

УДК 582.628.2 (581.821.1)

ИНДЕКС ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ПЛОЩАДИ ТРАНСПИРАЦИИ КАК ПОКАЗАТЕЛЬ АДАПТАЦИИ ИНТРОДУЦИРОВАННЫХ ВИДОВ РОДА *JUGLANS* L.

Юлия Константиновна Виноградова, Виктория Владимировна Соколова,
Степан Александрович Сенатор

Главный ботанический сад им. Н.В. Цицина РАН,
127276, Россия, г. Москва, ул. Ботаническая, 4
E-mail: soka22@mail.ru

Исследование направлено на количественную оценку адаптационного потенциала интродуцированных видов рода *Juglans* по морфометрическим характеристикам устьичного аппарата. В качестве индикатора адаптации к условиям интродукции использовали индекс относительной площади транспирации (*Iot*), который определяется как отношение суммарной площади устьиц к общей площади листовой поверхности. Объектами исследования являлись три таксона, культивируемые в Главном ботаническом саду им. Н.В. Цицина РАН (г. Москва): *J. regia* L., *J. mandshurica* Maxim. и *J. nigra* L. Наименьшее число устьиц отмечено у *J. regia* (136-165 шт./мм²), у *J. mandshurica* число устьиц в полтора раза выше – 212 шт./мм², а у *J. nigra* – 263 шт./мм², что в 1,8 раза выше, чем у *J. regia*.

Самыми крупными устьицами характеризуются образцы *J. regia* (668-752 мкм²), далее по убыванию следует *J. mandshurica* (653 мкм²), и, наконец, *J. nigra* (451 мкм²). Эти результаты подтверждают обратную зависимость между размером устьиц и их числом (коэффициент корреляции – 0,82). Наибольшие значения *Iot* отмечены у инвазионного *J. mandshurica* (13,9%), минимальные – у наименее устойчивых генотипов *J. regia* (9,6-12,2 %). Показано, что *Iot* надёжно отражает уровень физиологической устойчивости видов к почвенно-климатическим условиям г. Москвы. Полученные результаты подтверждают возможность использования индекса относительной площади транспирации как селекционного критерия раннего отбора адаптивных генотипов орехоплодных культур в условиях интродукции.

Ключевые слова: орехоплодные культуры; устьица; транспирация; интродукция; адаптация

Введение

Виды рода *Juglans* L. обладают комплексом полезных свойств, что определяет их высокую хозяйственную ценность (Хашир и др., 2021; Емельянова и др., 2024). В связи с востребованностью ореха грецкого ареал его культивирования становится шире, включая более северные регионы (Зубков и др., 2024). Наличие зимостойких форм и видов *Juglans* в средней полосе подтверждается данными ряда исследователей (Славский и др., 2017, Супрун и др., 2022).

Лист, как один из наиболее пластичных органов растений, является индикатором адаптационных возможностей вида к условиям окружающей среды (Zhou et al., 2021; Talebi et al., 2023). Многочисленные экспериментальные данные свидетельствуют о связи микроморфологических структур листьев с адаптацией различных видов растений к разным экологическим условиям (Виноградова и др., 2020; Ganeva, Uzunova, 2010; Akhta et al., 2017; Calvo et al., 2020).

Прогнозирование адаптационных возможностей актуально для оценки успешности интродукционных и реинтродукционных работ. На основании проведенных исследований ранее была выдвинута гипотеза, согласно которой значение индекса относительной площади транспирации (*Iot*) служит индикатором приспособленности растений к условиям среды (Виноградова и др., 2020). В связи с этим для изучения адаптации видов рода *Juglans* к условиям средней полосы были исследованы образцы этого рода, культивируемые на экспозициях лаборатории природной флоры Главного ботанического сада им. Н.В. Цицина РАН:

J. regia L. (Секция *Juglans*). Древняя плодовая культура, имеет три генетических центра: китайский, среднеазиатский и переднеазиатский (Бурда, Конякин, 2018). По нашим наблюдениям на экспозиции орех грецкий способен переносить без повреждений зимние понижения температуры до $-28,0^{\circ}\text{C}$. Температура ниже -30°C приводит к обмерзанию однолетней или многолетней древесины, а неустойчивые экземпляры выпадают полностью.

J. nigra L. (Секция *Rhysocaryon* Dode). Первичный ареал вида принадлежит к североамериканскому генетическому центру. Светолюбивый слабоконкурентный лесной вид, завезённый в Европу из Северной Америки в начале XVII в. В Европе играет важную экономическую роль в агролесомелиоративных системах, в качестве декоративного дерева для парков и аллей, для восстановления и рекультивации деградированных земель. Самый известный в мире аллелопатический вид благодаря веществу юглону, содержащемуся во всех частях дерева (Nicolescu et al., 2020). На экспозиции переносит без повреждений морозы, по крайней мере, до $-30,0^{\circ}\text{C}$. Благодаря позднему цветению, плодоношение происходит ежегодно. Лабораторная всхожесть семян составляет не менее 90%, но самосев не отмечен.

J. mandshurica Maxim. (Секция *Cardiocaryon* Dode). Первичный ареал вида принадлежит к китайско-японскому генетическому центру (Бурда, Конякин, 2018). На экспозиции лаборатории природной флоры зимостоек, переносит морозы до $-30,0^{\circ}\text{C}$. Молодые побеги периодически подмерзают от весенних заморозков, но быстро восстанавливаются из спящих почек. Активно расселяется по территории самосевом.

Цель работы – определить возможность оценки адаптации видов рода *Juglans* к условиям интродукции по морфометрическим признакам устьичного аппарата и оценить перспективность использования индекса относительной площади транспирации (*Iot*) для отбора устойчивых генотипов на ранних стадиях развития видов рода *Juglans*.

Объекты и методы исследования

Материалом для исследования послужили виды рода *Juglans*, выращиваемые в Главном ботаническом саду им. Н.В. Цицина РАН (далее – ГБС РАН, г. Москва): *J. regia* (четыре образца разного географического происхождения, каждый образец представлен одним экземпляром – 211, 236, 251, 328), *J. nigra* (1 образец, представленный двумя экземплярами), *J. mandshurica* (1 образец, представленный двумя экземплярами).

Формирование культурной популяции *J. regia* было начато известным российским ботаником А.К. Скворцовым в 1977 г. и продолжалось до начала 1990-х гг. Исходный материал привлечён из различных регионов бывшего Советского Союза, в том числе из Беларуси, Киргизии, Таджикистана, Украины, а также из ряда регионов России, в том числе из г. Москвы (Супрун и др., 2022). Параметры изученных деревьев *J. regia* следующие: образец 211 – высота 3 м, диаметр ствола 6 см; образец 236 – высота 7 м, диаметр ствола 15 см; образец 251 – высота 6 м, диаметр ствола 15 см; образец 328 – высота 7 м, диаметр ствола 16 см. Визуальные наблюдения показывают, что образец 211 является наименее зимостойким – в морозную зиму 2017 г., когда температура в январе опустилась до $-29,9^{\circ}\text{C}$, подмёрз до многолетней древесины, затем восстановился порослью. Образцы 236 и 328 характеризуются более высокой зимостойкостью – после зимы 2017 г. обмёрзла только часть однолетних приростов. Образец 251 оценен как наиболее устойчивый – в 2017 г. после морозной зимы и холодного лета, когда многие деревья ореха грецкого сильно обмерзли или даже выпали, данный образец цвёл и завязал единичные плоды.

Посевной материал *J. nigra* получен из США в 1989 г. из г. Анн-Арбор, штат Мичиган. Листья для анализа собраны с двух деревьев высотой 17 м с диаметрами стволов 25 и 28 см.

Деревья *J. mandshurica* произрастают на экспозиции Дальнего Востока лаборатории природной флоры ГБС РАН. Растения привезены в 1950 г. из Анучинского лесхоза Приморского края. Листья для анализа собраны с двух деревьев высотой 20 м с диаметрами стволов 30 и 50 см.

Климат г. Москвы характеризуется тёплым летом, умеренно-холодной зимой с устойчивым снежным покровом и хорошо выраженными переходными сезонами. Среднемесячная температура воздуха самого теплого месяца (июля) изменяется от 17°C до 18,5°C, самого холодного месяца (января) от -10°C до -11°C. Тёплый период длится в среднем 206-216 дней. Москва относится к зоне достаточного увлажнения. Годовая сумма осадков в среднем 550...650 мм. Гидротермический коэффициент на территории 1,5-1,7, что говорит о достаточной влагообеспеченности. Устойчивый снежный покров образуется обычно в конце ноября. Ветровой режим города характеризуется преобладанием северо-западных, западных и северных ветров в тёплый период и юго-западных, южных и западных – в холодный. Сход устойчивого снежного покрова наблюдается на территории 3-8 апреля, он почти совпадает с переходом среднесуточной температуры воздуха через 0°C. Сумма положительных температур воздуха за период активной вегетации растений составляет 1800-1900 градусов. Период активной вегетации длится в среднем около 130 дней. Сумма осадков за период активной вегетации составляет в среднем 250-270 мм.

Год отбора материала для исследований (2024 г.) характеризовался хорошей обеспеченностью осадками, температура была близкой к средним многолетним данным. Вегетационный период был достаточно обеспечен как теплом, так и осадками для нормального роста и развития изученных видов. Зимой складывались благоприятные условия для перезимовки видов рода *Juglans*, температура воздуха не опускалась ниже -27°C. Весной 9 мая ночная температура опускалась до -1,4°C, что привело к обмерзанию весенних побегов у всех изученных видов и мужских соцветий *J. regia*. В дальнейшем побеги восстановились из спящих почек, а *J. regia* практически не плодоносил.

Для изучения особенностей устьичного аппарата использовали метод получения лаковых реплик со свежих листьев по Полаччи (Третьяков, 1990); в качестве вещества, образующего плёнку, использовали бесцветный лак. Пробы для анализа отбирали в конце периода вегетации (август) 2024 г., когда листовые пластинки полностью завершили рост. Собирали по 5 листьев с каждого дерева из средней части побегов с северной стороны кроны на уровне 1,5 м от земли. Число устьиц (n) подсчитывали в 5 полях зрения с помощью микроскопа Armed XZS-2101 (страна производства – Китай) при увеличении $\times 200$ (размер поля зрения при этом увеличении составляет 939546,65 μm^2). Анализировали следующие микроморфологические признаки: площадь одного устьица (S_{yc}), число устьиц на единицу площади, общая транспирационная площадь (средняя площадь одного устьица, умноженная на число устьиц в поле зрения микроскопа, nS). Для определения средней площади устьица на каждом листе измеряли площадь 50 устьиц. Измерения морфометрических признаков производили в программе AutoCAD.

Относительную площадь транспирации (Iot , Index the relative area of transpiration) определяли, как отношение суммарной площади устьиц к общей площади листовой поверхности по нижеприведенной формуле, где $\sum S$ – сумма площадей всех исследованных полей зрения.

$$Iot = \frac{\sum nS}{\sum S} 100\%$$

Статистический анализ проводили с использованием программы PAST 3.15. Различия между образцами устанавливали с помощью теста Tukey-Kramer ($\alpha = 0,05$). Для выявления корреляции между размерами устьиц и их числом использовали коэффициент корреляции Спирмена ($p < 0,05$).

Результаты и их обсуждение

Внутри организменная изменчивость численности устьиц оказалась невелика: среднее число устьиц на разных листьях одного растения варьировало у образца *J. regia* 211 – от 121 до 170, у образца *J. regia* 236 – от 115 до 160, у образца *J. regia* 251 – от 120 до 195, у образца *J. regia* 328 – от 127 до 188, у *J. mandshurica* – от 163 до 248, у *J. nigra* – от 244 до 278 устьиц в пересчёте на мм². Невысокий коэффициент вариации признака как у листьев с одного экземпляра, так и у экземпляров, принадлежащих к одному образцу (10-15%) позволил усреднить данные и сравнивать общую выборку по отдельным видам.

Наименьшее число устьиц отмечено у всех четырёх образцов *J. regia* (136-165 устьиц/мм²). У *J. mandshurica* число устьиц в полтора раза выше – 212 шт./мм², а у *J. nigra* – в 1,8 раза выше, чем у *J. regia* (по 263 шт./мм²). Сходную закономерность отмечали Sorokopudov et. all (2015). Самыми крупными устьицами характеризуются образцы *J. regia* (668-752 мкм²), далее по убыванию следует *J. mandshurica* (653 мкм²) и, наконец, самые мелкие устьица характерны для *J. nigra* (451 мкм²) (табл. 1, рис. 1).

Таблица 1

Параметры устьичного аппарата изученных видов рода *Juglans* L.

Table 1

Parameters of the stomatal apparatus of the studied species of the genus *Juglans* L.

Образец / Sample	Число устьиц на мм ² / Number of stomata per mm ²				Площадь одного устьица, мкм ² / Area of one stomata, μm ²				Общая площадь транспи- рации, мкм ² / Total transport area, μm ²	Iot, %
	M±m	in	ax	V	M±m	in	ax	V		
<i>J. regia</i> 211	143,1±3,9	12	93	4	668,4±7,6	51	173	0	95648	0,6
<i>J. regia</i> 236	136,5±3,8	9	72	5	745,1±10,1	07	292	6	101320	0,1
<i>J. regia</i> 251	165,2±5,2	12	05	7	735,5±9,0	47	346	3	121504	2,2
<i>J. regia</i> 328	153,8±4,2	14	99	5	751,8±8,7	28	301	2	115626	1,6
<i>J. nigra</i>	263,1±5,7	99	53	3	451,4±4,5	34	54	0	118763	1,9
<i>J. mandshurica</i>	212,5±5,1	45	58	4	652,6±7,3	40	105	3	138677	3,9

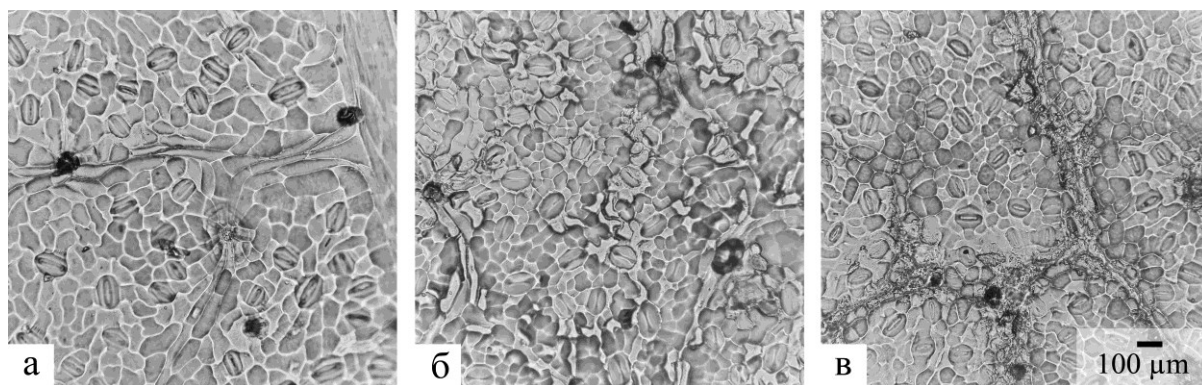


Рис. 1 Устьица изученных образцов рода *Juglans* L.: а – *J. regia*; б – *J. mandshurica*; в – *J. nigra*. Длина отрезка 100 мкм

Fig. 1 Stomata of the studied specimens of the genus *Juglans* L.: a – *J. regia*; b – *J. mandshurica*; c – *J. nigra*. The length of the segment is 100 μm

Средняя площадь устьиц снижается от 750 мкм² до 450 мкм², то есть почти вдвое, в то время как число устьиц возрастает от 140 шт./мм² до 260 шт./мм², также почти вдвое (табл. 1). Между площадью устьиц и их числом установлена статистически значимая сильная отрицательная корреляция, при этом коэффициент корреляции достигает -0,82. Таким образом, как и в случае с ранее изученными видами, подтверждена обратная зависимость размера устьиц и их числа: чем мельче устьица, тем больше их площадь. Отрицательная корреляция этих двух параметров отражена на рис. 2.

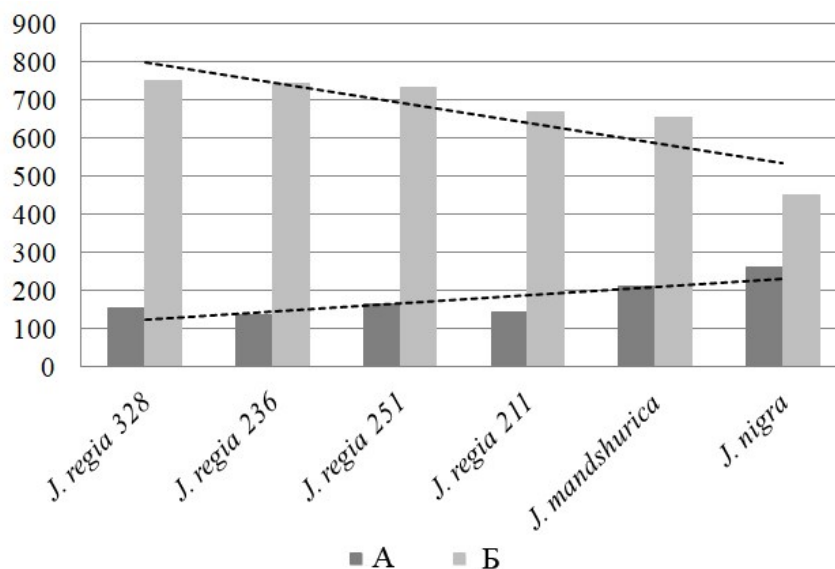


Рис. 2 Зависимость между размером устьиц и их числом у таксонов рода *Juglans* L.
А – среднее число устьиц на мм², Б – средняя площадь устьиц, мкм²

Fig. 2 Relationship between stomatal size and number in taxa of the genus *Juglans* L.
A – average number of stomata per mm², B – average stomatal area, μm^2

В настоящее время в генетико-селекционной практике используют множество селекционных индексов (Вилунов и др., 2021; Сафонова, Аниськов, 2022). Индексы, объединяющие несколько количественных признаков, демонстрируют преимущества перед использованием абсолютных величин, когда они выявляют закономерности, незаметные при анализе отдельных показателей, или обладают меньшей изменчивостью (Филиппченко, Лепин, 1934). В работе Солтани (2018) показано, что

применение инструментальных и химических технологий при оценке адаптационных возможностей объектов интродукции позволит экономить время, сократить период многолетних наблюдений и связанные с этим материальные затраты. Причём результаты будут относиться к конкретному образцу (генотипу), когда методом отбора идет выявление устойчивых растений и отсеиваются неустойчивых.

Варьирование числа и площади устьиц по отдельности ограничивает их применение для оценки адаптационных возможностей растений. Однако вычисленный индекс относительной площади транспирации (*Iot*) достаточно четко отражает степень устойчивости исследуемых образцов. Наибольший *Iot* (13,9%) зафиксирован у *J. mandshurica* – вида, активно натурализующегося и расселяющегося по территории ГБС РАН.

Результаты исследования Muradoğlu et al. (2011), свидетельствуют о том, что параметры устьиц (плотность и размер) значительно различаются у генотипов *J. regia* и связаны с процессом адаптации деревьев. В нашей работе анализ *J. regia* по отдельным образцам (генотипам) выявил корреляцию между *Iot* и устойчивостью. Слабоустойчивый образец *J. regia* 211 показал самый низкий *Iot* (9,6%). Устойчивые образцы продемонстрировали более высокие значения *Iot*: *J. regia* 236 – 10,1%, *J. regia* 328 – 11,6%. Самый высокоустойчивый образец *J. regia* 251, плодоносивший в 2017 году, когда многие растения не зацвели, достиг максимального для вида показателя *Iot* = 12,2%.

Следовательно, более высокий показатель *Iot* характеризует образцы (генотипы) таксонов рода *Juglans*, успешно адаптированные к условиям г. Москвы. В практическом плане это позволит отбирать наиболее устойчивые генотипы на ранних стадиях развития сеянцев, не дожидаясь их вступления в генеративную фазу, отбраковывая образцы с низким показателем *Iot*.

Выводы

У таксонов рода *Juglans* численность устьиц увеличивается в ряду *J. regia* → *J. mandshurica* → *J. nigra*. Площадь устьиц возрастает в обратном порядке: *J. nigra* → *J. mandshurica* → *J. regia*. Высокая достоверная отрицательная корреляция (коэффициент корреляции -0,82) данных признаков подтверждает ранее выявленную на других видах обратную зависимость между численностью и площадью устьиц. Индекс относительной площади транспирации (*Iot*) достаточно четко отражает степень адаптации таксонов рода *Juglans*. Наибольший *Iot* отмечен у инвазионного *J. mandshurica* (13,9%). У образцов *J. regia*, в разной степени подмерзающих в морозные зимы индекс ниже – 9,6-12,2%. Устойчивый, но пока не расселяющийся по территории Сада *J. nigra* характеризуется схожим с *J. regia* *Iot* – 11,9%.

Выявленная среди образцов *J. regia* зависимость между устойчивостью генотипа и его *Iot* показывает перспективность использования данного индекса при проведении селекционной работы. Использование этого показателя позволит отбирать наиболее устойчивые генотипы на ранних стадиях развития сеянцев.

Благодарности/Acknowledgements

Работа выполнена в рамках государственного задания Главного ботанического сада им. Н.В. Цицина Российской академии наук по теме «Биологическое разнообразие природной и культурной флоры: фундаментальные и прикладные вопросы изучения и сохранения» № 122042700002-6.

Литература / References

Бурда Р.И., Конякин С.Н. Спонтанное расселение видов рода *Juglans* L. в лесах и парках Киева // Российский журнал биологических инвазий. 2018. Т. 11. № 1. С. 2–17. [Burda R.I., Konyakin S.N. Spontaneous dispersal of species of the genus *Juglans* L. in the forests and parks of Kiev // Russian Journal of Biological Invasions. 2018. 11(1):2–17. (In Russian)]

Вилунов С.Д., Сидоренко В.С., Степанова Н.А., Шанорова М.А. Использование вегетационных индексов в селекции пшеницы и проса // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2023. Вып. 5. С. 18–34. <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2023-5-18-34>.

[Vilyunov S.D., Sidorenko V.S., Stepanova N.A., Shaporova M.A. Use of vegetation indices in wheat and millet breeding // Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy. 2023. 5:18–34. (In Russian)]

Виноградова Ю.К., Григорьева О.В., Вергун Е.Н. Строение устьичного аппарата видов рода *Symphyotrichum* Nees как дополнительный показатель их инвазивности // Российский журнал биологических инвазий. 2020. Т. 13. № 4. С. 34–44.

[Vinogradova Yu.K., Grigor'eva O.V., Vergun E.N. The structure of the stomatal apparatus of species of the genus *Symphyotrichum* Nees as an additional indicator of their invasiveness // Russian Journal of Biological Invasions. 2020. 13:34–44. (In Russian)]

Емельянова О.Ю., Цой М.Ф., Масалова Л.И. Аспекты интродукции и перспективы использования представителей рода *Juglans* L. в центральной России // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2024. Т. 185. № 3. С. 18–26. doi: 10.30901/2227-8834-2024-3-18-26.

[Emel'yanova O.Yu., Tsoy M.F., Masalova L.I. Aspects of introduction and prospects for the use of representatives of the genus *Juglans* L. in central Russia // Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding. 2024. 185(3):18–26. (In Russian)]

Зубков А.В., Антоненко В.В., Самощенко Е.Г. Особенности цветения и формирования плодов *Juglans regia* L. с латеральным типом плодоношения в условиях Нечерноземной зоны средней полосы России // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2024. № 3. С. 22–33. DOI: 10.26897/0021-342X-2024-3-22–33.

[Zubkov A.V., Antonenko V.V., Samoshchenkov E.G. Features of flowering and fruit formation of *Juglans regia* L. with a lateral type of fruiting in the conditions of the Non-Chernozem zone of central Russia // Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy. 2024. 3:22–33. (In Russian)]

Сафонова И.В., Аниськов Н.И. Значимость комплексной оценки селекционных индексов и параметров стрессоустойчивости сортов озимой ржи // Аграрный вестник Урала. 2022. № 06 (221). С. 16–26. DOI: 10.32417/1997-4868-2022-221-06-16-26 [Safonova I.V., Anis'kov N.I. The importance of a comprehensive assessment of selection indices and stress resistance parameters of winter rye varieties // Agrarian Bulletin of the Urals. 2022. 06(221):16–26. (In Russian)]

Славский В.А., Тимащук Д.А., Мироненко А.В. Районирование ореха грецкого в Воронежской области по зонам устойчивости к неблагоприятным факторам // Лесотехнический журнал. 2017. Т. 7. № 3 (27). С. 143–150. DOI: 10.12737/article_59c224b73817f1.05901224.

[Slavskij V.A., Timashchuk D.A., Mironenko A.V. Regionalization of walnuts in the Voronezh region according to zones of resistance to adverse factors // Forestry Engineering Journal. 2017. 7.3.(27):143–150. (In Russian)]

Солтани Г.А., Маляровская В.И. Статистические методы изучения устойчивости интродуцентов // Сборник научных трудов Государственного Никитского ботанического сада. 2018. Том 147. С. 155–156.

[Soltani G.A., Malyarovskaya V.I. Statistical methods for studying the resistance of introduced species // Works of the State Nikita Botanical Gardens. 2018. 147:155–156. (In Russian)]

Супрун И.И., Степанов И.В., Соколова В.В., Аль-Накиб Е.А. Анализ генетического разнообразия селекционно-ценных форм ореха грецкого из коллекции Главного ботанического сада им. Н.В. Цицина РАН с использованием SSR-маркеров // Садоводство и виноградарство. 2022. № 6. С. 16–23. doi: 10.31676/0235-2591-2022-6-16-23.

[Suprun I.I., Stepanov I.V., Sokolova V.V., Al'-Nakib E.A. Analysis of the genetic diversity of valuable breeding forms of walnut from the collection of the N.V. Tsitsin Main Botanical Garden of the Russian Academy of Sciences using SSR markers // Horticulture and Viticulture. 2022. 6:16–23. (In Russian)]

Третьяков Н.Н. Практикум по физиологии растений. М.: Агропромиздат, 1990. 271 с.

[Tret'yakov N.N. Practical training in plant physiology. M.: Agropromizdat, 1990. 271 p. (In Russian)]

Филипченко Ю.А., Ленин Т.К. Генетика мягких пшениц. М.: Сельхозгиз, 1934. 262 с.

[Filipchenko Yu.A., Lepin T.K. Genetics of soft wheat. M.: Selkhozgiz, 1934. 262 c. (In Russian)]

Хашир А.А., Хашир Б.О., Ставцев А.Н. Эффективность производства орехоплодной продукции в контексте применения системы удобрений // Экономика, труд, управление в сельском хозяйстве. 2021. № 2 (71). С. 22–29. doi: 10.33938/212-22. [Khashir A.A., Khashir B.O., Stavtsev A.N. Efficiency of production of nut products in the context of the application of a fertilizer system // Economy, Labor, Management in Agriculture. 2021. 2(71):22–29. (In Russian)]

Akhta R.N., Hameed M., Awaz F., Ahmad K.S.H., Hamid A., Segovia-Salcedo C., Shahnaz M.M. Leaf anatomical and biochemical adaptations in *Typha domingensis* Pers. ecotypes for salinity tolerance // Botanical Sciences. 2017. Vol. 95. No 4. P. 807–821. DOI:10.17129/botsci.886.

Calvo C.R., Pérez Reyes C.M., Armas I.A., Tamargo A.P. Caracterización de los estomas en la especie *Juglans jamaicensis* ssp. *insularis* (Griseb.) H. Schaarschm. (nogal del país.) // Revista Cubana de Ciencias Forestales. 2020. Vol. 8. No 1. P. 122–128.

Ganeva T., Uzunova K. Leaf epidermis structure in *Amelanchier ovalis* Medic. (Rosaceae) // Biotechnology & Biotechnological Equipment. 2010. Vol. 24. P. 36–38. DOI:10.1080/13102818.2010.10817806.

Nicolescu V.N., Rédei K., Vor T., Bastien J.C., Brus R., Bencat' T., Dodan M., Cyjetkovic B., Andrasev S., Nicola Porta L., Lavnyy V., Petkova K., Peric S., Bartlett D., Hernea C., Michal Stefancik P., Mataruga M., Podrazsky V., Sfecla V., Stefancik I. A review of black walnut (*Juglans nigra* L.) ecology and management in Europe // Trees. 2020. Vol. 34. P. 1087–1112. DOI:10.1007/s00468-020-01988-7.

Muradoğlu F., Gündoğdu M. Stomata size and frequency in some walnut (*Juglans regia*) cultivars // International Journal of Agriculture & Biology. 2011. Vol. 13. P. 1011–1015.

Sorokopudov V.N., Kuznetsova T.A., Shlapakova S.N., Nguyen T.C. Morpho-anatomical and ecological features of the species of the genus *Juglans* L. in the conditions of

Belgorod Region // ISJ Theoretical & Applied Science. 2015. Vol. 3. No 23. P. 72–82. <http://dx.doi.org/10.15863/TAS.2015.03.23.15>

Talebi S.M., Matsyura A., Behzadpour Sh., Tabaripour R. Intraspecific Anatomical Study of *Salvia limbata* C. A. Mey. (Lamiaceae) in Iran // Iranian Journal of Science. 2023. Vol. 47. No 2. P. 347–357. DOI: 10.1007/s40995-023-01422-w.

Zhou Z., Su P., Shi R., Yang J., Wu X., Zhang H. Leaf and canopy photosynthesis of four desert plants: considering different photosynthetic organs // Photosynthesis Research. 2021. Vol. 151. P. 265–277. <https://doi.org/10.1007/s11120-021-00884-6>.

Статья поступила в редакцию 26.12.2025 г.

Vinogradova Yu.K., Sokolova V.V., Senator S.A. Index of relative transpiration area as an indicator of adaptation of introduced *Juglans* taxa // Plant Biology and Horticulture: theory, innovation. 2026. № 1 (178). P. 87-95

The study was aimed at quantitatively assessing the adaptive potential of introduced species of the genus *Juglans* based on the morphometric characteristics of the stomatal apparatus. The index of relative transpiration area (*Iot*), defined as the ratio of the total stomatal area to the total leaf surface area, was used as an indicator of adaptation to the conditions of introduction. The objects of the study were three taxa cultivated in the N.V. Tsitsin Main Botanical Garden of the Russian Academy of Sciences (Moscow): *J. regia* L., *J. mandshurica* Maxim. and *J. nigra* L. The smallest number of stomata was observed in *J. regia* (136-165 stomata/mm²), in *J. mandshurica* the number of stomata is one and a half times higher – 212 stomata/mm², and in *J. nigra* – 263 stomata/mm², which is 1,8 times higher than that of *J. regia*. The largest stomata were observed in *J. regia* samples (668-752 μm²), followed by *J. mandshurica* (653 μm²) and *J. nigra* (451 μm²) in descending order. These results confirm the inverse relationship between stomatal size and their number (correlation coefficient – 0.82). The highest *Iot* values were observed in invasive *J. mandshurica* (13.9%), while the lowest were found in the least resistant genotypes of *J. regia* (9.6-12.2%). It was shown that *Iot* reliably reflects the level of physiological resistance of species to the soil and climatic conditions of Moscow. The obtained results confirm the possibility of using the relative transpiration area index as a selection criterion for the early selection of adaptive genotypes of nut crops under introduction conditions.

Key words: nut crops; stomata; transpiration; introduction