

УДК 634.5:631.52

UDC 634.5:631.52

DOI 10.30679/2219-5335-2023-3-81-189-201

DOI 10.30679/2219-5335-2023-3-81-189-201

**ОЦЕНКА ВОСПРИИМЧИВОСТИ
И ОТБОР УСТОЙЧИВЫХ
 ГИБРИДНЫХ ФОРМ ОРЕХА ГРЕЦКОГО
 К ЗИМНЕ-ВЕСЕННИМ
 ПОДМЕРЗАНИЯМ В ПРИКУБАНСКОЙ
 ЗОНЕ САДОВОДСТВА**

**EVALUATION OF SUSCEPTIBILITY
AND SELECTION OF RESISTANT
HYBRID FORMS OF WALNUTS
TO WINTER-SPRING FREEZING
IN THE PRIKUBANSKY
HORTICULTURAL ZONE**

Артюхова Лариса Викторовна
младший научный сотрудник
лаборатории сортоизучения
и селекции садовых культур
e-mail: larisa.artyuhowa@yandex.ru

Artykhova Larisa Viktorovna
Junior Research Associate
of Variety studying and Garden Crops
Breeding Laboratory
e-mail: larisa.artyuhowa@yandex.ru

*Федеральное государственное
бюджетное научное учреждение
«Северо-Кавказский федеральный
научный центр садоводства,
виноградарства, виноделия»,
Краснодар, Россия*

*Federal State Budget
Scientific Institution
«North Caucasian Federal
Scientific Center of Horticulture,
Viticulture, Wine-making»,
Krasnodar, Russia*

В условиях Северо-Кавказского региона юга России в последние годы отмечена тенденция усиления отрицательного воздействия низкотемпературных стрессоров зимнего и весеннего периодов на растения ореха грецкого (*Juglans regia* L.). Наиболее опасно понижение температуры до отрицательных значений во время прохождения вегетации в весенний период, так как из-за возвратных весенних заморозков деревья ореха грецкого очень уязвимы, даже незначительное понижение температуры воздуха может нанести растениям значимый ущерб. Всего одно морозное событие может привести к потере урожая. С повышением температурного режима в весенний период у ореха грецкого начинается развитие почек и рост однолетних побегов, в результате чего их уязвимость к подмерзанию постоянно возрастает. Цель исследования – выделить наиболее ценные генотипы для создания сортов ореха грецкого с повышенной устойчивостью к холодовому стрессу, перспективных для возделывания в условиях юга России. Используются современные программы и методики селекции и сортоизучения. Приведены результаты многолетнего изучения (2019-2022 гг.) коллекционных образцов ореха грецкого,

In recent years, a tendency to increase the negative impact of low-temperature stressors in the winter and spring periods on walnut (*Juglans regia* L.) plants has been noted in the conditions of the North Caucasian region of southern Russia. The most dangerous is lowering the temperature to negative values during the growing season in the spring, since walnut trees are very vulnerable due to recurrent spring frosts, even a slight decrease in air temperature can cause significant damage to plants. Just one frost event can lead to crop loss. With an increase in the temperature regime in the spring, the development of buds and the growth of annual shoots begin in the walnut, as a result of which their vulnerability to freezing is constantly increasing. The purpose of the study is to identify the most valuable genotypes for creating walnut varieties with increased resistance to cold stress, promising for cultivation in the south of Russia. Modern programs and methods of breeding and varietal study were used. The results of a long-term study (2019-2022) of walnut collection samples growing in the conditions of the North

произрастающих в условиях Северо-Кавказского региона. В ходе исследования установлено, что все гибридные формы азиатского происхождения. Больше всего повреждений от низких температур отмечено у гибридных сеянцев из семьи Я-Б-84. Данный факт связан с тем, что сеянцы, полученные от семьи Я-Б-84, являются гибридами второго поколения от среднеазиатского сорта Бостанлыкский, тогда как прочие гибридные семьи имеют среднеазиатские формы в третьем и четвертом поколениях. Таким образом, низкая адаптивность в условиях Северного Кавказа у сеянцев из семьи Я-Б-84 объясняется значительным присутствием интродуцированной генплазмы в происхождении. Выделены устойчивые к низкотемпературным стрессорам зимне-весеннего периода гибридные формы ореха грецкого: 17-3-34, 17-3-41, 17-3-44, 17-2-20, 17-2-26, 17-2-30, 17-2-35, 17-2-41, 17-3-24, 17-3-27, 17-3-29, 17-3-30, 17-3-48, 17-3-12, 17-3-16, 17-3-22 с максимальной степенью подмерзания в зимний период – 1 балл, в весенний период – 2 балла (при понижении температуры до – 2,7 °C во второй декаде апреля 2020 года).

Ключевые слова: ГРЕЦКИЙ ОРЕХ, ГИБРИДНЫЕ ФОРМЫ, СЕЛЕКЦИЯ, МОРОЗОСТОЙКОСТЬ

Caucasus region are presented. The study found that all hybrid forms are of Asian origin. Most damage from low temperatures was noted in hybrid seedlings from the family Ya-B-84. This fact is due to the seedlings obtained from the family Ya-B-84 and are second-generation hybrids from the Central Asian variety Bostanlyksky, while other hybrid families have Central Asian forms in the third and fourth generation. Thus, the low adaptability in the conditions of the North Caucasus in seedlings from the family – Ya-B-84 is explained by the significant presence of the introduced germplasm in the origin. Hybrid walnut forms resistant to low-temperature stressors of the winter-spring period have been identified: 17-3-34, 17-3-41, 17-3-44, 17-2-20, 17-2-26, 17-2-30, 17-2-35, 17-2-41, 17-3-24, 17-3-27, 17-3-29, 17-3-30, 17-3-48, 17-3-12, 17-3-16, 17-3-22, with a maximum degree of freezing in winter – 1 point, in spring – 2 points (when the temperature drops to -2.7 °C in the second decade of April 2020).

Key words: WALNUT, HYBRID FORMS, BREEDING, FROST RESISTANCE

Введение. На Северном Кавказе преобладает преимущественно неустойчивый и нередко достаточно жесткий климат для возделывания ореха грецкого. Наиболее благоприятные условия для выращивания этой популярной и важнейшей орехоплодной культуры лишь в ряде районов на юге России [1]. Грецкий орех (*Juglans regia* L.) отличается коротким периодом зимнего покоя, наибольшее значение для него имеют погодные условия зимне-весеннего периода [2, 3]. Многолетние наблюдения показали, что непродолжительные морозы в период органического покоя (январь-февраль) не вызывают серьезных повреждений местных форм, и они нормально плодоносят. Важным для грецкого ореха является период начала вегетации и цветения (апрель-май), в это время ореховые насаждения

очень чувствительны к низким температурным изменениям [4-6]. Реакция растений на зимне-весенние условия определяется по фазе начала роста мужских сережек и смешанных почек. Наступление этой фенофазы свидетельствует об окончании зимнего вынужденного покоя. При дальнейшем воздействии положительных температур воздуха растения вступают в фазу активного роста и развития генеративных почек. С наступлением этого состояния (раздвижение чешуй) генеративные почки теряют прежнюю устойчивость к морозам, что может привести не только к сильному их подмерзанию, но и полному вымерзанию плодовой древесины [7-10]. Следовательно, районы, где часто случаются заморозки после распускания плодовых почек, приводящие к их вымерзанию, считают непригодными для промышленного выращивания плодовых культур, в том числе и ореха грецкого [11-14]. По этой причине подмерзание часто является важным критерием отбора в селекционных программах и в ряде исследовательских программ основной акцент делается на выведение сортов, устойчивых к низким температурам [15-17]. Низкие температуры для ореха грецкого являются основным ограничивающим фактором, который может объяснить распространение видов в холодном климате [18]. Актуальность этой проблемы определяет постановку цели и задач селекции по данной культуре в условиях Северного Кавказа. Не стоит оставлять без внимания и тот факт, что если сорт недостаточно зимостойкий, он не сможет получить широкого распространения в условиях юга России [16].

Цель исследования – выделить ценные генотипы для создания сортов ореха грецкого с повышенной устойчивостью к холодовому стрессу, перспективных для возделывания в условиях юга России.

Объекты и методы исследований. Объектами исследования являются представители рода *Juglans regia*, гибридные формы ореха грецкого селекции ФГБНУ СКФНЦСВВ. В исследовании были гибридные формы из 5 семей: 17-3-9, 17-3-13, 17-3-16, 17-3-10, 17-3-12, 17-3-19,

17-3-22 (Я-Б-84 – свободное опыление); 17-2-20, 17-2-26, 17-2-30, 17-2-35, 17-2-41 (сеянец Идеала – свободное опыление); 17-3-34, 17-3-41, 17-3-44 (Я-Ю-50 – свободное опыление); 17-3-48, 17-3-24, 17-3-27, 17-3-29, 17-3-30 (Дачный – свободное опыление); 17-2-44 (Я-Ю-40 – свободное опыление); контроль – сорт Родина (отбор из местных популяций Краснодарского края). НИР проводили в центре коллективного пользования «Исследовательско селекционная коллекция генетических ресурсов садовых культур» (ЦКП ИСК ГРСК) и в опытном хозяйстве ЗАО ОПХ «Центральное» ФГБНУ СКФНЦСВВ, расположенном в городе Краснодар. Сад 2014 года посадки, схема размещения 5×4 м.

Работу проводили согласно общепринятым программам и методикам: «Современные методологические аспекты организации селекционного процесса в садоводстве и виноградарстве»; «Программа и методика сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур»; «Программа работ Северо-Кавказского селекционного центра по плодовым, ягодным, орехоплодным культурам и винограду на период до 2030 года» [19-21].

В лабораторных условиях использовали микроскоп: Микромед МС2 Zoom 2А для микрофото продольного среза (увеличение 10×10×10, без красителя).

В полевых условиях степень зимних и весенних повреждений определяли по общепринятой методике, используя шкалу от 0 до 5 баллов, где:

0 – подмерзания нет;

1 – очень слабое подмерзание: повреждение верхушечных почек и мужских сережек у незначительной части (около 10 %) в основном у невызревших плодовых побегов; у растений фундука подмерзание до 1/3 длины прошлогодних побегов. При такой степени подмерзания урожай с дерева практически не снижается;

2 – слабое подмерзание: повреждение больше половины длины однолетнего прироста, а также концов части (30-50 %) однолетних обраста-

ющих веток, без потемнения многолетней древесины. Гибель 25-30 % мужских сережек. Остальные части кроны дерева совершенно здоровые и развиваются нормально. Урожай с дерева несколько снижается (на 20-30 %);

3 – среднее подмерзание: повреждение части кроны, то есть однолетних приростов почти по всей их длине (в базальной части происходит пробуждение спящих почек), а также значительной части (до 50-60 %) обрастающих веток. Имеет место частичное потемнение коры, камбия и древесины у 2-3-летних ветвей и скелетных ветвей первого и второго порядков. Такая степень подмерзания угнетающе влияет на общий рост и развитие дерева, происходит массовое пробуждение спящих почек ниже поврежденных участков. Мужские сережки сохраняются лишь на вершине дерева. Урожай значительно снижается (на 50-60 %);

4 – сильное подмерзание: полная гибель однолетней и двухлетней древесины, кора на штамбах и скелетных ветвях повреждена на 3-4 балла, часть скелетных и полускелетных ветвей вымерзла. Пробуждение спящих почек происходит на отдельных участках скелетных ветвей и штамбе дерева. Гибель плодовых почек достигает 80-90 %. Урожай хозяйственного значения не имеет;

5 – очень сильное подмерзание: полная гибель всей кроны дерева или куста и сильное повреждение штамба, 100 %-ная гибель плодовых почек. Массовое пробуждение спящих почек происходит на нижней части штамба. Дерево подлежит выкорчевке.

Обсуждение результатов. На Северном Кавказе преобладает преимущественно неустойчивый и нередко достаточно жесткий климат для возделывания ореха грецкого. Погодные условия зимне-весеннего периода имеют наибольшее значение, так как у грецкого ореха короткий период зимнего покоя.

За годы исследования в период органического покоя (январь-февраль) минимальное понижение температуры было отмечено в январе

2021 года (до -17,5 °C), что не вызвало значительных повреждений у изучаемых форм (табл. 1).

Таблица 1 – Стрессовые факторы зимнего и весеннего периода в условиях Прикубанской зоны Краснодарского края, ОПХ «Центральное» 2019-2022 гг.

Стрессовые факторы зимне-весеннего периода	Лимитирующие факторы *	Низкие отрицательные температуры, °C	Месяц, год
Ранние морозы – в конце осени (III декада ноября) и в начале зимы (I-II декада декабря)	- 14 °C ... - 15 °C	- 5,8 °C - 5,8 °C - 2,6 °C - 3,1 °C - 4,4 °C - 1,7 °C - 4,3 °C - 1,2 °C	ноябрь (III – декада), 2019 декабрь (I – декада), 2019 декабрь (II – декада), 2019 ноябрь (I – декада), 2020 декабрь (I – декада), 2020 декабрь (II – декада), 2020 ноябрь (III – декада), 2021 декабрь (II – декада), 2021
Зимние морозы – в середине зимы (до «февральских окон»)	- 28 °C ... - 30 °C	- 5,8 °C - 4,9 °C - 13,7 °C - 3,7 °C - 16,5 °C - 17,5 °C - 5,4 °C - 12,6 °C - 3,4 °C - 9,3 °C - 9,2 °C - 3,6 °C	декабрь (III – декада), 2019 январь (I – декада), 2020 февраль (I – декада), 2020 январь (I – декада), 2021 январь (II – декада), 2021 январь (III – декада), 2021 февраль (I – декада), 2021 декабрь (III – декада), 2021 январь (I – декада), 2022 январь (II – декада), 2022 январь (III – декада), 2022 февраль (I – декада), 2022
Морозы во время оттепели («февральские окна», II декада февраля)	- 15 °C ... -16 °C	- 7,9 °C -14,1 °C - 3,6 °C	февраль (II – декада), 2020 февраль (III – декада), 2021 февраль (II – декада), 2022
Возвратные морозы – после оттепелей (конец февраля, март)	- 15 °C ... -16 °C	- 1,9 °C - 5,0 °C - 14,9 °C - 5,5 °C - 7,9 °C - 3,9 °C - 2,2 °C - 6,6 °C - 5,0 °C	февраль (III – декада), 2020 март (II – декада), 2020 февраль (III – декада), 2021 март (I – декада), 2021 март (II – декада), 2021 март (III – декада), 2021 март (I – декада), 2022 март (II – декада), 2022 март (III – декада), 2022
Весенние заморозки	- 1,2 °C	-1,2 °C -2,7 °C	апрель (I – декада), 2020 апрель (II – декада), 2020
Примечание: * – согласно Программе работ..., 2013 [21].			

Наиболее критическим для перезимовки ореховых насаждений является период вынужденного покоя – конец февраля-март, в этот период отмечено значительное понижение температуры воздуха (до -7,9 °С) в марте 2021 гг., которое также не вызвало повреждений. В период начала вегетации апрель – май растение вступает в фазу активного роста и развития генеративных почек. Генеративные почки растения теряют прежнюю устойчивость к морозам, что может привести не только к сильному их подмерзанию, но и полному вымерзанию плодовой древесины. Значительное понижение температуры в данный период отмечено в 2020 году (во второй декаде апреля), произошло резкое снижение температуры воздуха от +10,4 °С до -2,7 °С, что вызвало сильное подмерзание мужских соцветий, повреждение пестичных цветков и сосудистых тканей однолетней древесины.

Согласно методике оценки степени повреждения от весенних возвратных заморозков, гибридные формы ореха грецкого были разделены на две группы, выделены среднеустойчивые (2 балла) и слабо устойчивые (3 балла) генотипы.

К первой группе – среднеустойчивых гибридных форм ореха грецкого к весенним возвратным заморозкам, подмерзание которых 2,0 балла, отнесены сеянцы: 17-2-20, 17-2-26, 17-2-30, 17-2-35, 17-2-41 (сеянец Идеала – свободное опыление); 17-2-44 (Я-Ю-40 – свободное опыление); 17-3-48, 17-3-24, 17-3-27, 17-3-29, 17-3-30 (Дачный – свободное опыление); 17-3-34, 17-3-41, 17-3-44 (Я-Ю-50 – свободное опыление) 17-3-12, 17-3-13, 17-3-16, 17-3-22 (Я-Б-84 – свободное опыление) (рис. 1).

Во вторую группу – слабоустойчивых гибридов ореха грецкого к весенним возвратным заморозкам, имеющих подмерзания 3,0 балла, нами отобраны формы: 17-3-9, 17-3-10, 17-3-19 (из семьи Я-Б-84 – свободное опыление). У всех исследуемых гибридных форм ореха грецкого была повреждена однолетняя древесина в разной степени, что привело к пробуждению спящих почек на отдельных участках скелетных ветвей. Также отмечена гибель мужских сережек и снижение урожая (рис. 2).

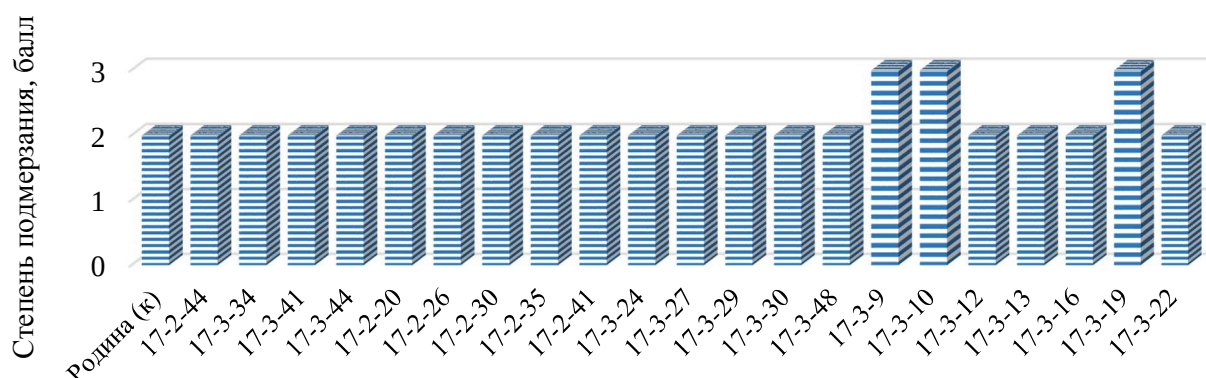


Рис. 1. Степень весенних повреждений у гибридных форм ореха грецкого, апрель 2020 г.

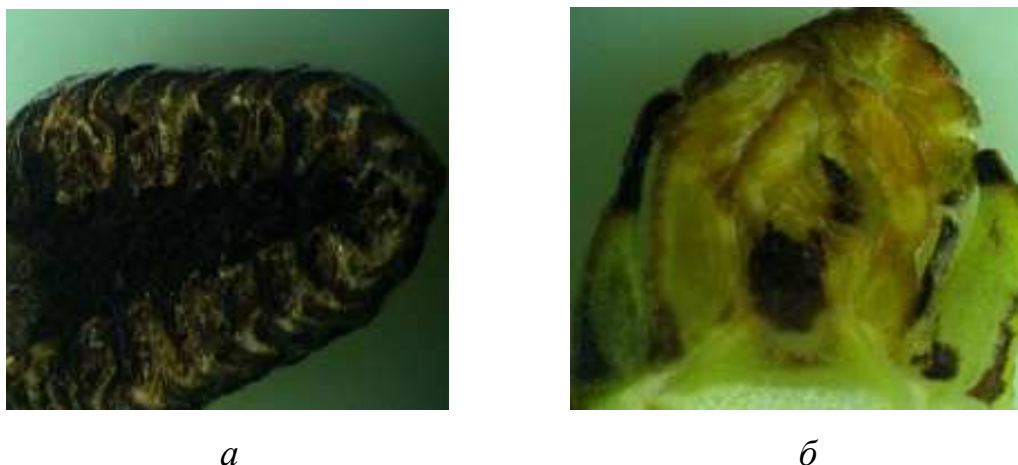


Рис. 2. Микрофото продольного среза (увеличение 10×10×10, без красителя):
а – мужская почка (17-3-19); *б* – женская почка ореха (17-3-9),
 апрель 2020 г., микроскоп (Микромед MC2 Zoom 2A)

Оценку общего состояния деревьев ореха грецкого после зимнего периода на момент начала вегетации за 2019-2022 гг, оценивали весной, после распускания почек и полного проявления поражений. Степень подмерзания определяли согласно общепринятой методике по 5-ти балльной шкале (табл. 2). Согласно методике, гибриды ореха грецкого ранжировали на две группы: имеющие незначительное подмерзание (1,0 балла) и слабое подмерзание (2,0 балла).

Таблица 2 – Максимальная степень подмерзания ореха грецкого (в баллах) в зимний период, за 2019-2022 г.

Максимальная степень подмерзания					Нет признаков подмерзания
5 балла	4 балла	3 балла	2 балла	1 балл	0 баллов
-	-	-	17-2-44 17-3-9 17-3-10 17-3-13 17-3-19	17-2-20 17-2-26 17-2-30 17-2-35 17-3-29 17-3-30 17-3-48 17-3-12 17-3-34 17-3-41 17-3-44 17-3-22 17-3-16 17-2-41 17-3-24 17-3-27 Родина (к)	-

К первой группе сеянцев ореха грецкого, с хорошей оценкой общего состояния, у которых за годы исследования степень подмерзания составила не более 1,0 балла, нами отнесены сеянцы: 17-2-26, 17-2-20, 17-2-30, 17-2-35, 17-2-41 (сеянец Идеала – свободное опыление); 17-3-12, 17-3-16, 17-3-22 (Я-Б-84 – свободное опыление); 17-3-48, 17-3-24, 17-3-27, 17-3-29, 17-3-30 (Дачный – свободное опыление); 17-3-34, 17-3-41, 17-3-44 (Я-Ю-50 – свободное опыление).

Во вторую группу гибридов со слабым подмерзанием за годы исследования (не более 2,0 баллов) нами включены: 17-2-44 (Я-Ю-40 – свободное опыление); 17-3-9, 17-3-10, 17-3-13, 17-3-19 (Я-Б-84 – свободное опыление).

По многолетним данным большая часть (77 %) гибридных форм ореха грецкого отнесена к группе с хорошей оценкой общего состояния после перезимовки (рис. 3).

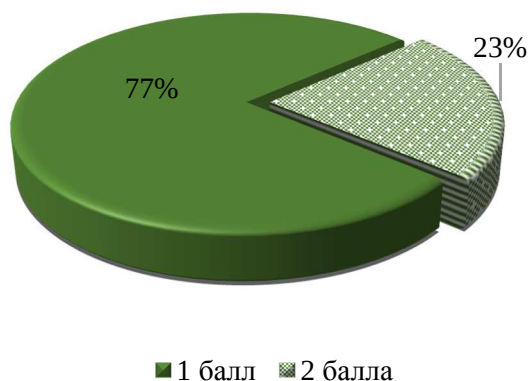


Рис. 3. Соотношение гибридных сеянцев (%) ореха грецкого по устойчивости к морозам, среднее за 2019-2022 гг.

Анализ подмерзания от весенних возвратных заморозков и оценка общего состояния на момент начала вегетации показали, что все гибридные формы ореха грецкого азиатского происхождения подвержены повреждению от низких температур в разной степени, больше всего повреждений отмечено у гибридных сеянцев из семьи – Я-Б-84. Данный факт связан с тем, что сеянцы, полученные от семьи – Я-Б-84, являются гибридами второго поколения от среднеазиатского сорта Бостанлыкский, тогда как прочие гибридные семьи имеют среднеазиатские формы в третьем и четвертом поколении. Таким образом, низкая адаптивность в условиях Северного Кавказа у сеянцев из семьи – Я-Б-84 объясняется значительным присутствием интродуцированной генплазмы в происхождении.

Выводы. На данный момент в селекции грецкого ореха для южного региона России актуально создание холодостойких сортов, менее подверженных влиянию низкотемпературных стрессоров зимне-весеннего периода, которые часто встречаются на Северном Кавказе. В результате многолетних исследований выделены устойчивые к низкотемпературным стрессорам зимне-весеннего периода гибридные формы ореха грецкого: 17-3-34, 17-3-41, 17-3-44, 17-2-20, 17-2-26, 17-2-30, 17-2-35, 17-2-41, 17-3-24, 17-3-27, 17-3-29, 17-3-30, 17-3-48, 17-3-12, 17-3-16, 17-3-22, с максимальной степенью подмерзания в зимний период – 1 балл, в весенний период –

2 балла (при понижении температуры до -2,7 °С во второй декаде апреля 2020 года). Выделенные гибридные формы представляют интерес для дальнейшего селекционного использования в работе по созданию адаптивных сортов региональной селекции.

Литература

1. Artyukhova L. Analysis of promising walnut forms for resistance to return frost // BIO Web of Conferences. 2021. Vol. 34. 02010. DOI: 10.1051/bioconf/20213402010
2. Луговской А.П. и др. Методические подходы к оценке адаптивных признаков сортов ореха грецкого // Научные труды Северо-Кавказского федерального научно-го центра садоводства, виноградарства, виноделия. 2019. Т. 25. С. 97-103. DOI: 10.30679/2587-9847-2019-25-97-103
3. Балапанов И.М., Артюхова Л.В. Отбор перспективных форм ореха грецкого по признаку устойчивости // Научные труды Северо-Кавказского федерального научно-го центра садоводства, виноградарства, виноделия. 2021. Т. 31. С. 99-101. DOI: 10.30679/2587-9847-2021-31-99-101
4. Биганова С.Г., Сухоруких Ю.И., Пчихачев Э.К. Уточнение методики оценки устойчивости лещины (фундука) к стрессовым факторам // Новые технологии. 2021. №. 5. С. 106-113. DOI: 10.47370/2072-0920-2021-17-5-106-113
5. Славский В.А. Оценка зимостойкости видов орехов рода *Juglans* в Воронежской области // Лесотехнический журнал. 2019. Т. 9. №. 1 (33). С. 85-92. DOI: 10.12737/article_5ca1d51f157301.78715280
6. Славский В.А., Чернышов М.П. Устойчивость орехов рода *Juglans* к отрицательным зимним температурам в Воронежской области // Лесотехнический журнал. 2018. Т. 8. №. 1 (29). С. 69-77. DOI: 10.12737/article_5ab0dfbd226477.15826387
7. Hassankhah A. et al. Persian walnut phenology: effect of chilling and heat requirements on budbreak and flowering date // International Journal of Horticultural Science and Technology. 2017. Vol. 4. №. 2. P. 259-271. DOI: 10.22059/ijhst.2018.260944.249
8. Fallah M. et al. Breeding of Persian walnut: Aiming to introduce late-leafing and early-harvesting varieties by targeted hybridization // Scientia Horticulturae. 2022. Vol. 295. 110885. DOI: 10.1016/j.scienta.2022.110885
9. Hajinia Z., Sarikhani S., Vahdati K. Exploring low-chill genotypes of Persian walnut (*Juglans regia* L.) in west of Iran // Genetic Resources and Crop Evolution. 2021. Vol. 68. P. 2325-2336. DOI: 10.1007/s10722-021-01131-6
10. Kazemi N., Sharifzadeh M., Ahmadvand M. Protecting walnut orchards against frost: A test of extended theory of planned behavior // Weather, Climate, and Society. 2018. Vol. 10. №. 4. P. 709-722. DOI: 10.1175/WCAS-D-18-0009.1
11. Fallah M. et al. Tracing Superior Late-Leafing Genotypes of Persian Walnut for Managing Late-Spring Frost in Walnut Orchards // Horticulturae. 2022. Vol. 8. №. 11. P. 1003. DOI: 10.3390/horticulturae8111003
12. Quiñones A.J.P., Gutierrez M.R.S., Hoogenboom G. A Methodological Approach to Determine Flower Bud Vulnerability to Low Temperatures for Deciduous Crops in Early Spring Using Degree Days // HortScience. 2020. Vol. 55. №. 5. P. 651-657. DOI: 10.21273/HORTSCI14689-19
13. Hájková L. et al. Evaluation of walnut tree flowering and frost occurrence probability during 1961–2012 // Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis. 2022. Vol. 70. 18. DOI: 10.11118/actaun.2022.018

14. Guillaume C. et al. Assessing frost damages using dynamic models in walnut trees: exposure rather than vulnerability controls frost risks // *Plant, Cell & Environment*. 2018. Vol. 41. №. 5. P. 1008-1021. DOI: 10.1111/pce.12935
15. Vitasse Y. et al. Increase in the risk of exposure of forest and fruit trees to spring frosts at higher elevations in Switzerland over the last four decades // *Agricultural and forest meteorology*. 2018. Vol. 248. P. 60-69. DOI: 10.1016/j.agrformet.2017.09.005
16. Lenz A. et al. Convergence of leaf-out towards minimum risk of freezing damage in temperate trees // *Functional Ecology*. 2016. Vol. 30. №. 9. P. 1480-1490. DOI: 10.1111/1365-2435.12623
17. Körner C. et al. Where, why and how? Explaining the low-temperature range limits of temperate tree species // *Journal of Ecology*. 2016. Vol. 104. №. 4. P. 1076-1088. DOI: 10.1111/1365-2745.12574
18. Vanoni M. et al. Drought and frost contribute to abrupt growth decreases before tree mortality in nine temperate tree species // *Forest Ecology and Management*. 2016. Vol. 382. P. 51-63. DOI: 10.1016/j.foreco.2016.10.001
19. Программа и методика сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур. Орёл: ВНИИСПК, 1999. 608 с.
20. Программа и методика селекции плодовых, ягодных и орехоплодных культур. Орёл: ВНИИСПК, 1995. 504 с.
21. Программа работ Северо-Кавказского селекционного центра по плодовым, ягодным, орехоплодным культурам и винограду на период до 2030 года. Краснодар: ГНУ СКЗНИИСиб, 2013. 139 с.

References

1. Artyukhova L. Analysis of promising walnut forms for resistance to return frost // *BIO Web of Conferences*. 2021. Vol. 34. 02010. DOI: 10.1051/bioconf/20213402010
2. Lugovskoy A. P. et al. Methodological approaches to the assessment of adaptive traits of walnut varieties // *Scientific works of NCFSCHVW*. 2019. Vol. 25. P. 97-103. DOI: 10.30679/2587-9847-2019-25-97-103 (*in Russian*)
3. Balapanov I. M., Artyukhova L. V. Selection of promising forms of Persian walnut on the basis of stability // *Scientific works of NCFSCHVW*. 2021. Vol. 31. P. 99-101. DOI: 10.30679/2587-9847-2021-31-99-101 (*in Russian*)
4. Biganova S.G., Sukhorukikh Yu.I., Pchikhachev E.K. Refinement of the methodology for assessing the resistance of hazel (hazelnuts) to stress factors // *New technologies*. 2021. № 5. 3. 106-113. DOI: 10.47370/2072-0920-2021-17-5-106-113 (*in Russian*)
5. Slavsky V.A. Estimation of winter resistance of *Juglans* genus nuts in the Voronezh region // *Forestry Engineering journal*. 2019. Vol. 9. № 1 (33). P. 85-92. DOI: 10.12737/article_5ca1d51f157301.78715280 (*in Russian*)
6. Slavsky V.A., Chernyshov M.P. Sustainability of nuts of the genus *Juglans* To negative winter temperatures in the Voronezh region // *Forestry Engineering journal*. 2018. Vol. 8. №. 1 (29). P. 69-77. DOI: 10.12737/article_5ab0dfbd226477.15826387 (*in Russian*)
7. Hassankhah A. et al. Persian walnut phenology: effect of chilling and heat requirements on budbreak and flowering date // *International Journal of Horticultural Science and Technology*. 2017. Vol. 4. №. 2. P. 259-271. DOI: 10.22059/ijhst.2018.260944.249
8. Fallah M. et al. Breeding of Persian walnut: Aiming to introduce late-leaving and early-harvesting varieties by targeted hybridization // *Scientia Horticulturae*. 2022. Vol. 295. 110885. DOI: 10.1016/j.scienta.2022.110885
9. Hajinia Z., Sarikhani S., Vahdati K. Exploring low-chill genotypes of Persian walnut (*Juglans regia* L.) in west of Iran // *Genetic Resources and Crop Evolution*. 2021. Vol. 68. P. 2325-2336. DOI: 10.1007/s10722-021-01131-6

10. Kazemi N., Sharifzadeh M., Ahmadvand M. Protecting walnut orchards against frost: A test of extended theory of planned behavior // *Weather, Climate, and Society*. 2018. Vol. 10. №. 4. P. 709-722. DOI:10.1175/WCAS-D-18-0009.1
11. Fallah M. et al. Tracing Superior Late-Leafing Genotypes of Persian Walnut for Managing Late-Spring Frost in Walnut Orchards // *Horticulturae*. 2022. Vol. 8. №. 11. P. 1003. DOI: 10.3390/horticulturae8111003
12. Quiñones A.J.P., Gutierrez M.R.S., Hoogenboom G.A Methodological Approach to Determine Flower Bud Vulnerability to Low Temperatures for Deciduous Crops in Early Spring Using Degree Days // *HortScience*. 2020. Vol. 55. №. 5. P. 651-657. DOI: 10.21273/HORTSCI14689-19
13. Hájková L. et al. Evaluation of walnut tree flowering and frost occurrence probability during 1961–2012 // *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*. 2022. Vol. 70. 18. DOI: 10.11118/actaun.2022.018
14. Guillaume C. et al. Assessing frost damages using dynamic models in walnut trees: exposure rather than vulnerability controls frost risks // *Plant, Cell & Environment*. 2018. Vol. 41. №. 5. P. 1008-1021. DOI: 10.1111/pce.12935
15. Vitasse Y. et al. Increase in the risk of exposure of forest and fruit trees to spring frosts at higher elevations in Switzerland over the last four decades // *Agricultural and forest meteorology*. 2018. Vol. 248. P. 60-69. DOI: 10.1016/j.agrformet.2017.09.005
16. Lenz A. et al. Convergence of leaf-out towards minimum risk of freezing damage in temperate trees // *Functional Ecology*. 2016. Vol. 30. №. 9. P. 1480-1490. DOI: 10.1111/1365-2435.12623
17. Körner C. et al. Where, why and how? Explaining the low-temperature range limits of temperate tree species // *Journal of Ecology*. 2016. Vol. 104. №. 4. P. 1076-1088. DOI: 10.1111/1365-2745.12574
18. Vanoni M. et al. Drought and frost contribute to abrupt growth decreases before tree mortality in nine temperate tree species // *Forest Ecology and Management*. 2016. Vol. 382. P. 51-63. DOI: 10.1016/j.foreco.2016.10.001
19. Program and methods of variety study of fruit, berry and nut crops. Orel: VNIISPK, 1999. 608 p. (in Russian)
20. Program and methodology of fruit, berry and nut crops breeding. Orel: VNIISPK, 1995. 504 p. (in Russian)
21. Program of work of the North Caucasian breeding center for fruit, berry, nut crops and grapes for the period up to 2030. Krasnodar: GNU SKZNIISiV, 2013. 139 p. (in Russian)