

Оригинальная статья

DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2024.2/6>

УДК 630*181.311.3



Межвидовая гибридизация орехов рода *Juglans* в Воронежской области

Василий А. Славский ✉, slavskiyva@yandex.ru  <https://orcid.org/0000-0002-6579-0344>

Галина И. Славская, galinas2401@mail.ru  <https://orcid.org/0009-0000-2784-9133>

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», ул. Тимирязева, 8, г. Воронеж, 394087, Российская Федерация

Расширение ассортимента древесных пород, пригодных для различных целей лесовыращивания, должно осуществляться за счет выведения и отбора новых форм и гибридов, обладающих не только высокой устойчивостью, но и проявляющих гетерозисные качества, не свойственные местным породам. Следовательно, для полноценного культивирования растений рода *Juglans* в Воронежской области необходимо развитие методов селекции, включая гибридизацию. Основной целью работы является изучение межвидовых гибридов орехов рода *Juglans* и оценка их адаптивных, соматических и репродуктивных свойств для выявления и отбора устойчивых, высокоурожайных, адаптивных форм, с плодами заданного качества. Авторами проведена межвидовая гибридизация путем контролируемого опыления лучших форм ореха грецкого *J. regia* (L.), ореха маньчжурского *J. manshurica* (Max.), ореха черного *J. nigra* (L.) и ореха серого *J. cinerea* (L.), используемых в качестве опылителей, а также ореха сердцевидного *J. cordiformis* (Max.), используемого в качестве материнского растения. Из полученных межвидовых гибридов создан экспериментальный объект, на котором проводились наблюдения в течение 12 лет. При оценке гибридов на силу и энергию роста выявлен истинный соматический гетерозис у гибридов *J. cordiformis* × *J. cinerea*, которые в возрасте 10 лет превосходят по росту оба родительских вида в среднем на 30 %, что подтверждается статистически значимой достоверностью различий между значениями сравниваемых показателей (при уровне вероятности 0,95) – $t=4,08$ (орех серый) и $6,78$ (орех сердцевидный). Данный гибридный вариант также обладает высоким адаптивным потенциалом (АП = 3,12), что позволяет полноценно конкурировать с аборигенными породами. Гибридов, имеющих плоды приемлемого качества, и при этом обладающих высоким адаптивным потенциалом, не выявлено. На основании полученных результатов, гибридные формы *J. cordiformis* × *J. cinerea* могут быть включены в расширенный ассортимент древесных пород, пригодных для создания лесных культур и защитного лесоразведения на территории Воронежской области.

Ключевые слова: селекция, гибридизация, орехи рода *Juglans*, гетерозис.

Финансирование: данное исследование не получало внешнего финансирования.

Благодарности: авторы благодарят рецензентов за вклад в экспертную оценку статьи.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Славский, В. А. Межвидовая гибридизация орехов рода *Juglans* в Воронежской области / В. А. Славский, Г. И. Славская // Лесотехнический журнал. – 2024. – Т. 14. – № 2 (54). – С. 88–102. – Библиогр.: с. 99–102 (20 назв.) – DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2024.2/6>.

Поступила 22.01.2024. Пересмотрена 05.03.2024. Принята 15.03.2024. Опубликовано онлайн 17.06.2024.

Article

Interspecific hybridization of nuts of the genus *Juglans* in the Voronezh region

Vasily A. Slavskiy ✉, slavskiyva@yandex.ru,  <https://orcid.org/0000-0002-6579-0344>

Galina Iv. Slavskaya, galinas2401@mail.ru  <https://orcid.org/0000-0003-2973-7447>

Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Timiryazeva str., 8, Voronezh, 394087, Russian Federation

Abstract

The expanding the range of tree species suitable for various forest growing purposes should be carried out through the breeding and selection of new forms and hybrids that are not only highly resistant, but also exhibit heterotic qualities that are not characteristic of local species. Consequently, for the full cultivation of plants of the genus *Juglans* in the Voronezh region, it is necessary to develop selection methods, including hybridization. The main goal of the work is to study interspecific hybrids of nuts of the genus *Juglans* and evaluate their adaptive, somatic and reproductive properties to identify and select stable, high-yielding, adaptive forms with fruits of a given quality. The authors carried out interspecific hybridization by artificial pollination of the best forms of walnut – *J. regia* (L.), Manchurian walnut – *J. manshurica* (Max.), black walnut – *J. nigra* (L.) and gray walnut – *J. cinerea* (L.), used as pollinators, as well as the heartnut – *J. cordiformis* (Max.), used as a mother plant. From the resulting interspecific hybrids, an experimental object was created, on which observations were carried out for 12 years. When assessing hybrids for vigor and growth energy, true somatic heterosis was revealed in hybrids *J. cordiformis* × *J. cinerea*, which at the age of 10 years outgrow both parental species by an average of 30%. This is confirmed by statistically significant differences between the values of the compared indicators (at a probability level of 0.95) – $t = 4.08$ (gray walnut) and 6.78 (heartnut). The hybrid variant also has a high adaptive potential ($AP = 3.12$), which allows it to fully compete with native breeds. No have been identified hybrids that have fruits of acceptable quality and at the same time have high adaptive potential. Based on the results obtained, hybrid forms of *J. cordiformis* × *J. cinerea* may be included in the expanded range of tree species suitable for creating forest crops and protective afforestation in the Voronezh region.

Keywords: *breeding, hybridization, nuts of the genus Juglans, heterosis*

Funding: this study received no external funding.

Acknowledgments: the authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of the article.

Conflict of Interest: the authors have declared no conflict of interest.

For citation: Slavskiy V. A., Slavskaya G. Iv. (2024). Interspecific hybridization of nuts of the genus *Juglans* in the Voronezh region. *Lesotekhnicheskii zhurnal* [Forestry Engineering journal], Vol. 14, No. 2 (54), pp. 88-102 (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2024.2/6>.

Received 22.01.2024 *Revised* 05.03.2024. *Accepted* 15.03.2024. *Published online* 17.06.2024.

Введение

Изучаемые в работе орехи рода *Juglans* по совокупности полезных свойств считаются одними из самых ценных растений планеты [1, 2], что подтверждено в работах ряда авторов, занимающихся вопросами ореховодства [3-5]. Главным подтверждением этого является постоянное увеличение площадей, на которых выращиваются орехи [6, 7].

В связи с лимитирующими климатическими условиями, для полноценного культивирования орехов рода *Juglans* в Воронежской области необходимо проведение селекции различными методами, включая гибридизацию [8]. Гибридизация – процесс, в основе которого лежит объединение генетического материала, содержащегося в разных клетках [9]. Основной целью проведения межвидовой гибридизации орехов рода *Juglans* является получение устойчивых, высокоурожайных, адаптивных форм, с плодами заданного качества.

Однако не все виды орехов имеют склонность к гибридизации, и легкость процесса гибридизации может значительно различаться даже между близкородственными видами [10]. Существуют также генотипические различия внутри видов, которые влияют на успех или неудачу межвидовой гибридизации [8, 11]. Тем не менее, имеется ряд работ, подтверждающих успешность межвидовой гибридизации орехоплодных пород искусственным способом [11-13].

Впервые, в Воронежской области опыты по межвидовой гибридизации орехов проводились в начале 70-х годов прошлого века. М.М. Вересин и М.К. Улюкина⁶ создали гибриды *J. regia* × *J. manshurica*, отличающиеся повышенной зимостойкостью и обладающие приемлемым качеством плодов. В дальнейшем, масштабных работ по межвидовой гибридизации в Воронежской области не проводилось. Таким образом, данный вопрос в исследуемом регионе изучен в недостаточном объеме, а новые данные не были получены в течение полувека, что особенно актуально в связи с наметившейся тенденцией глобального потепления.

⁶ Вересин М. М., Селекция и гибридизация грецкого ореха на зимостойкость / М. М. Вересин, М. К. Улюкина // Лесная генетика, селекция и семеноводство (Петрозаводск), 1970. – С. 365-369.

Гибридизация является перспективным и широко востребованным направлением в мировой селекционной практике, что отмечается в работах ведущих ученых по всему миру [13, 14 и др.].

При скрещивании видов орехов рода *Juglans* может быть достигнуто сочетание признаков крупного ядра с высокой адаптивностью и устойчивостью к неблагоприятным факторам. Следовательно, при гибридизации необходимо найти оптимальное сочетание лучших наследственных свойств у гибридных форм, обладающих соматическим, адаптивным или репродуктивным гетерозисом.

Целью работы является изучение межвидовых гибридов орехов рода *Juglans* и оценка их адаптивных, соматических и репродуктивных свойств для выявления и отбора устойчивых, высокоурожайных, адаптивных форм, с плодами заданного качества.

Материалы и методы

Сложности, возникающие при проведении межвидовой гибридизации, обычно подразделяются на две категории: барьеры, которые препятствуют образованию гибридного эмбриона на стадии оплодотворения и барьеры после оплодотворения, которые снижают жизнеспособность формирующихся гибридных эмбрионов [9]. В связи с этим, крайне важно уделить повышенное внимание методическим подходам при подготовке экспериментального материала.

Предмет и объект исследования

Экспериментальная работа проводилась на протяжении 12 лет. Для гибридизации отобраны лучшие по фенотипическим признакам формы видов орехов, произрастающие в оптимальных почвенных условиях. Лесоводственно-таксационные характеристики исходных форм видов орехов (зафиксированные на момент начала исследования) приведены в табл. 1.

Измерение лесоводственно-таксационных показателей проводилось по утвержденным методикам, в соответствии с действующими инструкциями и рекомендациями⁷.

⁷ Приказ МПР РФ от 5 августа 2022 года № 510 «Об утверждении Лесоустроительной инструкции». URL: <https://docs.cntd.ru/document/351878696?ysclid=lm9ew816i204569898>

Тип лесорастительных условий (ТЛУ) определен по шкале П.С. Погребняка [15].

В качестве материнского дерева использован орех сердцевидный (*J. cordiformis* Max.). Этот вид рода *Juglans* обладает повышенной устойчивостью к болезням и вредителям в Воронежской области, а также высокой урожайностью, приемлемым качеством плодов и наибольшим количеством женских

цветков в кисти [16, 17]. В качестве отцовских видов использованы орехи серый (*J. cinerea* L.), маньчжурский (*J. manshurica* Max.) и черный (*J. nigra* L.), поскольку они имеют высокий показатель комплексной устойчивости [16], а также орех грецкий (*J. regia* L.) – как вид, обладающий плодами наилучшего качества [17].

Таблица 1

Основные лесоводственно-таксационные характеристики форм, используемых при гибридизации

Table 1

Main silvicultural and taxation characteristics of forms used in hybridization

Виды орехов рода <i>Juglans</i> , используемые для гибридизации Nut species of the genus <i>Juglans</i> , used for hybridization	Лесоводственно-таксационные показатели отобранных растений Silvicultural and taxation indicators of plantations				
	Диаметр ствола (1,3 м), см Trunk diameter (1.3 m), cm	Высота, м Height, m	Диаметр кроны, м Crown diameter, m	Возраст, лет Age, years	ТЛУ Forest site type
<i>J. cordiformis</i> ♀	38-48	13.0-13.8	6.0-7.0	40-50	C ₂ D / D ₂
<i>J. regia</i> ♂	36-44	11.4-13.6	5.0-6.5	35-45	D ₂
<i>J. cinerea</i> ♂	32-44	13.1-15.2	4.0-4.5	45-50	D ₂
<i>J. nigra</i> ♂	38-52	15.5-19.5	4.0-5.5	40-70	D ₂
<i>J. manshurica</i> ♂	32-48	14.1-15.4	3.5-5.5	35-55	C ₂ D/ D ₂

Источник: собственная композиция авторов

Source: author's composition

Сбор данных

При подготовке к гибридизации у материнского растения заблаговременно проводилось удаление мужских соцветий механическим способом, чтобы не допустить самоопыления. Во избежание случайного неконтролируемого опыления женских цветков с близрастущих деревьев, произведена их изоляция. В качестве изолятора использовалась 4-слойная марлевая повязка, которая закреплялась у основания соцветия. После начала цветения, на рыльца пестиков в умеренном количестве наносилась пыльца отцовских видов орехов (собранная заранее, т.к. цветение ореха сердцевидного наступает на несколько дней позже).

При проведении контролируемого опыления фиксировали количество женских цветков для расчета завязываемости плодов. В последующие 2 года данный эксперимент был повторен. Всего было искусственно опылено и изолировано более 1500 пестичных цветков.

Осенью этого же года образовавшиеся гибридные плоды высевались на питомнике с целью изучения всхожести семян и сохранности выращенных сеянцев гибридов орехов рода *Juglans*. В возрасте 2 лет сеянцы были пересажены на экспериментальный объект (коллекционно-испытательную плантацию). Созданный экспериментальный объект площадью 0,6 га, размещен на территории Пригородного лесничества Воронежской области (схема расположения приведена на рис. 1, а); географические координаты объекта: 51°53'37.1"N, 39°13'28.2"E.

Кроме гибридных сеянцев на экспериментальном авторском объекте выращены сеянцы орехов грецкого, черного, маньчжурского и серого аналогичного возраста, изучаемые показатели которых использованы в качестве контроля.

Гибридизация орехов рода *Juglans* является сложным процессом, требующим многократного проведения экспериментальных работ [4, 6]. В связи с этим, зачастую приходится выдвигать гипотезы и

прогнозировать выявление гетерозисных свойств, используя достаточно ограниченный объем выборки.

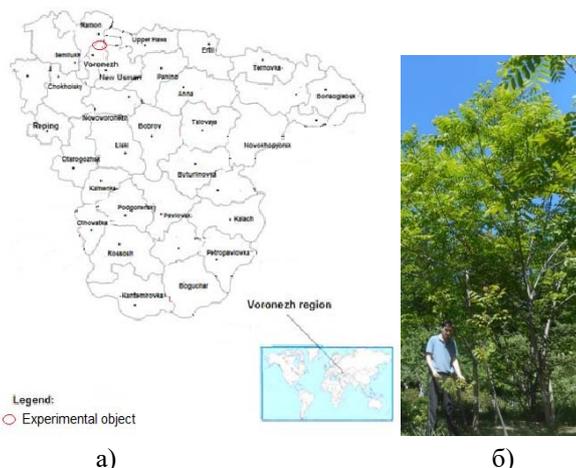


Рисунок 1. Коллекционно-испытательная плантация видов орехов рода *Juglans* и их гибридов
 а) территориальное месторасположение участка;
 б) внешний вид гибридов орехов рода *Juglans*
 Figure 1. Collection and testing plantation of nut species of the genus *Juglans* and their hybrids
 а) the territorial location of the site; б) appearance of hybrids of nuts of the genus *Juglans*

Источник: собственная композиция авторов
 Source: author's composition

Анализ данных

Расчет адаптивного потенциала форм и гибридов орехов произведен с учетом их перспективности, определяемой по методике определения перспективности интродукции древесных растений Главного ботанического сада [18], апробированной нами на формах ореха грецкого [16], комплексной устойчивости к неблагоприятным факторам окружающей среды, определяемой в лабораторных условиях экспресс-методом [1] и санитарного состояния растений, оценка которого производилась согласно требованиям, указанным в Правилах санитарной безопасности в лесах⁸. На основе интегральной оценки комплекса показателей рассчитан общий адаптивный потенциал [16].

⁸ Постановление Правительства Российской Федерации от 2020 года № 2047. Правила санитарной безопасности в лесах. URL: <https://docs.cntd.ru/document/573053313>

⁹ STATISTICA version 13.0-StatSoft. (2021). <http://statsoft.ru/resources/support/new-features-statistica-13>.

При оценке качества плодов за основу взята обобщенная система определения категорий хозяйственной ценности плодов видов орехов, разработанная для исследуемого региона [17]. Для каждого вида орехов определены коэффициенты значимости оценочных критериев, с учетом биологических особенностей породы и уровня изменчивости признаков. При общей оценке качества плодов учитывались вкусовые качества, размер, одномерность и масса плодов, легкость выделения, выполненность и выход ядра, характер поверхности, цвет, твердость и толщина скорлупы, а также толщина шва и перегородок.

Статистическая обработка выполнена по методике Б.А. Доспехова [19], с использованием статистических программ STATISTICA-13.0⁹ [20] и Microsoft Office Excel 2007-2016 for Windows. Доверительный интервал рассчитан на уровне значимости 0.95. Проведена статистическая обработка экспериментального материала с использованием методов дисперсионного анализа и расчетов достоверностей различий, выявленных между значениями средних показателей.

Подлинность межвидовых гибридов определялась по методике В.Г. Картелева¹⁰. Методика используется в селекции орехоплодных пород, для изучения вопросов наследования и проведения разноцелевых экспертиз. Оценка гибридов и отбор наиболее ценных из них проводился в возрасте 10-11 лет, когда все они вступили в стадию плодоношения. Для сравнения (контроля) изучены формы видов орехов рода *Juglans* аналогичного возраста.

Результаты и обсуждение

В ходе проведения исследований были осуществлены 4 варианта скрещиваний: ♀орех сердцевидный × ♂орех серый (далее *J. cordiformis* × *J. cinerea*), ♀орех сердцевидный × ♂орех грецкий (*J. cordiformis* × *J. regia*), ♀орех сердцевидный × ♂орех маньчжурский (*J. cordiformis* × *J. manshurica*), ♀орех сердцевидный × ♂орех черный (*J. cordiformis* × *J. nigra*).

¹⁰ Картеlev В.Г. Способ идентификации сортов грецкого ореха. Основание СССР. Номер патента: 1800944 (03 июля 1993 г.). URL: <https://patents.su/3-1800944-sposob-identifikacii-sortov-greckogo-orekha.html>.

Завязываемость плодов, полученная при искусственном опылении, всхожесть семян и высота однолетних сеянцев приведены в табл. 2.

Таблица 2

Среднестатистические показатели семян и сеянцев межвидовых гибридов F1 орехов рода *Juglans*

Table 2

Average statistical indicators of seeds and seedlings of interspecific hybrids F1 of nuts of the genus *Juglans*

Межвидовые скрещивания Interspecific crossbreeding	Завязываемость плодов, % Fruit set, %	Всхожесть семян, % Seed germination, %	Высота сеянцев в 1-й год Height of seedlings in the 1st year		Кол-во изучаемых растений, шт.
			M ^a ±m ^b (см)*	C ^c (%)*	
<i>J. cordiformis</i> × <i>J. cinerea</i>	9.8±0.38	52±1.69	41±1.54	16.5	26
<i>J. cordiformis</i> × <i>J. regia</i>	6.9±0.29	55±1.77	28±1.23	17.4	19
<i>J. cordiformis</i> × <i>J. manshurica</i>	6.3±0.21	33±1.25	37±1.59	16.7	18
<i>J. cordiformis</i> × <i>J. nigra</i>	3.1±0.24	38±1.34	31±3.52	18.6	9

*^aM – среднее значение признака; ^bm – ошибка среднего значения; ^cC – коэффициент изменчивости.

*^aM – average value of the characteristic; ^bm – error of mean; ^cC – coefficient of variability.

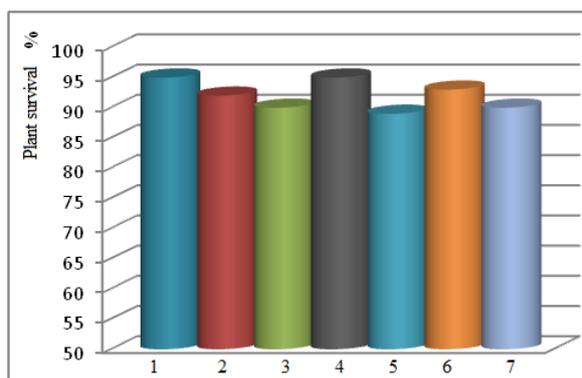
Источник: собственные измерения и вычисления авторов

Source: own measurements and calculations

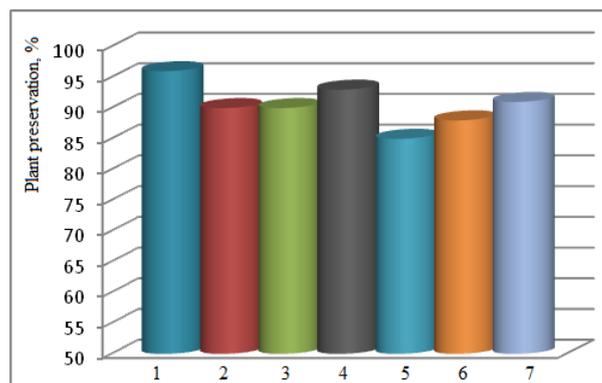
Из данных, приведенных в табл. 2, следует, что завязываемость плодов при межвидовой гибридизации орехов рода *Juglans* невысокая и в среднем составляет около 6.5 %. У гибридного варианта орех сердцевидный × орех черный отмечена самая низкая завязываемость плодов – 3.1 % и невысокая всхожесть семян – 38%. Эти факторы не позволили получить статистически достоверную выборку, в связи с чем, данный гибридный вариант исключен из дальнейшего анализа. Сеянцы гибридов *J. cordiformis* ×

J. cinerea сразу проявляют повышенную энергию роста – в однолетнем возрасте их средняя высота составляет 41 см.

Двухлетние сеянцы гибридов и видов орехов были пересажены из питомника на постоянное место произрастания – на территорию экспериментального объекта. Результаты приживаемости и сохранности сеянцев (на третий год после посадки) приведены на рис. 2.



а)



б)

Рисунок 2. Приживаемость (а) и сохранность (б) сеянцев видов орехов рода *Juglans* и их межвидовых гибридов
Figure 2. Survival (a) and preservation (b) of seedlings of walnut species of the genus *Juglans* and interspecific hybrids

Условные обозначения: / Legend: 1 – *J. cordiformis* × *J. cinerea*, 2 – *J. cordiformis* × *J. regia*,
3 – *J. cordiformis* × *J. manshurica*, 4 – *J. cinerea*, 5 – *J. regia*, 6 – *J. manshurica*, 7 – *J. cordiformis*

Источник: собственная композиция авторов

Source: author's composition

Следует отметить, что приживаемость сеянцев гибридов и видов орехов рода *Juglans* отличается между собой несущественно, а выявленные различия находятся в пределах статистической погрешности. Наилучшая сохранность (на третий год после пересадки) отмечена у гибридов *J. cordiformis* × *J. cinerea* (более 96 %), что несколько выше, чем у обоих родительских видов.

Для достоверного выявления повышенных адаптивных свойств (в т.ч. адаптивного гетерозиса) у гибридов F1 определяли их состояние, комплексную устойчивость к неблагоприятным факторам окружающей среды и оценивали перспективность (успешность) выращивания. Интегральное значение этих признаков позволяет определить адаптивный потенциал растений.

Для любой древесной породы (в особенности интродуцированной в культуру севернее условий естественного ареала), большое значение имеет комплексная устойчивость к неблагоприятным факторам, которым в различной степени ежегодно подвер-

гаются растения, а также их способность к восстановлению. Чем выше данный показатель, тем большей устойчивостью обладает рассматриваемая культура (табл. 3).

Выявлено усиление адаптивного потенциала у гибридов *J. cordiformis* × *J. cinerea*. При этом один из родительских видов (орех серый), как правило, не проявляет повышенных адаптивных свойств.

Суммарная оценка состояния, комплексной устойчивости и перспективности выращивания позволяет с уверенностью говорить о высокой адаптивной способности гибридов. Это позволяет рекомендовать изучаемые гибриды (в первую очередь *J. cordiformis* × *J. cinerea*) для опытно-производственной проверки, с целью их включения в перечень древесных пород, используемых для создания лесных культур в Воронежской области. Средние значения состояния у всех изучаемых видов орехов и их гибридов в возрасте 10 лет отличаются незначительно. Средние статистические показатели адаптивных свойств гибридов (балл) приведены на рис. 3.

Таблица 3

Оценка общего адаптивного потенциала видов орехов рода *Juglans* и их межвидовых гибридов

Table 3

Evaluation of general adaptive potential of nut species of the genus *Juglans* and their interspecific hybrids

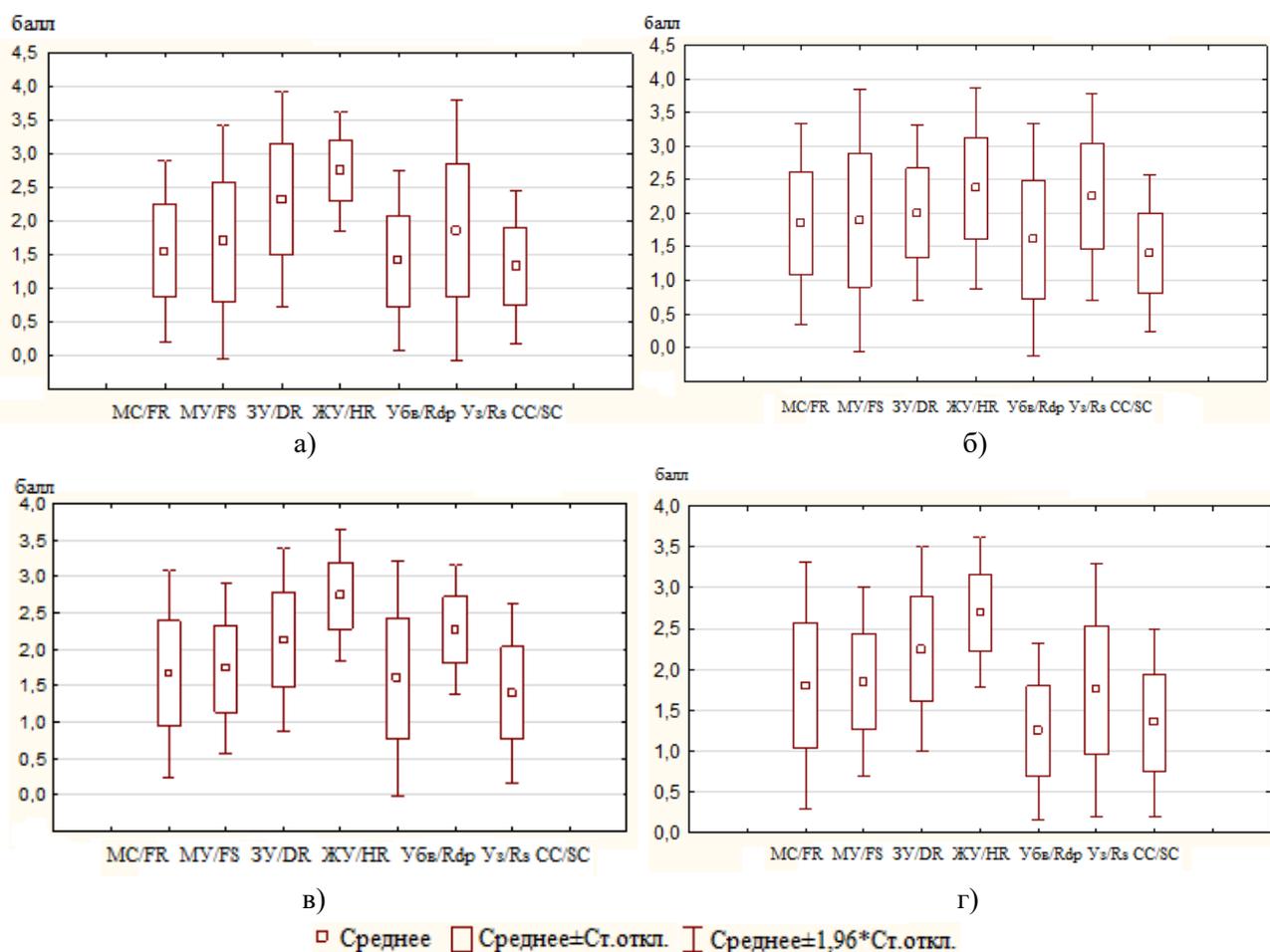
Виды и гибриды орехов рода <i>Juglans</i> Species and hybrids nuts of the genus <i>Juglans</i>	Оценочный критерий, средний балл Evaluation criterion, average score									
	MC ^a FR ^a	MY ^b FS ^b	ZY ^c DR ^c	JY ^d HR ^d	YBv ^e Rdp ^e	Yzam ^f Rs-a ^f	CC ^g SC ^g	KY ^h IS ^h	AP ⁱ AP ⁱ	
<i>J. cordiformis</i> × <i>J. cinerea</i>	1.55	1.62	2.32	2.74	1.39	1.86	1.32	3.03	3.12	
<i>J. cordiformis</i> × <i>J. regia</i>	1.82	1.85	1.99	2.35	1.59	2.26	1.38	2.61	2.67	
<i>J. cordiformis</i> × <i>J. manshurica</i>	1.68	1.76	2.15	2.76	1.56	2.21	1.41	2.70	2.72	
<i>J. regia</i>	1.90	2.12	1.61	1.97	1.88	2.68	1.42	2.18	2.20	
<i>J. manshurica</i>	1.51	1.56	2.35	2.82	1.56	2.33	1.37	2.37	2.44	
<i>J. cinerea</i>	1.52	1.58	2.40	2.82	1.74	2.06	1.36	2.74	2.81	
<i>J. cordiformis</i>	1.79	1.83	2.28	2.70	1.25	1.75	1.33	2.92	3.00	

Условные обозначения: ^aMC – Морозостойкость; ^bMY – Морозоустойчивость; ^cZY – Засухоустойчивость; ^dJY – Жароустойчивость; ^eYBv – Устойчивость к болезням и вредителям; ^fYzam – Устойчивость к поздним весенним и ранним осенним заморозкам; ^gCC – Санитарное состояние; ^hKY – Комплексная устойчивость; ⁱAP – общий адаптивный потенциал.

Legend: ^aFR – Frost resistance; ^bFS – Frost stability; ^cDR – Drought resistance; ^dHR – Heat resistance; ^eRdp – Resistance to diseases and pests; ^fRs-a – Resistance to late spring and early autumn frosts; ^gSC – Sanitary condition; ^hIS – Integrated sustainability; ⁱAP – General Adaptive Potential.

Источник: собственные измерения и вычисления авторов

Source: own measurements and calculations



(a) *J. cordiformis* × *J. cinerea*; (b) *J. cordiformis* × *J. regia*; (в) *J. cordiformis* × *J. manshurica*; (г) *J. cordiformis*

Рисунок 3. Оценочные показатели адаптивных свойств гибридов (балл)

Figure 3. Estimated indicators of adaptive properties of hybrids (score)

Условные обозначения: МС – Морозостойкость; МУ – Морозоустойчивость; ЗУ – Засухоустойчивость; ЖУ – Жароустойчивость; У6в – Устойчивость к болезням и вредителям; У3ам – Устойчивость к поздним весенним и ранним осенним заморозкам; СС – Санитарное состояние

Legend: FR – Frost resistance; FS – Frost stability; DR – Drought resistance; HR – Heat resistance; Rdp – Resistance to dis-eases and pests; Rs-a – Resistance to late spring and early autumn frosts; SC – Sanitary condition

Источник: собственные измерения и вычисления авторов

Source: own measurements and calculations

При анализе данных, приведенных в табл. 3 и на рис. 3, можно сделать вывод, что большинство из изучаемых видов орехов рода *Juglans* и их гибридов способны выдержать конкуренцию с местными породами (АП более 2,5 баллов). Самыми перспективными, с точки зрения адаптивных свойств, являются гибриды *J. cordiformis* × *J. cinerea*, а также орех сердцевидный, имеющие интегральное значение адаптивного потенциала более 3 баллов.

В ряде случаев выявлена существенная достоверность различий между средними показателями общего адаптивного потенциала для отдельных видов орехов рода *Juglans* и их межвидовых гибридов. Тем не менее, адаптивных различий, гарантирующих наличие истинного гетерозиса, между гибридами F1 и родительскими видами не установлено (табл. 4).

Таблица 4

Достоверность различий между показателями адаптивного потенциала видов орехов рода *Juglans* и их гибридов

Table 4

Reliability of differences between indicators of adaptive potential of nut species of the genus *Juglans* and their hybrids

Виды и гибриды орехов рода <i>Juglans</i> Species and hybrids nuts of the genus <i>Juglans</i>	Показатель достоверности различий между средними значениями Indicator of reliability of differences between average values							
	M ₁	M ₂	M ₃	M ₄	M ₅	M ₆	M ₇	t _{0,05}
<i>J. cordiformis</i> × <i>J. cinerea</i> (M ₁)	–	3.58	2.66	2.29	5.11	3.28	1.42*	1.96
<i>J. cordiformis</i> × <i>J. regia</i> (M ₂)	-3.58	–	-0.78*	-0.93*	3.23	1.54*	-2.79	1.96
<i>J. cordiformis</i> × <i>J. manshurica</i> (M ₃)	-2.66	0.78*	–	-0.32*	2.97	1.75*	-1.69*	1.96
<i>J. cinerea</i> (M ₄)	-2.29	0.93*	0.32*	–	3.57	1.25*	-1.03*	1.96
<i>J. regia</i> (M ₅)	-5.11	-3.23	-2.97	-3.57	–	-2.26	-3.73	1.96
<i>J. manshurica</i> (M ₆)	-3.28	-1.54*	-1.75*	-1.25*	2.26	–	-2.47	1.96
<i>J. cordiformis</i> (M ₇)	-1.42*	2.79	1.69*	1.03*	3.73	2.47	–	1.96

* несущественные различия между средними значениями

*insignificant differences between means

Источник: собственные измерения и вычисления авторов

Source: own measurements and calculations

Из анализа данных, приведенных в табл. 4, следует, что гибридные формы не имеют значительного адаптивного превосходства, свидетельствующих о наличии адаптивного гетерозиса, по сравнению с наиболее устойчивыми формами ореха сердцевидного – различия средних значений адаптивного потенциала между ними несущественны на уровне вероятности 0,95. Более того, гибриды *J. cordiformis* × *J. regia* уступают по адаптивному потенциалу формам ореха сердцевидного.

Для выявления наличия соматического гетерозиса у изучаемых гибридов, основным оценочным признаком являлся их годичный прирост в высоту (рис. 4).

Начиная с 2-х летнего возраста, у гибридов *J. cordiformis* × *J. cinerea* отмечено превышение средних ростовых показателей относительно обоих родительских видов. По достижению 5-ти летнего возраста, у данных гибридов выявлено существенное превосходство по приросту в высоту (стабильное ежегодное превышение более чем на 30 %), что свидетельствует о наличии истинного соматического гетерозиса.

Достоверность различий между средними показателями прироста в высоту у видов орехов рода *Juglans* и их межвидовых гибридов приведена в табл. 5. Отмечены существенные различия между

показателями прироста гибридов *J. cordiformis* × *J. cinerea* и всеми остальными изучаемыми видами орехов – критерий Фишера более чем в 2 раза превышает стандартное табличное значение при уровне вероятности 0,95.

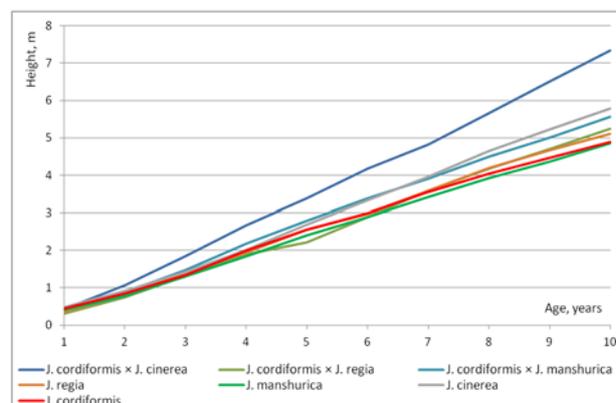


Рисунок 4. Динамика роста в высоту видов орехов и их гибридов

Figure 4. Growth dynamics in height of nut species and their hybrids

Источник: собственная композиция авторов

Source: author's composition

Гибриды *J. cordiformis* × *J. manshurica* не проявили признаков соматического гетерозиса – динамика их роста и развития сопоставима с родительскими формами.

Достоверность различий между средними показателями прироста в высоту сеянцев видов орехов рода *Juglans* и межвидовых гибридов

Table 5

Reliability of differences between the growth rate of seedlings of nut species of the genus *Juglans* and interspecific hybrids

Виды орехов / гибриды Nut species / hybrids	Показатель достоверности различий между средними значениями Indicator of reliability of differences between average values							
	M ₁	M ₂	M ₃	M ₄	M ₅	M ₆	M ₇	t _{0,05}
<i>J. cordiformis</i> × <i>J. cinerea</i> (M ₁)	–	-5.97	-5.14	-4.08	-6.45	-6.82	-6.78	1.96
<i>J. cordiformis</i> × <i>J. regia</i> (M ₂)	5.97	–	0.86*	1.47*	-0.39*	-0.92*	-0.88*	1.96
<i>J. cordiformis</i> × <i>J. manshurica</i> (M ₃)	5.14	-0.86*	–	0.54*	-1.23*	-1.76*	-1.69*	1.96
<i>J. cinerea</i> (M ₄)	4.08	-1.47*	-0.54*	–	-1.65*	-2.35	-2.28	1.96
<i>J. regia</i> (M ₅)	6.45	0.39*	1.23*	1.65*	–	-0.59*	-0.51*	1.96
<i>J. manshurica</i> (M ₆)	6.82	0.92*	1.76*	2.35	0.59*	–	0.10*	1.96
<i>J. cordiformis</i> (M ₇)	6.78	0.88*	1.69*	2.28	0.54*	-0.10*	–	1.96

* несущественные различия между средними значениями

* insignificant differences between means

Источник: собственные измерения и вычисления авторов

Source: own measurements and calculations

Качество плодов и урожайность являются важнейшими критериями для культивирования орехов. По внешнему виду и качеству плодов гибриды *J. cordiformis* × *J. cinerea* и *J. cordiformis* × *J. regia* по большей части уклонились в менее хозяйственно-ценные виды – соответственно в орех серый и орех сердцевидный (рис. 5). Гибриды *J. cordiformis* × *J. cinerea* имели сопоставимый показатель величины урожая с орехом серым (прежде всего за счет

более крупных плодов) и менее урожайны, чем орех сердцевидный (табл. 6). Гибриды *J. cordiformis* × *J. regia* имели урожайность на порядок ниже, чем оба родительские вида. Возможно, данные гибриды задерживаются с возрастом вступления в интенсивное плодоношение. У гибридов *J. cordiformis* × *J. manshurica* в возрасте 10 лет плоды имелись в единичном количестве, в связи с чем, невозможно осуществить полноценный анализ их качества.



а)



б)

Рисунок 5. Размеры и форма плодов

Figure 5. Size and shape of fruits

а) родительских видов (1, 3) и гибридов *J. cordiformis* × *J. regia* (2); б) ореха серого (1, 2) и гибридов *J. cordiformis* × *J. cinerea* (3)

a) of parental species (1, 3) and hybrids *J. cordiformis* × *J. regia* (2); б) of gray walnut (1, 2) and hybrids *J. cordiformis* × *J. cinerea* (3)

Источник: собственная композиция авторов

Source: author's composition

Таблица 6

Количественные и качественные показатели плодов видов орехов рода *Juglans* (возраст 10-15 лет)

Table 6

Quantitative and qualitative indicators of fruits of nut species of the genus *Juglans* (age 10-15 years)

Виды орехов / гибриды Nut species / hybrids	Средние показатели урожайности и качества плодов Average indicators of yield and quality of fruits						
	кол-во уро- жая, кг amount of harvest, kg	размеры плодов fruit size		масса плодов fruit weight		кол-во плодов в кисти (шт.) quantity of fruits in a clus- ter (pcs.)	форма плодов fruit shape
		(M), см	Cv, %	(M±m), г	Cv, %		
<i>J. regia</i>	7-12	3,3×2,9×3,0	18.8	9.15±0.094	22.4	1-3	шаровидная
<i>J. cordiformis</i> × <i>J. cinerea</i>	10-13	9,3×4,4×4,5	19.1	25.94±0.211	17.5	1-2	ромбовидная остро- клиновидная
<i>J. cordiformis</i> × <i>J. regia</i>	3-6	3,4×2,9×3,3	20.3	9.76±0.102	20.9	2-8	остроконечная яйцевидная
<i>J. cinerea</i>	12-15	7,4×3,3×4,0	16.2	21.70±0.169	15.8	2-4	продолговатая остроклиновидная
<i>J. cordiformis</i>	15-22	2,5×2,1×2,4	6.3	5.84±0.027	9.2	5-12	широко- яйцевидная

Источник: собственные измерения и вычисления авторов

Source: own measurements and calculations

Таблица 7

Показатели качества плодов местных форм видов орехов рода *Juglans*

Table 7

Fruit quality indicators of local forms of nut species of the genus *Juglans*

Виды орехов / гибриды Nut species / hybrids	Показатели качества плодов Fruit quality indicators						
	извлекаемость ядра kernel extractability		выход ядра kernel output		толщина скорлупы shell thickness		вкус, балл taste, score
	(M±m), балл	Cv, %	(M±m), %	Cv, %	(M±m), %	Cv, %	
<i>J. cordiformis</i> × <i>J. cinerea</i>	1.36±0.018	29.3	17.6±0.08	11.7	3.45±0.025	12.6	3.11
<i>J. cordiformis</i> × <i>J. regia</i>	2.77±0.045	23.5	32.2±0.11	9.6	2.57±0.009	9.9	3.65
<i>J. cinerea</i>	1.18±0.019	32.2	15.1±0,08	10.0	3.94±0.030	15.5	2.56
<i>J. regia</i>	4.33±0.028	22.2	49.2±0.16	14.5	1.19±0.012	18.7	4.36
<i>J. cordiformis</i>	3.70±0.032	17.5	28.2±0.14	10.5	1.47±0.011	14.8	4.05

Источник: собственные измерения и вычисления авторов

Source: own measurements and calculations

Из данных, приведенных в табл. 6 и 7, следует, что гибридные варианты обладают плодами низкого качества, имеют толстую, разросшуюся скорлупу и низкую извлекаемость ядра, что не позволяет говорить о положительной селекции на качество плодов. С учетом снижения урожайности у изу-

чаемых гибридных вариантов по сравнению с родительскими видами, можно с уверенностью сказать о снижении их репродуктивной способности.

Выполненная диагностика подтвердила подлинность гибридов, поскольку получены существенные различия между гибридными и видовыми

особями в составленных идентификационных формулах, включающих в себя размеры, форму и структуру плодов, морфологию листа и рост побегов.

Заключение

Результаты исследования показали, что виды орехов рода *Juglans* могут успешно гибридизоваться для синтеза желательных характеристик и давать жизнеспособные семена. Средняя завязываемость плодов у гибридов варьировала на уровне 6,5 %, при самом высоком показателе – 9,8 % (*J. cordiformis* × *J. cinerea*). Количество плодов в кисти у образовавшихся гибридов во всех случаях было меньше, чем у опыляемого вида – ореха сердцевидного. Всхожесть, сохранность и приживаемость у гибридов *J. cordiformis* × *J. cinerea* была незначительно выше, чем у родительских видов, что свидетельствует об их повышенном адаптивном потенциале. Тем не менее, нами не выявлено значительных различий между средними значениями ключевых адаптивных свойств (на уровне вероятности 0,95), подтверждающих наличия адаптивного гетерозиса.

При оценке гибридов на силу и энергию роста выявлено достоверное наличие соматического гетерозиса у гибридов орех сердцевидный × орех серый, которые в возрасте 10 лет перерастают оба родительских вида в среднем на 30 %. В совокупности с

усиленными адаптивными свойствами, данный гибридный вариант представляет интерес для лесоразведения в исследуемом регионе. Репродуктивного гетерозиса не выявлено – напротив, у гибридов отмечено снижение урожайности и ухудшение качества плодов.

Хотя изучаемые гибриды еще не достигли максимального развития, мы предполагаем, что выявленные гетерозисные свойства, с большой вероятностью, будут проявляться с той же интенсивностью и в дальнейшем.

На основании полученных результатов, рекомендуется проведение производственной проверки для включения изучаемых гибридов (в первую очередь *J. cordiformis* × *J. cinerea*) в перечень древесных пород, пригодных для создания лесных культур в Воронежской области с целью повышения биоразнообразия и устойчивости насаждений, а также повышения средообразующих функций лесных экосистем. Гибриды *J. cordiformis* × *J. manshurica* хотя и уступают гибридам *J. cordiformis* × *J. cinerea* по энергии роста и устойчивости к внешним неблагоприятным факторам, также должны быть направлены на опытно-производственную проверку, с целью подтверждения выявленных соматических и адаптивных особенностей, позволяющих использовать гибриды для создания искусственных лесных насаждений в исследуемом регионе.

Список литературы

1. Славский В.А. Оценка зимостойкости видов орехов рода *Juglans* в Воронежской области. Лесотехнический журнал. 2019; 9 (1): 85-93. DOI: https://doi.org/10.12737/article_5ca1d51f157301.78715280. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=37424041>.
2. Биганова С. Г., Сухоруких Ю. И., Глинушкин А. П., Пчихачев Э. К. Разработка моделей и оценка мирового сортофонда ореха грецкого по качеству плодов. Новые технологии. 2022; 18 (4): 128-138. DOI: <https://doi.org/10.47370/2072-0920-2022-18-4-128-138>. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=50279848>.
3. Славский В.А. Прогноз расширения границ площадей, пригодных для создания плантаций ореха грецкого в Воронежской области. Лесотехнический журнал. 2018; 6 (4): 129-136. DOI: https://doi.org/10.12737/article_5c1a321c2832e4.03254814. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36574549>.
4. Fregapane G., Ojeda-Amador R.M., Salvador M.D. Virgin walnut (*Juglans regia* L.) oil. Fruit oils: chemistry and functionality / ed. M. Ramadan. Springer, Cham, 2019: 133-147. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-12473-1_5.
5. Danh M., Vu D.C., Lei Z., Sumner L.W., Coggeshall M.V., Lin C. Identification and quantification of phytosterols in black walnut kernels. Journal of Food Composition and Analysis. 2019; 75: 61-69. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2018.09.016>.

6. Paż-Dyderska S., Jagodziński A.M., Dyderski M.K. Possible changes in spatial distribution of walnut (*Juglans regia* L.) in Europe under warming climate. Regional environmental change. 2021; 21: 18. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10113-020-01745-z>.
7. Hassani D., Sarikhani S., Dastjerdi R., Mahmoudi R., Soleimani A., Vahdati K. Situation and recent trends on cultivation and breeding of Persian walnut in Iran. Scientia Horticulturae. 2020; 270: 109369. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109369>.
8. Brennan A. N., Uscola M., Joly R. J., Jacobs D.F. Cold and heat tolerances of hybrids for restoration of the endangered *Juglans cinerea* L. Annals of Forest Science. 2021; 78: 36. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13595-021-01053-4>
9. Kaur B., Garcha K., Sandhu J., Sharma M., Dhatt A. Interspecific hybridization for transfer of hull-less seed trait from Cucurbita pepo to *C. moschata*. Scientific Reports. 2023; 13: 4627. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-023-29935-9>.
10. Wang, Z., Kang, M., Li, J. et al. Genomic evidence for homoploid hybrid speciation between ancestors of two different genera. Nature Communications. 2022; 13: 1987. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41467-022-29643-4>.
11. Khadivvia A., Montazerana A., Rezaeib M., Ebrahimic A. The pomological characterization of walnut (*J. regia* L.) to select the superior genotypes – an opportunity for genetic improvement. Scientia Horticulturae. 2019; 248: 29-33. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.12.054>.
12. Артюхова Л.В., Балапанов И.М., Ульяновская Е.В. Оценка восприимчивости и отбор устойчивых гибридных форм ореха грецкого к бурой пятнистости в Прикубанской зоне садоводства. Плодоводство и виноградарство юга России. 2022; 75 (3): 16-25. DOI: <https://doi.org/10.30679/2219-5335-2022-3-75-16-25>. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=48549506>.
13. Заремук Р.Ш., Артюхова Л.В., Балапанов И.М. Селекционная оценка гибридных форм ореха грецкого. Плодоводство и виноградарство Юга России. 2020; 66 (6): 28-38. DOI: <https://doi.org/10.30679/2219-5335-2020-6-66-28-38>. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44264045>.
14. Wang L., Liu P-F., Zhao H., Zhu G-P., Wuyun T-N. Comparative transcriptome analysis between interspecific hybridization (Huaren apricot ♀ × almond ♂) and intraspecific hybridization (Huaren apricot) during young fruit developmental stage. Scientia Horticulturae. 2018; 240: 397-404. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.06.038>.
15. Мигунова Е.С. Лесная типология и ботаника. Экологическая оценка факторов природной среды. Лесной вестник / Forestry Bulletin. 2020; 24 (4): 65–81. DOI: <https://doi.org/10.18698/2542-1468-2020-4-65-81>. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=43777372>.
16. Slavskiy V.A., Vodolazhsky A.N., Biganova S.G. A comprehensive assessment of the sustainability of nuts of the genus *Juglans* on adaptive features in the Voronezh region. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019; 226: 012016. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/226/1/012016>.
17. Slavskiy V.A. Assessment of economically valuable forms of fruit of the genus *Juglans* for the creation of forest crops in the Voronezh region. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019; 392: 012007. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/392/1/012007>.
18. Соловьева М.В., Залесов С.В., Залесова Е.С., Крекова Я.А., Оплетаяев А.С. Перспективность сортов ели колючей (*Picea pungens* Engelm.) для озеленения северных городов. Вестник БГСХА им. В.П. Филиппова. 2019; 2 (55): 121-129. DOI: <https://doi.org/10.34655/bgsha.2019.55.2.017>. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=38228459>.
19. Slavskiy V., Litovchenko D., Matveev S., Sheshnitsan S., Larionov M. Assessment of biological and environmental factors influence on fire hazard in pine forests: a case study in central forest-steppe of the east european plain. Land. 2023; 12: 103. DOI: <https://doi.org/10.3390/land12010103>.
20. Шевелина И. В., Нуриев Д. Н. Статистическая обработка лесоводственно-таксационной информации в среде *Statistica*. Екатеринбург: УГЛТУ, 2022: 112. ISBN 978-5-94984-840-1. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=49911777>.

References

1. Slavskiy V.A. *Ocenka zimostoykosti vidov orekhov roda Juglans v Voronezhskoy oblasti* [Assessment of winter hardiness of nut species of the genus Juglans in the Voronezh region] / *Lesotekhnicheskij zhurnal [Forestry Engineering journal]*. – 2019. - № 1 (33). – S. 85-93. DOI: 10.12737/article_5ca1d51f157301.78715280 (in Russian).
2. Biganova S. G., Sukhorukikh Yu. I., Glinushkin A. P., Pchikhachev E. K. *Razrabotka modeley i ocenka mirovogo sortofonda orekha gretskogo po kachestvu plodov* [Development of models and assessment of the world walnut variety fund based on fruit quality] *Noviye tekhnologii [New technologies]*. – 2022. – Т. 18, № 4. – S. 128-138. doi.org/10.47370/2072-0920-2022-18-4-128-138 (in Russian).
3. Slavskiy V.A. *Prognoz rasshireniya granits ploshchadey, prigodnykh dlya sozdaniya plantatsii orekha gretskogo v Voronezhskoy oblasti* [Forecast for expanding the boundaries of areas suitable for creating walnut plantations in the Voronezh region] / *Lesotekhnicheskij zhurnal [Forestry Engineering journal]*. – 2018. - № 4 (32). – S. 129-136. DOI: 10.12737/article_5c1a321c2832e4.03254814 (in Russian).
4. Fregapane G., Ojeda-Amador R.M., Salvador M.D. Virgin walnut (*Juglans regia* L.) oil // *Fruit oils: chemistry and functionality* / ed. M. Ramadan. Springer, Cham, 2019. – P. 133-147. DOI: 10.1007/978-3-030-12473-1_5
5. Danh M., Vu D. C., Lei Z., Sumner L. W., Coggeshall M. V., Lin C. Identification and quantification of phytoosterols in black walnut kernels. *J. of Food Compos. Analys.* 2019, 75 61 <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2018.09.016>
6. Paż-Dyderska S., Jagodziński A.M., Dyderski M.K. Possible changes in spatial distribution of walnut (*Juglans regia* L.) in Europe under warming climate. *Regional environmental change*. V.21. - №:1. – 2021. DOI: 10.1007/s10113-020-01745-z
7. Hassani D., Sarikhani S., Dastjerdi R., Mahmoudi R., Soleimani A., Vahdati K. Situation and recent trends on cultivation and breeding of Persian walnut in Iran / *Scientia Horticulturae*. 2020, 270 109369 <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109369>
8. Brennan A. N., Uscola M., Joly R. J., Jacobs D.F. Cold and heat tolerances of hybrids for restoration of the endangered *Juglans cinerea* L. *Annals of Forest Science* (2021) 78: 36 <https://doi.org/10.1007/s13595-021-01053-4>
9. Kaur B., Garcha K., Sandhu J., Sharma M., Dhath A. Interspecific hybridization for transfer of hull-less seed trait from *Cucurbita pepo* to *C. moschata*. *Scientific Reports*. No 13. - 2023, 4627. DOI: 10.1038/s41598-023-29935-9
10. Genomic evidence for homoploid hybrid speciation between ancestors of two different genera. Z. Wang [et all.] *Nature Communications*. Vol. 13, Article number: 1987 (2022). DOI: 10.1038/s41467-022-29643-4
11. Khadivvia A., Montazerana A., Rezaeib M., Ebrahimic A. The pomological characterization of walnut (*J. regia* L.) to select the superior genotypes – An opportunity for genetic improvement. *Scientia Horticulturae*. – 2019, 248. – p. 29-33. doi.org/10.1016/j.scienta.2018.12.054
12. Artyukhova L.V., Balapanov I.M., Ulyanovskaya E.V. *Otsenka vospriimchivosti i otbor ustoychivyykh gibridnykh form orekha gretskogo k buroy pyatnistosti v Prikubanskoy zone sadovodstva* [Assessment of susceptibility and selection of resistant hybrid forms of walnut to brown spot in the Kuban horticultural zone]. *Plodovodstvo i vinogradarstvo yuga Rossii [Fruit growing and viticulture in the south of Russia]*. No: 75 (3) – 2022. – pp. 16-25. DOI: 10.30679/2219-5335-2022-3-75-16-25 (in Russian).
13. Zaremuk R.SH., Artyukhova L.V., Balapanov I.M. *Selektsionnaya ocenka gibridnykh form orekha gretsko-go* [Breeding assessment of hybrid forms of walnut]. *Plodovodstvo i vinogradarstvo Yuga Rossii [Fruit growing and viticulture of the South of Russia]*. - № 66 (6), 2020. – pp. 28-38. DOI 10.30679/2219-5335-2020-6-66-28-38 (in Russian).
14. Wang L., Liu P-F., Zhao H., Zhu G-P., Wuyun T-N. Comparative transcriptome analysis between interspecific hybridization (Huaren apricot ♀ × almond ♂) and intraspecific hybridization (Huaren apricot) during young fruit developmental stage. *Scientia Horticulturae*. - 2018, 240, pp 397-404 <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.06.038>
15. Migunova E.S. *Lesnaya tipologiya i botanika. Ekologicheskaya otsenka faktorov prirodnoy sredy* [Forest typology and botany. Ecological assessment of natural factors] // *Lesnoy vestnik [Forest Bulletin]*. – 2020. - Т. 24. - № 4. - p. 65-81. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-4-65-81 (in Russian).

16. Slavskiy V. A., Vodolazhsky A. N., Biganova S. G. A comprehensive assessment of the sustainability of nuts of the genus *Juglans* on adaptive features in the Voronezh region. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. International Scientific and Practical Conference. – 2019. 226 012016. doi:10.1088/1755-1315/226/1/012016

17. Slavskiy V. A. Assessment of economically valuable forms of fruit of the genus *Juglans* for the creation of forest crops in the Voronezh region. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. – 2019. 392 012007 doi:10.1088/1755-1315/392/1/012007

18. Solov'yeva M.V., Zalesov S.V., Zalesova Ye.S., Krekova YA.A., Opletayev A.S. *Perspektivnost' sortov yeli kolyuchey (Picea Pungens Engelm.) dlya ozeleneniya severnykh gorodov* [Prospects of prickly spruce varieties (*Picea Pungens Engelm.*) for landscaping northern cities]. *Vestnik BGSKHA im. V.R. Filippova* [Bulletin of the BSAA named after V.R. Filippova]. – No: 2 (55). – 2019. – pp. 121-129. DOI: 10.34655/bgsha.2019.55.2.017 (in Russian).

19. Slavskiy V., Litovchenko D., Matveev S., Sheshnitsan S., Larionov M. Assessment of Biological and Environmental Factors Influence on Fire Hazard in Pine Forests: A Case Study in Central Forest-Steppe of the East Euro-pean Plain. *Land*. 2023, 12, 103. DOI: <https://doi.org/10.3390/land12010103>.

20. Shevelina I. V., Nureyev D. N. *Statisticheskaya obrabotka lesovodstvenno-taksatsionnoy informatsii v srede STATISTICA* [Statistical processing of forestry and taxation information in the STATISTICA environment]. *Yekaterinburg: UGLTU*, 2022. – 112 p. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=49911777> (in Russian).

Сведения об авторах

✉ *Славский Василий Александрович* – доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры лесоводства, лесной таксации и лесоустройства, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», ул. Тимирязева, 8, г. Воронеж, 394087, Российская Федерация, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6579-0344>; e-mail: slavskiyva@yandex.ru.

Славская Галина Ивановна – преподаватель кафедры иностранных языков, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», ул. Тимирязева, 8, г. Воронеж, 394087, Российская Федерация, ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-2784-9133>, e-mail: galinas2401@mail.ru.

Information about the authors

✉ *Vasily A. Slavskiy* – DSc (Agricultural Sciences), Professor of the Department of Forestry, Forest Taxation and Forest Management, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Timiryazev str., 8, Voronezh, 394087, Russian Federation, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6579-0344>, e-mail: slavskiyva@yandex.ru.

✉ *Galina Iv. Slavskaya* – Teacher of the Department of Foreign Languages, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Timiryazev str., 8, Voronezh, 394087, Russian Federation, ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-2784-9133>, e-mail: galinas2401@mail.ru.

✉- Для контактов/Corresponding author