2789-2022

Scopus Author ID: 58311310000

Nadezhda A. Kuznetsova, Laboratory Technician at the Plant Pathology Laboratory of the Biotechnology Center

I. T. Trubilin Kuban State Agrarian University

13, Kalinina Str., Krasnodar, 350044, Russian Federation

N9181102187n@yandex.ru

Andrey I. Nasonov, Ph.D. in Biology, Head of the Laboratory for Biotechnological Control of Phytopathogens and Phytophages

North Caucasus Federal Scientific Center for Horticulture, Viticulture, and Winemaking

39, 40 Let Pobedy Str., Krasnodar, Russian Federation

nasoan@mail.ru

SPIN-code: 5636-6106

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4927-2192>

ResearcherID: K-9142-2017

Scopus Author ID: 56989221000

Поступила 01.09.2025

После рецензирования 21.10.2025

Принята 27.10.2025

Received 01.09.2025

Revised 21.10.2025

Accepted 27.10.2025