

Оригинальная статья / Original article

<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2026-3-109-119>
УДК: 635.11:631.524.86

С.А. Ветрова*, К.С. Мухина, Е.Г. Козарь,
И.А. Енгальчева

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение "Федеральный научный центр овощеводства" (ФГБНУ ФНЦО) 143072, Россия, Московская область, Одинцовский городской округ, п. ВНИИССОК, ул. Селекционная, д.14

*Автор для переписки: lana-k2201@mail.ru

Финансирование. Исследования выполнены по Государственному заданию FGGF-2025-0003, FGGF-2024-0010.

Вклад авторов. Ветрова С.А.: руководство исследованием, методология, верификация и администрирование данных, проведение исследований, формальный анализ, создание рукописи и её редактирование. Козарь Е.Г.: методология, концептуализация, верификация и администрирование данных, проведение исследований, формальный анализ, создание рукописи и её редактирование, ресурсы. Мухина К.С.: проведение исследований, формальный анализ, создание рукописи и её редактирование, ресурсы. Енгальчева И.А.: методология, проведение исследований, формальный анализ, ресурсы, создание рукописи и её редактирование.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Ветрова С.А., Мухина К.С., Козарь Е.Г., Енгальчева И.А. Фенотипическая оценка линейного материала свеклы столовой на устойчивость к вредоносным видам *Fusarium*. *Овощи России*. 2026;(3):109-119. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2026-3-109-119>

Поступила в редакцию: 14.05.2026

Принята к печати: 30.06.2026

Опубликована: 27.07.2026

Svetlana A. Vetrova*, Kseniya S. Muhina,
Elena G. Kozar, Irina A. Engalycheva

Federal State Budgetary Scientific Institution
Federal Scientific Vegetable Center (FSBSI FSVC)
14, Selectionnaya str., VNISSOK,
Odintsovo district, Moscow region, Russia, 143072

*Corresponding Author: lana-k2201@mail.ru

Funding. The research was carried out under State Contracts FGGF-2025-0003 and FGGF-2024-0010.

Authors' Contribution. Vetrova S.A.: supervision, methodology, validation, data curation, investigation, formal analysis, writing – review & editing. Kozar E.G.: methodology, conceptualization, validation, data curation, investigation, formal analysis, writing – review & editing, resources. Muhina K.S.: investigation, formal analysis, writing – review & editing, resources. Engalycheva I.A.: methodology, investigation, formal analysis, resources, writing – review & editing.

Conflict of interest. The authors declare no conflicts of interest.

For citation: Vetrova S.A., Muhina K.S., Kozar E.G., Engalycheva I.A. Phenotypic assessment of beetroot linear material for resistance to harmful *Fusarium* species. *Vegetable crops of Russia*. 2026;(3):109-119. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2026-3-109-119>

Received: 14.05.2026

Accepted for publication: 30.06.2026

Published: 27.07.2026

Фенотипическая оценка линейного материала свеклы столовой на устойчивость к вредоносным видам *Fusarium*

Check for updates



РЕЗЮМЕ

Актуальность. Создание фонда линейного материала для гибридной селекции свеклы столовой на основе ЦМС с комплексом хозяйственно-ценных признаков, в том числе устойчивостью к высокопатогенным видам *Fusarium* является актуальной задачей на сегодняшний день. Цель. Идентификация современного состава экономически значимых видов возбудителей фузариозной гнили свеклы столовой и фенотипическая оценка устойчивости перспективного линейного материала к высокоагрессивным изолятам *Fusarium*.

Материалы и методы. Объекты исследований: 71 изолят грибов рода *Fusarium*, выделенных за период 2018-2024 годов с пораженных семян (29 изолятов), листьев (10 изолятов) и корнеплодов (32 изолята) свеклы столовой; 20 селекционных линий и пять гибридных комбинаций свеклы столовой. В работе использовали фитопатологические и молекулярно-генетические методы. Искусственное заражение корнеплодов проводили мицелиальными блоками десятисуточных культур идентифицированных видов *Fusarium*.

Результаты. По результатам теста на патогенность 45% выделенных в чистую культуру изолятов *Fusarium* характеризовались умеренной агрессивностью в отношении корнеплодов свеклы столовой. Высокоагрессивные изоляты (23 % от числа изученных) выделены из пораженной головки корнеплода, жилки листа, корешка и семядольных листьев проростков. Молекулярная филогения с использованием генов TEF-1α и RPB2 в совокупности с морфологическими характеристиками показала, что в патогенезе фузариозной гнили свеклы столовой в условиях Московской области участвуют шесть видов: *F. acuminatum*, *F. avenaceum*, *F. campestre* (FTSC); *F. solani* (FSSC), *F. flagelliforme* (FIESC) и *F. sporotrichioides* (FSAMSC). Среди них преобладают виды *F. avenaceum* и *F. acuminatum* с наибольшей долей высокоагрессивных штаммов. При иммунологической оценке устойчивости линейного материала к высокоагрессивному штамму *F. acuminatum* (F-св-38) в условиях *in vitro* наименьшим объемом зоны поражения (Vp) дисков характеризовались три материнские линии «А» 413, 363 и 404 – Vp=82, 85 и 93 мм² соответственно; две отцовские линии «С» 427 и 426 – Vp=20 и 33 мм² соответственно (у восприимчивых линий Vp>500 мм²). Отобранные по устойчивости к фузариозу при искусственном заражении линии характеризовались высокой сохранностью корнеплодов (более 80%) во время хранения на естественном фоне на протяжении пяти лет, а также комплексом других хозяйственно ценных признаков, важных для гибридной селекции. При создании коммерческих гибридов F₁ свеклы столовой обе родительские линии должны обладать высокой устойчивостью к этому новому для Центрального региона РФ возбудителю фузариозной гнили корнеплодов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

свёкла столовая, селекция на гетерозис, линейный материал, грибы рода *Fusarium*, патогенность, устойчивость, отбор

Phenotypic assessment of beetroot linear material for resistance to harmful *Fusarium* species

ABSTRACT

Relevance. The creation of a fund of linear material for hybrid breeding of canteen beets based on CMS with a complex of economically significant features, including resistance to highly pathogenic *Fusarium* species, is an urgent task today.

Goal. Identification of the current composition of economically significant causative agents of *fusarium* rot in beetroot and a phenotypic assessment of the resistance of a promising linear material to highly aggressive *Fusarium* isolates.

Materials and Methods. Objects of research: 71 isolates of *Fusarium* fungi isolated over the period 2018-2024 from affected seeds (29 isolates), leaves (10 isolates) and root crops (32 isolates) of table beet; 20 breeding lines and five hybrid combinations of beetroot. Phytopathological and molecular genetic methods were used in the work. Artificial infection of root crops was carried out with mycelial blocks of ten-day cultures of identified *Fusarium* species.

Results. According to the results of the pathogenicity test for beet roots, it was shown that 45% of the isolates isolated into the pure culture were characterized by moderate aggressiveness. Highly aggressive isolates (23% of the number studied) were isolated from the affected head of the root crop, from the leaf vein, root and cotyledon leaves of seedlings. Molecular phylogeny using the TEF-1α and RPB2 genes, combined with morphological characteristics, showed that six *Fusarium* species participated in the pathogenesis of *fusarium* rot in beetroot during the years of research in the Moscow region: *F. acuminatum*, *F. avenaceum*, *F. campestre* (FTSC); *F. solani* (FSSC), *F. flagelliforme* (FIESC) and *F. sporotrichioides* (FSAMSC). Among them, the dominant species were *F. acuminatum* (with the largest proportion of highly aggressive strains) and *F. avenaceum*. As a result of an immunological assessment of the resistance of linear beetroot material to the highly aggressive *F. acuminatum* strain (F-cb-38) *in vitro*, three maternal lines "A" 413, 363 and 404 (Va=82, 85 and 93 mm², respectively) were characterized by the smallest volume of the disc lesion zone; two paternal lines "C" 427 and 426 (Va=20 and 33 mm², respectively). The lines selected for resistance to *fusarium* in case of artificial infection were characterized by high preservation and during storage on a natural background for five years, and were also distinguished by other economically valuable characteristics, which is important for hybrid beet breeding.

KEYWORDS:

beetroot, heterosis selection, linear material, *Fusarium* fungi, pathogenicity, resistance, selection

Введение

Свёкла столовая (*Beta vulgaris* L.) является объектом широкомасштабного возделывания в мировом сельском хозяйстве. Возрастающая популярность принципов здорового питания стимулирует повышение интереса к данной овощной культуре со стороны пищевой индустрии, что связано с наличием в её составе комплекса биологически ценных нутриентов. Свекла находит применение при производстве широкого спектра продуктов: от традиционных (плодоовощные соки) до специализированных, включая продукты быстрого приготовления, снековую продукцию, натуральные красители, а также ингредиенты для функционального питания (БАДы, концентраты для смузи, микрозелень) [1-6].

Агротехническая и экономическая привлекательность свёклы столовой обусловлена комплексом биологических и технологических характеристик. К ним относятся высокая урожайность, экологическая пластичность (неприхотливость) и продолжительная лежкость при хранении. Кроме того, технология её выращивания допускает эффективную механическую борьбу с сорняками, что снижает пестицидную нагрузку на агроценозы. Данный фактор способствует повышению качества продукции, её рыночной привлекательности и конкурентоспособности [7, 8].

К числу стран с наибольшими объемами производства и переработки свеклы столовой относятся Российская Федерация, Франция, Германия, Польша и Соединенные Штаты Америки. Значительные посевные площади под данной культурой также сосредоточены в Турции, Китае и Египте. Российская Федерация занимает лидирующую позицию в мире по валовому сбору и промышленной переработке свеклы столовой [9]. Современные мировые тенденции в селекции этой овощной культуры ориентированы на создание высокопродуктивных выравненных межлинейных гибридов на основе ЦМС, обладающих высоким качеством корнеплодов с устойчивостью к абиотическим и биотическим факторам среды.

Свекла столовая подвержена воздействию различных возбудителей грибной и бактериальной этиологии как во время вегетации растений, так и во время хранения корнеплодов. Наиболее вредоносными из них являются *Fusarium* spp., *Phoma* spp., *Alternaria radicina*, *Sclerotinia sclerotiorum*, *Rhizoctonia solani* Kuhn, *Pythium ultimum* Trow, *Cercospora beticola* Sacc, *Pseudomonas syringae* pv. *aptata* [10-13]. В условиях Московской области в результате ежегодного мониторинга корнеплодов свеклы столовой после длительного хранения (октябрь-апрель) показано, что значительный ущерб урожаю наносят возбудители фузариозной гнили корнеплодов [14]. Данная форма болезни носит прогрессирующий характер и способна приводить к потерям урожая, достигающим 50% и более от общей массы заложённой на хранение продукции, что обуславливает высокую фитопатологическую и хозяйственную опасность фузариозной гнили корнеплодов свеклы [14-17].

О видовом разнообразии грибов *Fusarium*, вызывающих фузариозную гниль корнеплодов свеклы столовой в настоящее время информация очень ограничена. В частности, в штате Нью-Йорк в 80-х годах с поражённых корнеплодов и стеблей растений, были выделены и идентифицированы виды *F. oxysporum*, *F. roseum*, *F. solani* и *F. moniliforme* [13]. В Российской Федерации также в конце XX столетия учеными ВНИИССОК на основе изучения морфологических признаков колоний выделенных возбудителей был выявлен

следующий спектр видов *Fusarium* на этой культуре: *F. sambucinum*, *F. culmorum*, *F. solani*, *F. sporotrichiella*, *F. oxysporum* и *F. avenaceum* [18, 19]. Однако на сегодняшний день отсутствует актуальная информация о видовом составе патоконтекста фузариозной гнили корнеплодов при хранении в свеклосеющих регионах Российской Федерации, что безусловно усложняет выстраивание стратегий защиты от этой болезни и создания устойчивых сортов и гибридов.

Идентификация современного состава экономически значимых видов возбудителей фузариозной гнили свеклы столовой позволит рационализировать проведение своевременных защитных мероприятий и инициировать исследования в рамках опережающей селекции на устойчивость. Создание фонда линий свеклы столовой для получения конкурентоспособных межлинейных гибридов на основе ЦМС с комплексом хозяйственно-значимых признаков, в том числе устойчивостью к высокопатогенным видам *Fusarium* является актуальной задачей на сегодняшний день.

Материалы и методы исследований.

В исследования включили 71 изолят грибов рода *Fusarium*, выделенных за период 2018-2024 годов с поражённых семян (29 изолятов), листьев (10 изолятов) и корнеплодов (32 изолята) свеклы столовой селекционных образцов лаборатории селекции и семеноводства столовых корнеплодов ФГБНУ ФНЦО.

Сбор растительного материала свеклы столовой (350 образцов) с симптомами поражения в период вегетации проводили на экспериментальных полях центра (Московская область). В овощном хранилище фитосанитарный мониторинг поражения корнеплодов болезнями хранения осуществляли во время весеннего анализа методом визуального осмотра с регистрацией места локализации фузариозной гнили на корнеплоде (в районе головки, основания или центральной его части). Выделение изолятов проводили также из прорастающих во влажной камере поражённых семян и проростков образцов с различными симптомами проявления болезни в лабораторных условиях.

Дифференциация образцов по полевой устойчивости в период хранения *in vivo*

На основе данных весеннего анализа в пределах каждой линии рассчитывали распространённость (P, %) фузариозной гнили корнеплодов по следующей формуле:

$$P = \frac{\text{число поражённых корнеплодов (n)}}{\text{общее число учётных корнеплодов (N)}} \times 100.$$

Исходя из этого показателя линейный материал дифференцировали на три основные группы полевой устойчивости ($\Gamma Y_{in vivo}$): устойчивые (P=0%); относительно устойчивые (P=1-20%), средневосприимчивые (P=21–50%) и восприимчивые (P=51–100%).

Выделение и культивирование изолятов *Fusarium*

Стерилизацию поражённых частей растений и выделение грибов в чистую культуру проводили в соответствии с общепринятыми фитопатологическими методиками [20, 21]. Изоляты выращивали на картофельно-декстрозной агаризованной среде (PDA) в течение 25 суток в условиях переменного освещения (16 часов день и 8 часов ночь) при температуре 25°C. Морфологию колоний, появление пигментации,

скорость роста грибов оценивали ежедневно, фиксируя время начала роста. Диаметр колоний измеряли в двух поперечных направлениях для трех параллельных посевов ($n=3$) до полного обрастания чашки Петри. Микроскопические характеристики чистых культур микромицетов были исследованы и зафиксированы с помощью микроскопа Zeiss Axio Lab A1 и программного обеспечения ADF Image Capture (версия x64, 4.11.21522.20221011). Таксономический статус грибов *Fusarium* был охарактеризован с использованием определителей, научных публикаций [22, 23] и подтвержден молекулярными методами типирования.

ДНК экстракция, ПЦР амплификация и филогенетический анализ

Воздушный мицелий патогенов собирали из чашек Петри и переносили в пробирки Эппендорфа объемом 1,5 мл. Выделение ДНК проводили с использованием набора DNeasy Plant Pro (QIAGEN, Германия). Чистоту ДНК и концентрацию оценивали с помощью прибора NanoDrop (Thermo Fisher Scientific, США). Последовательности праймеров и условия ПЦР-амплификации для локусов ITS, *tef1* и *rpb2*

правдоподобия и модели Тамура-Нея. Эволюционный анализ был проведен в MEGA 12 [25].

Тест на патогенность выделенных изолятов проводили на четырех сортах свеклы столовой (Маруся, Красный бархат, Добрыня, Любава) селекции ФГБНУ ФНЦО. Корнеплоды поверхностно стерилизовали, погружая в 50% раствор гипохлорита натрия на 5 минут, после чего дважды промывали в стерильной воде. После стерилизации, корнеплоды разрезали на одинаковые по размеру диски размером 4×3×1 см, помещали их в пластиковые контейнеры (в пятикратной повторности по пять корнеплодов каждого сорта). Заражение проводили мицелиальными блоками десятисуточных культур грибов *Fusarium*, размещая их в центре дисков. В контроле – стерильный агаровый блок питательной среды. Контейнеры с инокулированными дисками увлажняли стерильной водой и помещали на двое суток в темноту, затем на светоустановку с переменным освещением (16 часов день и 8 часов ночь) при температуре 25°C. Степень поражения учитывали на седьмые сутки после заражения, измеряя диаметр и глубину зоны поражения. Объем зоны поражения (V_p , см³) рассчитывали по формуле объема цилиндра и по его среднему значению (по всей

Таблица 1. Последовательности праймеров, используемых для амплификации локусов ITS, *tef1* и *rpb2*
Table 1. Sequences of primers used for amplification of ITS, *tef1*, and *rpb2* loci

Праймер	Последовательность 5'-3'	Размер продукта (bp)	T, °C
fRPB2-7cf RPB2-11ar	F: ATGGGYAARCAAGCYATGGG R: GCRTGGATCTTRTCRTCSACC	~900	52
ITS5 ITS4	F: GGAAGTAAAAGTCGTAACAAGG R: TCCTCCGCTTATTGATATGC	~550	56
EF-1 EF-2	F: ATGGGTAAGGARGACAAGAC R: GGARGTACCAGTSATCATG	~680	55

rpb2 были такими же, как описано в других источниках (табл. 1) [24].

Смесь для ПЦР содержала 2,5 мкл 10%-ного буфера для ПЦР, 1-10 нг геномной ДНК, 2,5 мкл 2,5 мМ dNTP, 10 пмоль каждого праймера, 1 единицу ДНК-полимеразы Taq (Syntol, Россия) или ДНК-полимеразы Pfu (Evrogen, Россия) и стерильную воду объемом 25 мкл. Амплификацию проводили в термоциклере MJ PTC-200 (Bio-Rad, США) с использованием следующей циклической процедуры: один цикл при температуре 94°C в течение 3 мин; 35 циклов при температуре 94°C в течение 30 с, T_m (табл. 1) в течение 30 с и 72°C в течение 1 мин; и окончательное растирание при температуре 72°C в течение 5 минут. Нуклеиновые кислоты разделяли в агарозном геле с помощью электрофореза. Для анализа использовали систему Sub-Gell GT с горизонтальной камерой электрофореза и блок питания PowerPac HC (BioRad, США). Визуализацию результатов проводили на трансиллюминаторе GelDoc XR+ System (Bio Rad, США). Выделение продуктов ПЦР из геля проводили на трансиллюминаторе ECX-M (VilberLourmat, Германия). Образцы также были очищены с помощью набора ColGen (Синтол, Россия) и секвенированы в Syntol. Идентификация видов была проведена в GenBank NCBI (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/genbank/>) и базе данных FUSARIOID-ID – Food, Fibre & Health (<https://www.fusarium.org/>).

Филогенетические связи между последовательностями были определены с использованием метода максимального

совокупности данных) изоляты дифференцировали по степени агрессивности на следующие группы: слабоагрессивные – $V_p=1-100$ мм³; умеренноагрессивные – $V_p=101-250$ мм³ и высокоагрессивные – $V_p \geq 251$ мм³.

Иммунологическая оценка селекционных линий и гибридных комбинаций in vitro

Заражение дисков корнеплодов 20 селекционных линий и 5 гибридных комбинаций свеклы столовой проводили высокоагрессивным изолятом *F. acuminatum*. Для инокуляции брали по пять корнеплодов каждого анализируемого образца в трехкратной повторности. Искусственную инокуляцию дисков и дальнейшее культивирование проводили также, как в тесте на патогенность. По среднему объему зоны поражения образцы дифференцировали на пять групп устойчивости ($ГУ_{in vitro}$): устойчивые – $V_p=1-50$ мм³; относительно-устойчивые – $V_p=51-150$ мм³; толерантные – $V_p=151-250$ мм³; средневосприимчивые – $V_p=251-500$ мм³ и восприимчивые – $V_p > 500$ мм³.

Статистический анализ

Анализ экспериментальных данных и статистическая оценка были выполнены в Microsoft Excel 2010 и Statistica 10.0. Для определения значимости различий в агрессивности штаммов *Fusarium* и устойчивости образцов использовали однофакторный дисперсионный анализ (ANOVA) с группировкой средних значений в гомогенные группы согласно Duncan's multiple range test ($p \leq 0,05$) [26].

Результаты исследований

В период проведения исследований в результате ежегодного мониторинга развития болезней на растениях свеклы столовой была собрана коллекция изолятов грибов рода *Fusarium*. Изоляты выделяли с различных пораженных частей растений свеклы столовой: при проращивании семян, с пораженных проростков, листьев растений во время вегетации, с корнеплодов во время хранения (рис. 1). Преобладающая часть коллекции изолятов (45 %) была выделена из пораженных фузариозом корнеплодов (таблица 2) с симптомами в виде язв разного размера на поверхности корнеплода (33 % от общего числа пораженных корнеплодов), сухой или мягкой гнили в области головки (30 %), в виде гнили внутренней ткани или проводящих пучков (15%). Признаки поражения в области кончика и осевого корешка в виде сухой гнили без дальнейшего распространения в среднем зарегистрированы у 7 % корнеплодов. При высокой степени развития болезни – 3,5-4 балла, наблюдали полное поражение тканей всего корнеплода.

Доля изолятов, выделенных в результате фитопатологической экспертизы семян, составила 40%. Было зарегистрировано два типа симптомов развития фузариоза (рис. 1). Первый – семена не проросли, наблюдали потемнение, размягчение или ослизнение тканей околоплодника с образованием мицелия. С таких семян выделили 30% изолятов от общего числа. Второй тип симптомов – поражение проростков: потемнение и размягчение корешка (38%), семядольных листьев (18%), hypocotyla с последующим увяданием проростка (14%). Доля изолятов, выделенных с пораженных листьев, составила 15% от общего их числа. Из них половина были изолированы с листовой пластинки. В данном случае симптомы проявлялись в виде хлороза в различной сте-



Рис. 1. Симптомы развития фузариоза на разных частях растений свеклы столовой
Fig. 1. Symptoms of fusarium development in different parts of beetroot plants

Таблица 2. Структура коллекции изолятов *Fusarium*, выделенных из различных органов и частей пораженных растений свеклы столовой, по степени агрессивности в отношении корнеплодов (2018-2024 годы)
Table 2. Structure of the collection of *Fusarium* isolates isolated from various organs and parts of affected beetroot plants, according to the degree of aggressiveness against root crops (2018-2024)

Место локализации патогена и выделения изолята		Доля изолятов с различной степенью агрессивности, %		
		слабо агрессивные (32 %)	умеренно агрессивные (45 %)	высоко агрессивные (23 %)
Семена 29 изолятов (40%)	Околоплодник	56	22	22
	Корешок	27	9	63
	Гипокотиль	0	75	25
	Семядоли	0	40	60
Лист 10 изолятов (15%)	Пластинка	0	100	0
	Черешок	50	50	0
	Жилка	0	67	33
Корнеплод 32 изолята (45%)	Кончик	43	28	28
	Головка	0	71	29
	Центральная часть	12	67	11
	Весь корнеплод	25	50	25
	Язвы	67	33	0

пени с дальнейшим увяданием листьев. Из жилки листа было выделено 33% изолятов, а из черешка – 17%.

По результатам теста на патогенность в отношении корнеплодов свеклы столовой было показано, что большая часть высокоагрессивных изолятов была выделена из пораженной головки корнеплода, с жилки листа, корешка и семядольных листьев проростков (табл. 2).

По макро- и микроморфологическим характеристикам коллекцию полученных изолятов распределили на шесть морфогрупп. Доминирующими видами были *F. acuminatum* (с наибольшей долей высокоагрессивных штаммов) и *F. avenaceum*. Видовая идентификация типичных представителей каждой группы с помощью молекулярных маркеров показала, что в состав патоконкомплекс фузариозной гнили свеклы столовой в Московской области помимо видов *F. acuminatum* (FTSC) и *F. avenaceum* (FTSC), входят *F. campestre* (FTSC), *F. solani* (FSSC), *F. flagelliforme* (FIESC) и *F. sporotrichioides* (FSAMSC) (рис. 2).

Репрезентативные штаммы идентифицированных видов характеризовались следующими морфолого-культуральными признаками (рис. 3):

F. acuminatum (F-св-38 – выделен с головки корнеплода) – белый, стелющийся, воздушный мицелий с появлением на 19 сутки ярко-розового пигмента в строме и частично в мицелии. Макрокониции обильные, изогнутые, с 3-4 перегородками, размером около 20x5 мкм; микрокониции овальной или изогнутой формы с 0-1 перегородкой, размером около 8x3 мкм. Хламидоспор нет (рис. 3 А).

F. avenaceum (F-св-39 – выделен из центральной части корнеплода) – концентрический рост белого мицелия с появлением на десятые сутки оранжево-коричневого пигмента в строме и частично в воздушном мицелии. Обильные макрокониции, прямые или слегка изогнутые с 3-4 перегородками, размером около 48x4 мкм. Микрокониции овальной

формы, размером около 14x3 мкм с 1-2 перегородками. Хламидоспор нет (рис. 3 В).

F. campestre (F-св-40 – выделен с головки корнеплода) – радиальный рост белого воздушного мицелия с плотным центром и появлением на десятые сутки неравномерного бежевого пигмента в строме. Макрокониции обильные веретеновидные или слегка изогнутые с 3 перегородками, размером около 28x5 мкм. Микрокониции овальной формы без перегородки или с одной перегородкой, размером около 11x4 мкм. Хламидоспор нет (рис. 3 С).

F. solani (F-св-36 – выделен с головки корнеплода) – концентрический рост белого мицелия с появлением на седьмые сутки светло кремового пигмента. Обильные макрокониции, слегка изогнутые с 2-4 перегородками, размером около 14x4 мкм. Микрокониции овальной или слегка изогнутой формы, размером около 9x1 мкм с одной перегородкой. Обильные округло-овальные хламидоспоры размером около 3x0,2 мкм расположены по одной, реже парами (рис. 3 D).

F. flagelliforme (F-св-13 – выделен с корешка проростка) – белый пушистый воздушный мицелий, с появлением желтовато-коричневого пигмента в строме на 6 сутки. Макрокониции почти прямые с изогнутыми концами, размером около 55x4 мкм с 5-6 перегородками. Микрокониции не обнаружены. Обильные округло-овальные хламидоспоры размером около 11x9 мкм расположены цепочками (рис. 3 Е).

F. sporotrichioides (F-св-46 – выделен с головки корнеплода) – радиальный рост с разреженным центром белого мицелия с появлением на десятые сутки неравномерного светло-бежевого пигмента преимущественно в строме. Макрокониции немногочисленные овальные или слегка изогнутые с 3 перегородками, размером около 19x3 мкм. Микрокониции многочисленные грушевидной или овальной формы без перегородки или с одной перегородкой, разме-

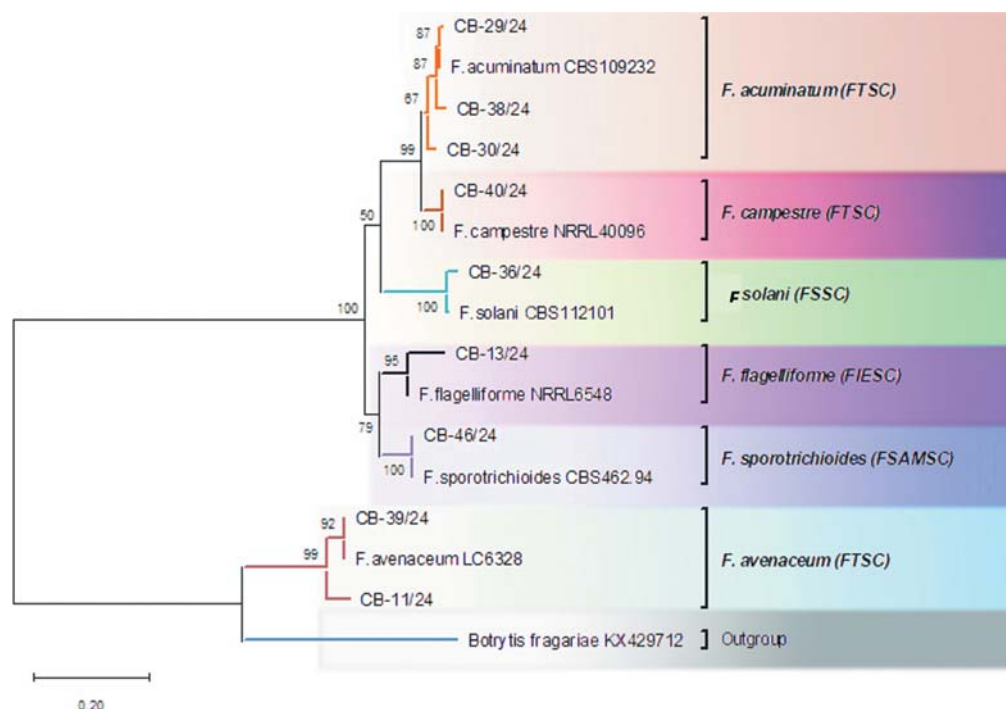


Рис. 2. Филогенетический анализ изолятов *Fusarium* на основе полученных нуклеотидных последовательностей локуса *tef1a*. Дендрограмма построена в программе Mega 12 методом UPGMA, бутстреп 1000. Последовательность локуса *tef1* *Bisifusarium allantoides* выбрана в качестве аутгруппы. В скобках указаны номера референсных штаммов из базы данных FUSARIOID-ID database - Food, Fibre & Health

Fig. 2. Phylogenetic analysis of *Fusarium* isolates based on the *tef1a* locus nucleotide sequences. The dendrogram was constructed in Mega 12 software using the UPGMA method, bootstrap - 1000. The *tef1* locus sequence from *Bisifusarium allantoides* was selected as the outgroup. Reference strain numbers from the FUSARIOID-ID database - Food, Fibre & Health are shown in parentheses

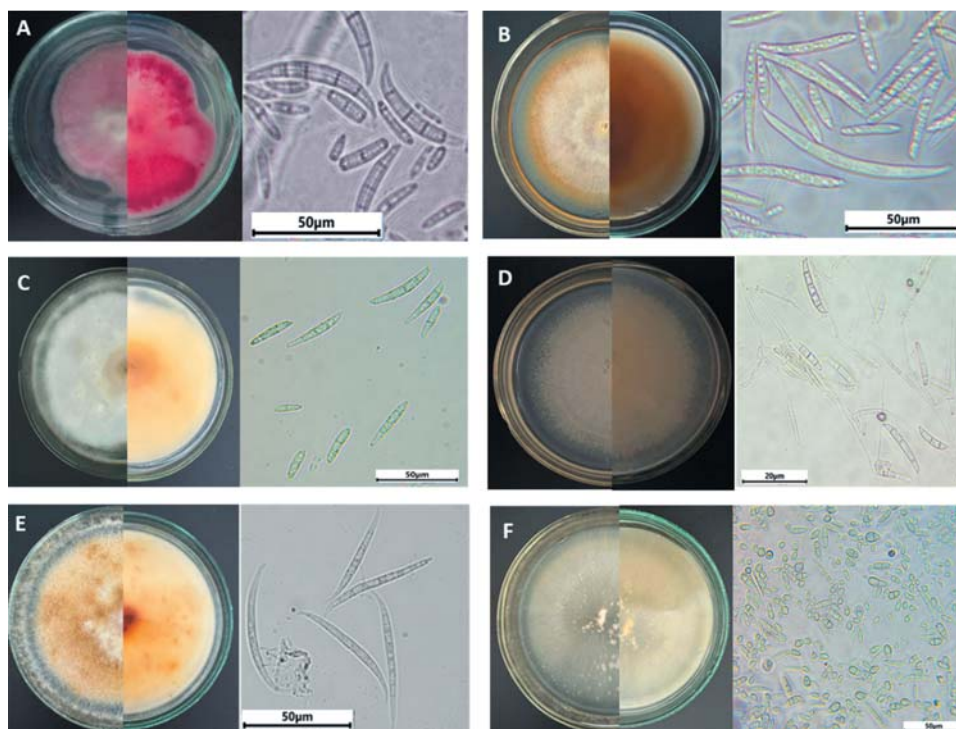


Рис. 3. Колонии и конидии репрезентативных штаммов идентифицированных видов *Fusarium*, вызывающих фузариозную гниль корнеплодов свеклы столовой во время хранения: A) *F. acuminatum* (F-ce-38); B) *F. avenaceum* (F-ce-39); C) *F. campestre* (F-ce-40); D) *F. solani* (F-ce-36); E) *F. flagelliforme* (F-ce-13); F) *F. sporotrichioides* (F-ce-46)
Fig. 3. Colonies and conidia of representative strains of identified *Fusarium* species that cause fusarium rot in beet roots During storage: A) *F. acuminatum* (F-ce-38); B) *F. avenaceum* (F-ce-39); C) *F. campestre* (F-ce-40); D) *F. solani* (F-ce-36); E) *F. flagelliforme* (F-ce-13); F) *F. sporotrichioides* (F-ce-46)

ром около 9x2 µm. Обильные округлые хламидоспоры размером около 11x11 µm расположены цепочками по 3-4 штуки (рис. 3 E).

При инокуляции дисков корнеплодов типированными штаммами патогенов наименьшим средним объемом зоны поражения характеризовались *F. avenaceum* (32 мм³), *F. campestre* (79 мм³) и *F. sporotrichioides* (82 мм³), которые статистически не отличались от контрольной группы (рис. 4). Умеренная агрессивность отмечена при инокуляции изолятом *F. flagelliforme* (215 мм³), выделенного с проростка. Высокой степенью агрессивности характеризовался *F. solani* со средним объемом зоны поражения 348 мм³. При заражении этим изолятом была наиболее выражена сорто-специфичность: от значимого поражения дисков корнеплодов у сорта Добрыня (на рисунке 4 значения, вошедшие в

третий квартиль, максимум и выброс), до слабого - у сортов Маруся и Любава (значения в первом квартиле). Наибольшей агрессивностью в отношении корнеплодов свеклы столовой характеризовался *F. acuminatum*, при заражении которым, среднее значение объема зоны поражения дисков корнеплодов по всем анализируемым сортам составляло 517 мм³, что значительно превышало среднее значение зоны поражения изолятами других видов. На седьмые сутки после инокуляции *F. acuminatum* практически полностью занимал всю поверхность диска с образованием хорошо развитого плотного воздушного мицелия, углубляясь в зависимости от генотипа на 4-20 мм в ткани корнеплода и вызывая деструктивные изменения внутренних тканей с изменением их окраски, образованием полостей и налетом белого мицелия.

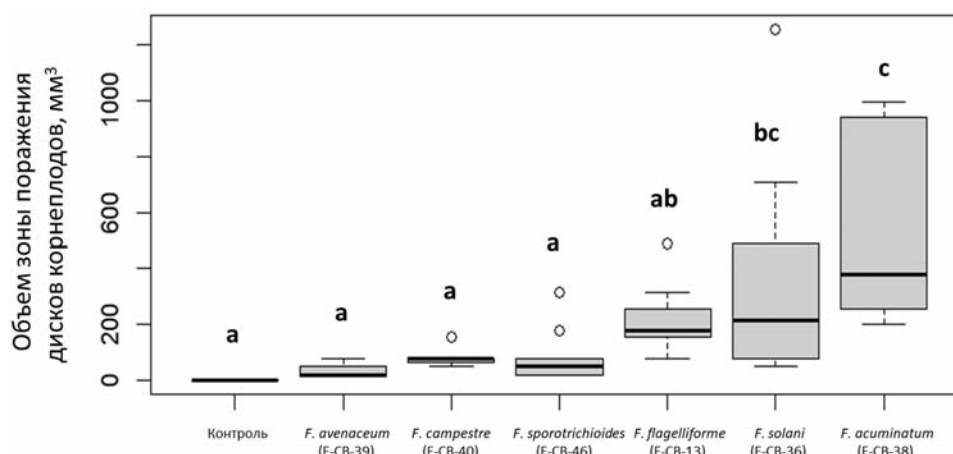


Рис. 4. Агрессивность идентифицированных изолятов *Fusarium* в отношении корнеплодов свеклы столовой (среднее по четырем сортам в пятнадцати повторениях)

Примечание: а – с - значения с одинаковой буквой существенно не отличаются с вероятностью 95% согласно тесту Дункана

Fig. 4. Aggressiveness of the identified fusarium isolates against beet roots (average for four varieties in fifteen repetitions)

Note: a-c values with the same letter do not differ significantly with a 95% probability according to the Duncan test

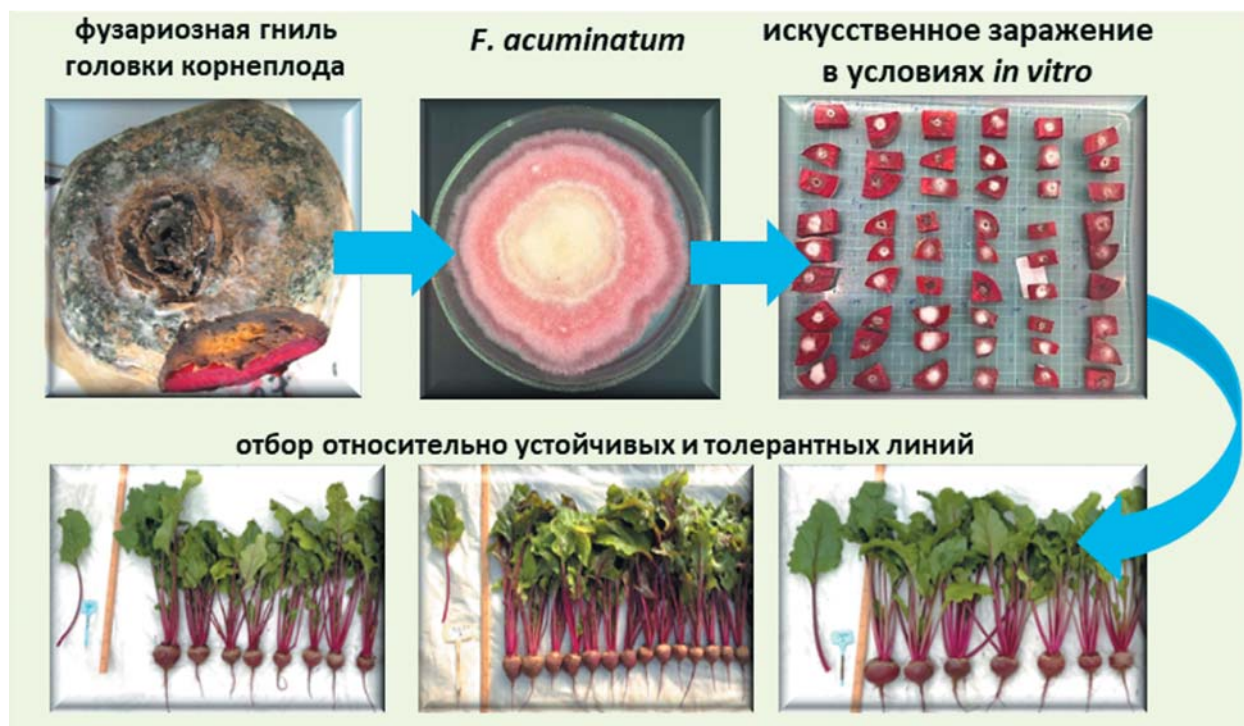


Рис. 5. Схема отбора относительно устойчивых и толерантных линий свеклы столовой для гибридной селекции при искусственном заражении высокоагрессивным штаммом *F. acuminatum* в условиях *in vitro*
 Fig. 5. Scheme of selection of relatively stable and tolerant beetroot lines for hybrid breeding under artificial infection with highly aggressive strain *F. acuminatum* *in vitro*

В практической селекции свеклы столовой на устойчивость, в частности при создании родительских линий гибридов на основе ЦМС, необходимо учитывать специфику развития и патогенный потенциал идентифицированных видов *Fusarium* при разных температурных режимах, моделирующих условия формирования корнеплодов в процессе вегетации и хранения. В параллельном эксперименте нами было показано, что наиболее высокой холодоустойчивостью и наибольшим средним объемом зоны поражения дисков корнеплодов, как при 25°C, так и при 5°C, обладал вид *F. acuminatum*. При этом, межсортовая изменчивость данного показателя при различных температурах была выражена сильнее, чем у других видов *Fusarium* [27, 28]. В связи с этим, данный вид можно рассматривать не только как объективно преобладающий в современном патоккомплексе фузариозной гнили корнеплодов в условиях Московской области в период хранения, но и как важный фактор дифференциации разных генотипов свеклы столовой по устойчивости к фузариозу. Это актуализирует необходимость включения данного вида в современные селекционные программы создания конкурентоспособных гибридов свеклы столовой.

Иммунологическая оценка устойчивости родительских линий к возбудителям фузариоза в контролируемых условиях *in vitro* позволяет нивелировать негативные воздействия окружающей среды, выявить особенности генетического контроля признака устойчивости к конкретному виду патогена на основе фенотипического проявления симптомов болезни у разных линий, что в итоге способствует повышению эффективности рекуррентного отбора на устойчивость [29]. В представленном исследовании для оценки устойчивости в условиях *in vitro* линейного материала, включающего стерильные материнские линии «А» (♀) и фертильные отцовские линии «С» (♂), использовали высокоагрессивный изолят *F. acuminatum* (F-св-38), выделенный

с пораженной головки корнеплода (рис. 5), с целью отбора наиболее ценных генотипов.

В результате были выявлены достоверные межлинейные различия по степени поражения высокоагрессивным изолятом *F. acuminatum* (рис. 6). В рамках анализируемых выборок линий максимальные значения объема зоны поражения на инокулированных дисках зафиксированы у фертильных отцовских линий «С», тогда как стерильные материнские линии «А» демонстрировали более высокую степень устойчивости. Данная закономерность вполне объяснима, поскольку большинство материнских линий «А» в представленной выборке относятся к четвертому поколению инбридинга. В ходе селекционной работы с этими линиями в каждом поколении осуществляли жесткий рекуррентный отбор генотипов по признаку устойчивости к комплексу фитопатогенов на естественном инфекционном фоне при хранении, а также параллельно на искусственном инфекционном фоне к отдельным видам возбудителей, имеющих высокую вредность в условиях Московской области. Линии «С» - инбредные потомства второго поколения, получены на основе коллекционных образцов различного географического происхождения, у которых целенаправленный отбор на устойчивость к данному патогену не проводился, ввиду возможного отсутствия агрессивных штаммов *F. acuminatum* в составе патоккомплекса возбудителей фузариоза в регионе ведения их селекции.

Наименьшим объемом зоны поражения дисков при искусственном заражении среди линий «А» выделяются №№ 413, 363 и 404, в которых объем зоны поражения значительно не различался и в среднем составлял 82, 85 и 93 мм³ (рис. 6). Вместе с тем для линии 413 отмечена внутрилинейная вариабельность по величине зоны поражения: отдельные корнеплоды характеризовались существенно более выраженной степенью поражения ($V_p = 227$ мм³) по сравнению с

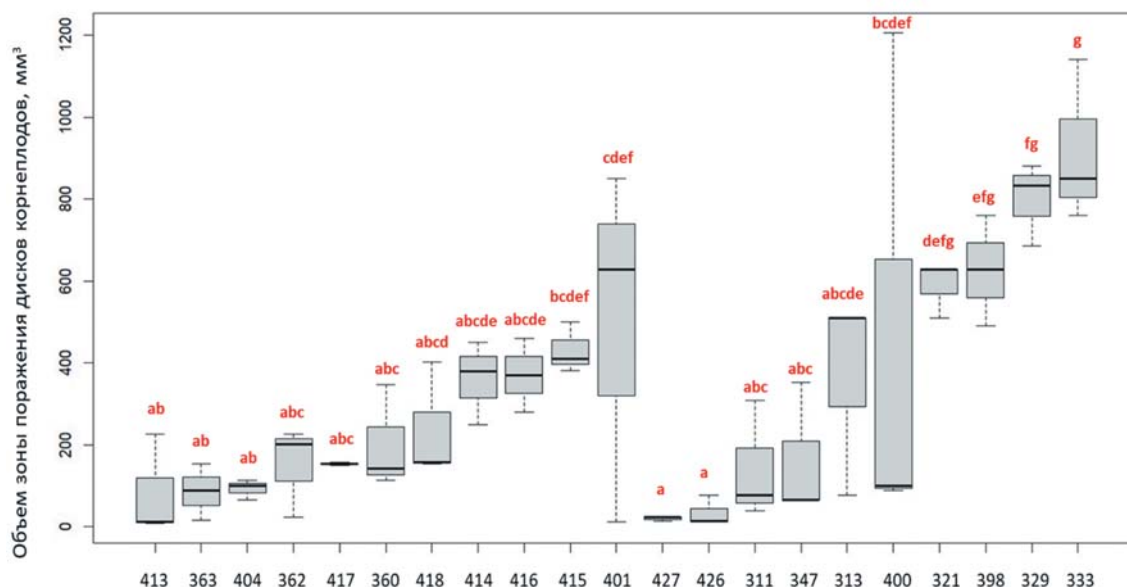


Рис. 6. Объем зоны поражения дисков корнеплодов линий свёклы столовой при искусственном заражении высокоагрессивным штаммом *F. acuminatum* (F-се-38)

Примечание: среднее значение объема зоны поражения дисков корнеплодов в пределах образца на 7 суток; а–г: значения с одинаковой буквой существенно не отличаются с вероятностью 95% согласно тесту Дункана.

№№ 413-401 – стерильные материнские линии «А»; №№ 427-333 – фертильные отцовские линии «С»

Fig. 6. The volume of the root crop disc lesion in beetroot lines During artificial infection with a highly aggressive strain of *F. acuminatum* (F-се-38)

Note: the average volume of the root crop disc lesion within the sample for 7 days; a–g: values with the same letter do not differ significantly with a 95% probability according to the test Duncan's. №№ 413-401 – sterile maternal lines "A"; №№ 427-333-fertile paternal lines "C"

остальными. Линии 362, 417 и 360 по объему зоны поражения (150-200 мм²) были охарактеризованы как толерантные к фузариозной гнили корнеплодов, ассоциированной с *F. acuminatum*. Причем у линии 417 диски всех корнеплодов поразились практически в одинаковой степени.

Среди отцовских линий «С» минимальная степень поражения дисков корнеплодов зафиксирована у линий 427 и 426, со средними значениями 20 и 33 мм³ соответственно. Толерантностью характеризовались линии 311 и 313 (средний $V_p=141-161$ мм³). Также заслуживает внимания отцовская линия 400, привлекательная с точки зрения органолеп-

тических показателей и выравненностью корнеплодов по форме и размеру. При искусственной инокуляции дисков корнеплодов этой линии среднее значение объема зоны поражения дисков значимо отличалось от групп относительно устойчивых и толерантных линий, однако отдельные корнеплоды поразились в незначительной степени, что указывает на возможность проведения улучшающего отбора на устойчивость отдельных генотипов из этой линии.

Следует отметить, что результаты ранжирования образцов на группы устойчивости при полевой и иммунологической оценке были сопоставимы. Отобранные по устойчиво-

Таблица 3. Сохранность селекционных линий свёклы столовой на естественном инфекционном фоне в период хранения (2019-2023 годы)
Table 3. Safety of beetroot breeding lines on a natural infectious background during storage (2019-2023)

Селекционный номер линии	Сохранность, %					Ценность линии
	2019	2021	2023	среднее за три года	V, %	
413 A	93	90	100	94	5,4	относительная устойчивость к фузариозу
363 A	100	100	96	99	2,3	урожайность, органолептические показатели
404 A	100	100	100	100	0,0	урожайность, относительная устойчивость к фузариозу и фомозу
362 A	100	81	77	86	14,3	урожайность, относительная устойчивость к фузариозу и фомозу
417 A	85	87	75	82	10,4	урожайность, органолептические показатели
360 A	100	100	96	99	2,3	урожайность, органолептические показатели, относительная устойчивость к фузариозу и фомозу
427 C	100	100	95	98	2,9	урожайность, органолептические показатели, относительная устойчивость к фузариозу и фомозу
426 C	89	87	71	82	12,0	органолептические показатели, относительная устойчивость к фузариозу и фомозу
311 C	97	100	100	99	1,7	товарность, окраска корнеплода, относительная устойчивость к фузариозу
347 C	100	93	88	94	6,4	урожайность, органолептические показатели, относительная устойчивость к фузариозу и фомозу
400C	93	87	85	88	5,4	урожайность, органолептические показатели, выровненность по форме и размеру корнеплода

сти к фузариозу при искусственном заражении линии характеризовались высокой сохранностью и незначительным поражением корнеплодов во время хранения на естественном фоне на протяжении пяти лет, даже в условиях высокой напряженности инфекционного фона в отдельные годы исследований (2022-2023 годы). Помимо устойчивости данные линии выделяются и по другим хозяйственно-ценным признакам (табл. 3). В частности, линии 360А, 427С и 347С отличаются комплексом признаков, что определяет успех создания на их основе отечественных, устойчивых, конкурентоспособных гибридов свеклы столовой на основе ЦМС.

Однако для научно обоснованного подбора родительских пар с целью создания новых гибридов, прежде всего важно знать характер наследования целевого признака в гибридном потомстве, изучая его проявление в различных комбинациях скрещивания. В таблице 4 представлены результаты искусственной инокуляции дисков корнеплодов выборки гибридных комбинаций и их родительских линий. Для гибридизации были использованы материнские линии с относительной устойчивостью к *F. acuminatum*, а отцовские линии значительно различались по данному признаку (от относительной устойчивости до восприимчивости).

При анализе характера проявления признака в гибридном потомстве было установлено, что, не смотря на относи-

тельную устойчивость материнского компонента, в изученных гибридных комбинациях наблюдается доминирование (полное/неполное) (в комбинациях 314 и 353) или сверхдоминирование ($h_p > 1$) (в комбинациях 306, 350 и 371) восприимчивости в сторону более восприимчивых отцовских линий. На рисунке 5 наглядно видна высокая прямая зависимость степени устойчивости гибридных комбинаций от восприимчивости отцовской линии ($r=0,75$).

Генетическая основа, контролирующая механизмы устойчивости к фузариозной гнили в целом на культуре свеклы, пока практически не изучена. Исходя из полученных результатов в нашем эксперименте можно предположить, что устойчивость к *F. acuminatum* у гибридов столовой свёклы это рецессивный признак, и в гибридном потомстве будет доминировать восприимчивость. Положительные значения $h_p > 0,9$ свидетельствуют о том, что селекция на устойчивость очень затруднена: даже при скрещивании относительно устойчивой линии с восприимчивой, гибридная комбинация наследует высокий уровень поражения, а в ряде случаев превосходит по восприимчивости худшего родителя. Для селекции устойчивых гибридов свеклы столовой необходим жёсткий отбор по этому признаку на уровне инбредных линий.

Таблица 4. Объем зоны поражения дисков корнеплодов гибридных комбинаций свёклы столовой и их родительских линий при искусственном заражении высокоагрессивным штаммом *F. acuminatum* (F-св-38)
Table 4. The volume of the lesion zone of root crop discs by hybrid combinations of beetroot and their parent lines During artificial infection with a highly aggressive strain of *F. acuminatum* (F-св-38)

Гибридная комбинация	Объем зоны поражения, мм ³			
	♀	♂	F ₁	h _p
306	82	34	141	3,46
350	86	162	200	2,01
314	86	365	328	0,73
353	86	720	711	0,97
371	150	465	630	2,05

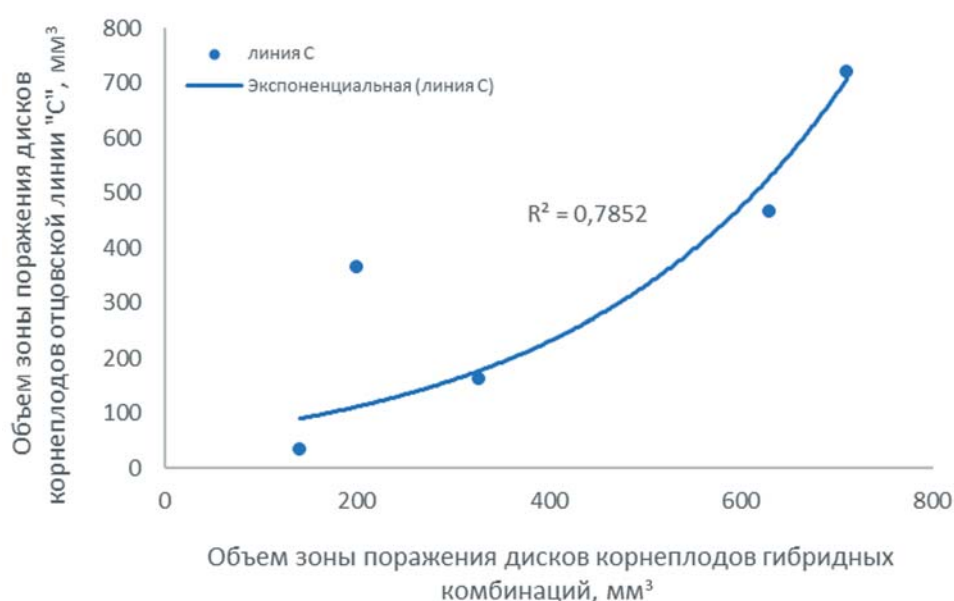


Рис. 7. Экспоненциальный тренд поражения дисков корнеплодов гибридных комбинаций в зависимости от поражения отцовских линий-опылителей «С»

Fig. 7. Exponential trend of damage to discs of root crops of hybrid combinations depending on the damage of paternal pollinator lines "C"

Заключение

Результаты наших исследований подтверждают общемировые тенденции изменения фитопатологической обстановки в отношении распространения грибов рода *Fusarium*, связанной с изменением климата, интродуцированием и нарастанием агрессивности новых видов и рас фитопатогенов в ходе бесконтрольного перемещения семенного материала и товарной продукции [30]. Фитомониторинг развития болезней в период хранения корнеплодов свеклы столовой, выращенных в Московской области, показал, что доминирующими в составе патоконтекста кагатной гнили, являются грибы рода *Fusarium*. Доля пораженных фузариозом корнеплодов при хранении варьирует в зависимости от агроклиматических условий года от 23% до 58% [27]. Суммарно за годы исследований с разных органов пораженных растений свеклы столовой было выделено в чистую культуру и охарактеризовано по морфолого-биологическим культуральным признакам более 70 изолятов. При видовой идентификации репрезентативных изолятов *Fusarium* из различных морфогрупп методами молекулярной филогении с использованием генов TEF-1 α и RPB2 показано, что в патогенезе фузариозной гнили свеклы столовой в условиях Московской области участвуют шесть видов. Помимо ранее зарегистрированных вредоносных видов *F. solani* (FSSC) и *F. avenaceum*, в составе современного патоконтекста присутствуют новые для данного региона виды: *F. acuminatum*, *F. campestris* (FTSC); *F. flagelliforme* (FIESC) и *F. sporotrichioides* (FSAMSC). Среди них преобладает *F. acuminatum* с наибольшей долей высокоагрессивных штаммов, выделенных в основном, из пораженной головки корнеплода.

При иммунологической оценке устойчивости линейного материала к высокоагрессивному штамму *F. acuminatum* (F-св-38) в условиях *in vitro* объем зоны поражения дисков в зависимости от группы устойчивости варьировал от 20 до 1200 мм³. Наименьшим объемом зоны поражения дисков характеризовались три материнские линии «А» 413, 363 и 404 – Vп=82, 85 и 93 мм³ соответственно; две отцовские линии «С» 427 и 426 – Vп=20 и 33 мм³ соответственно. Отобранные по устойчивости к фузариозу при искусственном заражении линии характеризовались высокой сохранностью корнеплодов (более 80%) во время хранения на естественном фоне на протяжении пяти лет, а также комплексом других хозяйственно-ценных признаков (урожайность, товарность, органолептические показатели, относительная устойчивость к фомозу), важных для гибридной селекции. Предварительный анализ проявления устойчивости к *F. acuminatum* в гибридном потомстве при скрещивании материнских линий с относительной устойчивостью и отцовских линий из разных групп устойчивости (от относительной устойчивости до восприимчивости) выявил рецессивный характер наследования признака с доминированием восприимчивости отцовского компонента ($r=0,75$). Следовательно, при создании коммерческих гибридов F₁ свеклы столовой обе родительские линии должны обладать высокой устойчивостью к этому новому для Центрального региона РФ возбудителю фузариозной гнили корнеплодов. Для повышения эффективности рекуррентного отбора по устойчивости к фузариозной гнили, ассоциированной с *F. acuminatum*, необходимо прогнозировать фенотипические вариации путем разработки молекулярных маркеров, связанных с устойчивостью свеклы столовой к данному виду.

Литература

1. Clifford T., Howatson G., West D.J., Stevenson E.J. The potential benefits of red beetroot supplementation in health and disease. *Nutrients*. 2015;7:2801–2822. <https://doi.org/10.3390/nu7042801>
2. Gilchrist M., Winyard P.G., Fulford J., Anning C., Shore A.C., Benjamin N. Dietary nitrate supplementation improves reaction time in type 2 diabetes: Development and application of a novel nitrate-depleted beetroot juice placebo. *Nitrate Oxide*. 2014;40:67–74. <https://doi.org/10.1016/j.niox.2014.05.003>
3. Hobbs D.A., George T.W., Lovegrove J.A. The effects of dietary nitrate on blood pressure and endothelial function: A review of human intervention studies. *Nutr. Res. Rev.* 2013;26:210–222. <https://doi.org/10.1017/S0954422413000188>
4. Заячковский В.А., Молдован А.И., Терешонок В.И., Харченко В.А., Антошкина М.С., Павлов Л.В., Голубкина Н.А., Степанов В.А. Факторы, влияющие на уровень общей антиоксидантной активности и содержание полифенолов в чипсах из корнеплодов свеклы в процессе приготовления и хранения. *Овощи России*. 2022;(2):36–43. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2022-2-36-43>
5. Леунов В.И. Направления в селекции и семеноводстве овощных корнеплодных культур. *Картофель и овощи*. 2017;(10):6–9. <https://elibrary.ru/zizykh>
6. Разин А.Ф., Шатилов М.В., Мещерякова Р.А., Сурихина Т.Н., Разин О.А., Телегина Г.А. Овощи борщевой группы в России. *Картофель и овощи*. 2019;(10):10–13. <https://doi.org/10.25630/PAV.2019.37.28.009>
7. Ветрова С.А., Заячковский В.А., Мухина К.С. Раздельноплодные сорта свеклы столовой селекции ФГБНУ ФНЦО в разрезе современных требований сельхозпроизводителей. *Аграрная наука*. 2019;(11–12):61–67. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2019-333-10-61-67>
8. Тимакова Л.Н., Борисов В.А., Фильрозе Н.А. Перспективные сорта свеклы столовой на различных фонах минерального питания. *Картофель и овощи*. 2020;(4):11–13. <https://doi.org/10.25630/PAV.2020.87.98.002>
9. Ветрова С.А., Солдатенко А.В., Пинчук Е.В. Свёкла столовая как

элемент продовольственной безопасности Российской Федерации. *Овощи России*. 2025;(5):5–12.

<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2025-5-5-12>

<https://elibrary.ru/nqnteo>

10. Byford W.J., Gambogi P. Phoma and other fungi on beet seed. *Trans. Br. Mycol. Soc.* 1985;(84):21–28.

[https://doi.org/10.1016/S0007-1536\(85\)80215-1](https://doi.org/10.1016/S0007-1536(85)80215-1)

11. Abawi G.S., Crosier D.C., Becker R.F. Symptomatology and etiology of root rot of table beets in New York. *Phytopathology*. 1974;(1):132.

12. Olaya G., Abawi G.S. Occurrence of *Thanatephorus cucumeris* on table beets in New York State (Abstr.). *Phytopathology*. 1991;(81):1186.

13. Pethybridge S.J., Vaghefi N., Kikkert J.R. Management of *Cercospora* leaf spot in conventional and organic table beet production. *Plant Dis.* 2017;(101):1642–1651. <https://doi.org/10.1094/pdis-04-17-0528-re>

14. Ветрова С.А., Козарь Е.Г., Енгальцева И.А., Мухина К.С. Оценка устойчивости селекционного материала свеклы столовой к болезням хранения. *Биосфера*. 2022;(14):282–287.

<https://elibrary.ru/sfpluu>

15. Bugbee W. M. Storage rot of sugar beet. *Plant Dis.* 1982;(66):871–873. <https://doi.org/10.1094/PD-66-871>

16. Whitney E.D., Duffus J.E. Compendium of beet diseases and insects. American Phytopathological Society, St. Paul, Minn. 1986. 76 p.

17. Cao S., Yang N., Zhao C. et al. Diversity of *Fusarium* species associated with root rot of sugar beet in China. *J Gen Plant Pathol.* 2018;(84):321–329. <https://doi.org/10.1007/s10327-018-0792-5>

18. Буров Б.В., Самохвалов А.Н. Видовой состав фузариевых грибов – возбудителей корнееды столовой свеклы. *Сборник научных трудов «Селекция овощных культур»*. 1988;(26):79–82.

19. Буров Б.В., Слепко Г.И. и др. Снизить потери корнеплодов при хранении. *Картофель и овощи*. 1990;(1):5–8.

20. Самохвалов А.Н. Методы селекции овощных растений на устойчивость к болезням. Москва: АО «Моспромстройматериалы». 1997. 206 с.

21. Билай В.И., Элланская И.А. Основные микологические методы в фитопатологии. Методы экспериментальной микологии. Киев: Изд-во Наукова думка, 1982. 552 с.

22. Gerlach W., Nirenberg H., Eckart I., Rummland I., Schwarz R. The genus *Fusarium*: a pictorial atlas. Kommissionsverlag P. Parey Berlin. 1982.

23. Leslie J.F., Summerell B.A. The *Fusarium* Laboratory Manual. John Wiley & Sons; 2008.

24. Crous P.W., Lombard L., Sandoval-Denis M., Seifert K.A., Schroers H-

- J., Chaverri P. *Fusarium*: more than a node or a foot-shaped basal cell. *Stud Mycol.* 2021;(98):100-116. <https://doi.org/10.1016/j.simyco.2021.100116>
25. Kumar S., Stecher G., Suleski M., Sanderford M., Sharma S., Tamura K. MEGA12: Molecular Evolutionary Genetic Analysis Version 12 for Adaptive and Green Computing. *Mol Biol Evol.* 2024;(41):263. <https://doi.org/10.1093/molbev/msae263>
26. Duncan D.B. Multiple Range and Multiple F Tests. *Biometrics.* 1955;(11):1. <https://doi.org/10.2307/3001478>
27. Vetrova S., Kozar E., Engalycheva I., Mukhina K., Chizhik V., Martynov V. Diversity of *Fusarium* species causing storage rot of table beets in the Moscow region of the Russian Federation. *J. Of Fungi.* 2026;12(6):413. <https://doi.org/10.3390/jof12060413>
28. Мухина К.С., Ветрова С.А., Козарь Е.Г., Тихонова Т.О. Влияние условий выращивания *in vitro* на развитие фитопатогена *Fusarium acuminatum* в чистой культуре. Современная микология в России. Материалы междисциплинарной микологической конференции. М.: Национальная академия микологии. 2026;(12):375-378.
29. De Lucchi C., Stevanato P., Hanson L. et al. Molecular markers for improving control of soil-borne pathogen *Fusarium oxysporum* in sugar beet. *Euphytica.* 2017;213(71). <https://doi.org/10.1007/s10681-017-1859-7>
30. Левитин М.М. Современные видовые названия фитопатогенных грибов. *Защита и карантин растений.* 2018;(8):8-11. <https://elibrary.ru/xwblfj>
- **References**
1. Clifford T., Howatson G., West D.J., Stevenson E.J. The potential benefits of red beetroot supplementation in health and disease. *Nutrients.* 2015;7:2801–2822. <https://doi.org/10.3390/nu7042801>
2. Gilchrist M., Winyard P.G., Fulford J., Anning C., Shore A.C., Benjamin N. Dietary nitrate supplementation improves reaction time in type 2 diabetes: Development and application of a novel nitrate-depleted beetroot juice placebo. *Nitrate Oxide.* 2014;40:67-74. <https://doi.org/10.1016/j.niox.2014.05.003>
3. Hobbs D.A., George T.W., Lovegrove J.A. The effects of dietary nitrate on blood pressure and endothelial function: A review of human intervention studies. *Nutr. Res. Rev.* 2013;26:210-222. <https://doi.org/10.1017/S0954422413000188>
4. Zayachkovsky V.A., Moldovan A.I., Tereshonok V.I., Kharchenko V.A., Antoshkina M.S., Pavlov L.V., Golubkina N.A., Stepanov V.A. Factors affecting total antioxidant activity and polyphenol content in beet root chips during production and storage. *Vegetable crops of Russia.* 2022;(2):36-43. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2022-2-36-43> <https://elibrary.ru/ironjn>
5. Leunov V.I. Trends in breeding and seed production of vegetable root crops. *Potato and vegetables.* 2017;(10):6-9. <https://elibrary.ru/zizykh> (In Russ.)
6. Razin A.F., Shatilov M.V., Meshcheryakova R.A., Surikhina T.N., Razin O.A., Telegina G.A. Vegetables of the borscht group in Russia. *Potato and vegetables.* <https://elibrary.ru/nlgssbb> (In Russ.)
7. Vetrova S.A., Zayachkovsky V.A., Mukhina K.S. Single-fruited beet varieties of table breeding of the Federal State Budgetary Institution of the Russian Academy of Natural Sciences in the context of modern requirements of agricultural producers. *Agrarian science.* 2019;(11-12):61-67. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2019-333-10-61-67> <https://elibrary.ru/qzjkvi> (In Russ.)
8. Timakova L.N., Borisov V.A., Filrose N.A. Promising beet varieties based on various mineral nutrition backgrounds. *Potato and vegetables.* 2020;(4):11-13. <https://doi.org/10.25630/PAV.2020.87.98.002> <https://elibrary.ru/yezhyx> (In Russ.)
9. Vetrova S.A., Soldatenko A.V., Pinchuk E.V. Beetroot as an element of food security in the Russian Federation. *Vegetable crops of Russia.* 2025;(5):5-12. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2025-5-5-12> <https://elibrary.ru/nqnteo>
10. Byford W.J., Gambogi P. Phoma and other fungi on beet seed. *Trans. Br. Mycol. Soc.* 1985;(84):21-28. [https://doi.org/10.1016/S0007-1536\(85\)80215-1](https://doi.org/10.1016/S0007-1536(85)80215-1)
11. Abawi G.S., Crosier D.C., Becker R.F. Symptomatology and etiology of root rot of table beets in New York. *Phytopathology.* 1974;(1):132.
12. Olaya G., Abawi G.S. Occurrence of *Thanatephorus cucumeris* on table beets in New York State (Abstr.). *Phytopathology.* 1991;(81):1186.
13. Pethybridge S.J., Vaghefi N., Kikert J.R. Management of *Cercospora* leaf spot in conventional and organic table beet production. *Plant Dis.* 2017;(101):1642-1651. <https://doi.org/10.1094/pdis-04-17-0528-re>
14. Vetrova S.A., Kozar E.G., Engalycheva I.A., Mukhina K.S. Assessment of the resistance of table beet breeding material to storage diseases. *Biosphere.* 2022;(14):282-287. <https://elibrary.ru/sfpluu> (In Russ.)
15. Bugbee W. M. Storage rot of sugar beet. *Plant Dis.* 1982;(66):871-873. <https://doi.org/10.1094/PD-66-871>
16. Whitney E.D., Duffus J.E. Compendium of beet diseases and insects. American Phytopathological Society, St. Paul, Minn. 1986. 76 p.
17. Cao S., Yang N., Zhao C. et al. Diversity of *Fusarium* species associated with root rot of sugar beet in China. *J Gen Plant Pathol.* 2018;(84):321-329. <https://doi.org/10.1007/s10327-018-0792-5>
18. Burov B.V., Samokhvalov A.N. Species composition of *Fusarium* fungi – pathogens of table beet root rot. *Collection of scientific papers "Breeding of vegetable crops".* 1988;(26):79-82. (In Russ.)
19. Burov B.V., Slepko G.I. et al. Reduce the loss of root crops during storage. *Potato and vegetables.* 1990;(1):5-8. (In Russ.)
20. Samokhvalov A.N. Methods of breeding vegetable plants for disease resistance. Moscow: Mospromstroyaterialy JSC. 1997. 206 p. (In Russ.)
21. Bilai V.I., Ellanskaya I.A. Basic mycological methods in phytopathology. Methods of experimental mycology. Kiev: Naukova Dumka Publishing House, 1982. 552 p. (In Russ.)
22. Gerlach W., Nirenberg H., Eckart I., Rummland I., Schwarz R. The genus *Fusarium*: a pictorial atlas. Kommissionsverlag P. Parey Berlin. 1982.
23. Leslie J.F., Summerell B.A. The *Fusarium* Laboratory Manual. John Wiley & Sons; 2008.
24. Crous P.W., Lombard L., Sandoval-Denis M., Seifert K.A., Schroers H.-J., Chaverri P. *Fusarium*: more than a node or a foot-shaped basal cell. *Stud Mycol.* 2021;(98):100-116. <https://doi.org/10.1016/j.simyco.2021.100116>
25. Kumar S., Stecher G., Suleski M., Sanderford M., Sharma S., Tamura K. MEGA12: Molecular Evolutionary Genetic Analysis Version 12 for Adaptive and Green Computing. *Mol Biol Evol.* 2024;(41):263. <https://doi.org/10.1093/molbev/msae263>
26. Duncan D.B. Multiple Range and Multiple F Tests. *Biometrics.* 1955;(11):1. <https://doi.org/10.2307/3001478>
27. Vetrova S., Kozar E., Engalycheva I., Mukhina K., Chizhik V., Martynov V. Diversity of *Fusarium* species causing storage rot of table beets in the Moscow region of the Russian Federation. *J. Of Fungi.* 2026;12(6):413. <https://doi.org/10.3390/jof12060413>
28. Mukhina K.S., Vetrova S.A., Kozar E.G., Tikhonova T.O. Influence of *in vitro* growing conditions on the development of the phytopathogen *Fusarium acuminatum* in pure culture. Modern mycology in Russia. *Proceedings of the interdisciplinary mycological conference. Moscow: National Academy of Mycology.* 2026;(12):375-378. (In Russ.)
29. De Lucchi C., Stevanato P., Hanson L. et al. Molecular markers for improving control of soil-borne pathogen *Fusarium oxysporum* in sugar beet. *Euphytica.* 2017;213(71). <https://doi.org/10.1007/s10681-017-1859-7>
30. Levitin M.M. Modern specific names of phytopathogenic fungi. *Plant protection and quarantine.* 2018;(8):8-11. (In Russ.) <https://elibrary.ru/xwblfj>

Об авторах:

Светлана Александровна Ветрова – кандидат с.-х. наук, старший научный сотрудник лаборатории молекулярно-иммунологических исследований, <https://orcid.org/0000-0002-9897-0413>, SPIN-код: 9887-1667, автор для переписки, iana-k2201@mail.ru

Ксения Сергеевна Мухина – младший научный сотрудник лаборатории молекулярно-иммунологических исследований, <https://orcid.org/0000-0002-7407-4139>, SPIN-код: 1103-3413, kseniyamukhina@yandex.ru

Елена Георгиевна Козарь – кандидат с.-х. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории молекулярно-иммунологических исследований, <https://orcid.org/0000-0002-1319-5631>, SPIN-код: 1148-5177, kozar_eg@mail.ru

Ирина Александровна Енгальчева – кандидат с.-х. наук, ведущий научный сотрудник, зав. лабораторией молекулярно-иммунологических исследований, <https://orcid.org/0000-0003-4843-111x>, SPIN-код: 2084-2830, engirina1980@mail.ru

About the Authors:

Svetlana A. Vetrova – Cand. Sci. (Agriculture), Senior Researcher of the Laboratory Molecular Immunological Research, <https://orcid.org/0000-0002-9897-0413>, SPIN-code: 9887-1667, Corresponding Author, iana-k2201@mail.ru

Kseniya S. Muhina – Junior Researcher of the Laboratory Molecular Immunological Research, <https://orcid.org/0000-0002-7407-4139>, SPIN-code: 1103-3413, kseniyamukhina@yandex.ru

Elena G. Kozar – Cand. Sci. (Agriculture), Head Researcher of the Laboratory Molecular Immunological Research, <https://orcid.org/0000-0002-1319-5631>, SPIN-code: 1148-5177, kozar_eg@mail.ru

Irina A. Engalycheva – Cand. Sci. (Agriculture), Leading Researcher of the Laboratory Molecular Immunological Research, <https://orcid.org/0000-0003-4843-111x>, SPIN-code: 2084-2830, engirina1980@mail.ru