

Краткое сообщение

УДК 634.11:632.3

DOI: 10.30901/2658-6266-2026-3-02



Использование молекулярных маркеров генов устойчивости к мучнистой росе и бактериальному ожогу для скрининга коллекции сортов яблони института «Жигулёвские сады»

И. Н. Шамшин¹, М. И. Дулов²¹ Мичуринский государственный аграрный университет, Мичуринск, Россия² Научно-исследовательский институт садоводства и лекарственных растений «Жигулёвские сады», Самара, Россия**Автор, ответственный за переписку:** Иван Николаевич Шамшин, ivan_shasmhin@mail.ru

Для создания устойчивых к заболеваниям сортов яблони требуется поиск источников генов резистентности и вовлечение их в селекционную работу. Проведена идентификация генов устойчивости к мучнистой росе и бактериальному ожогу у семи осенних и 18 зимних сортов яблони селекции НИИ «Жигулёвские сады». Используются молекулярные маркеры AE10-375 и GE-8019 QTL FBF7 устойчивости к бактериальному ожогу, а также кодоминантный маркер AT20 SCAR (ген *Pl-I*), доминантные маркеры EM DM01 (ген *Pl-d*) и EM M02 (ген *Pl-w*) устойчивости к мучнистой росе. Установлено, что гены *Pl-I*, *Pl-w* и *Pl-d* устойчивости к мучнистой росе в генотипе анализируемых сортов яблони отсутствуют. Показано, что хотя бы один из маркеров устойчивости к бактериальному ожогу, AE10-375 и/или GE-8019 QTL FBF7, присутствует в генотипе 80% анализируемых сортов. Маркер AE10-375 идентифицирован у 10 сортов, маркер GE-8019 у 18 сортов, то есть частота встречаемости маркера GE-8019 у анализируемых сортов яблони в 1,8 раза больше, чем маркера AE10-375. Сорта 'Спартанец', 'Самарский Сувенир', 'Самарчанин', 'Скиф', 'Кутузовец', 'Самара', 'Спартак', 'Князь Засекин' содержат в одном генотипе два маркера и являются потенциальными источниками устойчивости к бактериальному ожогу, которые могут быть использованы в качестве исходных форм при создании сортов яблони с повышенной адаптивностью к абиотическим и биотическим стресс-факторам для условий Поволжья.

Ключевые слова: яблоня, мучнистая роса, бактериальный ожог, *Pl-I*, *Pl-w*, *Pl-d*, QTL FBF7

Благодарности: исследования выполнены в рамках государственного задания FESU-2026-0003 по теме «Разработка эффективных методических приемов ускоренного селекционного процесса клоновых подвоев яблони на основе отдаленной гибридизации, экспериментальной полиплоидии и современных агробиотехнологий» (регистрационный номер в ЕГИСУ НИОКТР 1025120500162-9-4.4.1)

Для цитирования: Шамшин И.Н., Дулов М.И. Использование молекулярных маркеров генов устойчивости к мучнистой росе и бактериальному ожогу для скрининга коллекции сортов яблони института «Жигулёвские сады». *Биотехнология и селекция растений*. 2026;9(3):. DOI: 10.30901/2658-6266-2026-3-02

Прозрачность финансовой деятельности: Авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах. Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы. Мнение журнала нейтрально к изложенным материалам, авторам и их месту работы.

© Шамшин И.Н., Дулов М.И., 2026

Brief communication

DOI: 10.30901/2658-6266-2026-3-o2

Using molecular markers of powdery mildew and fire blight resistance genes for screening the apple cultivar collection of the “Zhiguli Gardens” Institute

Ivan N. Shamshin¹, Mikhail I. Dulov²¹ Michurinsk State Agrarian University, Michurinsk, Russia² Scientific Research Institute of Horticulture and Medicinal Plants “Zhiguli Gardens”, Samara, Russia**Corresponding author:** Ivan N. Shamshin, ivan_shasmhin@mail.ru

To create apple cultivars persistent to diseases, it is necessary to search for the sources of resistance genes and involve them in breeding work. Identification of genes for resistance to powdery mildew and fire blight using molecular markers was carried out in seven autumn and 18 winter apple cultivars bred at the “Zhiguli Gardens” Scientific Research Institute. The AE10-375 and GE-8019 QTL FBF7 bacterial fire blight resistance markers, AT20 SCAR (*Pl-I* gene) codominant marker, EM DM01 (*Pl-d* gene) and EM M02 (*Pl-w* gene) dominant powdery mildew resistance markers were used in this study. It was established that the *Pl-I*, *Pl-w* and *Pl-d* powdery mildew resistance genes are absent from the genotypes of the analyzed apple cultivars. It was demonstrated that at least one of the fire blight resistance markers, AE10-375 and/or GE-8019, is present in the genotypes of 80% of the analyzed cultivars. The marker AE10-375 was identified in 10 cultivars, and GE-8019 in 18 cultivars, i.e. the frequency of occurrence of GE-8019 in the analyzed apple cultivars is 1.8 times higher than that of AE10-375. The cultivars ‘Spartanets’, ‘Samarskiy Suvenir’, ‘Samarkand’, ‘Skif’, ‘Kutuzovets’, ‘Samara’, ‘Spartak’ and ‘Knyaz Zasekin’ contain two markers in a single genotype and thus represent potential sources of fire blight resistance, which can be used as parental forms to develop apple cultivars with increased adaptability to abiotic and biotic stress factors in the conditions of the Volga Region.

Keywords: *Malus*, powdery mildew, bacterial fire blight, *Pl-I*, *Pl-w*, *Pl-d*, QTL FBF7

Acknowledgements: the research was carried out within the framework of the state assignment FESU-2026-0003 on the topic “Development of effective methodological techniques for the accelerated breeding of clonal apple rootstocks based on distant hybridization, experimental polyploidy and modern agrobiotechnology” (Reg. under No. 1025120500162-9-4.4.1 in the Unified State Information System for Accounting of R&D Works)

For citation: Shamshin I.N., Dulov M.I. Using molecular markers of powdery mildew and fire blight resistance genes for screening the apple cultivar collection of the “Zhiguli Gardens” Institute. *Plant Biotechnology and Breeding*. 2026;9(3):. (In Russ.). DOI: 10.30901/2658-6266-2026-3-o2

Financial transparency: The authors have no financial interest in the presented materials or methods. The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work. The journal’s opinion is neutral to the presented materials, the authors, and their employers.

© Shamshin I.N., Dulov M.I., 2026

Плодовые семечковые культуры, такие как яблоны, груша и айва, относятся к числу наиболее значимых растений, возделываемых в России. По данным Федеральной службы государственной статистики в 2024 году площадь насаждений семечковых культур в хозяйствах всех категорий в стране составляла 219,7 тыс. га, в Самарской области – 5,0 тыс. га (RosStat, 2025). Яблоневые сады занимают наибольшие площади. В настоящее время самообеспеченность яблоками составляет по годам 87-90%, а к 2028 году Россия должна полностью себя обеспечивать плодами данной культуры. Выращивание яблони по интенсивным технологиям из-за высокой плотности расположения деревьев, как правило, приводит к большему распространению грибных и бактериальных болезней в саду, которые являются серьезной причиной увеличения потерь количества и качества урожая плодов. Для снижения распространения болезней яблони интенсивно используются пестициды. Это угрожает окружающей среде и здоровью потребителей, приводит к появлению новых устойчивых к химическим препаратам патогенных рас возбудителей болезней (Podgornaya, Fedorenko, 2014; Kashirskaya, Kochkina, 2020).

Мучнистая роса является одним из наиболее вредоносных и широко распространенным грибным заболеванием яблони. Грибной патоген *Podosphaera leucotricha* Salm зимует в виде мицелия в почках пораженных побегов, а весной споры гриба разносятся на молодые листья, побеги, цветки, бутоны и завязи яблони. Зараженные листья слабо развиваются, скручиваются и буреют, побеги замедляют рост, соцветия и цветки деформируются, что приводит к снижению урожая плодов (Urbanovich et al., 2010). Мучнистая роса снижает фотосинтетическую продуктивность листьев и устойчивость растений яблони к низким температурам в осенне-зимний период (Krasova et al., 2014). Мучнистая роса чаще всего наблюдается в молодых садах и питомниках. Благоприятные условия для развития патогена – положительная температура на уровне 18-25°C и высокая влажность воздуха или резкое её изменение. В Поволжье мучнистая роса на яблоне проявляется в слабой степени, поражение растений в среднем составляет 10-30%. Отмечено, что сухая, жаркая погода ослабляет тургор, ухудшает общее состояние деревьев яблони и снижает их устойчивость к мучнистой росе (Kochetkov, Slepkov, 2008). В последние годы в связи с потеплением климата, применением интенсивных технологий выращивания, загущением насаждений создаются благоприятные условия для развития патогена и повреждения яблони мучнистой росой. Для создания устойчивых сортов требуется поиск источников генов резистентности к мучнистой росе и вовлечение их в селекционную работу. Ранее были идентифицированы отдельные гены устойчивости к возбудителю болезни. Так ген *Pl-1* впервые обнаружен у дикорастущего вида *M. ×robusta* (Carrière) Rehder, ген *Pl-2* идентифицирован у *M. zumi* Rehder (Knight, Alston, 1968), *Pl-w*

у сорта ‘White Angel’ (Gallott et al., 1985; Simon, Weeden, 1991), *Pl-d* у гибридной формы D12 (Visser, Verhaegh, 1976) и *Pl-m* у гибрида MIS (Mildew immune selection) (Dayton, 1977). Ускорить поиск генов устойчивости можно с помощью молекулярных маркеров. Для большинства известных генов разработаны различные типы ДНК-маркеров. Так, например, для гена *Pl-1* разработан и валидирован SCAR-маркер OPAT20 (Markussen et al., 1995). Для генов *Pl-w* и *Pl-d* разработаны маркеры EM M01, EM M02 и EM DM01 соответственно (Evans, James, 2003; James et al., 2004). Эти маркеры были использованы для анализа генетических коллекций яблони как в России (Suprun et al., 2015; Lyzhin, Saveleva, 2020; Lyzhin, Savel’eva, 2021), так и за рубежом (Patzak et al., 2011; Amirchakhmaghi et al., 2018; Khankishieva, 2020; Höfer et al., 2021; Galymbek et al., 2025).

Бактериальный ожог плодовых культур является одним из наиболее вредоносных инфекционных заболеваний, наносящих значительный ущерб отрасли садоводства, (Drenova, 2019; Shamshin et al., 2025). Возбудитель заболевания – бактерия *Erwinia amylovora* (Burrill) Winslow et al. – ограниченно распространенный карантинный организм для стран Евразийского экономического союза (ЕАЭС) (Burnashev et al., 2025). В настоящее время карантинные фитосанитарные зоны установлены в 71 муниципальном районе 19 субъектов Российской Федерации. В 2024 году установлено семь новых таких зон на площади 71,1 тыс. га. Бактерия *E. amylovora* зимует под корой дерева и весной с наступлением теплой погоды она активно размножается, в результате чего происходит разрыв коры и на поверхности образуются капли молочно-белого или янтарно-желтого бактериального экссудата. Последний привлекает насекомых, которые во время опыления цветков невольно заражают много новых растений. Заражение происходит в течение всего периода вегетации, начиная с ранней весны и до поздней осени. Бактериальный ожог проявляется на цветках, побегах, ветвях и плодах. Цветки увядают и чернеют, листья свертываются, чернеют и остаются на ветвях, деревья имеют вид обожженных. На незрелых плодах появляются маслянистые красно-бурые или черно-бурые пятна, за короткое время охватывающие всю поверхность плода (Sadanov et al., 2023). В сильно зараженных садах это инфекционное заболевание способно поразить до 50% насаждений. Эффективных средств борьбы с бактериальным ожогом разработано недостаточно. В большинстве случаев используются антибиотики. Однако в большинстве стран, в том числе и в России, их применение запрещено. Предпочтительным способом борьбы с болезнью остается возделывание устойчивых форм яблони. На сегодняшний день выявлен ряд локусов (QTL, Quantitative Trait Loci), связанных с устойчивостью к бактериальному ожогу. Так, локус устойчивости QTL FBF7 был картирован на хромосоме VII у сорта яблони ‘Fiesta’ (Calenge et al., 2005). Наибольшее количество генетических факторов, ассоции-

рованных с механизмами устойчивости, выявлено у дикорастущих видов рода *Malus*. Например, на хромосоме III *M. ×robusta* (Carrière) Rehder ‘Robusta 5’ (Peil et al., 2007; 2021), на хромосоме X *M. fusca* (Raf.) Schneid. (Emeriewen et al., 2014; 2019), на хромосоме XII у образцов ‘Evereste,’ *M. floribunda* Siebold ex Van Houtte 821 (Durel et al., 2009) и *M. ×arnoldiana* (Rehder) Bean (Emeriewen et al., 2017). Для идентификации локуса FBF7 разработаны SCAR-маркеры AE10-375 и GE-8019, а также микросателлитный маркер CH-F7-Fb1 (Khan et al., 2007).

Ведущим научным учреждением в Среднем Поволжье, которое с 1931 года проводит научные исследования по селекции и изучению сортов яблони, является ГБУ СО НИИ «Жигулёвские сады». Учеными института созданы и переданы на государственное испытание на хозяйственную полезность 38 сортов яблони, из них 15 сортов включены в Государственный реестр сортов и гибридов сельскохозяйственных растений и рекомендованы для выращивания в Средневолжском и других регионах России. Ранее созданные и новые сорта яблони адаптированы для выращивания в условиях Среднего Поволжья. Кроме того, они успешно выращиваются и в более южных регионах страны. Поэтому актуальным является оценка устойчивости созданных сортов к мучнистой росе и бактериальному ожогу на молекулярном уровне.

Исследования, посвященные идентификации генов устойчивости к мучнистой росе и бактериальному ожогу у семи осенних и 18 зимних сортов яблони селекции института «Жигулёвские сады», проведены в лаборатории молекулярно-генетического анализа плодовых растений ФГБОУ ВО «Мичуринский государственный аграрный университет» с использованием молекулярных маркеров.

ДНК выделяли из молодых листьев с помощью СТАВ-метода (Doyle, Doyle, 1990). Отбор образцов проводили с одного дерева. Для анализа генов устойчивости к мучнистой росе использовали следующие **ДНК-маркеры**: AT20-SCAR (ген *Pl-I*) (Markussen et al., 1995), EM DM01 (ген *Pl-d*) (James et al., 2004) и EM M02 (ген *Pl-w*) (Evans, James, 2003). Для анализа QTL FBF7 устойчивости к бактериальному ожогу использовали маркеры AE10-375 и GE-8019 (Khan et al., 2007). Праймеры синтезированы НПК «Синтол» (Россия). Последовательности пар праймеров и температуры отжига представлены в таблице 1. Амплификацию проводили на приборе SimpliAmp производства «Applied Biosystems» (США). Реакционная смесь для ПЦР объемом 25 мкл содержала 1 мкл геномной ДНК (концентрация 10 нг/мкл), 0,5 мкл прямого и обратного праймеров (концентрация 10 пмоль/мкл), 5 мкл ПЦР-микса (MasDD TaqMIX-2025) производства ЗАО «Диалат Лтд» (Россия), 18 мкл деионизированной воды.

Таблица 1. Маркеры и нуклеотидные последовательности пар праймеров, используемых в работе
Table 1. Markers and nucleotide sequences of primer pairs used in the study

Маркер/ Marker	Последовательность/ Sequence (5' → 3')	Размер фрагмента, пп/ Fragment size, bp	Температура отжига, °C/ Annealing temperature, °C
AE10-375	F CTAAGCGCACGTTCTCC R CTGAAGCGCATCATTTCTGATAG	375	55
GE-8019	F TTGAGACCGATTTTCGTGTG R TCTCTCCCAGAGCTTCATTGT	397	55
AT20-SCAR	F ATCAGCCCCACATGAATCTCATACC R ACATCAGCCCTCAAAGATGAGAAGT	450/500	62
EM DM01	F AGGATAATAATCTATCTTGTAAGG R CCATTCAGCCCAACGAGT	90	53
EM M02	F CTGCAGACTGTTTGTAAGTTGG R AACTCCTTGATTTCTCCTATTGTT	250	56

Для определения размера фрагментов использован маркер молекулярного веса GeneRuler 100 пп (Thermo Fisher Scientific, США).

Продукты амплификации разделяли путем электрофореза в 2% агарозном геле, окрашенном бромистым этидием. После электрофореза гель анализировали в ультрафиолетовом свете с использованием трансиллюминатора, его изображение получали с помощью цифровой фотокамеры.

В качестве положительных контролей устойчивости к мучнистой росе и бактериальному ожогу использова-

ли сорта и виды яблони из коллекции Мичуринского ГАУ, у которых ранее были идентифицированы данные гены и QTL (Shamshin et al., 2023; Drenova et al., 2024).

Наличие генов устойчивости к мучнистой росе *Pl-I*, *Pl-d* и *Pl-w* устанавливали с помощью маркеров, ранее апробированных нами в изучении устойчивости клоновых подвоев яблони (Shamshin et al., 2023). Для идентификации гена *Pl-I* был использован кодоминантный маркер AT20-SCAR. В качестве положительного контроля использовали дикорастущий вид яблони

Malus×robusta, у которого впервые был выявлен данный ген. При проведении амплификации синтезируются два фрагмента размером 450 и 500 пн. Фрагмент, характеризующий устойчивый образец, имеет размер 450 пн (Markussen et al., 1995). Анализ результатов амплификации показал у всех образцов наличие фрагмента размером 500 пн, что говорит об отсутствии аллеля устойчивости в коллекции сортов (Приложение 1А/ Supplement 1А)¹. Идентификацию гена *Pl-w* проводили с помощью сцепленного с ним SCAR-маркера EM M02 (Evans, James, 2003). Маркер позволяет идентифицировать доминантный аллель гена устойчивости. В качестве контрольного образца использовали сорт яблони ‘Эверест’. Наличие амплифицированного фрагмента размером 250 пн свидетельствует о присутствии гена в генотипе сорта. В ходе исследования установлено, что ожидаемый фрагмент идентифицируется только у контрольного образца. Остальные генотипы не имели данного фрагмента. Аналогичная картина наблюдается при анализе гена *Pl-d*. Ожидаемый размер продукта ПЦР составляет 90 пн (James et al., 2004). Однако он идентифицирован только у контрольного образца, которым служил клоновый подвой яблони 54-118 (Приложение 1В/ Supplement 1В).

Таким образом, результаты идентификации на молекулярном уровне показывают, что гены устойчивости к мучнистой росе в генотипах анализируемых сортов яблони селекции НИИ «Жигулёвские сады» отсутствуют. Одной из возможных причин этого является отсутствие целенаправленного отбора по устойчивости к воз-

будителю болезни. Этот факт подтверждает отсутствие данных по оценке полевой устойчивости к мучнистой росе для коллекционных образцов. Гены *Pl* интродуцированы в культурные сорта из дикорастущих видов яблони. Виды – источники генов устойчивости к мучнистой росе, а также производные от них генотипы, не были использованы в качестве исходного материала в селекционной работе НИИ «Жигулёвские сады». Из проведенных исследований следует, что для поиска источников генов *Pl* требуется расширение выборки сортов отечественной и зарубежной селекции, выращиваемых на территории Средневолжского и других регионов страны для проведения скрининга с использованием молекулярных маркеров.

Идентификацию генов устойчивости к бактериальному ожогу у сортов яблони проводили с использованием ранее разработанных SCAR-маркеров AE10-375 и GE-8019, фланкирующих локус QTL FBF7. Для маркера AE10-375 характерно наличие фрагмента 375 пн, а для GE-8019 – фрагмента 397 пн. В качестве положительного контроля использовали сорт яблони ‘Remo’, у которого ранее было показано наличие данных маркеров (Khan et al., 2007).

Для всех исследуемых нами сортов яблони получены четко воспроизводимые ПЦР-фрагменты как в случае SCAR-маркера AE10-375 (рисунок А), так и в случае маркера GE-8019 (рисунок В).

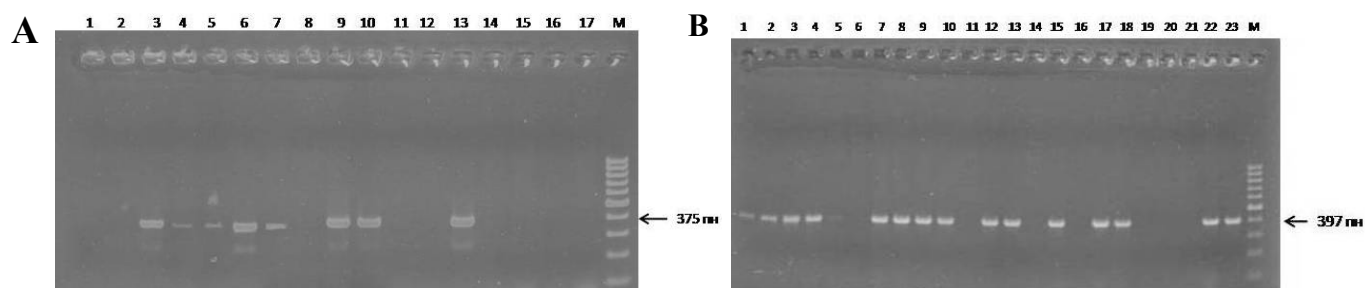


Рисунок. Электрофореграммы продуктов амплификации маркеров генов устойчивости сортов яблони к бактериальному ожогу

А – AE10-375; В – GE-8019

1 – ‘Азаровское’; 2 – ‘Буйан’; 3 – ‘Спартанец’; 4 – ‘Самарский сувенир’; 5 – ‘Самарчанин’; 6 – ‘Синап самарский’; 7 – ‘Скиф’; 8 – ‘Красноглинское’; 9 – ‘Кутузовец’; 10 – ‘Самара’; 11 – ‘Память Королева’; 12 – ‘Сокское розовое’; 13А – ‘Remo’; 13В – ‘Спартак’; 14 – ‘Куйбышевское’; 15 – ‘Жигулевское’; 16 – ‘Подарок министру’; 17 – ‘Аркад волжский’; 18 – ‘Князь Засекин’; 19 – ‘Маяк Поволжья’; 20 – ‘Память Кедрина’; 21 – ‘Янтарь самарский’; 22 – ‘Данко’; 23 – ‘Remo’; М – маркер молекулярного веса ДНК GeneRuler 100 bp

Figure. Electrophoregrams of amplification products of markers of fire blight resistance genes in apple cultivars

А – AE10-375; В – GE-8019

1 – ‘Azarovskoe’; 2 – ‘Buyan’; 3 – ‘Spartanets’; 4 – ‘Samskiy souvenir’; 5 – ‘Samarchanin’; 6 – ‘Sinap samarskiy’; 7 – ‘Skif’; 8 – ‘Krasnoglinskoye’; 9 – ‘Kutuzovets’; 10 – ‘Samara’; 11 – ‘Pamyat Koroleva’; 12 – ‘Sokskoye rozovoye’; 13 – ‘Remo’; 13В – ‘Spartak’; 14 – ‘Kuybyshevskoye’; 15 – ‘Zhigulevskoye’; 16 – ‘Podarok ministru’; 17 – ‘Arkad Volzhskiy’; 18 – ‘Knyaz Zasekin’; 19 – ‘Mayak Povolzhia’; 20 – ‘Pamyat Kedrina’; 21 – ‘Yantar samarskiy’; 22 – ‘Danko’; 23 – ‘Remo’; М – DNA molecular weight marker GeneRuler 100 bp

¹ Приложения доступны в онлайн версии статьи/ The supplements are available in the online version of the paper: DOI: 10.30901/2658-6266-2026-3-02

Показано, что хотя бы один из двух изучаемых маркеров присутствует в генотипе каждого из 20 проанализированных сортов (табл. 2). Маркер AE10-375 идентифицирован у 10 сортов: 'Спартанец', 'Самарский сувенир', 'Самарчанин', 'Синап Самарский', 'Скиф', 'Кутузовец', 'Самара', 'Спартак', 'Князь Засекин', 'Янтарь Самарский'. В случае маркера GE-8019 показано, что у 18 из 25 образцов обнаружен фрагмент ожидаемого размера. Его

встречаемость у сортов яблони селекции НИИ «Жигулёвские сады» составляет в среднем 72%, что в 1,8 раза больше, чем маркера AE10-375. Нами показано, что сочетание двух маркеров в одном генотипе характерно для 8 из 25 сортов: 'Спартанец', 'Самарский сувенир', 'Самарчанин', 'Скиф', 'Кутузовец', 'Самара', 'Спартак', 'Князь Засекин'.

Таблица 2. Результаты идентификации QTL FBF7 устойчивости у сортов яблони селекции НИИ «Жигулёвские сады»

Table 2. Results of identification of FBF7 QTL for resistance in apple cultivars bred at the "Zhiguli Gardens" Scientific Research Institute

Сорт/ Cultivar	Маркеры/ Markers		Сорт/ Cultivar	Маркеры/ Markers	
	AE10-375	GE-8019		AE10-375	GE-8019
1. 'Азаровское'	–	+	14. 'Куйбышевское'	–	–
2. 'Буян'	–	+	15. 'Жигулевское'	–	+
3. 'Спартанец'	+	+	16. 'Подарок Министру'	–	–
4. 'Самарский сувенир'	+	+	17. 'Аркад волжский'	–	+
5. 'Самарчанин'	+	+	18. 'Князь Засекин'	+	+
6. 'Синап Самарский'	+	–	19. 'Маяк Поволжья'	–	–
7. 'Скиф'	+	+	20. 'Память Кедрина'	–	–
8. 'Красноглинское'	–	+	21. 'Янтарь Самарский'	+	–
9. 'Кутузовец'	+	+	22. 'Оригинал'	–	+
10. 'Самара'	+	+	23. 'Рассвет Поволжья'	–	+
11. 'Память Королева'	–	–	24. 'Данко'	–	+
12. 'Сокское розовое'	–	+	25. 'Волжский шафран'	–	+
13. 'Спартак'	+	+	'Remo'*	+	+

«+» – наличие фрагмента; «–» – отсутствие фрагмента; * – положительный контроль для QTL/
«+» – fragment presence; «–» – fragment absence; * – positive control for QTL

Локус FBF7 устойчивости яблони к бактериальному ожогу был картирован на хромосоме VII у сорта 'Fiesta'. Данный QTL детерминирует 34,3-46,6% фенотипического варьирования признака устойчивости (Calenge et al., 2005). О наличии FBF7 QTL в генотипе яблони свидетельствует присутствие маркеров GE-8019 и AE10-375, которые фланкируют участок расположения локуса на хромосоме VII. Данные маркеры широко используются для анализа коллекций различных представителей рода *Malus*. Как показывают исследования коллекционных образцов яблони, QTL FBF7 распространен среди сортов (Khan et al., 2007; Nybom et al., 2012; Lyzhin, Savelyeva, 2021; Shamshin et al., 2025). В отдельных работах данный локус был выявлен и у дикорастущих видов яблони (Lyzhin, Saveleva, 2023).

Среди проанализированных нами образцов отмечены генотипы, у которых идентифицированы как один, так и оба маркера. Хотя бы один из двух изучаемых маркеров присутствует у 20 сортов. При этом маркер AE10-375 выявлен у 10 сортов яблони, а маркер GE-8019 – у 18. Оба маркера встречаются у 8 из 25 сортов. Считается, что генотипы яблони, которые несут оба маркера, мож-

но рекомендовать в качестве потенциальных источников устойчивости к бактериальному ожогу (Calenge et al., 2005). Присутствие в генотипе яблони только одного маркера GE-8019 или AE10-375 не может указывать на наличие признака устойчивости к бактериальному ожогу у растения (Khan et al. 2007; Peil et al., 2014).

Для анализа встречаемости QTL FBF7 у изучаемых сортов была проведена оценка их родословных (Приложение 2/ Supplement 2). При создании сортов осеннего срока созревания плодов в качестве родительских форм использованы 30,8% генотипов, полученных до начала XX века и 69,2% – в период до 30-х годов XX века. Сорта зимнего срока созревания получены с участием исходных родительских форм, среди которых 13,9% были созданы до начала XX века, 69,4% в первой половине XX века, и только 16,7% в 50-70х годах XX века (Dulov, Shamshin, 2025). Анализ родословных показал, что маркер GE-8019 чаще всего встречается у сортов, полученных с использованием комбинации скрещивания 'Скрыжапель' × 'Ренет Симиренко'. Из 13 сортов, в происхождении которых отмечена данная комбинация, у 10 выявлен маркер. Исключение составляют сорта 'Рассвет Поволжья',

‘Подарок министру’ и ‘Память Кедрина’, которые его не имеют. В то же время из восьми сортов, у которых идентифицировано два маркера локуса устойчивости к бактериальному ожогу, три имеют в своей родословной данную комбинацию. При этом сорт ‘Кутузовец’ является первым поколением от скрещивания этих сортов. В остальных образцах с двумя маркерами также прослеживается зависимость наличия маркеров от происхождения сорта. Например, у сорта ‘Спартак’ имеются оба маркера в генотипе, так же как и у всех производных от него – это сорта ‘Самарчанин’, ‘Скиф’, ‘Самара’.

Анализ литературы показывает, что в коллекционных образцах яблони чаще выявляется маркер AE10-375, чем GE-8019 (Tóth et al., 2013; Omasheva et al., 2016). Такая же закономерность отмечена и для дикорастущих видов яблони. Маркер GE-8019 идентифицирован в среднем у 50%, а маркер AE10-375 – у 76% образцов диких видов яблони (Lyzhin, Saveleva, 2023). В изученной нами коллекции у большинства генотипов выявлен маркер GE-8019.

Таким образом, в генотипе у 80% сортов яблони селекции НИИ «Жигулёвские сады» присутствует хотя бы один маркер локуса FBF7, связанного с устойчивостью к бактериальному ожогу. Маркер AE10-375 идентифицирован у 10 сортов, маркер GE-8019 – у 18 из 25 проанализированных сортов яблони. Наличие двух маркеров в одном генотипе отмечено у восьми сортов из десяти: ‘Спартак’, ‘Самарский сувенир’, ‘Самарчанин’, ‘Скиф’, ‘Кутузовец’, ‘Самара’, ‘Спартак’, ‘Князь Засекин’, что делает их потенциальными источниками устойчивости к этому инфекционному заболеванию.

References/Литература

- Amirchakmaghi N., Yousefzadeh H., Hosseinpour B., Espahbodi K., Aldaghi M., Cornille A. First insight into genetic diversity and population structure of the Caucasian wild apple (*Malus orientalis* Uglitzk.) in the Hyrcanian forest (Iran) and its resistance to apple scab and powdery mildew. *Genetic Resources and Crop Evolution*. 2018;65(4):1255-1268. DOI: 10.1007/s10722-018-0611-z
- Burnashev M.R., Yakovleva V.A., Nesterenkova A.E. Analysis of phytosanitary quarantine state of the territory of the Russian Federation in 2021-2023. *Plant protection and quarantine*. 2025;(3):26-30. [in Russian] (Бурнашев М.Р., Яковлева В.А., Нестеренкова А.Э. Анализ карантинного фитосанитарного состояния территории Российской Федерации за 2021-2023 гг. *Защита и карантин растений*. 2025;(3):26-30). DOI: 10.47528/1026-8634_2025_3_26
- Calenge F., Drouet D., Denancé C., Van de Weg W.E., Brisset M.N., Paulin J.P., Durel C.E. Identification of a major QTL together with several minor additive or epistatic QTLs for resistance to fire blight in apple in two related progenies. *Theoretical and Applied Genetics* 2005;111(1):128-135. DOI: 10.1007/s00122-005-2002-z
- Dayton D.F. Genetic immunity to apple mildew incited by *Podosphaera leucotricha*. *HortScience*. 1977;12(3):225-226. DOI: 10.21273/HORTSCI.12.3.225
- Doyle J.J., Doyle J.L. Isolation of plant DNA from fresh tissue. *Focus*. 1990;12(1):13-15.
- Drenova N.V. fire blight in the russian federation and current approaches to its diagnostics. *Pomiculture and Small Fruits Culture in Russia*. 2019;58:131-137. [in Russian] (Дренова Н.В. Ожог плодовых культур в Российской Федерации и современные подходы к его диагностике. *Плодоводство и ягодоводство России*. 2019;58:131-137). DOI: 10.31676/2073-4948-2019-58-131-137
- Drenova N.V., Shamshin I.N., Dubrovsky M.L., Maslova M.V., Ignatov A.N., Jalilov F.S. Resistance of apple clonal rootstocks to the fruit bacterial blight pathogen *Erwinia amylovora*. *Pomiculture and Small Fruits Culture in Russia*. 2024;76:99-112. [in Russian] (Дренова Н.В., Шамшин И.Н., Дубровский М.Л., Маслова М.В., Игнатов А.Н., Джалилов Ф.С. Устойчивость клоновых подвоев яблони к возбудителю бактериального ожога плодовых культур *Erwinia amylovora*. *Плодоводство и ягодоводство России*. 2024;76:99-112). DOI: 10.31676/2073-4948-2024-76-99-112
- Dulov M.I., Shamshin I.N. Molecular genetic analysis of apple varieties bred by the institute "Zhigulevskie gardens" by the *md-acs1* and *md-aco1* genes of ethylene biosynthesis in fruits during ripening and their storage. *Bulletin Samara State Agricultural Academy*. 2025;10(2):11-18. [in Russian] (Дулов М.И., Шамшин И.Н. Молекулярно-генетический анализ сортов яблони селекции института «Жигулевские сады» по генам *Md-ACS1* и *Md-ACO1* биосинтеза этилена в плодах при созревании и их хранении. *Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии*. 2025;10(2):11-18). DOI: 10.55170/1997-3225-2025-10-2-11-18
- Durel C.-E., Denance C., Brisset M.N. Two distinct major QTL for resistance to fire blight co-localize on linkage group 12 in apple genotypes ‘Evereste’ and *Malus floribunda* clone 821. *Genome*. 2009;52(2):139-147. DOI: 10.1139/G08-111
- Evans K., James C. Identification of SCAR markers linked to *Pl-w* mildew resistance in apple. *Theoretical and Applied Genetics*. 2003;106(7):1178-1183. DOI: 10.1007/s00122-002-1147-2
- Emeriewen O.F., Peil A., Richter K., Zini E., Hanke M.-V., Malnoy M. Fire blight resistance of *Malus × arnoldiana* is controlled by a quantitative trait locus located at the distal end of linkage group 12. *European Journal of Plant Pathology*. 2017;148:1011-1018. DOI: 10.1007/s10658-017-1152-6
- Emeriewen O., Richter K., Kilian A., Zini E., Hanke M.-V., Malnoy M., Peil A. Identification of a major quantitative trait locus for resistance to fire blight in the wild apple species *Malus fusca*. *Molecular Breeding*. 2014;34:407-419.
- Emeriewen O.F., Wöhner T., Flachowsky H., Peil A. *Malus* hosts-*Erwinia amylovora* interactions: strain pathogenicity and resistance mechanisms. *Frontiers in Plant Science*. 2019;10:551. DOI: 10.3389/fpls.2019.00551
- Gallott J.C., Lamb R.C., Aldwinckle H.S. Resistance to powdery mildew from some small-fruited *Malus* cultivars. *Horticultural Science*. 1985;20(6):1085-1087. DOI: 10.21273/HORTSCI.20.6.1085
- Galymbek K., Kuan A., Kaldybayeva D., Abdikarimova R., Bakirov S., Aitymbet Z., Madenova A. Distribution of powdery mildew resistance genes in the Kazakhstan apple cultivar collection. *Brazilian Journal of Biology*. 2025;85:e287949. DOI: 10.1590/1519-6984.287949
- Höfer M., Flachowsky H., Schröpfer S., Peil A. Evaluation of scab and mildew resistance in the gene bank collection of apples in Dresden-Pillnitz. *Plants*. 2021;10(6):1227. DOI: 10.3390/plants10061227
- James C.M., Clarke J.B., Evans K.M. Identification of molecular markers linked to the mildew resistance gene *Pl-d* in apple. *Theoretical and Applied Genetics*. 2004;110:175-181. DOI: 10.1007/s00122-004-1836-0
- Kashirskaya N.Ya., Kochkina A.M. Directions of ecologization of apple plant protection from pests and diseases. *Breeding and Variety Cultivation of Fruit and Berry Crops*. 2020;7(1-2):82-84. [in Russian] (Каширская Н.Я., Кочкина А.М. Направления экологизации защиты растений яблони от вредителей и болезней. *Селекция и сортоведение садовых культур*. 2020;7(1-2):82-84). DOI: 10.24411/2500-0454-2020-11221
- Khan M.A., Durel C.-E., Duffy B., Drouet D., Kellerhals M., Gessler C., Patocchi A. Development of molecular markers linked to the ‘Fiesta’ linkage group 7 major QTL for fire blight resistance and their application for marker-assisted selection. *Genome*. 2007;50(6):568-577. DOI: 10.1139/g07-033
- Khankishieva E.M. Screening for resistance of local Azerbaijan apple

- varieties to *Venturia inaequalis* (Cooke.) Wint. and *Podosphaera leucotricha* Salm. pathogen using molecular markers. *Fruit Growing*. 2020;32(1):44-52. [in Russian] (Ханкишиева Э.М. Скрининг устойчивости местных сортов яблони Азербайджана к патогенам *Venturia inaequalis* (Cooke.) Wint. и *Podosphaera leucotricha* Salm. с использованием молекулярных маркеров. *Плодоводство*. 2020;32(1):44-52).
- Knight R.L., Alston F.H. Sources of field immunity to mildew (*Podosphaera leucotricha*) in apple. *Canadian Journal of Genetics and Cytology*. 1968;10(2):294-298. DOI: 10.1139/g68-041
- Kochetkov V.M., Slepikov S.A. Adaptive and ecological potential of apple varieties resistant and immune to major fungal diseases and their production performance (Adaptivnyi i ekologicheskii potentsial ustoychivyykh i immunnykh k osnovnym gribnym bolezniam sortov yabloni i ikh proizvodstvennyye pokazateli). In: *Problems of agroecology and adaptivity of cultivars in modern horticulture in Russia: Proceedings of the international scientific and practical conference (Problemy agroekologii i adaptivnosti sortov v sovremennom sadovodstve Rossii: materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii)*; 2008 July 1-4; Orel, Russia. Orel: VNIISPK; 2008. p.132-135. [in Russian] (Кочетков В.М., Слепиков С.А. Адаптивный и экологический потенциал устойчивых и иммунных к основным грибным болезням сортов яблони и их производственные показатели. В кн.: *Проблемы агроэкологии и адаптивности сортов в современном садоводстве России: материалы международной научно-практической конференции; 01-04 июля 2008 г.; Оре́л, Росси́я*. Оре́л: ВНИИСПК; 2008. С.132-135). URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_28836609_21786630.pdf [дата обращения: 14.05.2026].
- Krasova N.G., Ozherelieva Z.E., Golyshkina L.V., Makarkina M.A., Galasheva A.M. Winter hardiness of apple tree varieties (Zimostoykost' sortov yabloni). Orel: VNIISPK; 2014 [in Russian] (Красова Н.Г., Ожерельева З.Е., Голышкина Л.В., Макаркина М.А., Галашева А.М. Зимостойкость сортов яблони. Оре́л: ВНИИСПК; 2014).
- Lyzhin A.S., Saveleva N.N. Marker-mediated screening of powdery mildew resistant (*Pl-1* gene) apple genotypes. *Vestnik of the Mari State University. Chapter: Agriculture. Economics*. 2020;6(2):180-186. [in Russian] (Лыжин А.С., Савельева Н.Н. Маркер-опосредованный скрининг устойчивых к мучнистой росе (ген *Pl-1*) генотипов яблони. *Вестник Марийского государственного университета. Серия: Сельскохозяйственные науки. Экономические науки*. 2020;6(2):180-186). DOI: 10.30914/2411-9687-2020-6-2-180-186
- Lyzhin A.S., Savelyeva N.N. Polymorphism of wild species of p. *Malus* Mill. according to powdery mildew resistance genes. *Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Agrarian Series*. 2021;59(1):62-70. [in Russian] (Лыжин А.С., Савельева Н.Н. Полиморфизм дикорастущих видов р. *Malus* Mill. по генам устойчивости к мучнистой росе. *Вестні Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя аграрных навук*. 2021;59(1):62-70). DOI: 10.29235/1817-7204-2021-59-1-62-70
- Lyzhin A.S., Savelyeva N.N. Molecular genetic analysis of apple varieties according to QTL FBF7 resistance to fire blight. *Nauchnyye Trudy Severo-Kavkazskogo Zonal'nogo Nauchno-Issledovatel'skogo Instituta Sadovodstva i Vinogradarstva = Proceedings of the North Caucasian Federal Scientific Center for Horticulture, Viticulture, Winemaking*. 2021;33:97-100. [in Russian] (Лыжин А.С., Савельева Н.Н. Молекулярно-генетический анализ сортов яблони по QTL FBF7 устойчивости к бактериальному ожогу. *Научные труды Северо-Кавказского федерального научного центра садоводства, виноградарства, виноделия*. 2021;33:97-100). DOI: 10.30679/2587-9847-2021-33-97-100
- Lyzhin A.S., Saveleva N.N. Occurrence of the FBF7 fire blight resistance locus in accessions of apple wild species (*Malus* Mill.). *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2023;184(4):133-142. [in Russian] (Лыжин А.С., Савельева Н.Н. Встречаемость локуса устойчивости к бактериальному ожогу FBF7 у образцов диких видов яблони (*Malus* Mill.) *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2023;184(4):133-142). DOI: 10.30901/2227-8834-2023-4-133-142
- Markussen T., Krüger J., Schmidt H., Dunemann F. Identification of PCR-based markers linked to the powdery-mildew-resistance gene *Pl-1* from *Malus robusta* in cultivated apple. *Plant Breeding*. 1995;114(6):530-534. DOI: 10.1111/j.1439-0523.1995.tb00850.x
- Nybom H., Mikiciński A., Garkava-Gustavsson L., Sehic J., Lewandowski M., Sobiczewski P. Assessment of fire blight tolerance in apple based on plant inoculations with *Erwinia amylovora* and DNA markers. *Trees*. 2012;26(1):199-213. DOI: 10.1007/s00468-011-0649-4
- Omasheva M.Y., Pozharskiy A.S., Maulenbay A.D., Ryabushkina N.A., Galiakparov N.N. SSR genotyping of Kazakhstani apple varieties: identification of alleles associated with resistance to highly destructive pathogens. *Eurasian Journal of Applied Biotechnology*. 2016;2:46-58. DOI: 10.11134/btp.2.2016.4
- Patzak J., Paprstein F., Henychová A. Identification of apple scab and powdery mildew resistance genes in Czech apple (*Malus domestica*) genetic resources by PCR molecular markers. *Czech Journal of Genetics and Plant Breeding*. 2011;47(4):156-165. DOI: 10.17221/140/2011-CJGPB
- Peil A., Emeriewen O.F., Khan A., Kostick S., Malnoy M. Status of fire blight resistance breeding in *Malus*. *Journal of Plant Pathology*. 2021;103:3-12.
- Peil A., Hanke M.-V., Flachowsky H., Richter K., Garcia T., Trognitz B. Developing molecular markers for marker assisted selection of fire blight resistant apple seedlings. *Acta Horticulturae*. 2007;763:117-122. DOI: 10.17660/actahortic.2007.763.15
- Peil A., Wöhner T., Hanke M.-V., Flachowsky H., Richter K., Wensing A., Emeriewen O., Malnoy M., LeRoux P.-M., Patocchi A., Kilian A. Comparative mapping of fire blight resistance in *Malus*. *Acta Horticulturae*. 2014;1956:47-51. DOI: 10.17660/ActaHortic.2014.1056.4
- Podgornaya M.E., Fedorenko Yu.M. Control of pesticides residues in orchards. *Plant protection and quarantine = Zashchita i karantin rasteniy*. 2014;(3):38-40. [in Russian] (Подгорная М.Е., Федоренко Ю.М. Контроль остаточных количеств пестицидов в садах. *Защита и карантин растений*. 2014;(3):38-40).
- RosStat. Bulletin "Area, Gross Harvest, and Productivity of Perennial Plantings in the Russian Federation in 2024" (Byulleten' "Ploshchadi, valovoy sbor i urozhaynost' mnogoletnikh nasazhdeniy v Rossiyskoy Federatsii v 2024 godu"). Moscow; 2025. [in Russian] (Росстат. Бюллетень «Площади, валовой сбор и урожайность многолетних насаждений в Российской Федерации в 2024 году. Москва; 2025). URL: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Plod_2024.xlsx [дата обращения: 15.05.2026].
- Sadanov A.K., Suleimenova Z.B., Ismailova E.T., Shemshura O.N., Baimakhanova B.B., Baimakhanova G.B., Bisko N.A., Molzhigitova A.E., Yelubayeva A.E., Tleubekova D.A. Fire blight of fruit crops. *Microbiology and Virology*. 2023;1(40):35-46. DOI: 10.53729/MV-AS.2023.01.02
- Shamshin I.N., Dubrovsky M.L., Trifonova A.A., Boris K.V., Kudryavtsev A.M. Powdery mildew resistance of apple clonal rootstocks from the collection of the Michurinsk State Agrarian University. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2023;27(6):572-581. DOI: 10.18699/VJGB-23-69
- Shamshin I.N., Telezhinskiy D.D., Shlyavas A.V. Molecular marker analysis of genes of resistance to scab and fire blight in the apple cultivars bred at the Sverdlovsk Horticultural Breeding Station. *Plant Biotechnology and Breeding*. 2025;8(2):38-47. [in Russian] (Шамшин И.Н., Тележинский Д.Д., Шлявас А.В. Анализ генов устойчивости к парше и бактериальному ожогу у сортов яблони селекции Свердловской селекционной станции садоводства с использованием молекулярных маркеров. *Биотехнология и селекция растений*. 2025;8(2):38-47). DOI: 10.30901/2658-6266-2025-2-02
- Simon C.J., Weeden N.F. Elucidation of crab apple lineage by direct examination of rDNA sequences. *Malus*. 1991;5:4-6.
- Suprun I.I., Tokmakov S.V., Risovannaya V.I., Volodin V.A., Shcherbatko V.D. Identification of apple tree *P11* and *P12*

- genes for resistance to mildew and *Vf* and *Vm* genes for resistance to scab in apple tree varieties from the collection of genetic resources of Crimea. *Scientific papers of the North Caucasian Zonal Scientific Research Institute of Horticulture and Viticulture* = *Nauchnyye Trudy Severo-Kavkazskogo Zonal'nogo Nauchno-Issledovatel'skogo Instituta Sadovodstva i Vinogradarstva*. 2015;7:15-19. [in Russian] (Супрун И.И., Токмаков С.В., Рисованная В.И., Володин В.А., Щербатко В.Д. Идентификация генов устойчивости яблони к мучнистой росе *Pl-1* и *Pl-2* и парше *Vf* и *Vm* у сортов яблони из коллекций генетических ресурсов Крымского полуострова. *Научные труды Северо-Кавказского зонального научно-исследовательского института садоводства и виноградарства*. 2015;7:15-19).
- Tóth M., Ficzek G, Király I, Honty K., Hevesi M. Evaluation of old Carpathian apple cultivars as genetic resources of resistance to fire blight (*Erwinia amylovora*). *Trees*. 2013;27:597-605. DOI: 10.1007/s00468-012-0814-4
- Urbanovich O.Y., Kozlovskaya Z.A., Kartel N.A. Spread of mildew resistance genes in the collection of apple cultivars and species grown in Belarus. *Molecular & Applied Genetics: Proceedings*. 2010;11:20-25. [in Russian] (Урбанович О.Ю., Козловская З.А., Картель Н.А. Распространение генов устойчивости к мучнистой росе в коллекции сортов и видов яблони, выращиваемых в Беларуси. *Молекулярная и прикладная генетика: сборник научных трудов*. 2010;11:20-25).
- Visser T., Verhaegh J.J. Review of tree fruit breeding carried out at the Institute for Horticultural Plant Breeding at Wageningen from 1951-1976. In: *Proceedings of the Eucarpia meeting of tree fruit breeding*. Wageningen; 1976. p.113-132.

Информация об авторах

Иван Николаевич Шамшин, кандидат биологических наук, заведующий, лаборатория молекулярно-генетического анализа плодовых растений, Мичуринский государственный аграрный университет, 393760 Россия, Тамбовская область, Мичуринск, ул. Интернациональная, 101, ivan_shamshin@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4464-1876>

Михаил Иванович Дулов, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, ведущий научный сотрудник, Научно-исследовательский институт садоводства и лекарственных растений «Жигулевские сады», 443072 Россия, Самара, 18 км Московского шоссе, Опытная станция по садоводству, dulov-tehfak@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7118-9520>

Information about the authors

Ivan N. Shamshin, Cand. Sci. (Biology), Head, Laboratory of Molecular Genetic Analysis of Fruit Plants, Michurinsk State Agrarian University, 101, Internatsional'naya Street, Michurinsk, Tambov Region, 393760 Russia, ivan_shamshin@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4464-1876>

Mikhail I. Dulov, Dr. Sci. (Agriculture), Professor, Leading Researcher, Scientific Research Institute of Horticulture and Medicinal Plants "Zhiguli Gardens", Experimental Gardening Station, 18 km of Moskovskoye Highway, Experimental Gardening Station, Samara, 443072 Russia, dulov-tehfak@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7118-9520>

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests: the authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 25.12.2025; одобрена после рецензирования 21.05.2026; принята к публикации 28.06.2026.

The article was submitted on 25.12.2025; approved after reviewing on 21.05.2026; accepted for publication on 28.06.2026.