



СЕЛЕКЦИЯ СЕЯНЦЕВ ДУБА ЧЕРЕШЧАТОГО НА БЫСТРОТУ РОСТА НА ОСНОВЕ МОРФОЛОГИЧЕСКИХ И ЦИТОГЕНЕТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ

Анна А. Попова¹, logachevaaa@rambler.ru, 0000-0003-4711-5377

Василий А. Славский¹ ✉, slavskiyva@yandex.ru, 0000-0002-6579-0344

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г. Ф. Морозова», ул. Тимирязева, 8, г. Воронеж, 394087, Россия

Насаждения дуба черешчатого (*Quercus robur* L.) являются ценнейшим лесоводственным, экологическим, экономическим, а также природоохранным ресурсом. Для осуществления мероприятий по воспроизводству лесов необходимо создание искусственных насаждений посадочным материалом с улучшенными наследственными свойствами. В связи с этим крайне актуальным вопросом является отбор высококачественных семян и быстрорастущих сеянцев дуба черешчатого. Для исследования подобраны одновозрастные объекты-дубравы, которые имеют разную степень рекреационной нагрузки, но находятся в идентичных лесорастительных условиях. При сборе экспериментального материала и анализе полученных данных применялись общепринятые селекционные подходы и методы статистической обработки результатов. Метод отбора по фенотипу и закреплению признака в потомстве оправдывает себя, но требует ускорения и углубления знаний в этом направлении с применением современных методов маркерной селекции. В связи с чем цель работы по выявлению дополнительных критериев отбора, позволяющих проводить селекционную оценку сеянцев, является актуальной. Установлена тесная корреляционная связь между высотой сеянцев и митотическим индексом; высотой сеянцев и патологией митоза. Предложено использовать митотический индекс и патологии митоза в качестве дополнительных критериев отбора сеянцев на быстроту роста. На основе комплексной оценки вышеприведенных морфологических и цитогенетических признаков рекомендуется проводить селекцию высокоадаптивных и быстрорастущих сеянцев для создания лесных культур дуба черешчатого.

Ключевые слова: селекция, дуб черешчатый, рост сеянцев, патологии митоза, морфологические показатели.

Благодарности: Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Воронежской области в рамках научного проекта № 19-44-363001\20 и Грантом Президента РФ для государственной поддержки ведущих научных школ Российской Федерации НШ – 2535.2020.11.


Авторы благодарят рецензентов за вклад в экспертную оценку статьи.



Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Попова, А. А. Селекция сеянцев дуба черешчатого на быстроту роста на основе морфологических и цитогенетических показателей / А. А. Попова, В. А. Славский // Лесотехнический журнал. – 2021. – Т. 11. – № 2 (42). – С. 15–23. – Библиогр.: с. 21–23 (17 назв.) – DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2021.2/2>.

Поступила: 19.04.2021 **Принята к публикации:** 21.06.2021 **Опубликована онлайн:** 01.07.2021

SELECTION OF OAK SEEDLING FOR THE RAPID GROWTH BASED ON MORPHOLOGICAL AND CYTOGENETIC INDICATORS

Anna A. Popova¹, logachevaaa@rambler.ru,  0000-0003-4711-5377

Vasily A. Slavskiy¹ , slavskiyva@yandex.ru,  0000-0002-6579-0344

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Timiryazeva str., 8, Voronezh, 394087, Russian Federation

Abstract

The plantations of the pedunculate oak (*Quercus robur* L.) are the most valuable forestry, ecological, economic and environmental resource. To implement measures for the reproduction of forests, it is necessary to create artificial plantations with planting material with improved hereditary properties. In this regard, the selection of high-quality seeds and fast-growing seedlings of *Quercus robur* is an extremely topical issue. For the study, we selected objects of oak forests, which have a different degree of recreational load, but are located in identical forest conditions. When collecting experimental material and analyzing the data obtained, generally accepted breeding approaches and methods of statistical processing of results were used. The method of selection by phenotype and fixation of a trait in the offspring justifies itself, but requires acceleration and deepening of knowledge in this direction with the use of modern methods of marker selection. In this connection, the purpose of the work on identifying additional selection criteria that allows for the selection assessment of seedlings is relevant. A close correlation has been established between the height of seedlings and the mitotic index; the height of the seedlings and the pathology of mitosis. It is proposed to use the mitotic index without taking into account cells at the stage of prophase and pathology of mitosis as additional criteria for selecting seedlings for growth rate. On the basis of a comprehensive assessment of the above morphological and cytogenetic characteristics, it is recommended to select highly adaptive and fast-growing seedlings to create forest cultures of *Quercus robur*.

Keywords: selection, pedunculate oak, seedling growth, mitotic pathologies, morphological parameters.

Acknowledgments: The study was carried out with the financial support of the Russian Foundation for Basic Research and the Voronezh Region within the framework of the scientific project No. 19-44-363001 \ 20 and the Grant of the President of the Russian Federation for state support of the leading scientific schools of the Russian Federation NSh – 2535.2020.11.

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

Conflict of interest: the authors declare no conflict of interest.

For citation: Popova A. A., Slavskiy V. A. (2021) Selection of oak seedling for the rapid growth based on morphological and cytogenetic indicators. *Lesotekhnicheskii zhurnal* [Forest Engineering journal], Vol. 11, No. 2 (42), pp. 15-23 (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2021.2/2>.

Received: 19.04.2021 **Accepted for publication:** 21.06.2021 **Published online:** 01.07.2021

Введение

Вопрос сохранения и преумножения дубрав, их использования и всестороннего изучения является актуальным со времен Петра I [2, 15], а в настоящий момент интерес к данной древесной поро-

де не уменьшается, а наоборот, нарастает как в нашей стране, так и за рубежом [3, 8, 13, 16].

Дуб черешчатый (*Quercus robur* L.) относится к целевым породам для Центральной лесостепи [2]. Насаждения дуба черешчатого являются ценнейшим лесоводственным, экологическим, эко-

номическим, а также природоохранным ресурсом. В стратегии развития лесного комплекса Российской Федерации до 2030 года [10] отмечена необходимость увеличения доли лесных культур, созданных посадочным материалом с улучшенными наследственными свойствами. Тем не менее, в России отмечаются процессы деградации дубрав [3, 15], что требует постоянного мониторинга и реализации программ по их сохранению [8, 13, 17 и др.].

Для осуществления мероприятий по воспроизводству лесов необходимо создание искусственных насаждений. В связи с этим крайне актуальным вопросом является отбор высококачественных семян и быстрорастущих сеянцев дуба черешчатого.

Материалы и методы

Объекты исследования находятся в черте г. Воронежа и пригородных зонах (рис. 1).

1. Дубовые насаждения на ул. Московский проспект г. Воронежа (географические координаты: 51° 42'44.6 "N 39° 10'57.3" E);

2. Дубрава Правобережного участкового лесничества Пригородного лесничества (географические координаты: 51° 43'10.5 "N 39° 13'29.1" E);

3. Дубрава урочища Чижовское, расположенная на юго-западной окраине г. Воронежа (географические координаты: 51° 37'14.1 "N 39° 11'07.0" E);

4. Дубравы поселка Задонье (северная окраина города) (географические координаты: 51° 46'02.7 "N 39° 11'06.5" E);

5. Дубрава, расположенная в районе 9 км Задонского шоссе около СОК «Олимпик» (географические координаты: 51° 45'18.1 "N 39° 11'22.5" E);

6. Дубрава Гремяченского лесничества «Шиловская нагорная дубрава» (географические координаты: 51° 34'08.7 "N 39° 08'50.0" E);

7. Дубрава Биологического учебно-научного центра «Веневиново» (географические координаты: 51° 48'27.4 "N 39° 25'02.3" E);

8. Дубрава Кожевненный кордон (географические координаты: 51° 48'33.5 "N 39° 19'19.3" E);

9. Дубрава лесного массива поселка «Краснолесный» (географические координаты: 51° 52'34.5 "N 39° 34'10.4" E);

10. Дубрава Воронежского Биосферного заповедника (географические координаты: 51° 53'59.3" N 39° 33'10.3" E).

Все исследуемые объекты-дубравы имеют разную степень рекреационной нагрузки, но являются одновозрастными, произрастают в идентичных условиях и находятся в удовлетворительном состоянии. Исключение составляет средневозрастное (45 лет) насаждение на объекте № 1, которое не было включено в анализ. Лесоводственно-таксационная характеристика объектов исследования приведена в табл. 1.



Рис. 1. Схема расположения объектов исследования

Figure 1. Arrangement of the objects of research

Источник: собственная композиция авторов
Source: author's composition

Методика проведения исследований. На каждом объекте были заложены 3 пробные площади размером 50 на 50 м, на которых выбиралось не менее 50 деревьев, одним из факторов было сохранение нижних ветвей, доступных для морфологического анализа.

Для каждого дерева проводили измерения длины побега годичного прироста осевых побегов от почечного кольца и определяли морфологические параметры листьев на побегах: длину от основания листовой пластинки по центральной жилке, ширину листовой пластинки (в самом широком месте). Измерения проводили в сентябре, в период полного прекращения ростовых процессов. Замеры морфологических параметров проводили с точностью до 1 мм.

Silvicultural-taxation indicators of research objects

№ объек- та No.Object	Тип лесорастительных условий Type of forest growing conditions	Возраст, лет Age, years	Средняя высота, м Average height, m	Средний диаметр, см Average diameter, cm	Санитарное состояние, балл Sanitary condi- tion, score	Рекреационная нагрузка Recrea- tional load
1	Д2	45	18	24	2,18	очень высокая
2	С2Д	100	23	40	2,17	высокая
3	С2Д	95	23	36	2,44	высокая
4	Д2	90	22	36	2,21	высокая
5	С2Д	100	24	32	2,38	очень высокая
6	С2Д	90	24	32	2,11	средняя
7	Д2	95	25	40	2,25	низкая
8	С2Д	90	24	36	1,96	низкая
9	С2Д	100	23	36	2,17	низкая
10	Д2	100	25	40	2,33	очень низкая

Источник: собственные измерения вычисления авторов

Source: own measurements and calculations

Семена, отобранные для посева, были сохранены во влажных опилках в холодильной камере и посеяны в весенний период в открытый грунт на участок с серыми лесными почвами. Посадку проводили рядами, с междурядьями 4 м и между желудями в рядах 1 м.

Семенной материал оценивали по весу, продольному и поперечному размерам желудя. С каждой пробной площади собирали 100 семян. Масса желудей определялась с точностью 1 мг на электрических весах, диаметр и длину желудя измеряли с точностью 0,1 см штангенциркулем.

У выращенных сеянцев измеряли высоту и толщину побега у основания.

Для цитогенетического анализа семена проращивались во влажном песке. Когда корешки проростков достигали 2-3 см, производилась их фиксация в смеси 96 %-го этилового спирта и ледяной уксусной кислоты (3:1) в вечернее время (22.00), когда наблюдаются пики митотической активности и патологических митозов [5]. Материал хранили при температуре +4 °С в холодильнике. После чего корешки проростков окрашивались ацетогематоксилином, изготавливались давленные препараты по описанной ранее методике.

Из корешков проростков было изготовлено более 100 микропрепаратов, с каждого из которых

анализировалось по 150 клеток для изучения ядрышковых характеристик и не менее 700 для изучения митоза. Материал просматривался с помощью светового микроскопа Laboval-4 (Carl Zeiss, Jena) при увеличении 40×1.5×10, 100×1.5×10.

На основании полученных данных определяли митотический индекс (доля делящихся клеток, %), долю патологических митозов среди общего числа делящихся клеток (%), % распределения клеток по стадиям митоза (доля про-, мета-, ана-, телофаз). Патологические митозы классифицировали по методике И.А. Алова [1]. Среди ядрышковых характеристик на каждом препарате учитывали количество клеток с тем или иным типом ядрышка и измеряли диаметр ядрышка. Классификацию ядрышек проводили по методике В.П. Челидзе и О.В. Зацепиной [11]. По полученным данным были вычислены площади поверхности одиночных ядрышек (мкм²) и частота встречаемости различных типов ядрышек (%).

При сборе экспериментального материала и анализе полученных данных применялись общепринятые селекционные подходы и методы [4, 7]. Оценка санитарного состояния насаждений выполнена на основании Правил санитарной безопасности в лесах [9], действующих на момент проведения исследований. Объем собранного материала

обеспечивает репрезентативность выборки и позволяет достоверно оценить результаты исследований на требуемом уровне точности.

В ходе математической обработки использованы методы описательной статистики и корреляционного анализа [4, 6]. Оценка результатов тесноты связи проведена по шкале Чеддока: при r менее 0,3 – слабая; 0,31-0,5 – умеренная; 0,51 до 0,7 – заметная; от 0,71 до 0,9 – высокая; более 0,91 – очень высокая.

Результаты и обсуждение

Метод отбора по фенотипу и закреплению признака в потомстве оправдывает себя, но требует ускорения и углубления знаний в этой области, что может быть решено с применением современных методов маркерной селекции.

В связи с чем поставлена задача выявить дополнительные критерии отбора, позволяющие проводить селекционную оценку сеянцев в короткие сроки. Средние показатели роста сеянцев и жизнеспособности семян приведены в табл. 2.

Установлено, что распределение морфологических параметров в общей совокупности не соответствует нормальному (эксцесс кривой (E) более 3 при очень высокой степени асимметрии), поэтому для определения возможной корреляции и оценки тесноты связи между изучаемыми показателями были рассчитан коэффициент корреляции Спирме-

на. Полученные коэффициенты при достоверном уровне значимости ($P_{0,05}$) представлены в табл. 3.

Из приведенных данных следует, что наибольшую тесноту связи между собой имеют параметры высоты и диаметров сеянцев одно- и двух-летнего возраста. Коэффициент корреляции колеблется от + 0,3 до + 0,7, что наиболее характерно для пары $h_2 - d_2$. Связь морфологических показателей прямая. Теснота связи через 1 год роста усилилась – для пар сеянцев произрастающих на объекте № 9 возрос с + 0,3 до + 0,5, а на объекте № 8 с + 0,4 до 0,7. Таким образом, для сеянцев дуба черешчатого прямая связь высоты и диаметра сеянца сохраняется и увеличивается. Наличие обратных связей между $d_1 - d_2$ для сеянцев, выращенных из семян, произрастающих на объектах № 2 и № 7, а также между $h_1 - h_2$ и $h_1 - d_2$ для сеянцев, выращенных из семян, произрастающих на объекте № 10, может быть связано с влиянием на общую выборку погибших растений.

Тесной связи между приростом побегов материнских деревьев и энергией роста сеянцев не выявлено. Для сеянцев, выращенных из семян на объекте № 2, достоверно установлена слабая степень связи ($r_s = + 0,2$) между длиной осевого побега материнских деревьев и диаметром сеянцев 2 года жизни, при этом связи длины побега и высоты сеянцев не обнаружено.

Средние показатели роста сеянцев и жизнеспособности семян

Таблица 2

Table 2

Average seedling growth and seed vitality

№ объекта No. of object	Морфологические параметры сеянцев (M±m) Morphological parameters of seedlings (M ± m)				Всхожесть, % Germination,%	Приживаемость, % Survival,%	Δ M в сравнении с 1 годом роста Δ M versus 1 year of growth	
	весна spring		осень autumn				высота, см height, cm	диаметр, см diameter, cm
	высота, см height, cm	диаметр у основания, см diameter at the base, cm	высота, см height, cm	диаметр у основания, см diameter at the base, cm				
2	15,2 ± 0,4	0,21 ± 0,004	20,1 ± 0,6	0,28 ± 0,009	85	74,4	+ 3,9	+ 0,08
3	13,4 ± 0,8	0,25 ± 0,01	15,0 ± 0,7	0,25 ± 0,01	83	78,9	+ 4,1	+ 0,01
5	15,3 ± 0,5	0,26 ± 0,007	17,4 ± 0,8	0,32 ± 0,01	76	66,7	+ 2,6	+ 0,04
6	16,7 ± 0,4	0,32 ± 0,4	20,3 ± 0,5	0,36 ± 0,007	91	90,3	+ 3	+ 0,05
7	18,5 ± 0,4	0,36 ± 0,01	19,5 ± 0,7	0,32 ± 0,009	90	91,8	+ 1,4	- 0,05
8	13,5 ± 0,7	0,34 ± 0,01	15,9 ± 0,8	0,32 ± 0,01	81	80,9	+ 2,3	+ 0,05
9	13,3 ± 1,1	0,32 ± 0,01	11,1 ± 1,2	0,25 ± 0,01	66,8	78,6	- 4,9	- 0,05
10	11,6 ± 0,6	0,34 ± 0,01	12,5 ± 0,6	0,26 ± 0,009	85	90,9	+ 0,4	- 0,09

Источник: собственные измерения и вычисления авторов

Source: own measurements and calculations

Таблица 3
Коэффициент корреляции Спирмена (rs) для взаимосвязи морфологических параметров

Table 3

Spearman's correlation coefficient (rs) for the relationship of morphological parameters

№ объекта No. object	Коэффициент корреляции Спирмена (rs) Spearman's correlation coefficient (rs)					
	h1 – d1	h2 – d2	d1 – d2	l – d2	h1 – h2	h1 – d2
2	+ 0,4	+ 0,4	- 0,2	+ 0,2		
3		+ 0,3	-			
4						
5	+ 0,5	+ 0,3	+ 0,2			
6	+ 0,4	+ 0,3				
7	+ 0,5	+ 0,6				
8	+ 0,3	+ 0,5	- 0,3			
9	+ 0,4	+ 0,7	-			
10					- 0,9	- 0,9

Обозначения: h1 – высота сеянцев 1 года роста; h2 – высота сеянцев 2 года роста; d1 – диаметр сеянца в 1 год роста; d2 – диаметр сеянца во второй год роста; l – длина прироста осевого побега материнского дерева за вегетационный период.

Designations: h1 – height of seedlings 1 year of growth; h2 – height of seedlings 2 years of growth; d1 – seedling diameter in 1 year of growth; d2 – seedling diameter in the second year of growth; l – length of the growth of the axial shoot of the mother tree during the growing season.

Источник: собственные вычисления авторов

Source: own calculations

Таблица 4

Коэффициент корреляции Спирмена (rs), определяющий взаимосвязи морфологических параметров сеянцев и цитогенетических параметров проростков семян

Table 4

Spearman's correlation coefficient (rs), which determines the relationship between morphological parameters of seedlings and cytogenetic parameters of seedlings

№ объекта No. of object	Коэффициент корреляции Спирмена (rs) для пар анализируемых параметров Spearman's correlation coefficient (rs) for pairs of analyzed parameters											
	h1- MI	h1- MIб/п	h1- ПМ	d1- MI	d1- MIб/п	d1-ПМ	h2 – MI	h2– MIб/п	h2– ПМ	d2– MI	d2 – MIб/п	d2 – ПМ
2	0,24**	0,22*	0,22*	0,27**	0,28**	0,27**	-	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,8***	0,8***	0,8***
6	0,29**	0,29**	0,29**	0,30***	0,39***	0,39***	0,38***	0,38***	0,38***	0,31**	0,31**	0,32**
7	-	-	-	-	-	- 0,16*	0,29*	0,3*	0,28*	0,23*	0,25*	0,23

Обозначения: h 1 – высота сеянцев 1 года роста; h 2 – высота сеянцев 2 года роста; d 1 – диаметр сеянца в 1 год роста; d 2 – диаметр сеянца во второй год роста; MI – митотический индекс с учетом клеток на стадии профазы; MI б/п – митотический индекс без учета клеток на стадии профазы; ПМ – процент клеток с нарушениями митоза (патологии митоза) с учетом клеток на стадии профазы; ПМ – процент клеток с нарушениями митоза (патологии митоза) без учета клеток на стадии профазы.

Значимость: * - P<0,05; ** - P<0,01; *** - P<0,001.

Designations: h 1 - height of seedlings 1 year of growth; h 2 - height of seedlings 2 years of growth; d 1 - seedling diameter in 1 year of growth; d 2 - seedling diameter in the second year of growth; MI - mitotic index, taking into account cells at the prophase stage; MI b / p - mitotic index excluding cells at the prophase stage; PM is the percentage of cells with impaired mitosis (mitotic pathology), taking into account cells at the prophase stage; PM is the percentage of cells with impaired mitosis (mitotic pathology), excluding cells at the prophase stage.

Significance: * - P < 0.05; ** - P < 0.01; *** - P < 0.001.

Корреляционный анализ показал наличие положительной связи между цитогенетическими параметрами апикальных меристем и морфологическими параметрами семян как первого, так и второго года роста (табл. 4). Установлена тесная связь в следующих парах: высота семян в 1 год – митотический индекс; высота семян в 1 год – митотический индекс, подсчитанный без учета профаз; высота семени в 1 год – патологии митоза; диаметр побега в 1 год – митотический индекс; диаметр побега в 1 год – митотический индекс, подсчитанный без учета профаз; высота семян в 2-й год – митотический индекс, высота семян в 2-й год – митотический индекс, подсчитанный без учета профаз; высота семян в 2-й год – патологии митоза; диаметр побега в 2-й год – митотический индекс; диаметр побега в 2-й год – митотический индекс, подсчитанный без учета профаз; диаметр побега в 2-й год – патологии митоза. Важно отметить, что для каждого биотипа дуба черешчатого характерно наличие корреляционной связи, однако могут быть различия по направлению и силе связей. Корреляционный коэффициент Спирме-

на варьирует среди биотипов и пар признаков от слабой тесноты связи (0,2) до сильной (0,8).

Выводы (Заключение)

Известно, что селекция по фенотипу не всегда позволяет выделить набор ценных качеств в короткие сроки. В ходе проведенной работы установлено, что для ускоренной оценки семян дуба черешчатого помимо основных фенотипических признаков необходимо введение дополнительных цитогенетических показателей. Изменение параметров ядрышек интерфазных клеток в апикальных меристемах является показателем адаптивной реакции растений на воздействие факторов среды. Предложено использовать митотический индекс без учета клеток на стадии профазы и патологии митоза в качестве дополнительных критериев отбора семян на быстроту роста. На основе комплексной оценки вышеприведенных морфологических и цитогенетических признаков рекомендуется проводить селекцию высокоадаптивных и быстрорастущих семян для создания лесных культур дуба черешчатого.

Список литературы

1. Алов, И. А. Патология митоза. Вестник АМН СССР. 1965; 11: 58-66. Текст: непосредственный.
2. Бугаев В.А., Мусиевский А.Л., Царалунга В.В. Дубравы лесостепи : моногр. ; ФГБОУ ВПО «ВГЛТА». Воронеж, 2013. 247 с. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=20404987>.
3. Глушко С. Г., Манюкова И. Г., Прохоренко Н. Б. Восстановление дубрав Среднего Поволжья. Вестник Омского ГАУ. 2017; 3 (27): 56-63. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30467967>.
4. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта: учебник. Москва : Колос, 2011. 547 с. Текст : непосредственный. ISBN 978-5-458-23540-2.
5. Калаев, В. Н. Цитогенетический мониторинг загрязнения окружающей среды с использованием растительных тест-объектов : автореф. дис. ... канд. биол. наук. Воронеж, 2000. 25 с. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=15880552>.
6. Кулаичев, А. П. Методы и средства комплексного анализа данных. Москва : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2006. 512 с. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=19585521>.
7. Коновалов Н. А., Пугач Е. А. Основы лесной селекции и сортового семеноводства. Москва : Лесная промышленность, 1978. 176 с. Текст : непосредственный.
8. Покоева М. В., Ярославцев А. М. Экологические исследования смешанных насаждений методами дистанционного зондирования. Лесной вестник. 2020; 3 (24): 33-38. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43171348>. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-3-33-38.
9. Правила санитарной безопасности в лесах (постановление Правительства Российской Федерации от 9 декабря 2020 г. № 2047). URL: <http://docs.cntd.ru/document/902325555> (дата обращения: 02.06.2021).
10. Стратегия развития лесного комплекса Российской Федерации до 2030 года (утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 11 февраля 2021 года № 312-р). URL: <https://docs.cntd.ru/document/573658653> (дата обращения: 01.06.2021).

11. Челидзе В. П., Зацепина О. В. Морфофункциональная классификация ядрышек. Успехи современной биологии. 1988; 105.(2): 252-267. Текст: непосредственный.
12. Anatolyev, S. A. GMM, GEL, serial correlation, and asymptotic bias. *ECONOMETRICA*. 2005; 74(3): 983-1002. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=13496632>. DOI: 10.1111/j.1468-0262.2005.00601.x.
13. Mölder A., Meyer P., Nagel R-V. Integrative management to sustain biodiversity and ecological continuity in Central European temperate oak (*Quercus robur*, *Q. petraea*) forests: An overview. *Forest Ecology and Management*. 2019; 437: 324-339. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.01.006>.
14. Olave R. J., Kelleher C. T., Meehan E. J., Delêtre M. Growth and genetic predisposition of induced acorn production in pedunculate oak (*Quercus robur* L.) within 15 years of planting. *Forest Ecology and Management*. 2021; 482. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118904>.
15. Popova A. A., Popova V. T., Dorofeeva V. D., Sorokopudova O. A. Anthropogenic environmental pressure influence on oak forest biodiversity and *Quercus robur* mitosis pathologies. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. International Jubilee Scientific and Practical Conference "Innovative Directions of Development of the Forestry Complex (FORESTRY-2018)". 2019; 012022. DOI: 10.1088/1755-1315/226/1/012022.
16. Sevillano I., Short I., Grant J., O'Reilly C. Effects of light availability on morphology, growth and biomass allocation of *Fagus sylvatica* and *Quercus robur* seedlings. *Forest Ecology and Management*. 2016; 374: 11-19. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.04.048>.
17. Vranckx G., Jacquemyn H., Mergeay J. (et al.) Transmission of genetic variation from the adult generation to naturally established seedling cohorts in small forest stands of pedunculate oak (*Quercus robur* L.). *Forest Ecology and Management*. 2014; 312. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2013.10.027>.

References

1. Alov I. A. Patologiya mitozy [Pathology of mitosis]. *Vestnik AMN SSSR*. 1965; 11: 58-66. (In Russ.).
2. Bugayev V. A., Musiyevskiy A. L., Tsaralunga V. V. Dubravyy lesostepi: monografiya [Oak forest-steppe: monograph]. Voronezh, 2013. 247 p. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=20404987>.
3. Glushko S. G., Manyukova I. G., Prokhorenko N. B. Vosstanovleniye dubrav Srednego Povolzh'ya [Restoration of oak forests of the Middle Volga region]. *Vestnik Omskogo GAU = Bulletin of the Omsk State Agrarian University*. 2017; 3 (27): 56-63. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30467967>.
4. Dospekhov B. A. Metodologiya polevogo opyta: uchebnik [Methodology of field experience: a textbook]. Moscow : Kolos. 2011. 547 p. ISBN 978-5-458-23540-2 (In Russ.).
5. Kalayev V. N. Tsitogeneticheskiy monitoring zagryazneniya okruzhayushchey sredy s ispol'zovaniyem rastitel'nykh test-ob'yektov: [Cytogenetic monitoring of environmental pollution using plant test objects]: Avtoref. dis. ... kand. biol. nauk [author's abstract. dis. ... Cand. biol. sciences]. Voronezh, 2000. 25 p. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=15880552>.
6. Kulaichev A. P. Metody i sredstva kompleksnogo analiza dannykh [Methods and tools for complex data analysis]. Moscow: FORUM : INFRA-M, 2006. 512 p. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=19585521>.
7. Konovalov N. A., Pugach Ye. A. Osnovy lesnoy selektsii i sortovogo semenovodstva [Fundamentals of forest selection and varietal seed production]. Moskva : Lesnaya promyshlennost' [Moscow: Timber industry], 1978. 176 p. (In Russ.).
8. Pokoyeva M. V. Ekologicheskiye issledovaniya smeshannykh nasazhdeniy metodami distantsionnogo zondirovaniya [Ecological research of mixed plantations by remote sensing methods]. *Lesnoy vestnik [Forestry Bulletin]*. 2020; 3 (24) : 33-38. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43171348>. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-3-33-38.
9. Strategiya razvitiya lesnogo kompleksa Rossiyskoy Federatsii do 2030 goda (utverzhdena rasporyazheniyem Pravitel'stva Rossiyskoy Federatsii ot 11 fevralya 2021 goda № 312-r) [Strategy for the development of the forestry

complex of the Russian Federation until 2030 (approved by the order of the Government of the Russian Federation dated February 11, 2021 No. 312-r)]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/573658653> (data obrashcheniya: 01.06.2021).

10. Pravila sanitarnoy bezopasnosti v lesakh (postanovleniye Pravitel'stva Rossiyskoy Federatsii ot 9 dekabrya 2020 g. № 2047) [Sanitary safety rules in forests (Decree of the Government of the Russian Federation dated December 9, 2020 No. 2047)]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/902325555> (date of access: 02.06.2021).

11. Chelidze V. P., Zatsepina O. V. Morfofunktsional'naya klassifikatsiya yadryshek [Morphofunctional classification of nucleoli]. Uspekhi sovremennoy biologii = Advances in modern biology. 1988; 105. 2: 252-267. (In Russ.).

12. Anatolyev S. A. GMM, GEL, serial correlation, and asymptotic bias. *ECONOMETRICA*. 2005; 74(3): 983-1002. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=13496632>. DOI: 10.1111/j.1468-0262.2005.00601.x.

13. Mölder A., Meyer P., Nagel R-V. Integrative management to sustain biodiversity and ecological continuity in Central European temperate oak (*Quercus robur*, *Q. petraea*) forests: An overview. *Forest Ecology and Management*. 2019; 437: 324-339. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.01.006>.

14. Olave R. J., Kelleher C. T., Meehan E. J., Delêtre M. Growth and genetic predisposition of induced acorn production in pedunculate oak (*Quercus robur* L.) within 15 years of planting. *Forest Ecology and Management*. 2021; 482. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118904>.

15. Popova A. A., Popova V. T., Dorofeeva V. D., Sorokopudova O. A. Anthropogenic environmental pressure influence on oak forest biodiversity and *Quercus robur* mitosis pathologies. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. International Jubilee Scientific and Practical Conference "Innovative Directions of Development of the Forestry Complex (FORESTRY-2018)". 2019; 012022. DOI: 10.1088/1755-1315/226/1/012022.

16. Sevillano I., Short I., Grant J., O'Reilly C. Effects of light availability on morphology, growth and biomass allocation of *Fagus sylvatica* and *Quercus robur* seedlings. *Forest Ecology and Management*. 2016; 374: 11-19. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.04.048>.

17. Vranckx G., Jacquemyn H., Mergeay J. (et al.) Transmission of genetic variation from the adult generation to naturally established seedling cohorts in small forest stands of pedunculate oak (*Quercus robur* L.). *Forest Ecology and Management*. 2014; 312. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2013.10.027>.

Сведения об авторах

Попова Анна Александровна – кандидат биологических наук, доцент кафедры ботаники и физиологии растений, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», ул. Тимирязева, 8, г. Воронеж, Российская Федерация; 394087, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4711-5377>; e-mail: logachevaaa@rambler.ru.

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

Information about the authors

Popova Anna Aleksandrovna – Cand. Sci. (Biology), Associate Professor of the Department of Botany and Plant Physiology, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Timiryazev str., 8, Voronezh, Russian Federation, 394087, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4711-5377>, e-mail: logachevaaa@rambler.ru.

✉ Slavskiy Vasily Aleksandrovich – Dr. Sci. (Agriculture), Associate Professor of forestry, forest taxation and forest management, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Timiryazev str., 8 Voronezh, Russian Federation, 394087, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6579-0344>, e-mail: slavskiyva@yandex.ru.

✉ – Для контактов/Corresponding author