

Оригинальная статья

УДК 634.032.5; 581.58; 630.24:631.62

<https://doi.org/10.26897/1997-6011-2026-3-136-144>



АНАЛИЗ РОСТА И ФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ГИБРИДНОЙ ФОРМЫ ДУБА В ЗАСУШЛИВЫХ УСЛОВИЯХ

С.Н. Крючков¹, А.В. Солонкин², А.С. Соломенцева^{3✉},
С.А. Егоров⁴, А.К. Романенко⁵, Д.А. Горбушова⁶

^{1,2,3,4,5,6} Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения
Российской академии наук; г. Волгоград, Российская Федерация

¹ kryuchkovs@vfanc.ru; ORCID0000-0001-8338-6460

² mishamax73@mail.ru; ORCID0000-0002-1576-7824

³ alexis2425@mail.ru *ORCID0000-0002-5857-1004

⁴ egorov-sa@vfanc.ru; ORCID0000-0001-8234-7355

⁵ romanenko-ak@vfanc.ru; ORCID0000-0002-6705-6135

⁶ gorbushova-d@vfanc.ru; ORCID0009-0006-4978-4143

Аннотация. Цель исследования: изучение эффективности межэкотипического скрещивания дуба черешчатого с использованием Ольховского экотипа как источника ценных наследственных признаков. Объектами исследования послужили плюсовые деревья Чапурниковского (Красноармейский район Волгоградской области) и Ольховского (Ольховский район Волгоградской области) экотипов. Актуальность исследования обусловлена необходимостью создания высокопродуктивных и устойчивых форм дуба для лесоразведения в условиях засушливого региона. Проведены исследования на маточной лесосеменной плантации площадью 3,5 га. Методы исследования включали биометрический анализ, рентгенографию семян с помощью передвижной рентгеновской установки ПРДУ-2, оценку физиологических показателей, дисперсионный анализ и статистическую обработку полученных данных. Выявленный гетерозисный эффект в ходе исследований был отмечен у гибридной формы, которая превосходила контрольные образцы по высоте и диаметру ($t = 2,8$ и $2,4$ соответственно). Диаметр ствола гибридной формы превысил показатели контроля на 15% (1,35 см у контроля и 1,55 см у гибрида). Вододерживающая способность листьев гибрида составила 43,5-55,0% от начальной массы, что сравнимо с родительскими формами. Интенсивность транспирации гибрида (387 мг/г/час) оказалась на 16% ниже, чем у Чапурниковского экотипа (463 мг/г/час) и на 19% выше, чем у Ольховского (326 мг/г/час). Установлено преобладающее влияние материнского растения на развитие гибрида (55% вариативности фенотипических характеристик), проведенные исследования показали высокую однородность посадочного материала у *Q. robur* (Ольховский экотип) ($C_v < 15\%$). Рентгенографическое исследование позволило выявить внутренние дефекты желудей и определить качество посевного материала, а также установить влияние повреждений на дальнейшее состояние семенного материала. Полученные результаты имеют важное значение для развития селекционного семеноводства и создания устойчивых лесных культур в аридных регионах. Практическая значимость работы определяется возможностью использования разработанных подходов для создания высокопродуктивных насаждений дуба в условиях засушливого климата.

Работа выполнена по теме Государственного задания FNFE-2025-0009 «Создание новых генотипов, сортов, форм древесных, кустарниковых, культурных растений с высокоценными признаками продуктивности, качества, устойчивостью к био- и абиострессорам с использованием классических и современных методов селекции, новые инновационные технологии в питомниководстве и семеноводстве, для решения задач по предотвращению деградации и опустынивания агроландшафтов в условиях изменяющегося климата.»

Ключевые слова: дуб черешчатый, селекция, рост, развитие, засухоустойчивость

Формат цитирования: Крючков С.Н., Солонкин А.В., Соломенцева А.С., Егоров С.А., Романенко А.К., Горбушова Д.А. Анализ роста и физиологических показателей гибридной формы дуба в засушливых условиях. Природообустройство. 2026;Т.19(3):136-144. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2026-3-136-144>

ANALYSIS OF THE GROWTH AND PHYSIOLOGICAL PARAMETERS OF THE HYBRID FORM OF OAK IN ARID CONDITIONS

S.N. Kryuchkov¹, A.V. Solonkin², A.S. Solomentseva^{3✉},
S.A. Egorov⁴, A.K. Romanenko⁵, D.A. Gorbushova⁶

^{1,2,3,4,5,6} Federal Scientific Center for Agroecology, Integrated Land Reclamation and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences; 97 Universitetskiiy ave., Volgograd, 400062, Russia

¹ kryuchkovs@vfanc.ru; ORCID0000-0001-8338-6460

² mishamax73@mail.ru; ORCID0000-0002-1576-7824

³ alexis2425@mail.ru *ORCID0000-0002-5857-1004

⁴ egorov-sa@vfanc.ru; ORCID0000-0001-8234-7355

⁵ romanenko-ak@vfanc.ru; ORCID0000-0002-6705-6135

⁶ gorbushova-d@vfanc.ru; ORCID0009-0006-4978-4143

Abstract. The aim of the study was to study the effectiveness of the interecotypic crossing of the black oak using the Alder ecotype as a source of valuable hereditary traits. The objects of the study were the positive trees of Chapurnikovskiy (Krasnoarmeyskiy district of the Volgograd region) and Olkhovskiy (Olkhovskiy district of the Volgograd region) ecotypes. The relevance of the study is due to the need to create highly productive and sustainable oak forms for afforestation in an arid region. Studies have been conducted on a 3.5-hectare royal forest seed plantation. The research methods included biometric analysis, radiography of seeds using a mobile X-ray unit PRDU-2, assessment of physiological parameters, analysis of variance and statistical processing of the data obtained. A pronounced heterotic effect was observed in the hybrid form, which exceeded the control samples in height and diameter ($t = 2,8$ and $2,4$, respectively). The diameter of the hybrid-shaped barrel exceeded the control values by 15% (1,35 cm for the control and 1,55 cm for the hybrid). The water retention capacity of the hybrid leaves was 43,5-55,0% of the initial mass, which is comparable to the parent forms. The transpiration rate of the hybrid (387 mg/g/hour) was 16% lower than that of the Chapurnik ecotype (463 mg/g/hour) and 19% higher than that of the Olkhovskiy (326 mg/g/hour). The predominant influence of the mother plant on the development of the hybrid has been established (55% of the variability of phenotypic characteristics), studies have shown a high uniformity of planting material in *Q. robur* (Olkhovskiy ecotype) ($C_v < 15\%$). X-ray examination revealed the internal defects of the acorns and determined the quality of the seed material, as well as the effect of damage on the further condition of the seed material. The results obtained are important for the development of selective seed production and the creation of sustainable forest crops in arid regions. The practical significance of the work is determined by the possibility of using the developed approaches to create highly productive oak plantations in arid climates.

The work was carried out on the topic of the State assignment FNFE – 2025-0009 «Creation of new genotypes, varieties, forms of woody, shrubby, cultivated plants with high-value signs of productivity, quality, resistance to bio- and abiostressors using classical and modern breeding methods, new innovative technologies in nursery and seed production, to solve problems of preventing degradation and desertification of agricultural landscapes in a changing climate».

Keywords: oak petiolate, breeding, growth, development, drought resistance

Format of citation: Kryuchkov S.N., Solonkin A.V., Solomentseva A.S., Egorov S.A., Romanenko A.K., Gorbushova D.A. Analysis of the growth and physiological parameters of the hybrid form of oak in arid conditions. *Prirodoobustrojstvo*. 2026;19(3):136-144. (In Russ.) <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2026-3-136-144>

Введение. Для обеспечения долгосрочного развития лесного хозяйства страны необходимо придерживаться принципов непрерывного и рационального использования лесных ресурсов, а также активно работать над улучшением качественных характеристик лесных насаждений, с учётом увеличивающегося значения природоохранной, санитарно-гигиенической и рекреационной роли лесов [1]. Ведущее место в решении данной проблемы занимает селекция, поэтому

ее перевод на основу семеноводства и питомниководства приведет к повышению производительности, устойчивости и качественной структуры новых лесных насаждений. В зависимости от принадлежности к группе лесов и степени их освоённости, основными задачами селекции являются повышение продуктивности, устойчивости и качественной структуры насаждений [2]. Исследования в данной области позволяют обосновать возможность и целесообразность создания

сортов древесных пород для определенных типов условий местопроизрастания, типов лесных насаждений, а также проверить наследственные свойства плюсовых деревьев по их семенным потомствам, получить новые ценные для лесного хозяйства формы древесных пород, расширив гибридизационные работы на специальных коллекционных плантациях засушливого региона (Волгоградская область).

Цель исследований: оценка представителей рода Дуб (*Quercus*) с использованием в качестве опылителя Ольховского экотипа (Волгоградская область) – рекордно долголетнего плюсового дерева для получения в потомстве долговечных, устойчивых к комплексу неблагоприятных факторов растений – адаптационного гетерозиса.

Материалы и методы исследований. По мнению авторитетных ученых (И.В. Мичурин, А.С. Яблоков, С.С. Пятницкий, А.В. Альбенский) [3] – чем старше возраст дерева, тем сильнее оно передает при скрещивании свои свойства гибридам, чем и был обусловлен выбор формы для опыления. Внутривидовые скрещивания выделенных экотипов дуба проводились в Кировском ССК (г. Волгоград) на маточной лесосеменной плантации, в количестве 150 шт. деревьев на площади 3,5 га. Возраст – 19 лет, средняя высота опытных деревьев 7 м, диаметр – 16 см. Жизненность – 4 балла, хорошая (определялась по методике В.А. Алексеева [4]), плодоношение – 4 балла (хорошее), исследовалось по методике В.Г. Каппера, дополненной И.И. Рацем и С.Н. Крючковым [5]. Опыты включали в себя 2 выделенных экотипа плюсовых деревьев в Волгоградской области:

– Чапурниковский. Чапурниковская балка (Красноармейский район, координаты 48.483233N; 44.500671E). 36 плюсовых деревьев. Средний возраст 90-110 лет, средняя высота 22 м, диаметр 85 см. Условия произрастания – темно-цветные выщелоченные каштановые почвы, поражение растений болезнями и вредителями не отмечено.

– Ольховский. Памятник природы регионального значения «Дубы-великаны» в Ольховском районе Волгоградской области (координаты 49.79792669274N, 44.428132067878E). 6 плюсовых деревьев, возраст более 350 лет, высота 20 м, диаметр 170 см. Состояние хорошее (4 балла). Плодоносят обильно (рис. 1).

Для определения качества урожайности сформированных желудей использовалась многофункциональная передвижная рентгеновская установка ПРДУ-02.

Расчет доверительного интервала проводился по формуле:

$$x \pm t_{0,05} \cdot \sqrt{\frac{s}{n}} \quad (1)$$

где t -критерий Стьюдента, объем выборки (n) – 30 шт. растений на вариант, уровень значимости $p < 0,05$

Критерий Фишера рассчитывался по формуле:

$$F = \frac{\delta}{\delta_{\text{сред}}} \cdot 10, \quad (2)$$

где δ – дисперсия между и внутри группами, 10 – коэффициент масштабирования.

Биометрические показатели, возраст, оценку плодоношения у опытных отцовских и материнских растений фиксировали с помощью измерений высоты, диаметра на высоте 1,3 м и проекции кроны (С-Ю, З-В).

Вес 1000 шт. желудей с дерева определяли с помощью лабораторных весов ВК-600.

Засухоустойчивость определяли по методу Н.И. Туманова. Интенсивность транспирации оценивалась с помощью весового метода, который заключается в измерении количества воды, теряемой листьями через испарение. В ходе эксперимента лист дуба аккуратно срезали, сохраняя черешок. Для поддержания непрерывности водных потоков в проводящих сосудах, нижний срез черешка производили под водой. Далее черешок помещали в пробирку, наполненную водой, а для предотвращения испарения с поверхности



Рис. 1. Общий вид объектов исследований

Fig. 1. General view of the research objects

воды пространство вокруг черешка в пробирке герметизировали ватой. Прибор с листом помещали в спокойные условия без резких перепадов температур и сквозняков, взвешивая пробирку через каждые 2 часа повторно, по разнице в весе определяя количество испаренной растением воды.

Наблюдение за погодными условиями проводили путем ежедневного мониторинга и сбора информации на сайте Worldweather [6].

Координаты отмечались с помощью навигатора Garmin.

Результаты исследований были обработаны в программах Excel, Biostat, и Statistica.

Результаты и их обсуждение. В значительной степени влияют на проведение скрещиваний растений на питомниках погодные условия – через воздействие на процессы опыления, завязывания плодов и развития гибридных семян [7, 8]. Эти факторы могут как способствовать, так и препятствовать успешному скрещиванию, и только применение регуляторов и стимуляторов роста и плодоношения может в ряде случаев решить проблему воспроизводства отдельных пород [9, 10, 11].

На протяжении 3-летнего периода наблюдений самый низкий температурный показатель был зафиксирован в январе 2024 года (-6°C). В 2023 году средняя температура января составила -4°C , а в 2025 году $-5,5^{\circ}\text{C}$.

В апреле наблюдалось устойчивое повышение температуры по годам, увеличиваясь с $+11,5^{\circ}\text{C}$ в 2023 году до $+16,5^{\circ}\text{C}$ в 2025 году. Температурные показатели в мае были относительно одинаковыми по всем годам (в диапазоне от $+13,5^{\circ}\text{C}$ до $+16,5^{\circ}\text{C}$), май 2024 года был самым теплым. Июнь характеризовался стабильно жаркой погодой (от $+21^{\circ}\text{C}$ до $+23^{\circ}\text{C}$). В июле отмечался постепенный рост температуры: с $+23,5^{\circ}\text{C}$ в 2023 году до $+26^{\circ}\text{C}$ в 2025 году. Август 2023 года стал самым жарким месяцем ($+27,5^{\circ}\text{C}$), после чего последовало снижение температуры до $+23,5^{\circ}\text{C}$ в 2025 году.

В годы исследований была отмечена четко выраженная сезонность – минимальные значения температуры фиксировались в январе, максимальные – в июле-августе. Пиковые показатели влажности наблюдались зимой и поздней осенью, минимальные – летом. В 2023 году был отмечен аномально теплый февраль и засушливый август, в 2024 – холодный январь и повышение влажности в ноябре, в 2025 году повышенные положительные температуры наблюдались в сентябре и июле, высокие показатели влажности были зафиксированы в конце года. В целом, колебания температуры и влажности в годы проведения исследований и наблюдений соответствовали

естественным природным циклам, а отклонения укладывались в рамки многолетних климатических норм.

Выявление и отбор высококачественных (по посевным и наследственным признакам) желудей гибридов дуба, по мнению ряда авторов, имеет огромное значение для их дальнейшей акклиматизации, так как проращивание позволяет судить только о процентном соотношении полных и пустых желудей [12, 13, 14, 15]. Также, желуди могут в той или иной степени повреждаться при анализе, и в дальнейшем не могут быть использованы для выращивания. Наиболее перспективным способом выявления внутреннего строения и дефектов семян является рентгенография.

На рис. 2 представлен снимок рентгенографии желудей в 2023 г. с коэффициентом увеличения 2,3, мощностью 50 кВ, временем экспозиции в 1 секунду, на котором видно, что семена под номерами 3, 6 и 7 не имеют скрытых дефектов.

На рентгенографическом снимке присутствует наличие поврежденности – микротрещины внутри, а также энзимно-микозное истощение. Данный тип повреждения отмечается, в основном, при воздействии на растение комплекса абиотических и биотических факторов (длительные

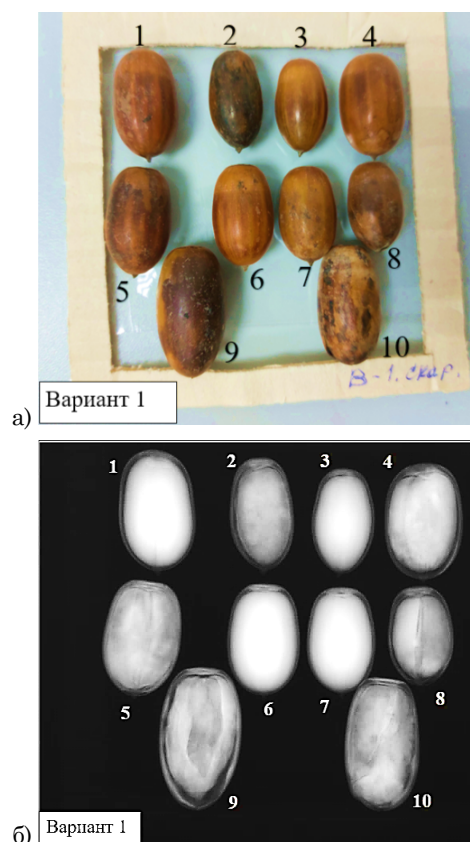


Рис. 2. Первоначальный вид желудей (а) и негатив рентгеновского снимка (б)

Fig. 2. The initial appearance of the acorns (a) and the negative of the X-ray image (b)

атмосферные осадки, сильные росы, сырые туманы и благоприятная температура). В ходе исследований было отмечено 3 группы поражения желудей: 1 – легкая (снижение урожайности на 20%), вес 1000 шт. желудей 3,1-3,7 кг; 2 – средняя (снижение урожайности на 30%), вес 1000 шт. желудей 2,5-2,7 кг; 3 – тяжелая (снижение урожайности на 40%), вес 1000 шт. желудей 1,9-2,3 кг. На состояние повлияли высокая влажность (80% при норме 50-60) и температура хранения (+8°C, при допустимой 0...+2°C) в период хранения. Наличие скрытых повреждений определило ослабленные растения, после непродолжительного хранения на повреждённых семенах количество плесени отмечалось в 3,5 раза чаще, чем на целых.

Анализ данных измерений и наблюдений за потомством в течение вегетационного периода выявил существенное превосходство гибридов *Q.*

robur (Чапурниковский) × *Q. robur* (Ольховский) по показателю прироста высоты, который показал 1,5-кратное увеличение в сравнении с контрольными образцами. Гибридные растения продемонстрировали улучшенные биометрические характеристики в сравнении с родительскими формами (табл. 1).

По результатам измерений, представленных в табл. 2, видна высокая однородность растений *Q. robur* (Ольховский) ($C_v < 15\%$). Чапурниковский экотип продемонстрировал более низкую стабильность, что может говорить о его генетической неоднородности или неблагоприятных условиях прорастания. По показателям доверительного интервала у гибрида был отмечен наименьший разброс среднего значения, что указывает на стабильность роста, также он достоверно превосходит Чапурниковский экотип по высоте

Таблица 1. Рост однолетних гибридных семян дуба (сравнение с контрольными образцами)

Table 1. Growth of annual hybrid oak seedlings (comparison with control samples)

Генотип / Гибрид	Кол-во сеянцев, шт. / Number of seedlings, n, pcs.	Высота, см, сред. ± σ / Height, cm, average ± σ	CV, %	Диапазон высоты, см / Height range, cm	Диам. корн. шейки, мм, сред. ± σ / Diameter, neck root, mm, average ± σ	CV, %	Диапазон диаметра, мм / Diameter range, mm
<i>Q. robur</i> (Чапурниковский), контроль / (<i>Chapurnikovsky</i>), control	50	7,0 ± 1,2	17,1%	5,0-12,0	19,0 ± 2,1	11,1%	15-23
<i>Q. robur</i> (Чапурниковский) / (<i>Chapurnikovsky</i>) × <i>Q. robur</i> (Ольховский)	8	8,0 ± 2,8	35,0%	4,0-16,5	22,0 ± 4,5	20,5%	15-35
<i>Q. robur</i> (Ольховский), контроль / (<i>Olkhovsky</i>), control	15	7,0 ± 1,5	21,4%	5,0-11,0	15,0 ± 2,5	16,7%	12-25

*Примечание: n – количество сеянцев; сред. ± σ – среднее значение ± стандартное отклонение (σ – сигма); CV (коэффициент вариации) = (σ / среднее) × 100% – степень изменчивости признака; диапазон – минимум и максимум

*Note: n is the number of seedlings; average, ± σ is the average value ± standard deviation (σ – sigma); CV (coefficient of variation) = (σ / average) × 100% – the degree of variability of the trait; range – minimum and maximum

Таблица 2. Биометрические показатели гибридных и контрольных деревьев дуба

Table 2. Biometric indicators of hybrid and control oak trees

№*	Показатель / Indicator	2024 (ср.) / average	2025 (ср.) / average	Сред. за 2 года / Wednesday for 2 years	Абс. прирост / Abs. gain	Темп роста, % / Growth rate, %	Cv, %	Доверит. интервал (95%) / Confidence interval (95%)	t-критерий (p < 0,05) / The t-criterion	Индекс превосходства к контролю 2, % / The index of Excellence to control 2
1	H, см	27,5	39,7	33,6	12,2	144,4	11,0	33,6 ± 1,9	Да (t=2,8)	119,6
	D, см	1,4	1,7	1,55	0,3	121,4	13,5	1,55 ± 0,21	Да (t=2,4)	144,4
2	H, см	24,1	41,7	32,9	17,6	173,0	12,5	32,9 ± 2,1	–	117,1
	D, см	1,1	1,7	1,40	0,6	154,5	14,0	1,40 ± 0,20	–	130,8
3	H, см	21,8	34,4	28,1	12,6	157,8	15,0	28,1 ± 2,4	–	100 (база) / base
	D, см	1,1	1,6	1,35	0,5	145,5	16,0	1,35 ± 0,22	–	100 (база) / base

*Примечание: *1 – Гибрид *Q. robur* (Ч × О); 2 – Контроль 1 *Q. robur* (Ольховский); 3 – Контроль 2 *Q. robur* (Чапурниковский); Cv – коэффициент вариации, t-критерий Стьюдента, Ч × О – Чапурниковский × Ольховский, объём выборки (n) – 30 шт. растений на вариант, уровень значимости p < 0,05

*Note: *1 – Hybrid of *Q. robur* (B × O); 2 – Control 1 *Q. robur* (Olkhovsky); 3 – Control 2 *Q. robur* (Chapurnikovsky); Cv is the coefficient of variation, Student's t-criterion, H × O – Chapurnikovsky × Olkhovsky, sample size (n) – 30 plants per variant, significance level p < 0,05

и диаметру ($t = 2,8$ и $2,4$ соответственно), что указывает на сильный гетерозисный эффект.

Для того, чтобы объективно оценить достоверность влияния генетического фактора на изменчивость изучаемых признаков, была проведена обработка результатов замеров растений методом дисперсионного анализа (табл. 3).

По результатам исследований в насаждениях достоверно на 55 и 1% уровнях влияния фактора В – материнского вида, влияние отцовского фактора А не достоверно. Вычисление силы

влияния факторов позволило установить, что у опытных растений 55% изменчивости составляет влияние материнского дерева и 45% приходится на долю случайных стохастических факторов.

Для сравнения физиологических особенностей гибридов и контроля в летний период были проведены исследования по изучению некоторых физиологических показателей. Определялась водоудерживающая способность листьев и контрольных видов дуба в засушливый период (табл. 4).

Таблица 3. Анализ влияния факторов на рост в высоту гибридов и контрольных видов дуба

Table 3. Analysis of the influence of factors on the height of hybrids and control oak species

Вариации / Variations	Степени свободы / Degrees of freedom	Сумма квадратов / Sum of squares	Средние квадраты / Middle squares	Дисперсионные отношения / Variance relations G-функция / G-function	G табличные / G tabular	
					0,05	0,01
По фактору А / By factor A	1	1,51	1,51	0,122	4,0	7,2
По фактору В / By factor B	1	12,42	12,42	17,014	4,0	7,2
Остаточная / Residual	47	34,31	0,730			
Общая / General	49	48,24				

Таблица 4. Водоудерживающая способность листьев видов и гибридов дуба

Table 4. Water retention capacity of leaves of oak species and hybrids

Вариант опыта / An experience option	Вес до на- чала опыта, г / Weight before the start of the experi- ment, g	Период / Period	t, °C	Вес сухой массы, % / Dry weight, %	F-кри- терий / F-cri- terion	Примечание / Note
2024 год						
Q. robur (Чапурниковский) / Q. robur (Chapurnikovsky)	1,249	Начало лета (10 июня)	+34,8	40,8	4,1	Наиболее устойчив к испаре- нию влаги в начале лета / It is most resistant to moisture evaporation in early summer
Q. robur (Ольховский) / Q. robur (Olkhovsky)	1,517		+34,8	47,1	3,8	Высокая влагоёмкость / High moisture capacity
Гибрид: Чапурников- ский × Ольховский / Hybrid: Chapurnikovsky × Olkhovsky	1,472		+34,8	40,6	5,2	Значительные потери к 360 мин – низкая устойчивость / Significant losses by 360 min – low stability
Гибрид: Ольховский × Ча- пурниковский / Hybrid: Olkhovsky × Chapurnikovsky	2,098		+34,8	45,4	4,9	Средняя устойчивость, но вы- сокая начальная масса / Medium stability, but high initial mass
Среднее (начало лета) / Average (early summer)				43,5	4,5	–
2025 год						
Q. robur (Чапурниковский) / Q. robur (Chapurnikovsky)	1,276	Засуш-ливый (14 июля)	+39,6	55,3	6,3	Наиболее устойчив к высы- ханию при жаре / It is most resistant to drying in the heat
Q. robur (Ольховский) / Q. robur (Olkhovsky)	2,448		+39,6	57,2	5,7	Высокая масса, но сильные потери к концу / High mass, but heavy losses towards the end
Гибрид: Чапурников- ский × Ольховский / Hybrid: Chapurnikovsky × Olkhovsky	1,317		+39,6	54,1	6,1	Хорошая устойчивость, но усту- пает родительским формам / Good stability, but inferior to the parent forms
Гибрид: Ольховский × Ча- пурниковский / Hybrid: Olkhovsky × Chapurnikovsky	1,113		+39,6	53,6	7,0	Наибольшие различия в динамике – гетерозисный эффект / The biggest differences in dynamics are the heterotic effect
Среднее (засуха) / Average (drought)				55,0	6,3	–

Как видно из таблицы 5, в засушливый период листья гибрида *Q. robur* (Чапурниковский) × *Q. robur* (Ольховский) медленнее теряли воду в процессе завядания, чем *Q. robur* (Чапурниковский). Листья же гибрида *Q. robur* (Ольховский) × *Q. robur* (Чапурниковский), наоборот, быстрее теряли влагу, чем *Q. robur* (Ольховский). В целом, опыт позволил установить, что стойкость к завяданию у гибридных и контрольных видов *Q. robur* (Чапурниковский) × *Q. robur* (Ольховский) выше, чем у гибрида *Q. robur* (Чапурниковский) × *Q. robur* (Ольховский). При недостаточном увлажнении листья гибридных форм дуба по водоудерживающей способности заняли промежуточное положение.

Сопоставление данных по гибридным и контрольным дубам позволило выявить их физиологические отличия, оценить устойчивость

к стрессам и определить дальнейший потенциал для селекционной работы (табл. 5).

Результаты по расчету критерия Фишера свидетельствуют об отсутствии статистически значимых различий в уровне изменчивости между родительским сортом Чапурниковский и его гибридом. Следовательно, гибридный опытный образец можно считать не менее стабильным, чем его родитель при работе над повышением устойчивости к завяданию.

Исследования водного режима у гибрида и контрольных экотипов дуба позволили выявить различия в ходе их физиологических процессов, что дает основание сделать вывод о гетерогенности гибрида по сравнению с исходными видами, представляющими ценный материал для дальнейших селекционных работ.

Таблица 5. Данные интенсивности транспирации гибридных и контрольных видов дуба, мг/г/час

Table 5. Transpiration intensity data of hybrid and control oak species, mg/g/hour

Вариант опыта / An experience option	2 ч / 2 h	4 ч / 4 h	6 ч / 6 h	8 ч / 8 h	10 ч / 10 h	Σ за 10 ч / Σ in 10 h	Сред- нее (М) / Average	СО (σ)	Диспер- сия (σ²) / Variance
<i>Q. robur</i> (Чапурниковский) / <i>Q. robur</i> (Chapurnikovsky)	218	498	500	538	563	2317	463,4	142,8	20397,3
<i>Q. robur</i> (Ольховский) / <i>Q. robur</i> (Olkhovsky)	229	319	398	445	239	1630	326,0	87,4	7632,0
Гибрид: Чапурниковский × Ольховский / Hybrid: Chapurnikovsky × Olkhovsky	147	402	376	521	489	1935	387,0	145,4	21133,0
Гибрид: Ольховский × Чапурниковский / Hybrid: Olkhovsky × Chapurnikovsky	204	356	410	517	355	1842	368,4	106,3	11305,3

***Примечание:** дата опыта 18 июля, $t + 35,2$ °C, влажность воздуха 24%, ветер западный, 5,4 м/с

***Note:** the date of the experiment is July 18, $t + 35.2$ C, air humidity 24%, westerly wind, 5.4 m/s

Выводы

1. В ходе исследований была экспериментально подтверждена эффективность межэкотипического скрещивания дуба черешчатого (*Quercus robur*) между Чапурниковским и Ольховским экотипами. Наблюдаемый выраженный гетерозисный эффект у гибридной формы выражен в ее статистически значимом превосходстве по основным биометрическим показателям, включая высоту и диаметр, в сравнении с контрольными образцами растений, что дает возможность рекомендовать ее для дальнейшей селекционной работы и создания более продуктивных лесных культур.

2. Выявлено преобладающее воздействие родительского растения на морфогенез и видоизменение гибридных форм дуба. Установлено, что 55% вариабельности фенотипических характеристик детерминировано материнским генотипом,

что является существенным фактором при формировании селекционных программ и экстраполяции результатов гибридизации.

3. Установлен высокий адаптивный потенциал гибрида в условиях засухи Волгоградского региона. Он характеризуется промежуточными показателями водоудерживающей способности и транспирации относительно родительских линий, демонстрируя при этом существенную устойчивость к водному стрессу.

4. Доказана перспективность использования Ольховского экотипа для селекции благодаря его ценным наследственным признакам. Его возраст (более 350 лет) и способность передавать свои свойства гибридам позволяет создавать долговечные и устойчивые формы дуба, адаптированные к трудным лесорастительным условиям Волгоградской области.

Список использованных источников

1. Кулик К.Н., Беляев А.И., Пугачёва А.М. Роль защитного лесоразведения в борьбе с засухой и опустыниванием агроландшафтов // Аридные экосистемы. 2023. Т. 29, № 1(94). С. 4-14. DOI: 10.24412/1993-3916-2023-1-4-14. EDN: CSZXWA
2. Семенютина А.В., Хужахметова А.Ш., Долгих А.А., Сапронов В.В. Научные основы обогащения дендрофлоры малолесных регионов хозяйственно ценными растениями // Наука. Мысль: электронный периодический журнал. 2021. Т. 12, № 2. С. 35-51. DOI: 10.25726/v1064-3614-5462-o
3. Агролесомелиорация. Монография. / Е.А. Литвинов, А.М. Степанов, А.В. Семенютина [и др.]. Волгоград: Нива, 2008. 244 с. EDN: QKYUEIN
4. Алексеев В.А. Диагностика жизненного состояния деревьев и древостоев // Лесоведение. 1989. № 4. С. 51-57
5. Крючков С.Н., Солонкин А.В., Соломентсева А.С., Егоров С.А. Селекция и репродукция перспективных интродуцентов для степного лесоразведения. Монография. Волгоград: ФНИЦ агроэкологии РАН, 2025. 148 с. EDN: KZRXXH
6. Погода в Волгограде [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://world-weather.ru/pogoda/russia/volgograd/2021/> (дата обращения 05.12.2025).
7. Попова А.А., В.А. Славский. Селекция сеянцев дуба черешчатого на быстроту роста на основе морфологических и цитогенетических показателей // Лесотехнический журнал. 2021. Т. 11, № 2(42). С. 15-23. DOI: 10.34220/issn.2222-7962/2021.2/2 EDN: PGNBTA
8. Камалов Р.М. Генетическая изменчивость популяций внутри лесосеменных районов и семеноводство *Quercus robur* L. // Бюллетень Государственного Никитского ботанического сада. 2022. № 144. С. 19-24. DOI: 10.36305/0513-1634-2022-144-19-24 EDN: JERFVB
9. Егоров С.А. Влияние гуминовых препаратов на состояние древесных видов в засушливых условиях // Агрохимический вестник. 2023. № 4. С. 84-89. DOI: 10.24412/1029-2551-2023-4-014 EDN: DCGTRO
10. Попова А.А. Цитогенетическая изменчивость апикальных меристем дуба черешчатого // Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства. 2021. № 3. С. 4-12. DOI: 10.21178/2079-6080.2021.3.4 EDN: SOIBGH
11. Царев А.П. Пионеры лесной селекции в Центральном Черноземном регионе // Лесотехнический журнал. 2020. Т. 10, № 4(40). С. 81-98. DOI: 10.34220/issn.2222-7962/2020.4/7
12. Иозус А.П., Завьялов А.А., Бойко С.Ю. Перспективные гибриды сосны *Pinus* L. и дуба *Quercus* L. Для сухой степи Нижнего Поволжья // Успехи современного естествознания. 2024. № 1. С. 14-19. DOI: 10.17513/use.38201
13. Калмыкова Е.В., Кузьмин П.А., Крылов П.А. Оценка адаптивной способности представителей рода *Quercus* в условиях засушливого климата // Аграрный научный журнал. 2023. № 12. С. 40-45. DOI: 10.28983/asj.y2023i12pp40-45 EDN: ANKYJQ
14. Ромашкина И.В., Тихомирова Т.С., Шестиразов К.А. Анализ молекулярно-генетических механизмов устойчивости березы и дуба к дефициту воды и азота // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2022. № 241. С. 120-141. DOI: 10.21266/2079-4304.2022.241.120-141. EDN: RCDQTD
15. Попова А.А., Молчанов В.В., Радькова Е.А. Современная геносистематика и биологические особенности естественно растущих и интродуцированных видов рода *Quercus* // Лесотехнический журнал. 2021. Т. 11, № 1(41). С. 5-23. DOI: 10.34220/issn.2222-7962/2021.1/1 EDN: LOZUXB

References

1. Kulik K.N., Belyaev A.I., Pugacheva A.M. The role of protective afforestation in combating drought and desertification of agricultural landscapes // Arid ecosystems. 2023. Vol. 29, No. 1(94). P. 4-14. DOI: 10.24412/1993-3916-2023-1-4-14 EDN: CSZXWA
2. Semenytina A.V., Khuzhakhmetova A.Sh., Dolgikh A.A., Sapronov V.V. Scientific foundations of enriching the dendroflora of sparsely wooded regions with economically valuable plants // Science. Mysl: an electronic periodical. 2021. Vol. 12, No. 2. P. 35-51. DOI: 10.25726/v1064-3614-5462-o
3. Agroforestry / E.A. Litvinov, A.M. Stepanov, A.V. Semenytina [et al.]. Monografiya. Volgograd: Niva, 2008. 244 p.
4. Alekseev V.A. Diagnostics of the vital condition of trees and stands // Forestry science. 1989. No. 4. P. 51-57
5. Kryuchkov S.N., Solonkin A.V., Solomentseva A.S., Egorov S.A. Selection and reproduction of promising introducers for steppe afforestation / Monografiya. Volgograd: Federal Research Center of Agroecology of the Russian Academy of Sciences, 2025. 148 p.
6. Weather in Volgograd [Electronic resource]. Access mode: <https://world-weather.ru/pogoda/russia/volgograd/2021/> (accessed 05.12.2025).
7. Popova A.A., Slavsky V.A. Selection of oak seedlings for growth rate based on morphological and cytogenetic parameters // Forestry Engineering Journal. 2021. Vol. 11, No. 2(42). P. 15-23. DOI: 10.34220/issn.2222-7962/2021.2/2 EDN: PGNBTA
8. Kamalov R.M. Genetic variability of populations within forest-sown areas and seed production of *Quercus robur* L. // Bulletin of the State Nikitsky Botanical Garden. 2022. No. 144. P. 19-24. DOI: 10.36305/0513-1634-2022-144-19-24 EDN: JERFVB
9. Egorov S.A. The effect of humic preparations on the condition of tree species in arid conditions // Agrochemical Bulletin. 2023. No. 4. pp. 84-89. DOI: 10.24412/1029-2551-2023-4-014 EDN: DCGTRO
10. Popova A.A. Cytogenetic variability of the apical meristems of the black oak // Proceedings of the St. Petersburg Scientific Research Institute of Forestry. 2021. No. 3. pp. 4-12. DOI: 10.21178/2079-6080.2021.3.4 EDN: SOIBGH
11. Tsarev A.P. Pioneers of forest breeding in the Central Chernozem region // Forestry Engineering Journal. 2020. Vol. 10, No. 4(40). P. 81-98. DOI: 10.34220/issn.2222-7962/2020.4/7
12. Iozus A.P., Zavyalov A.A., Boyko S.Y. Promising hybrids of pine *Pinus* L. and oak *Quercus* L. For the dry steppe of the Lower Volga region // The successes of modern natural science. 2024. No. 1. P. 14-19. DOI: 10.17513/use.38201
13. Kalmykova E.V., Kuzmin P.A., Krylov P.A. Assessment of the adaptive ability of representatives of the genus *Quercus* in arid climate // Agrarian Scientific Journal. 2023. No. 12. P. 40-45. DOI: 10.28983/asj.y2023i12pp40-45 EDN: ANKYJQ
14. Romashkina I.V., Tikhomirova T.S., Shestibratov K.A. Analysis of the molecular and genetic mechanisms of birch and oak resistance to water and nitrogen deficiency // Proceedings of the St. Petersburg Forestry Academy. 2022. No. 241. P. 120-141. DOI: 10.21266/2079-4304.2022.241.120-141 EDN: RCDQTD
15. Popova A.A., Molchanov V.V., Radkova E.A. Modern genosystematics and biological features of naturally growing and introduced species of the genus *Quercus* // Forestry engineering magazine. 2021. Vol. 11, No. 1(41). P. 5-23. DOI: 10.34220/issn.2222-7962/2021.1/1 EDN: LOZUXB

Информация об авторах

Сергей Николаевич Крючков, д-р с.-х. наук, главный научный сотрудник лаборатории селекции, семеноводства и питомниководства; ORCID: 0000-0001-8338-6460; РИНЦ ID: 357954; kryuchkovs@vfanc.ru

Андрей Валерьевич Солонкин, д-р с.-х. наук, заведующий лабораторией селекции, семеноводства и питомниководства; ORCID: 0000-0002-1576-7824; mishamax73@mail.ru

Александра Сергеевна Соломенцева, канд. с.-х. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории селекции, семеноводства и питомниководства; ORCID: 0000-0002-5857-1004; Scopus: 57220036834; РИНЦ ID: 756338; WOS Research ID: W-4142-2018; alexis2425@mail.ru * (автор-корреспондент)

Сергей Анатольевич Егоров, младший научный сотрудник лаборатории селекции, семеноводства и питомниководства; ORCID: 0000-0001-8234-7355; РИНЦ ID: 1124794; egorov-sa@vfanc.ru

Алмагуль Кадыргалиевна Романенко, младший научный сотрудник лаборатории селекции, семеноводства и питомниководства, аспирант; ORCID: 0000-0002-6705-6135; РИНЦ ID: 1125490; romanenko-ak@vfanc.ru

Дарья Алексеевна Горбушова, лаборант-исследователь лаборатории селекции, семеноводства и питомниководства; ORCID: 0009-0006-4978-4143; РИНЦ ID: 1225036; gorbushova-d@vfanc.ru

Критерии авторства

С.Н. Крючков – инициирование исследования, формулировка гипотезы и цели

А.В. Солонкин – разработка протокола эксперимента

А.С. Соломенцева – разработка дизайна исследования (статистический план)

С.А. Егоров – статистический анализ данных и интерпретация результатов

А.К. Романенко – сбор данных и их анализ/интерпретация

Д.А. Горбушова – основной сбор данных (лабораторные опыты)

Конфликт интересов / Conflict of interests

Авторы заявляют об отсутствии конфликтов интересов / The authors declare that there are no conflicts of interests

Поступила в редакцию / Received 29.01.2026

Поступила после рецензирования / Received 23.06.2026

Принята к публикации / Accepted 25.06.2026

Information about the authors

Sergey N. Kryuchkov, DSc (Agro), chief researcher of the laboratory of selection, seed production and nursery breeding; ORCID: 0000-0001-8338-6460; RSCI ID: 357954; kryuchkovs@vfanc.ru

Andrey V. Solonkin, DSc (Agro), head of the laboratory of selection, seed production and nursery breeding; ORCID: 0000-0002-1576-7824; mishamax73@mail.ru

Alexandra S. Solomentseva, CSc (Agro), leading researcher of the laboratory of selection, seed production and nursery breeding; ORCID: 0000-0002-5857-1004; Scopus: 57220036834; RSCI ID: 756338; WOS Research ID: W-4142-2018; alexis2425@mail.ru* (author-correspondent)

Sergey A. Egorov, junior researcher of the laboratory of selection, seed production and nursery breeding; ORCID: 0000-0001-8234-7355; RSCI ID: 1124794; egorov-sa@vfanc.ru

Almagul K. Romanenko, junior researcher of the laboratory of selection, seed production and nursery breeding, post graduate student; ORCID: 0000-0002-6705-6135; RSCI ID: 1125490; romanenko-ak@vfanc.ru

Darya A. Gorbushova, laboratory research assistant of the laboratory of selection, seed production and nursery breeding; ORCID: 0009-0006-4978-4143; RSCI ID: 1225036; gorbushova-d@vfanc.ru

Criteria of authorship

S.N. Kryuchkov – initiation of the study, formulation of the hypothesis and goal

A.V. Solonkin – development of the experiment protocol

A.S. Solomentseva – development of the study design (statistical plan)

S.A. Egorov – statistical analysis of data and interpretation of the results

A.K. Romanenko – data collection and analysis/interpretation

D.A. Gorbushova – main data collection (laboratory experiments)