

ГЕНЕТИКА КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ И ИХ ДИКИХ РОДИЧЕЙ

Научная статья
УДК 634.72:577.2:632.4
DOI: 10.30901/2227-8834-2025-1-148-157



Молекулярный скрининг сортов и отборных форм смородины черной селекции ФНЦ имени И.В. Мичурина по устойчивости к почковому клещу

А. С. Лыжин, Т. В. Жидехина

Федеральный научный центр имени И.В. Мичурина, Мичуринск, Россия

Автор, ответственный за переписку: Александр Сергеевич Лыжин, Ranenburzhetc@yandex.ru

Актуальность. Почковый клещ (*Cecidophyopsis ribis* Westw.) – опасный вредитель черной смородины (*Ribes nigrum* L.), поэтому создание устойчивых к *C. ribis* сортов – важное направление многих селекционных программ. Цель исследования – идентификация аллелей гена устойчивости к почковому клещу *Ce* у сортов и отборных сеянцев смородины черной селекции Федерального научного центра имени И.В. Мичурина.

Материалы и методы. Объектами исследования являлись 22 сорта и 41 отборная форма смородины черной. Выявление аллеля устойчивости *Ce* к почковому клещу проводили с использованием диагностических ДНК-маркеров GMresa и Ce-AFLP.

Результаты и выводы. Изучаемые сорта смородины черной характеризовались отсутствием маркеров GMresa и Ce-AFLP (рецессивный гомозиготный генотип *cece*). Среди проанализированных отборных селекционных форм смородины черной доминантный аллель резистентности *Ce* идентифицирован у 51,2% форм. Результаты, полученные для маркеров GMresa и Ce-AFLP, характеризовались 100-процентным совпадением распределения целевых ампликонов в изучаемой выборке. Перспективными генетическими источниками устойчивости смородины черной к *C. ribis*, защищенными геном *Ce*, являются отборные формы 1448-6-49 (762-5-82 × 'Экзотика'), 1511-4-68 (977-31-54 × 747-1270), 34-3-20 ('Шалунья' × 'Грация'), 35-4-135 ('Грация' × 'Сенсей'), 35-4-148 ('Грация' × 'Чернавка'), 35-5-4 ('Кипиана' × 'Диво Звягиной'), 35-5-36 ('Кипиана' × 'Чернавка'), 35-5-147 (1448-6-49 × 'Диво Звягиной'), имеющие гетерозиготный генотип (*Cece*), и сеянцы 31-1-72 (1511-4-68 × 'Лючия'), 31-2-33, 31-2-35 ('Кипиана' × св. оп.), 34-2-36 ('Грация' × св. оп.), 35-6-138 (1448-6-49 × самоопыление), 38-10-1, 38-10-5, 38-10-7, 38-10-9, 38-10-13, 38-10-16, 38-10-17 ('Грация' × 'Дар Смольяниновой'), характеризующиеся гетерозиготным или доминантным гомозиготным генотипом (*Cece* или *CeCe*).

Ключевые слова: *Ribes nigrum*, *Cecidophyopsis ribis*, генотип, молекулярные маркеры, устойчивость, ген *Ce*

Благодарности: работа выполнена в рамках проекта Минобрнауки России по соглашению № 075-15-2021-1050 и тематического плана ФНЦ имени И.В. Мичурина по проекту FGSU-2022-0001.

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

Для цитирования: Лыжин А.С., Жидехина Т.В. Молекулярный скрининг сортов и отборных форм смородины черной селекции ФНЦ имени И.В. Мичурина по устойчивости к почковому клещу. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2025;186(1):148-157. DOI: 10.30901/2227-8834-2025-1-148-157

GENETICS OF CULTIVATED PLANTS AND THEIR WILD RELATIVES

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2025-1-148-157

Molecular screening of black currant cultivars and selected forms developed at the I.V. Michurin Federal Scientific Center for resistance to gall mite

Alexander S. Lyzhin, Tatiana V. Zhidekhina

I.V. Michurin Federal Scientific Center, Michurinsk, Russia

Corresponding author: Alexander S. Lyzhin, Ranenburzhetc@yandex.ru

Background. The gall mite (*Cecidophyopsis ribis* Westw.) is a dangerous pest of black currant (*Ribes nigrum*), therefore the development of cultivars resistant to *C. ribis* is an important trend in many breeding programs. The objective of the study was to identify alleles of the gall mite resistance *Ce* gene in black currant cultivars and selected seedlings released at the I.V. Michurin Federal Scientific Center.

Materials and methods. The tested material included 22 cultivars and 41 selected forms of black currant. The gall mite resistance allele of the *Ce* gene was identified using diagnostic DNA markers: GMresa and Ce-AFLP.

Results and conclusion. The studied black currant cultivars were characterized by the absence of the GMresa and Ce-AFLP markers (recessive homozygous genotype *cece*). Among the analyzed selected forms of black currant, the dominant resistance allele *Ce* was identified in 51.2% of forms. The results obtained for the GMresa and Ce-AFLP markers showed 100% matching in the distribution of target amplicons within the studied sample. Promising genetic sources of black currant resistance to *C. ribis* protected by the *Ce* gene were identified: 1448-6-49 (762-5-82 × 'Ekzotika'), 1511-4-68 (977-31-54 × 747-1270), 34-3-20 ('Shalunya' × 'Gratsiya'), 35-4-135 ('Gratsiya' × 'Sensey'), 35-4-148 ('Gratsiya' × 'Chernavka'), 35-5-4 ('Kipiana' × 'Divo Zvyaginoy'), 35-5-36 ('Kipiana' × 'Chernavka'), and 35-5-147 (1448-6-49 × 'Divo Zvyaginoy'), with a heterozygous genotype (*Cece*), as well as seedlings 31-1-72 (1511-4-68 × 'Lyuchiya'), 31-2-33, 31-2-35 ('Kipiana' × open pollination), 34-2-36 ('Gratsiya' × open pollination), 35-6-138 (1448-6-49 × self-pollination), 38-10-1, 38-10-5, 38-10-7, 38-10-9, 38-10-13, 38-10-16, and 38-10-17 ('Gratsiya' × 'Dar Smolyaninovoy'), with a heterozygous or dominant homozygous genotype (*Cece* or *CeCe*).

Keywords: *Ribes nigrum*, *Cecidophyopsis ribis*, genotype, molecular markers, resistance, *Ce* gene

Acknowledgments: the research was performed within the framework of the project of the Ministry of Science and Higher Education of Russia under Agreement No. 075-15-2021-1050 and the theme plan of the I.V. Michurin Federal Scientific Center, Project No. FGSU-2022-0001.

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

For citation: Lyzhin A.S., Zhidekhina T.V. Molecular screening of black currant cultivars and selected forms developed at the I.V. Michurin Federal Scientific Center for resistance to gall mite. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2025;186(1):148-157. DOI: 10.30901/2227-8834-2025-1-148-157

Введение

Почковый клещ (*Cecidophyopsis ribis* Westw.) – опасный вредитель черной смородины (*Ribes nigrum* L.). Поврежденные клещом почки перестают развиваться и со временем засыхают, при сильном заселении на восприимчивых сортах он может повредить до 80% почек. Урожай смородины от повреждения почек *C. ribis*, по сообщениям разных авторов, может снижаться в 1,5–4 раза (Zhiduyokhina et al., 2013; Kikas et al., 2022). Почковый клещ также является переносчиком вируса реверсии смородины черной (blackcurrant reversion virus, BRV) (Juškytė et al., 2022; Moročko-Bičevska et al., 2022). Поэтому создание устойчивых к *C. ribis* сортов – важное направление многих селекционных программ по смородине (Bendokas et al., 2013; Sazonov et al., 2016; Mazeikiene et al., 2019).

Устойчивость к почковому клещу у смородины черной контролируется моногенно; идентифицировано два гена устойчивости – *Ce* (источник – крыжовник *R. uva-crispa* L.) (Knight et al., 1974) и *P* (источник – сибирский подвид смородины черной *R. nigrum* subsp. *sibiricum* E. Wolf.) (Anderson, 1971).

Для массового скрининга гибридного потомства и идентификации устойчивых генотипов с помощью методов маркер-опосредованной селекции разработаны диагностические ДНК-маркеры: ген *Ce* – маркеры GMresa (Brennan et al., 2009), Ce-AFLP (Mazeikiene et al., 2017), E40M43_236, E41M88_280 (Mazeikiene et al., 2019); ген *P* – маркеры E36M59_107, E40M43_289, E40M40_219, E45M40_222 (Mazeikiene et al., 2019). Маркер GMresa активно используется в молекулярно-генетических исследованиях смородины черной (Shavyrkina et al., 2015; Mezhnina, Urbanovich, 2017; Pikunova et al., 2019), остальные маркеры широкого применения до настоящего времени не нашли.

Федеральный научный центр имени И.В. Мичурина – один из крупнейших центров изучения смородины черной в России. Научная селекция начата в 1948 г. учеными института создано 29 сортов смородины, из которых в настоящее время в Государственный реестр сортов и гибридов сельскохозяйственных растений, допущенных к использованию, включено 18 (Talovina et al., 2023; State Register..., 2024). В селекционной работе широко применяются методы отдаленной гибридизации, конвергентные скрещивания, беккроссы, сиб-скрещивания и инбридинг. Вовлечение в селекционный процесс генетически полиморфных и географически отдаленных исходных форм, в том числе дикорастающих представителей рода *Ribes* L. (*R. nigrum* subsp. *sibiricum* E. Wolf., *R. nigrum* subsp. *scandinavicum* Jancz., *R. ussuriensis* Jancz., *R. glutinosum* Benth., *R. procumbens* Pall., *R. dikuscha* Fisch., *R. bracteosum* Dougl., *R. petiolare* Dougl.), позволило создать уникальный селекционный фонд с высоким уровнем генетической изменчивости и обогащенной наследственностью. Основными направлениями исследований являются адаптивность к почвенно-климатическим условиям среды, устойчивость к вредителям и болезням, высокие продуктивность и товарно-потребительские качества ягод. Исследования по направленному конструированию новых сортов базируются на основе кодирующих агроботанические признаки идентифицированных олигогенов и полигенов с использованием выявленных в результате многолетней фенотипической оценки и гибридологического анализа источников и доноров. Работа по молекулярному маркированию генофонда смородины черной в институте начата в 2022 г. и стала продолжением

многолетних исследований по ДНК-анализу плодовых и ягодных культур (Savel'ev et al., 2015; Lyzhin, 2019; Lyzhin, Luk'yanchuk, 2021, 2022).

Цель исследования – идентификация аллелей гена устойчивости к почковому клещу *Ce* у сортов и отборных сеянцев смородины черной селекции ФНЦ имени И.В. Мичурина.

Материалы и методы

Исследования проведены в 2022–2024 гг. Биологическими объектами являлись 22 сорта и 41 отборная форма смородины черной селекции ФНЦ имени И.В. Мичурина.

Идентификацию аллеля устойчивости смородины черной к почковому клещу *Ce* проводили с использованием маркеров GMresa (Brennan et al., 2009) и Ce-AFLP (Mazeikiene et al., 2017), разработанных на основе полиморфизма нуклеотидной последовательности AFLP фрагмента E41M88-280 (картирован на расстоянии 4,0 сМ от гена *Ce*) в потомстве от скрещивания восприимчивой к *C. ribis* селекционной формы SCRI S36/1/100 ('Ben Alder' × 'Ben Loyal') с устойчивой EMRS B1834 (EMRS B1426 × 'Ben Lomond'). У образцов смородины, несущих ген *Ce*, с помощью праймеров GMresa(F) (5'-TTACCGCA GATACAAGGTGAAG-3') и GMresa(R) (5'-GGACTAGGCCTTCT TATGAC-3') амплифицируется фрагмент длиной 130 пн (Brennan et al., 2009), а с помощью праймеров Ce-AFLP(F) (5'-TTGAGACCTCCAAGTCTGCT-3') и Ce-AFLP(R) (5'-CTTG GCTTCGTTGTTAGATGC-3') – фрагмент длиной 180 пн (Mazeikiene et al., 2017). В качестве положительного контроля наличия гена *Ce* использовали сорт смородины черной 'Кипиана', характеризующийся, согласно литературным данным (Shavyrkina et al., 2015; Pikunova et al., 2019), наличием диагностического маркера GMresa.

Использованные для анализа праймеры синтезированы НПК «Синтол» (Россия), компоненты реакционной смеси для ПЦР – фирмой Thermo Fisher Scientific (США). Амплификацию проводили в термоциклере T100 (Bio-Rad, США) по программам, описанным в оригинальных публикациях (Brennan et al., 2009; Mazeikiene et al., 2017).

Визуализацию и анализ ПЦР-фрагментов осуществляли методом электрофореза в 2-процентном агарозном геле. В качестве интеркалирующих красителей использовали Ethidium Bromide и dsGreen (Lumiprobe, Россия). Для определения размера ампликонов использовали Gene Ruler 100 bp DNA Ladder (Thermo Fisher Scientific, США).

Фенотипическую оценку устойчивости проводили по шкале от 0 до 5 баллов, где 0 – признаков повреждения нет, 5 – очень сильное повреждение (более 50% почек).

Результаты обрабатывали методами математической статистики с использованием программы Microsoft Excel.

Результаты и обсуждение

В результате проведенных исследований установлено, что маркеры GMresa и Ce-AFLP у изучаемых сортов смородины черной ('Аксинья', 'Амирани', 'Багира', 'Воспоминание', 'Деметра', 'Диво Звягиной', 'Зеленая Дымка', 'Изумрудное Ожерелье', 'Кармелита', 'Маленький Принц', 'Память Мичурина', 'Пандора', 'Сенсей', 'Созвездие', 'Талисман', 'Тамерлан', 'Татьянин День', 'Чаровница', 'Чернавка', 'Черный Жемчуг', 'Шалуныя', 'Элевеста') отсутствуют, что свидетельствует о гомозиготном состоянии рецессивно-го аллеля *ce*.

Восприимчивость большинства проанализированных сортов черной смородины к *C. ribis* подтверждается литературными данными. В полевых условиях устойчивостью к почковому клещу характеризовались сорта 'Амирани' и 'Шалунья' (Zhidyokhina et al., 2013), которые не имеют доминантного аллеля резистентности *Se*. Устойчивость к *C. ribis* по результатам полевой оценки (2019–2023 гг.) характеризуются сорта 'Аксинья', 'Деметра', 'Пандора', 'Сенсей' и 'Шалунья' (табл. 1), у которых диагностические маркеры аллеля *Se* отсутствуют. Полученные результаты свидетельствуют о наличии у данных сортов других генов устойчивости к почковому клещу (предположительно – ген *P*).

Среди проанализированных отборных форм смородины черной (41 образец), полученных в том числе и с использованием доноров доминантного аллеля *Se* – сортов 'Кипиана' и 'Грация' (Pikupova et al., 2012, 2019), количество генотипов с идентифицированными маркерами гена *Se* составило 51,2%. При этом результаты, полученные для маркеров GMresa и Se-AFLP, совпадают. Примеры электрофоретических спектров ПЦР-фрагментов изучаемых маркеров у отборных форм смородины представлены на рисунке 1, результаты идентификации суммированы в таблице 2.

Необходимо отметить, что у всех изучаемых генотипов для маркера GMresa характерен синтез дополнитель-

Таблица 1. Повреждение почковым клещом изучаемых генотипов смородины черной селекции ФНЦ имени И.В. Мичурина (2019–2023 гг.)

Table 1. Damage by gall mite to the studied black currant genotypes developed at the I.V. Michurin Federal Scientific Center (2019–2023)

Сорта, отборные формы / Cultivars, selected forms	Средняя степень повреждения почковым клещом, балл / Average damage by gall mite, points					
	2019 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.	2023 г.	X ± m
'Кипиана' (контроль)	0	0	0	0	0	0,0 ± 0,0
'Аксинья'	0	0	0	0	0	0,0 ± 0,0
'Амирани'	1	1,3	1	0	1	0,9 ± 0,2
'Багира'	0	0	1	0	0	0,2 ± 0,2
'Воспоминание'	1	0,2	0	0	0	0,2 ± 0,1
'Деметра'	0	0	0	0	0	0,0 ± 0,0
'Диво Звягиной'	1	1,9	2	0	0	1,0 ± 0,4
'Зеленая Дымка'	1	1,4	1,3	0,5	0	0,8 ± 0,3
'Изумрудное Ожерелье'	0,6	1	0,2	0	0	0,4 ± 0,2
'Кармелита'	0	0	0	1	0	0,2 ± 0,2
'Маленький Принц'	1,6	3,4	3	2,5	2,5	2,6 ± 0,3
'Память Мичурина'	0	1	0	0	0	0,2 ± 0,2
'Пандора'	0	0	0	0	0	0,0 ± 0,0
'Сенсей'	0	0	0	0	0	0,0 ± 0,0
'Созвездие'	0	1	2	0	0	0,6 ± 0,4
'Талисман'	0	1	2	0	0	0,6 ± 0,4
'Тамерлан'	1	1,2	1,6	1	1	1,2 ± 0,1
'Татьянин День'	0,3	1	1	0	0	0,5 ± 0,2
'Чаровница'	1	2,4	2,8	2,6	2,2	2,2 ± 0,3
'Чернавка'	0	1	0,8	0	0	0,4 ± 0,2
'Черный Жемчуг'	1	2	1	1	1	1,2 ± 0,2
'Шалунья'	0	0	0	0	0	0,0 ± 0,0
21-10-50	0	1	1	0	0	0,4 ± 0,2
27-3-25	0	1	0	0	0	0,2 ± 0,2
27-3-42	0	0	0	1	1	0,4 ± 0,2
29-4-116	0	3	4	3	4	2,8 ± 0,7
29-5-10	0	0	1	0	0	0,2 ± 0,2

Таблица 1. Окончание
Table 1. The end

Сорта, отборные формы / Cultivars, selected forms	Средняя степень повреждения почковым клещом, балл / Average damage by gall mite, points					
	2019 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.	2023 г.	X ± m
29-5-89	0	0	1	0	0	0,2 ± 0,2
29-6-40	1	0	1	1	0	0,6 ± 0,2
31-1-18	1	0	2	3	2	1,6 ± 0,5
31-1-34	0	0	0	0	0	0,0 ± 0,0
31-1-35	0	0	0	0	0	0,0 ± 0,0
31-1-72	0	0	0	0	0	0,0 ± 0,0
31-1-73	0	0	0	0	1	0,2 ± 0,2
31-1-78	0	0	0	0	0	0,0 ± 0,0
31-2-33	0	0	0	0	0	0,0 ± 0,0
31-2-34	1	0	0	1	1	0,6 ± 0,2
31-2-35	0	0	0	0	0	0,0 ± 0,0
31-3-30	0	0	0	0	0	0,0 ± 0,0
34-2-36	-	-	-	0	0	0,0 ± 0,0
34-3-20	-	-	-	0	0	0,0 ± 0,0
35-4-135	-	-	-	0	0	0,0 ± 0,0
35-4-148	-	-	-	0	0	0,0 ± 0,0
35-5-4	-	-	-	0	0	0,0 ± 0,0
35-5-36	-	-	-	0	0	0,0 ± 0,0
35-5-147	-	-	-	0	0	0,0 ± 0,0
35-6-138	-	-	-	0	0	0,0 ± 0,0
38-10-1	0	0	0	0	0	0,0 ± 0,0
38-10-5	0	0	0	0	0	0,0 ± 0,0
38-10-7	0	0	0	0	0	0,0 ± 0,0
38-10-9	0	0	0	0	0	0,0 ± 0,0
38-10-13	0	0	0	0	0	0,0 ± 0,0
38-10-16	0	0	0	0	0	0,0 ± 0,0
38-10-17	0	0	0	0	0	0,0 ± 0,0
38-12-125	0	0	0	0	0	0,0 ± 0,0
38-10-21	0	0	0	0	0	0,0 ± 0,0
40-5-98	-	0	0	0	0	0,0 ± 0,0
40-6-110	-	0	1	0	0	0,2 ± 0,2
40-6-111	-	0	0	0	0	0,0 ± 0,0
40-6-112	-	0	0	0	0	0,0 ± 0,0
40-6-113	-	0	0	0	0	0,0 ± 0,0
1448-6-49	0	0	0	0	0	0,0 ± 0,0
1511-4-68	0	0	0	0	0	0,0 ± 0,0

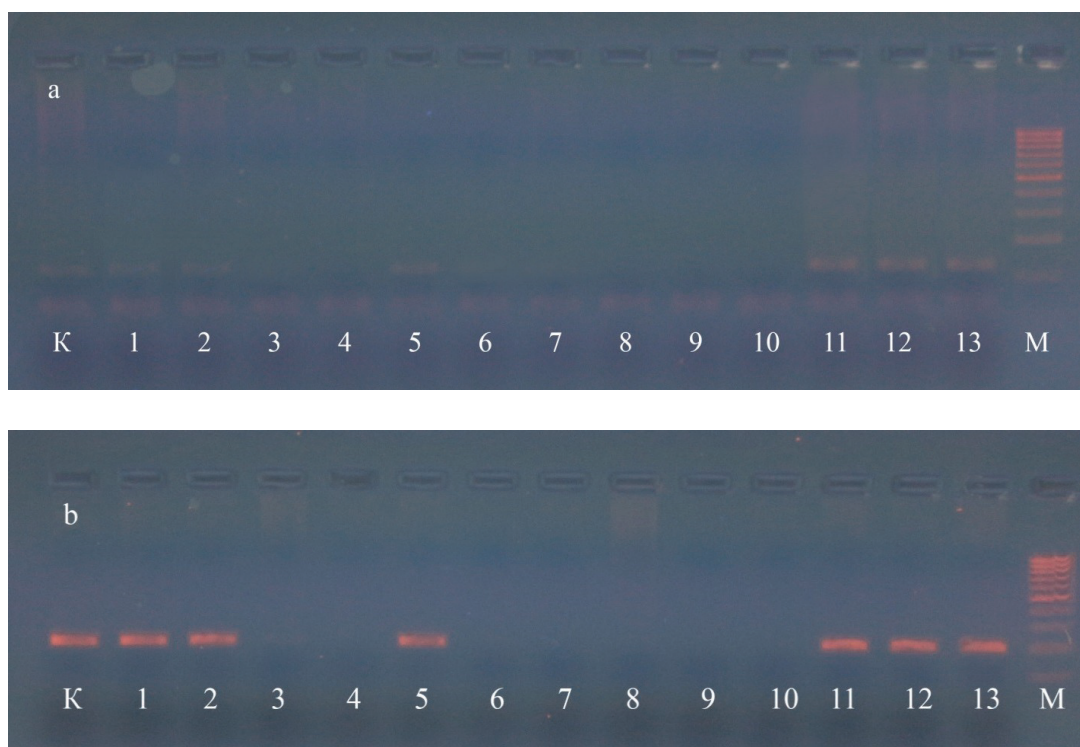


Рис. 1. Электрофоретический профиль маркеров GMresa (a) и Ce-AFLP (b) у отборных форм смородины черной селекции ФНЦ имени И.В. Мичурина: К – ‘Кипиана’ (контроль); 1 – 1448-6-49; 2 – 38-10-17; 3 – 27-3-42; 4 – 31-1-78; 5 – 31-1-72; 6 – 29-4-116; 7 – 27-3-25; 8 – 31-1-35; 9 – 31-1-73; 10 – 31-3-30, 11 – 34-2-36; 12 – 35-4-135; 13 – 38-10-1; М – маркер молекулярного веса ДНК

Fig. 1. Electrophoretic profile of the GMresa (a) and Ce-AFLP (b) DNA markers in the selected black currant forms developed at the I.V. Michurin Federal Scientific Center: K – ‘Kipiana’ (control); 1 – 1448-6-49; 2 – 38-10-17; 3 – 27-3-42; 4 – 31-1-78; 5 – 31-1-72; 6 – 29-4-116; 7 – 27-3-25; 8 – 31-1-35; 9 – 31-1-73; 10 – 31-3-30; 11 – 34-2-36; 12 – 35-4-135; 13 – 38-10-1; M – DNA molecular weight marker

Таблица 2. Аллельное состояние гена устойчивости к почковому клещу *Ce* у отборных форм смородины черной селекции ФНЦ имени И.В. Мичурина

Table 2. Allelic state of the gall mite resistance gene (*Ce*) in the selected black currant forms developed at the I.V. Michurin Federal Scientific Center

Отборные формы / Selected forms	Комбинация скрещивания / Cross combination	Маркер GMresa, 130 пн / GMresa marker, 130 bp	Маркер Ce-AFLP 180 пн / Ce-AFLP marker, 180 bp	Генотип / Genotype
‘Кипиана’ (контроль)	‘Экзотика’ × 762-5-82	1	1	<i>Cece</i>
21-10-50	13-5-146 × св. оп.	0	0	<i>cece</i>
27-3-25	‘Маленький принц’ × ‘Грация’	0	0	<i>cece</i>
27-3-42		0	0	<i>cece</i>
29-4-116	‘Кипиана’ × ‘Сенсей’	0	0	<i>cece</i>
29-5-10	1448-6-49 × ‘Сенсей’	0	0	<i>cece</i>
29-5-89	‘Тамерлан’ × 1511-4-68	0	0	<i>cece</i>
29-6-40	‘Тамерлан’ × ‘Грация’	0	0	<i>cece</i>
31-1-18	‘Диво Звягиной’ × 1448-6-49	0	0	<i>cece</i>
31-1-34	1448-6-49 × ‘Тамерлан’	0	0	<i>cece</i>
31-1-35	‘Грация’ × самоопыление	0	0	<i>cece</i>

Таблица 2. Окончание
Table 2. The end

Отборные формы / Selected forms	Комбинация скрещивания / Cross combination	Маркер GMresa, 130 пп / GMresa marker, 130 bp	Маркер Ce-AFLP 180 пп / Ce-AFLP marker, 180 bp	Генотип / Genotype
31-1-72	1511-4-68 × 'Лючия'	1	1	<i>CeCe</i> или <i>Cece</i>
31-1-73		0	0	<i>cece</i>
31-1-78	'Кипиана' × 'Диво Звягиной'	0	0	<i>cece</i>
31-2-33	'Кипиана' × св. оп.	1	1	<i>CeCe</i> или <i>Cece</i>
31-2-34		1	1	<i>CeCe</i> или <i>Cece</i>
31-2-35		1	1	<i>CeCe</i> или <i>Cece</i>
31-3-30	'Грация' × самоопыление	0	0	<i>cece</i>
34-2-36	'Грация' × св. оп.	1	1	<i>CeCe</i> или <i>Cece</i>
34-3-20	'Шалунья' × 'Грация'	1	1	<i>Cece</i>
35-4-135	'Грация' × 'Сенсей'	1	1	<i>Cece</i>
35-4-148	'Грация' × 'Чернавка'	1	1	<i>Cece</i>
35-5-4	'Кипиана' × 'Диво Звягиной'	1	1	<i>Cece</i>
35-5-36	'Кипиана' × 'Чернавка'	1	1	<i>Cece</i>
35-5-147	'1448-6-49' × 'Диво Звягиной'	1	1	<i>Cece</i>
35-6-138	'1448-6-49' × самоопыление	1	1	<i>CeCe</i> или <i>Cece</i>
38-10-1	'Грация' × 'Дар Смольяниновой'	1	1	<i>CeCe</i> или <i>Cece</i>
38-10-5		1	1	<i>CeCe</i> или <i>Cece</i>
38-10-7		1	1	<i>CeCe</i> или <i>Cece</i>
38-10-9		1	1	<i>CeCe</i> или <i>Cece</i>
38-10-13		1	1	<i>CeCe</i> или <i>Cece</i>
38-10-16		1	1	<i>CeCe</i> или <i>Cece</i>
38-10-17		1	1	<i>CeCe</i> или <i>Cece</i>
38-12-125	'Грация' × св. оп.	0	0	<i>cece</i>
38-10-21	'Грация' × 'Саратовская десертная'	0	0	<i>cece</i>
40-5-98	'Чародей' × 'Грация'	0	0	<i>cece</i>
40-6-110	21-10-50 × самоопыление	0	0	<i>cece</i>
40-6-111		0	0	<i>cece</i>
40-6-112		0	0	<i>cece</i>
40-6-113	23-2-79 × самоопыление	0	0	<i>cece</i>
1448-6-49	762-5-82 × 'Экзотика'	1	1	<i>Cece</i>
1511-4-68	977-31-54 × 747-1270	1	1	<i>Cece</i>

ного ампликона (размер менее 100 пн), наличие которого может использоваться в качестве контроля эффективности ПЦР и исключения ложноотрицательных результатов. Тем самым отпадает необходимость проведения предварительной ПЦР с микросателлитными праймерами для оценки чистоты и качества экстрагированной ДНК или мультиплексирования праймеров GMresa с SSR-праймерами. Вместе с тем в условиях эксперимента ампликоны маркера GMresa были трудно идентифицируемы (см. рис. 1, а), оптимизация условий ПЦР результатов не дала, поэтому для повышения надежности идентификации целевых ампликонов на электрофореграмме, для окрашивания гелей был использован не этидий бромид, а краситель dsGreen (Lumiprobe, Россия), характеризующийся повышенной чувствительностью в отношении двухцепочечной ДНК (0,08 нг на полосу против 2 нг на полосу у бромистого этидия). Пример полученных электрофореграмм представлен на рисунке 2.

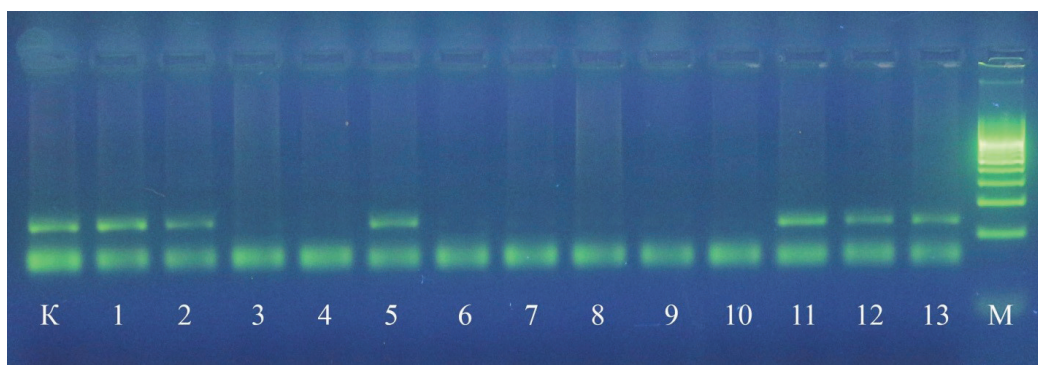


Рис. 2. Электрофоретический профиль маркера GMresa у отборных форм

смородины черной селекции ФНЦ имени И.В. Мичурина (окрашивание геля красителем dsGreen):

К – ‘Кипиана’ (контроль); **1** – 1448-6-49; **2** – 38-10-17; **3** – 27-3-42; **4** – 31-1-78; **5** – 31-1-72; **6** – 29-4-116; **7** – 27-3-25; **8** – 31-1-35; **9** – 31-1-73; **10** – 31-3-30; **11** – 34-2-36; **12** – 35-4-135; **13** – 38-10-1; **М** – маркер молекулярного веса ДНК

Fig. 2. Electrophoretic profile of the GMresa DNA marker in the selected black currant forms developed at the I.V. Michurin Federal Scientific Center (gel staining with the dsGreen dye): **K** – ‘Kipiana’ (control); **1** – 1448-6-49; **2** – 38-10-17; **3** – 27-3-42; **4** – 31-1-78; **5** – 31-1-72; **6** – 29-4-116; **7** – 27-3-25; **8** – 31-1-35; **9** – 31-1-73; **10** – 31-3-30; **11** – 34-2-36; **12** – 35-4-135; **13** – 38-10-1; **M** – DNA molecular weight marker

Среди отборных форм смородины черной с идентифицированным геном *Ce* (21 сеянец) 11 форм получены с участием сорта ‘Грация’, 5 – с участием сорта ‘Кипиана’, 5 – с участием селекционных отборов. Все указанные исходные формы имеют в родословной сорта крыжовника, являющегося донором этого гена (Knight et al., 1974), что подтверждает наличие у них гена *Ce*.

Так как используемые маркеры являются доминантными, то на основании данных молекулярно-генетического анализа определить аллельное состояние гена *Ce* (гомозиготное по аллелю *Ce* или гетерозиготное) у форм с выявленными маркерами нельзя. Однако среди отборных форм, полученных с участием сортов ‘Грация’, ‘Кипиана’ и селекционных отборов 1448-6-49 и 1511-4-68, выявлены сеянцы с аллелем резистентности *Ce* (31-1-72, 31-2-33, 31-2-34, 31-2-35, 34-2-36, 34-3-20, 35-4-135, 35-4-148, 35-5-4, 35-5-36, 35-5-147, 35-6-138, 38-10-1, 38-10-5, 38-10-7, 38-10-9, 38-10-13, 38-10-16, 38-10-17) и формы с рецессивным аллелем *ce* в гомозиготном состоянии (27-3-25, 29-4-116, 29-5-10, 29-5-89, 29-6-40, 31-1-18, 31-1-34, 31-1-35, 31-1-73, 31-1-78, 31-3-30, 38-10-21, 38-12-125, 40-5-98). Полученные результаты свидетельствуют о гетерозиготном сочетании аллелей гена *Ce* у исходных форм – сортов ‘Грация’, ‘Кипиана’ и селекционных отборов 1448-6-49 и 1511-4-68.

Отборные формы 34-3-20 (‘Шалуныя’ × ‘Грация’), 35-4-135 (‘Грация’ × ‘Сенсей’), 35-4-148 (‘Грация’ × ‘Чернавка’), 35-5-4 (‘Кипиана’ × ‘Диво Звягиной’), 35-5-36 (‘Кипиана’ × ‘Чернавка’), 35-5-147 (1448-6-49 × ‘Диво Звягиной’) выделены в комбинациях скрещивания, где источником аллеля *Ce* является один из родителей, вторая родительская форма имеет рецессивный гомозиготный генотип и, следовательно, гибриды характеризуются гетерозиготным сочетанием аллелей гена *Ce* (*Cece*).

Для отборных форм 31-1-72 (1511-4-68 × ‘Лючия’), 31-2-33, 31-2-34, 31-2-35 (‘Кипиана’ × св. оп.), 34-2-36 (‘Грация’ × св. оп.), 35-6-138 (1448-6-49 × самоопыление), 38-10-1, 38-10-5, 38-10-7, 38-10-9, 38-10-13, 38-10-16, 38-10-17 (‘Грация’ × ‘Дар Смольяниновой’) известно аллельное состояние гена *Ce* только одного из родителей (гетерозиготное), поэтому ген *Ce* у них может быть как в гомозиготном (*CeCe*), так и гетерозиготном (*Cece*) состоянии.

Необходимо отметить, что по результатам полевой оценки устойчивости генотипов смородины к почковому клещу формы с идентифицированным геном *Ce* характеризовались различной степенью повреждения. Отборные формы 31-1-35 (‘Грация’ × самоопыление), 34-2-36 (‘Грация’ × св. оп.), 34-3-20 (‘Шалуныя’ × ‘Грация’), 35-4-135 (‘Грация’ × ‘Сенсей’), 35-4-148 (‘Грация’ × ‘Чернавка’), 35-5-4 (‘Кипиана’ × ‘Диво Звягиной’), 35-5-36 (‘Кипиана’ × ‘Чернавка’), 35-5-147 (1448-6-49 × ‘Диво Звягиной’), 35-6-138 (1448-6-49 × самоопыление), 38-10-1, 38-10-5, 38-10-7, 38-10-9, 38-10-13, 38-10-16, 38-10-17 (‘Грация’ × ‘Дар Смольяниновой’) за годы исследований (2019–2023) не имели повреждений *C. ribis*. Некоторые растения отборных форм 1448-6-49 (762-5-82 × ‘Экзотика’), 31-1-72 (1511-4-68 × ‘Лючия’), 31-2-33 (‘Кипиана’ × св. оп.) в отдельные годы повреждались до 1,0 балла (очень слабое повреждение единичных почек) при средней степени повреждения 0,0 балла. У отборных форм 1511-4-68 (977-31-54 × 747-1270) и 31-2-34 (‘Кипиана’ × св. оп.) в отдельные годы отмечено повреждение единичных растений до 2,0 и 3,0 балла соответственно при среднем балле повреждения 0,0 и 0,6. Сорта смородины с геном *Ce* повреждаться почковым клещом не должны (в отличие от гена *P*, при наличии которого клещ погибает после проникновения в почки) (Mezhnina, Ur-

banovich, 2017; Yukhacheva et al., 2021). Поэтому повреждение некоторых форм с идентифицированными маркерными фрагментами гена *Ce*, предположительно, может быть обусловлено отсутствием аллеля устойчивости вследствие рекомбинации между маркером и геном (маркеры локализованы на расстоянии 4,0 см от гена), а также дифференциальным взаимодействием *C. ribis* и растения-хозяина. Большая вредоносность мичуринской популяции *C. ribis* косвенно подтверждается тем фактом, что у сорта 'Кипиана', неповреждаемого в условиях Орловской (Pikunova et al., 2012), Брянской (Sazonov, 2016), Мурманской (Yartseva, 2019) областей, в условиях Мичуринска в отдельные годы некоторые растения повреждаются до 1,0 балла.

Заключение

Таким образом, по результатам молекулярно-генетического анализа установлено, что изучаемые сорта смородины черной селекции ФНЦ имени И.В. Мичурина характеризуются гомозиготным состоянием аллеля *ce* (диагностические маркеры аллеля резистентности отсутствуют). Среди проанализированных отборных форм маркерные фрагменты гена *Ce* выявлены у 51,2% генотипов. Перспективными источниками устойчивости к *C. ribis* (ген *Ce*) являются:

– отборные формы 1448-6-49 (762-5-82 × 'Экзотика'), 1511-4-68 (977-31-54 × 747-1270), 34-3-20 ('Шалунья' × 'Грация'), 35-4-135 ('Грация' × 'Сенсей'), 35-4-148 ('Грация' × 'Чернавка'), 35-5-4 ('Кипиана' × 'Диво Звягиной'), 35-5-36 ('Кипиана' × 'Чернавка'), 35-5-147 (1448-6-49 × 'Диво Звягиной') – гетерозиготный генотип;

– отборные формы 31-1-72 (1511-4-68 × 'Лючия'), 31-2-33, 31-2-35 ('Кипиана' × св. оп.), 34-2-36 ('Грация' × св. оп.), 35-6-138 (1448-6-49 × самоопыление), 38-10-1, 38-10-5, 38-10-7, 38-10-9, 38-10-13, 38-10-16, 38-10-17 ('Грация' × 'Дар Смольяниновой') – гетерозиготный или доминантный гомозиготный генотип.

References / Литература

Anderson M.M. Resistance to gall mite (*Phytoptus ribes* Nal.) in the *Eucorcosma* section of *Ribes*. *Euphytica*. 1971;20:422-426. DOI: 10.1007/BF00035668

Bendokas V., Mazeikiene I., Baniulis D., Stanys V., Siksnianas T. Application of *P* gene donors in breeding of black currant resistant to gall mite. *Acta Horticulturae*. 2013;976:523-527. DOI: 10.17660/ActaHortic.2013.976.74

Brennan R., Jorgensen L., Gordon S., Loades K., Hackett C., Russell J. The development of a PCR-based marker linked to resistance to the blackcurrant gall mite (*Cecidophyopsis ribis* Acari: Eriophyidae). *Theoretical and Applied Genetics*. 2009;118(2):205-211. DOI: 10.1007/s00122-008-0889-x

Juškytė A.D., Mažeikienė I., Stanys V. An effective method of *Ribes* spp. inoculation with blackcurrant reversion virus under *in vitro* conditions. *Plants*. 2022;11(13):1635. DOI: 10.3390/plants11131635

Kikas A., Laurson P., Libek A. Evaluation of Belorussian and Estonian blackcurrant *Ribes nigrum* L. cultivars in Estonia. *Fruit Growing*. 2019;31(1):134-138.

Knight R.L., Keep E., Briggs J.B., Parker J. Transference of resistance to black currant gall mite *Cecidophyopsis ribis*, from gooseberry to black currant. *Annals of Applied Biology*. 1974;76(1):123-130. DOI: 10.1111/j.1744-7348.1974.tb01362.x

Lyzhin A., Luk'yanchuk I. Marker-assisted screening of promising forms in the strawberry breeding. *E3S*

Web of Conferences. 2021;254:03002. DOI: 10.1051/e3sconf/202125403002

Lyzhin A.S. Creation of genetic passports of apple rootstock forms on the basis of microsatellite DNA polymorphism. *Achievements of Science and Technology of AIC*. 2019;33(2):11-13. [in Russian] (Льжин А.С. Создание генетических паспортов подвойных форм яблони на основе анализа полиморфизма микросателлитных последовательностей ДНК. *Достижения науки и техники АПК*. 2019;33(2):11-13). DOI: 10.24411/0235-2451-2019-10203

Lyzhin A.S., Luk'yanchuk I.V. Allelic diversity of the *FaOMT* gene (mesifurane biosynthesis) in promising strawberry cultivars and selected forms developed at the I.V. Michurin Federal Science Center. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2022;183(2):122-128. [in Russian] (Льжин А.С., Лукьянчук И.В. Аллельное разнообразие гена *FaOMT* (биосинтез мезифурана) у перспективных сортов и отборных форм земляники селекции Федерального научного центра имени И.В. Мичурина. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2022;183(2):122-128). DOI: 10.30901/2227-8834-2022-2-122-128

Mazeikiene I., Bendokas V., Baniulis D., Staniene G., Juskyte D.A., Sasnauskas A. et al. Genetic background of resistance to gall mite in *Ribes* species. *Agricultural and Food Science*. 2017;26(2):111-117. DOI: 10.23986/afsci.59410

Mazeikiene I., Juskyte A.D., Stanys V. Application of marker-assisted selection for resistance to gall mite and blackcurrant reversion virus in *Ribes* genus. *Zemdirbyste – Agriculture*. 2019;106(4):359-366. DOI: 10.13080/z-a.2019.106.046

Mezhnina O.A., Urbanovich O.Yu. Identification of black currant cultivars (*Ribes nigrum*) and the detection of genes associated with agronomic valuable traits using the molecular markers technology. *Molecular and Applied Genetics*. 2017;22:104-110. [in Russian] (Межнина О.А., Урбанович О.Ю. Идентификация сортов смородины черной (*Ribes nigrum*) и выявление генов хозяйственно-ценных признаков с помощью технологии молекулярных маркеров. *Молекулярная и прикладная генетика*. 2017;22:104-110).

Moročko-Bičevska I., Stalažs A., Lācis G., Laugale V., Baļķe I., Zuļģe N. et al. *Cecidophyopsis* mites and blackcurrant reversion virus on *Ribes* hosts: Current scientific progress and knowledge gaps. *Annals of Applied Biology*. 2022;180(1):26-43. DOI: 10.1111/aab.12720

Pikunova A.V., Knyazev S., Golyaeva O., Bahotskaya A., Kalina O. Genome studies by means of DNA markers of the blackcurrant. *Russian Journal of Genetics*. 2019;55(9):1061-1071. DOI: 10.1134/S1022795419090102

Pikunova A.V., Knyazev S.D., Pavlovskaya N.E., Andrianova A. Yu. Marker-assisted breeding of black currant (Marker-oposredovannaya selektsiya chyornoy smorodiny). *Pomiculture and Small Fruits Culture in Russia*. 2012;32(1):329-335. [in Russian] (Пикунова А.В., Князев С.Д., Павловская Н.Е., Андрианова А.Ю. Маркер-опосредованная селекция чёрной смородины. *Плодоводство и ягодоводство России*. 2012;32(1):329-335).

Savel'ev N.I., Shamshin I.N., Savel'eva N.N., Lyzhin A.S. Polymorphism of the *Md-Exp7* gene for the biosynthesis of expansin in wild species of the genus *Malus* Mill. *Russian Journal of Genetics: Applied Research*. 2015;5(3):216-219. DOI: 10.1134/S2079059715030156

Sazonov F.F. The use of genetic resources in breeding of black currant on the resistance to pathogens and big bud mites. *Pomiculture and Small Fruits Culture in Russia*. 2016;44:210-

214. [in Russian] (Сазонов Ф.Ф. Использование генетических ресурсов в селекции смородины чёрной на устойчивость к патогенам и почковому клещу. *Плодоводство и ягодоводство России*. 2016;44:210-214).
- Shavyrkina M.A., Knyazev S.D., Pikunova A.V. Molecular and genetic methods of selection of blackcurrant genotypes resistant to gall mite (*Cecidophyopsis ribis*). *Contemporary Horticulture*. 2015;4(16):31-35. [in Russian] (Шавыркина М.А., Князев С.Д., Пикунова А.В. Молекулярно-генетические методы отбора устойчивых к почковому клещу (*Cecidophyopsis ribis*) генотипов черной смородины. *Современное садоводство*. 2015;4(16):31-35).
- State Register of Varieties and Hybrids of Agricultural Plants Admitted for Usage (National List): official publication. Moscow; Rosinformagrotekh; 2024. [in Russian] (Государственный реестр сортов и гибридов сельскохозяйственных растений, допущенных к использованию: официальное издание. Москва: Росинформагротех; 2024).
- Talovina G.V., Zhidekhina T.V., Dunaeva S.E., Gur'eva I.V., Rodiukova O.S., Klimenko N.S., et al. Nomenclatural standards of black currant cultivars bred by the I.V. Michurin Federal Scientific Center. *Vavilovia*. 2023;6(2):3-32. [in Russian] (Таловина Г.В., Жидехина Т.В., Дунаева С.Е., Гурьева И.В., Родюкова О.С., Клименко Н.С. и др. Номенклатурные стандарты сортов смородины черной, созданных в «Федеральном научном центре им. И.В. Мичурина». *Vavilovia*. 2023;6(2):3-32). DOI: 10.30901/2658-3860-2023-2-02
- Yartseva M.A. Black currant in the Murmansk region. The results of the study of the collection of a sample of black currant varieties Kipiani in the Polar Branch of VIR OS. *Bulletin of Science and Education*. 2019;13-1(67):70-74. [in Russian] (Ярцева М.А. Смородина черная в условиях Мурманской области. Результаты изучения коллекционного образца черной смородины сорта Кипиана в филиале Полярной ОС ВИР. *Вестник науки и образования*. 2019;13-1(67):70-74). DOI: 10.24411/2312-8089-2019-11304
- Yukhacheva E.Ya., Akulenko E.G., Yagovenko G.L. Evaluation of adaptivity and productivity of selected black currants hybrids. *Horticulture and Viticulture*. 2021;(3):11-15. [in Russian] (Юхачева Е.Я., Акуленко Е.Г., Яговенко Г.Л. Оценка адаптивности и продуктивности отборных гибридных форм смородины черной. *Садоводство и виноградарство*. 2021;(3):11-15). DOI: 10.31676/0235-2591-2021-3-11-15
- Zhidyokhina T., Rodyukova O., Laugale V. Performance of blackcurrant cultivars bred at I.V. Michurin All-Russia Research Institute for Horticulture. *Proceedings of the Latvian Academy of Sciences. Section B. Natural, Exact, and Applied Sciences*. 2013;67(2):184-187. DOI: 10.2478/prolas-2013-0029

Информация об авторах

Александр Сергеевич Лыжин, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, Федеральный научный центр имени И.В. Мичурина, 393774 Россия, Тамбовская область, Мичуринск, ул. Мичурина, 30, Ranenburzhetc@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9770-8731>

Татьяна Владимировна Жидехина, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, заведующая отделом, заместитель директора по научной работе, Федеральный научный центр имени И.В. Мичурина, 393774 Россия, Тамбовская область, Мичуринск, ул. Мичурина, 30, berrys-m@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9543-7069>

Information about the authors

Alexander S. Lyzhin, Cand. Sci. (Agriculture), Leading Researcher, I.V. Michurin Federal Scientific Center, 30 Michurina St., Michurinsk, Tambov Province 393774, Russia, Ranenburzhetc@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9770-8731>

Tatiana V. Zhidekhina, Cand. Sci. (Agriculture), Leading Researcher, Head of a Department, Deputy Director for Science, I.V. Michurin Federal Scientific Center, 30 Michurina St., Michurinsk, Tambov Province 393774, Russia, berrys-m@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9543-7069>

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 27.09.2024; одобрена после рецензирования 03.12.2024; принята к публикации 19.02.2025. The article was submitted on 27.09.2024; approved after reviewing on 03.12.2024; accepted for publication on 19.02.2025.