

АНАЛИЗ КАЧЕСТВА ДРЕВЕСИНЫ ТРИПЛОИДНЫХ И ДИПЛОИДНЫХ ГИБРИДОВ ТОПОЛЯ БЕЛОГО В УСЛОВИЯХ ВОРОНЕЖСКОЙ ОБЛАСТИ

И.Н. Вариводина^{1✉}, О.С. Машкина^{1,2}

¹ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт лесной генетики, селекции и биотехнологии» (ВНИИЛГИСбиотех), Россия, 394087, г. Воронеж, ул. Ломоносова, д. 105

²ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет», Россия, 394018, г. Воронеж, Университетская пл., д. 1

varivodinna@rambler.ru

Представлены результаты анализа роста и качества древесины четырех клонов диплоидных ($2n = 38$), а также триплоидных ($2n = 57$) гибридов тополя белого (*Populus alba* L.), полученных с использованием в гибридизации искусственно синтезированной с помощью повышенной температуры диплоидной ($2n$) пыльцы. Приведены новые данные по качеству древесины (плотности и структурным характеристикам древесинных волокон) у индуцированных таким способом 34-летних триплоидных гибридов, произрастающих в разноплоидных испытательных культурах тополя Воронежской области. Выявлены различия по росту и качеству древесины у триплоидных гибридов, обусловленные их генетическими особенностями. Изложено мнение о том, что хороший рост и высокую продуктивность триплоидов может обеспечить участие в гибридизации $2n$ гамет с высокой степенью гетерозиготности, сформированных в нашем случае на основе отсутствия конъюгации хромосом и их сегрегации в первом делении мейоза под действием термоиндукции. Лучшие показатели по росту, объему стволов, базисной плотности древесины, длине и толщине древесинного волокна в исследуемом регионе установлены у триплоидного гибрида № 65 и диплоидного № 184. Показано, что длина древесинных волокон у них (1,43 мм и 1,35 мм) превосходит толщину (0,0217 мм и 0,021 мм) в 66 и 64 раз соответственно, что представляет интерес для бумажного производства. У этих же гибридов отмечена наибольшая базисная плотность древесины (372 кг/м³ и 364 кг/м³ соответственно). Высказано предположение о перспективности создания лесосырьевых плантаций из отселектированных разноплоидных (диплоидных и триплоидных) гибридов тополя белого в условиях лесостепи.

Ключевые слова: *Populus alba* L., гибриды, триплоиды, диплоиды, плотность древесины, структурные характеристики

Ссылка для цитирования: Вариводина И.Н., Машкина О.С. Анализ качества древесины триплоидных и диплоидных гибридов тополя белого в условиях Воронежской области // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2025. Т. 29. № 6. С. 147–157. DOI: 10.18698/2542-1468-2025-6-147-157

Тополь (*Populus* L.) — одна из самых быстрорастущих мягколиственных древесных пород, произрастающих в условиях умеренного климата, способная в короткие сроки продуцировать большие запасы древесины различного целевого назначения [1–3]. Тополь используется для создания плантационных, защитных, биоэнергетических и других насаждений, а также при проведении мелиоративных и декоративных работ. Древесина тополя мягкая, легко подвергается обработке, имеет невысокую себестоимость, что обуславливает ее широкое применение в производстве целлюлозы, бумаги, композиционных материалов (древесно-стружечных, древесно-волоконистых плит, современных плит OSB), а также использова-

ние в качестве строительного материала (бревен, брусьев, досок, потолочных балок и др.), при изготовлении мебели, строганого шпона с декоративной текстурой и иной продукции [4].

Особенно широко тополь распространен в лесной и лесостепной зонах. Наиболее высокой продуктивностью и устойчивостью в средней полосе России отличаются два вида — тополь белый (*Populus alba* L.) и тополь сереющий (*Populus × canescens* Sm.) [5–7].

Тополь белый вполне устойчив к засухе [8, 9], толерантен к изменениям уровня грунтовых вод [10], способен расти на широком разнообразии почв [3], благодаря чему и был включен в ассортимент пород для лесоразведения в южных регионах страны с аридным климатом (в частности, в Астраханской области [11], в Республике Калмыкия [12]), остро нуждающихся в древесине.

Качество древесины — один из важных показателей селекционной ценности новых гибридов и сортов. Технические свойства древесины тополя во многом определяют пригодность ее использования в качестве сырья для различных целей [13, 14]. Плотность древесины и размеры волокон (длина и толщина) существенно влияют на качество целлюлозы, бумаги и других продуктов переработки древесины [15–19]. Плотность древесины оказывает большое влияние на стоимость транспортировки, свойства щепы, выход целлюлозы на единицу массы древесины [20]. Для целлюлозно-бумажного производства предпочтительной считается плотность древесины тополя, равная 0,3...0,6 г/см³ [21]. На показатели древесины влияют эдафические и климатические условия произрастания деревьев [20].

Согласно работе [17], свойства древесины находятся под генетическим контролем и могут быть довольно стабильными для генотипов, произрастающих в разных условиях, но способны варьировать в довольно широком диапазоне при взаимодействии генотипа и окружающей среды.

По этой причине актуальность приобретают исследования по выделению продуктивных гибридов тополя с требуемыми качественными характеристиками древесины, пригодных для различных условий произрастания, в частности для Воронежской области (Центральное Черноземье).

Одним из подходов к получению эффекта гетерозиса у тополя, увеличения вегетативного роста и продуктивности насаждений, высокого качества древесины является полиплоидная селекция [17, 22, 23]. Триплоидные тополя ($2n = 57$), имеющие не только полиплоидную, но и гибридную природу, часто характеризуются быстрым ростом и продуктивностью, проявляют экологическую пластичность и устойчивость, а вследствие несбалансированного (нечетного) набора хромосом и нарушенного мейоза, женские экземпляры часто оказываются стерильными и не образуют семян [5, 23–26].

Согласно данным зарубежных исследователей [20], плантации селекционно улучшенных триплоидных гибридных клонов китайского белого тополя (*Populus tomentosa* Carr.) могут достигать стандартных размеров круглых сортиментов для выработки пиломатериалов за 8 лет при ежегодной урожайности 10...20 м³/га в год, что сделало такие тополя предпочтительными для использования в большинстве провинций Китая. Триплоидные тополя *P. tomentosa*, полученные в Китае в ходе только одного раунда селекции, уже в 5-летнем возрасте

демонстрировали высокую скорость роста и более длинные (на 52 %) древесинные волокна по сравнению с диплоидными в том же возрасте, имели более низкое (на 18 %) содержание лигнина, но более высокое (на 5,8 %) содержание α -целлюлозы [23]. Это делает их прекрасным сырьем для производства целлюлозы и бумаги.

Ранее нами была получена серия триплоидных ($2n = 57$) и диплоидных ($2n = 38$) гибридов *Populus alba* L. x *P. alba* L. По данным изучения сохранности и динамики роста (в возрастном интервале 1...28 лет) разноплоидных испытательных культур, созданных в Воронежской области, было отобрано четыре (из 22 изученных) перспективных по скорости роста гибрида [27].

Цель работы

Цель работы — анализ плотности и структурных характеристик древесины у четырех перспективных по скорости роста триплоидных и диплоидных гибридов тополя белого в возрасте 34 года для оценки их возможного практического использования.

Объекты и методы исследования

Объектом исследования служили клоны четырех диплоидных, $2n = 38$ (№ 136 и № 184) и триплоидных с тройным набором хромосом, $2n = 57$ (№ 65 и № 143) гибридов тополя белого. Аутотриплоиды получены нами при использовании в гибридизации искусственно индуцированной с помощью повышенной (+38...+40 °C) температуры диплоидной ($2n$) пыльцы [22, 27]. Испытательные культуры клонов разноплоидных гибридов были созданы в Семилукском лесопитомнике Воронежской обл. в 1986 г. Посадка проведена однолетними черенковыми саженцами (по 12...19 растений для каждого клона) с размещением 4×4 м. У диплоидных гибридов пол мужской. Триплоидные гибриды стерильны вследствие несбалансированного у них набора хромосом и нарушения прохождения мейоза.

Следует отметить, что анализируемые деревья (изучено по 10 деревьев для каждого клона) расположены на одном участке, поэтому основное значение в определении факторов роста, развития и качества древесины принадлежит генетическим особенностям самих гибридов.

Анализ сохранности и роста гибридов проводили по достижении ими возраста 34 года. Объемы стволов находили по объемным таблицам для тополя [28]. Запас древесины, характеризующий темпы роста древостоев по высоте и диаметру, вычисляли с учетом фактической

сохранности клонов в соответствии с методикой, представленной в работе [7].

Для анализа характеристик древесины использовали керны, полученные из стволов исследуемых деревьев (40 деревьев, по 3 образца, или керны, для каждого) приростным буравом на высоте 1,3 м от поверхности земли. Базисную плотность, характеризующую массу древесинного вещества в единице объема свежесрубленной древесины, находили способом максимальной влажности, а плотность древесины в абсолютно сухом состоянии определяли стереометрическим методом [29, 30]. Для оценки структурных характеристик древесинных волокон (длины и толщины анатомических элементов лиственной древесины) осуществляли мацерацию образцов (фрагментов кернов) методом Франклина [31]. Согласно этому методу, образец древесины (~1 г) размягчали кипячением в течение одного часа в колбе с рефлюксом в растворе ледяной уксусной кислоты и 34%-го пероксида водорода в соотношении 1:1. Затем из мацерата изготавливали препараты для микроскопических исследований.

Для выявления наличия сердцевинной гнили в древесине приростным буравом у всех 40 исследуемых деревьев были изъятые керны, охватывающие заболонную и ядровую части ствола, на высоте 1,3 м от поверхности земли. Из ядровой части у кернов вырезали отрезки длиной 2–3 см, которые предварительно вымачивали в растворе воды, глицерина и спирта в течение 24 ч для размягчения тканей древесины. Непосредственно перед изготовлением срезов исследуемые образцы проваривали в колбе с рефлюксом в течение 60 мин. Микротомные срезы толщиной 6...10 мкм помещали на предметное стекло и заключали в синтетическую смолу эупарал (заменитель канадской смолы) для длительного хранения препаратов.

Измерение длины и толщины (диаметра) волокон, а также определение наличия гифов дереворазрушающих грибов в древесине проводили на микроскопе Carl Zeiss Axio Vert A1 с помощью программы Zen. Измерение размеров древесинных волокон осуществляли в 100-кратной повторности для каждого образца.

Статистическую обработку данных проводили с помощью программного пакета Statistica. Сравнение выборок осуществляли с использованием *t*-критерия Стьюдента. Получены средние значения и их стандартные ошибки.

Результаты и обсуждение

Рост и продуктивность разноплоидных гибридов тополя. В табл. 1 дана характеристика ранее отобранных по скорости роста

перспективных триплоидных и диплоидных гибридов тополя белого. Средняя высота исследуемых деревьев в возрасте 34 года при их сохранности 80...84 % составляет 25...27 м, средний диаметр ствола на высоте 1,3 м — 43...48 см, объем стволов варьирует в пределах 1,43...1,72 м³, расчетный запас древесины на 1 га при размещении деревьев 4×4 м составляет 720...895 м³/га. Наиболее высокой продуктивностью и быстротой роста отличаются диплоидный гибрид № 184 и триплоидный — № 65 (рис. 1). В 34-летнем возрасте их средняя высота составила соответственно 25,3 и 26,9 м, диаметр ствола — 47,8 и 44,8 см, объем стволов 1,72 и 1,61 м³, расчетный запас древесины 895 и 847 м³/га, причем триплоидный гибрид № 65 статистически достоверно различается со всеми остальными по высоте (при $P \leq 0,01$), тогда как диплоидный гибрид № 184 — по диаметру (при $P \leq 0,05$) (см. табл. 1).

Полученные результаты сопоставимы с данными, приведенными в литературе для культур тополя белого в возрасте 30...39 лет [32–34]. Так, согласно информации, представленной в работе [32] в пойме р. Дон насаждения тополя белого в возрасте 30...39 лет имеют запас древесины 166,6...333,0 м³/га, что ниже по сравнению с отобранными нами гибридами. По данным работы [33], средний объем стволов в возрасте 30 лет у перспективных гибридов подрода настоящих тополей (*Europulus Dode*) в Центральном Черноземье составляет 0,7...1,3 м³, запас на 1 га при размещении 4×5 м — 460...600 м³. Базисная плотность древесины у них в среднем составила 380 кг/м³, длина волокон либриформа 1,2...1,3 мм. Гибридный сорт тополя белого «Ведуга» показал один из лучших результатов на сортоиспытательном участке в Хохольском лесничестве Воронежской обл. [34]. Его средняя высота в 34 года составила 21,3 м, диаметр ствола 31,2 см, объем ствола 0,83 м³, запас древесины 988 м³/га.

Согласно иным исследованиям [7], возраст количественной спелости для видов и гибридов настоящих тополей (*Europulus Dode*) в Центральном Черноземье наступает в 26...28 лет. Отмечается [35], что белые тополя (*Leuce Dode*) в том же регионе начинают достигать возраста количественной спелости только к 35...40 годам. Возможно, что у полиплоидных (триплоидных) гибридов тополя белого количественная спелость может наступить существенно раньше указанного срока.

Считается, что рост и другие признаки (в том числе, качество древесины) у триплоидов могут зависеть не только от дозового эффекта

Т а б л и ц а 1

**Сохранность и рост перспективных диплоидных
и триплоидных гибридов тополя белого в возрасте 34 года**
Preservation and growth of viable diploid and triploid white poplar hybrids at the age of 34 years

Гибрид	Сохранность, %	Высота, м	Диаметр ствола, см	Объем ствола, м ³	Расчетный запас древесины, м ³ /га
Диплоиды:					
136	80,0	25,5 ± 0,4	43,5 ± 1,1	1,44	720
184	83,3	25,3 ± 0,3	47,8 ± 0,8	1,72	895
Триплоиды:					
65	84,2	26,9 ± 0,2	44,8 ± 0,8	1,61	847
143	81,2	25,7 ± 0,1	43,2 ± 0,5	1,43	726



Рис. 1. Деревья клонов диплоидного № 184 (а, б) и триплоидного № 65 (в, з) гибридов тополя белого в возрасте 29 лет (а, в) и 34 лет (б, з) соответственно. Семилукский лесопитомник, Воронежская обл.

Fig. 1. Trees of diploid clone No. 184 (a, б) and triploid clone no. 65 (в, з) of white poplar hybrids at the ages of 29 years (a, в) and 34 years (б, з). Semiluksky Forest Nursery, Voronezh reg.

кратного увеличения числа хромосом, но и от гетерозиготного эффекта, передаваемого двумя разными родителями. Причем существенное значение отводится гетерозиготности исходных родителей скрещиваемой пары [23]. Это подтверждают и наши предыдущие исследования [27], в которых показано, что искусственно полученные терм-индукцией гаметы тополя с удвоенным набором хромосом ($2n$ гаметы, по сравнению с нормальными гаплоидными (n) с одинарным набором хромосом) могут иметь разную степень гетерозиготности. Это, по-нашему мнению, отчасти и объясняет тот факт, что не все триплоидные гибриды, созданные с участием диплоидной

пыльцы, характеризовались быстротой роста и продуктивностью, поэтому и среди них целесообразно проводить отбор. Уровень же гетерозиготности $2n$ гамет зависел от стадии развития мужской генеративной ткани (премейотические митозы, ранняя профазы I, первое или второе деление мейоза) в момент воздействия повышенной температуры. Согласно нашим данным [27], гетерозисный эффект у триплоидов может обеспечить участие в гибридизации $2n$ гамет высокой степени гетерозиготности. Такие гаметы формировались при воздействии повышенной температуры в период ранней профазы первого деления мейоза.

Т а б л и ц а 2

Плотность древесины и структурные характеристики древесинных волокон перспективных диплоидных и триплоидных гибридов тополя белого в возрасте 34 года

Wood density and structural characteristics of wood fibers in viable diploid and triploid white poplar hybrids at the age of 34 years

Показатель	Номер гибрида и его плоидность			
	136 (2х)	184 (2х)	65 (3х)	143 (3х)
Плотность древесины: в абсолютно сухом состоянии, кг/м ³ базисная, кг/м ³	426 ± 6,8 359 ± 3,2	431 ± 4,6 364 ± 3,1	456 ± 4,9 372 ± 3,2	423 ± 4,7 356 ± 3,3
Структурные характеристики дресинных волокон:				
длина волокна, мм	1,36 ± 0,2	1,35 ± 0,2	1,43 ± 0,2	1,37 ± 0,2
толщина волокна, мкм	22,5 ± 4,4	21,0 ± 5,2	21,7 ± 4,1	24,3 ± 3,5
<i>Примечание.</i> 2х — диплоид (2n = 38), 3х — триплоид (2n = 57).				

В этом случае отсутствовала конъюгация гомологичных хромосом, а вместо бивалентов в метафазе I выявлялись одиночные хромосомы (униваленты) с последующим их полным нерасхождением в анафазе I. Другими словами, повышенная температура (+38...+40 °С) индуцировала полное выпадение первого деления мейоза. Это обеспечивало высокую степень гетерозиготности образующихся гамет с удвоенным числом хромосом, поскольку весь набор генов, включая и большую часть типов взаимодействия между ними, присущие родительскому генотипу (представленному в материнских и отцовских хромосомах диплоидных мейотических клеток – микроспороцитах), передавался в продуцируемые диплоидные гаметы [27].

Плотность древесины и структурные характеристики древесинных волокон у перспективных разноплоидных гибридов тополя. Качественные характеристики древесины в возрасте 34 года представлены в табл. 2.

В качестве контроля использованы справочные значения для древесины тополя белого, произрастающего в Центральном районе Европейской части России: плотность древесины в абсолютно сухом состоянии 393 кг/м³, стандартная плотность 416 кг/м³, базисная плотность 334 кг/м³ [36].

Все изученные гибриды по плотности древесины превышают контрольные образцы (справочное значение): у гибридов базисная плотность составила 356...372 кг/м³, у контрольных образцов — 334 кг/м³. Лучшие показатели отмечены у гибридов № 65 (372 кг/м³) и № 184 (364 кг/м³), они превышают показатели контрольных образцов по плотности в среднем на 11 %, причем, триплоидный гибрид № 65 статистически достоверно различается

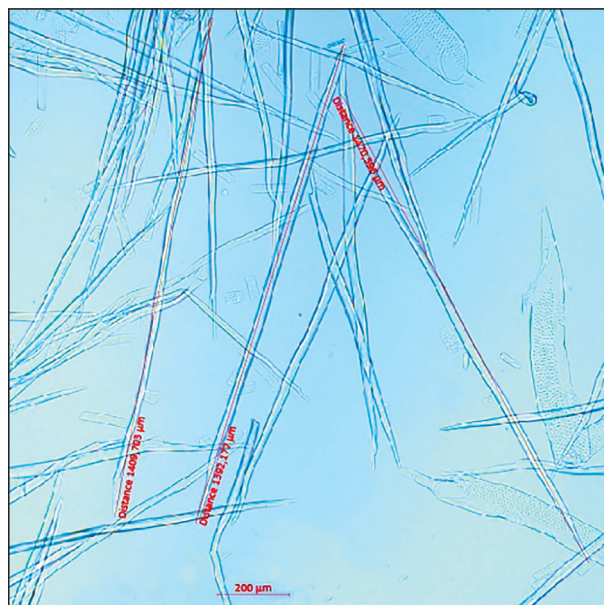


Рис. 2. Мацерированная древесина триплоидного гибрида № 65 тополя белого

Fig. 2. Macerated wood of triploid white poplar hybrid no. 65

со всеми остальными по плотности древесины в абсолютно сухом состоянии (при $P \leq 0,05$), по базисной плотности — с гибридами № 136 (диплоидный) и № 143 (триплоидный).

Анализ структурных характеристик древесины показал, что длина древесинных волокон у изученных гибридов превосходит толщину в 56...66 раз. Наилучшие показатели отмечены у триплоидного гибрида № 65, который характеризуется наиболее длинными ($1,43 \pm 0,21$ мм при варьировании от 1,37 до 1,5 мм) и тонкими (21,7 мкм) волокнами (см. табл. 2, рис. 2). Длина древесинных

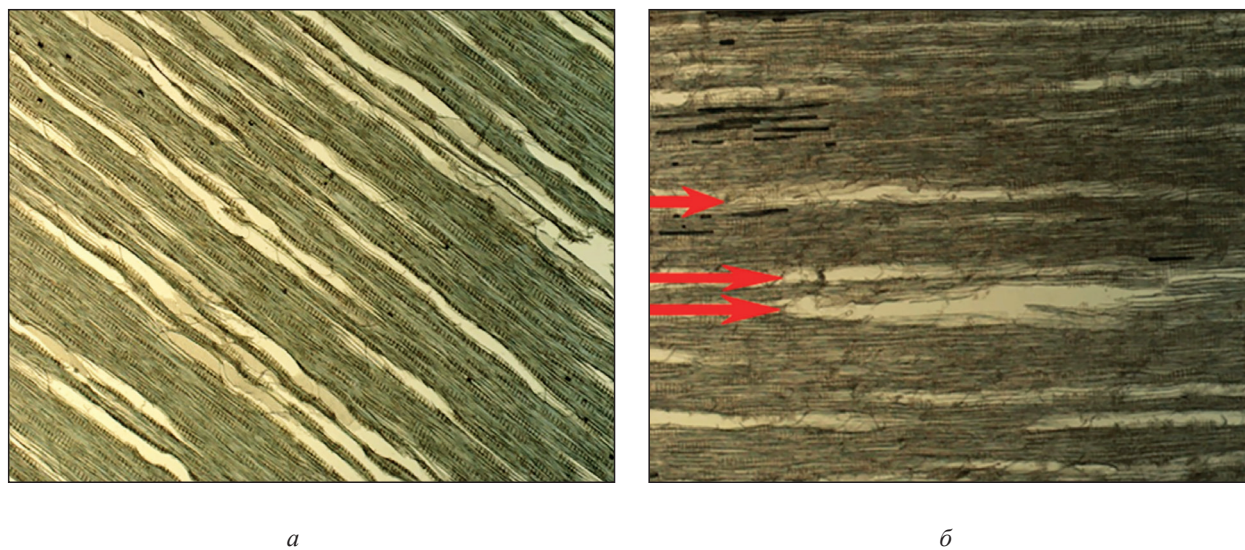


Рис. 3. Микроскопические срезы древесины триплоидного гибрида № 65 (а) и диплоидного гибрида № 136 (б) в возрасте 34 года без следов гифов дереворазрушающих грибов (стрелками обозначены места деструкции древесины у гибрида № 136)

Fig. 3. Wood microscopic cut of triploid hybrid no. 65 (a) and diploid hybrid no. 136 (b) at the age of 34 years without traces of fungal hyphae (arrows indicate the places of wood degradation in hybrid no. 136)

волокон (прозенхимных клеток мелких сосудов, промежуточных трахеид и либриформа) у данного гибрида превосходит толщину в 66 раз. Хорошие показатели демонстрируют и образцы диплоидного гибрида № 184 (длина волокна $1,35 \pm 0,2$ мм, толщина 21,0 мкм; превышение длины волокна над толщиной — в 64 раза). Это свидетельствует о пригодности указанных гибридов для производства бумаги.

Известно, что длина волокна тополя варьирует от 0,7 до 1,6 мм [35]. В зрелой древесине тополя средняя длина волокон составляет около 1,3 мм, диаметр волокон — 20...30 мкм [34]. Качество бумаги, например, тесно связано с размером волокон древесины, в частности трахеид и волокон либриформа (длиной, диаметром просвета и толщиной стенок) [19]. Согласно данным работы [37], для лучшего качества бумаги наиболее востребованы длинные волокна с тонкими стенками.

Таким образом, полученные данные показывают, что в возрасте 34 года триплоидный (№ 65) и диплоидный (№ 184) гибриды тополя белого имеют лучшие (из четырех изученных) показатели качества древесины (как по плотности, так и по структурным характеристикам — длине и толщине волокна). Это согласуется с данными, полученными для тех же гибридов в возрасте 28 лет [38].

Определение наличия сердцевинной гнили в древесине. Большой ущерб качеству древесины тополя может нанести сердцевинная (ядро-

вая) гниль, которая снижает проницаемость, прочность и ударную вязкость древесины. Диагностическим признаком этого заболевания является наличие гифов грибов *Phellinus igniarius* и др., которые можно обнаружить только при микроскопическом исследовании. Как правило, гифы дереворазрушающих грибов на микро-срезах выглядят нитевидными посторонними включениями, сосредоточенными в проводящей и запасующей тканях древесины — сосудах и сердцевинных лучах [39].

Микроскопическое изучение срезов древесины не выявило наличие гифов ни у одного из четырех гибридов тополя белого (рис. 3). Причем, только у гибрида № 136 (диплоидный) отмечены признаки деструкции древесины, что проявилось в присутствии хаотичных нитевидных включений в ядровой части ствола. Признаки деструкции характерны для второй стадии гнилеобразования, когда древесина сохраняет достаточную прочность, но ее технические характеристики начинают снижаться.

Большинство видов тополя можно легко клонировать традиционным черенкованием. Исключение составляют некоторые представители подрода *Leuce Dode* и настоящие тополя (*Europulus Dode*) из секции черных тополей (осокорь), белых тополей (тополь белый и сереющий), а также осина [5].

В связи с этим для клонирования выделенных перспективных триплоидных и диплоидных гибридов тополя мы использовали

метод клонального микроразмножения *in vitro*. На его основе получены размноженные *in vitro* клоны, которые были включены в коллекцию ФГБУ «ВНИИЛГИСбиотех» для последующего выращивания посадочного материала с целевыми признаками, а также использования в качестве исходного материала в исследованиях по адаптивной селекции (в том числе клеточной и тканевой селекции *in vitro*).

Выводы


На основе проведенных исследований можно заключить, что в условиях лесостепи Воронежской области два искусственно созданных нами гибрида тополя белого (№ 65 — триплоидный, $2n = 57$ и № 184 — диплоидный, $2n = 38$) в возрасте 34 лет отличались наилучшими (из четырех исследованных) показателями роста, продуктивности и качества древесины (по плотности и структурным характеристикам — длине и толщине волокна). В древесине данных гибридов на микроскопическом уровне отсутствовали признаки сердцевинной гнили, наносящей большой ущерб ее качеству. Это позволяет рекомендовать выделенные гибриды тополя белого разной плоидности (полиплоидный и диплоидный) в перспективные assortименты для их практического использования в исследуемом регионе.

Список литературы

- [1] Dickmann D.I., Kuzovkina J. Poplars and willows of the world, with emphasis on silviculturally important species // Poplars and willows: trees for society and the environment / Eds. Isebrands J.G., Richardson J. CAB International and FAO, 2014, pp. 8–91.
- [2] Tsarev A.P., Tsarev V.A., Laur N.V. Phenological forms of aspen in the central black earth region of European Russia // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IV scientific-technical conference «Forests of Russia: policy, industry, science and education», St. Petersburg, 22–24 May 2019. GB: Institute of Physics Publishing, 2019, t. 316, p. 012073.
- [3] Sedlar T., Ištók I., Orešković G., Stojnić S., Goršić E., Šefc B. Physical properties of wood in white poplar clone 'L-12' grown in Republic of Croatia and Serbia // Poplar, 2019, no. 203, pp. 45–51.
- [4] Царев А.П. Многообразие использования древесины тополей // ИзВУЗ Лесной журнал, 2018. № 5. С. 48–64. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.5.48
- [5] Сиволапов А.И. Тополь сереющий. Генетика, селекция, размножение. Воронеж: Изд-во ВГУ, 2005. 157 с.
- [6] Tsarev A.P., Wühlisch G., Tsareva R.P. Hybridization of poplars in the Central Chernozem region of Russia // Silvae Genetica, 2016, v. 65, no. 2, pp. 1–10. DOI: 10.1515/sg-2016-0011
- [7] Царев А.П., Царева Р.П., Царев В.А. Динамика сохранности и продуктивности настоящих тополей при испытании в условиях умеренного климата // Информационный вестник ВОГиС, 2010. Т. 14. № 2. С. 255–264.
- [8] Ištók I., Šefc B., Hasan M., Popović G., Sedlar T. Fiber characteristics of white poplar (*Populus alba* L.) juvenile wood along the Drava River // Drvna industrija, 2017. v. 68, no. 3, pp. 241–247. DOI: 10.5552/drind.2017.1729
- [9] Vuksanovic V., Kovacevic B., Kebert M., Pavlovic L., Kesic L., Cukanovic J., Orlovic S. In vitro selection of drought-tolerant white poplar clones based on antioxidant activities and osmoprotectant content // Front. Plant Sci., 2023, v. 14, article number 1280794. DOI: 10.3389/fpls.2023.1280794
- [10] Rédei K., Keserü Zs. Promising white poplar (*Populus alba* L.) clones in sandy ridges between the rivers Danube and Tisza in Hungary // International J. of Horticultural Science, 2008, v. 14, no. 1–2, pp. 113–116.
- [11] Царев А.П., Царев В.А., Царева Р.П. Рост тополей в орошаемых условиях Астраханской полупустыни на буграх Бэра // Актуальные проблемы лесного комплекса, 2021. № 59. С. 90–93.
- [12] Цембелев М.А. Количественная оценка разнообразия древесных растений, культивируемых в защитных лесных насаждениях республики Калмыкия // Вестник института комплексных исследований аридных территорий, 2009. № 1 (18). С. 101–104.
- [13] Ma H., Dong Y., Chen Z., Liao W., Lei B., Gao K., Li S., An X. Variation in the growth traits and wood properties of hybrid white poplar clones // Forests, 2015, no. 6, pp. 1107–1120. DOI: 10.3390/f6041107
- [14] Sinković T., Jambreković B., Šefc B., Ištók I., Veselčić F., Sedlar T. Some physical and mechanical properties of white poplar (*Populus alba* L.) wood grown in Varaždin region // 28th International Conference on Wood Science and Technology At: Zagreb, Croatia, 2017, article number 101. <https://www.bib.irb.hr/914647> (дата обращения: 18.03.2025).
- [15] Dutt D., Tyagi C.H. Comparison of various eucalyptus species for their morphological, chemical, pulp and paper making characteristics // Indian J. of Chemical Technology, 2011, no. 18, pp. 145–151.
- [16] Santos A., Anjos O., Amaral M.E., Gil N., Pereira H., Simões R. Influence on pulping yield and pulp properties of wood density of *Acacia melanoxylon* // J. of Wood Science, 2012, no. 58, pp. 479–486. DOI: 10.1007/s10086-012-1286-2
- [17] Wu F., Zhang P., Pei J., Kang X. Genotypic parameters of wood density and fiber traits in triploid hybrid clones of *Populus tomentosa* at five clonal trials // Annals of Forest Science, 2013, no. 70, pp. 751–759. DOI: 10.1007/s13595-013-0307-7
- [18] Yahya R., Yansen Y., Sundaryono A., Horikawa Y., Sugiyama J. Neighborhood of vessels: Chemical composition and microfibril angle of fibre within *Acacia mangium* // J. of Tropical Forest Science, 2017, no. 29, pp. 267–274. DOI: 10.26525/jtfs2017.29.3.267274
- [19] Yadav R., Kumar D., Ansari T. Wood fiber characteristics of underutilized poplar species and comparison with *P. deltoides* in terms of their pulp and paper quality // J. of Biomedical Research and Environmental Sciences, 2022, v. 3, iss. 11, pp. 1433–1439. DOI: 10.37871/jbres1617

- [20] Zhang P., Wu F., Kang X. Genotypic variation in wood properties and growth traits of triploid hybrid clones of *Populus tomentosa* at three clonal trials // *Tree Genetics and Genomes*, 2012, no. 8, pp. 1041–1050. DOI: 10.1007/s11295-012-0484-9
- [21] Цивенкова Н.М., Самылин А.А. Быстрорастущие плантации тополя — новая энергетическая сырьевая база // *Леспроектинформ*, 2005. № 8(30). С. 58–63.
- [22] Машкина О.С., Исаков Ю.Н. Генетико-селекционное улучшение тополя // *Лесоведение*, 2002. № 3. С. 68–73.
- [23] Kang X., Wei H. Breeding polyploid *Populus*: progress and perspective // *Forestry Research*, 2022, no. 2, article number 4. DOI: 10.48130/FR-2022-0004
- [24] Sivolapov A., Blagodarova T., Sivolapov V. Reasons for the sterility of allotriploid gray poplar // *BIO Web of Conferences*, 2024, v. 145, article number 02007. DOI: 10.1051/bioconf/202414502007
- [25] Ulrich K., Ewald D. Breeding triploid aspen and poplar clones for biomass production // *Silvae Genetica*, 2014, v. 63, iss. 1–6, pp. 47–58. DOI: 10.1515/sg-2014-0008
- [26] Mashkina O. S., Amineva E. Yu. Assessment of the ecological and genetic potential of poplar mixoploids in Voronezh oblast // *Contemporary Problems of Ecology*, 2023, v. 16, no. 5, pp. 600–611. DOI: 10.1134/S1995425523050062
- [27] Машкина О.С. Испытание триплоидных гибридов тополя в условиях Воронежской области // *Сибирский лесной журнал*, 2016. № 5. С. 72–80.
- [28] Hadži-Georgiev K., Goguševski M. Dvolazne table mass za topola klona *Populus euramerican* cv. I-214 u geveliskom području // *Topola*, 1972, v. XVI, no. 90, pp. 25–29.
- [29] Полубояринов О.И. Плотность древесины. М.: Лесная пром-сть, 1976. 160 с.
- [30] Вариводина И.Н., Вариводин В.А. Определение показателей технических свойств древесины дуба с целью разработки предложений к биотехнологическим подходам для создания системы микроклонального размножения твердолиственных пород // *Наука и практика. Воронеж: Изд-во ВНИИЛГИСбиотех*, 2021. С. 6–13.
- [31] Liptáková E. *Chémia a aplikáciapomocnych látok v drevárskom priemysle*. Ed. by E. Liptáková, M. Sedliačik. Bratislava, 1989, 520 p.
- [32] Турчин Т.Я., Завгородняя А.С. Ход роста чистых и смешанных насаждений тополя белого в пойме Дона // *Лесоведение*, 2013. № 1. С. 23–29.
- [33] Русин Н.С., Козьмин А.В., Русина Л.М., Ширяев В.Н., Стародубцева Л.М., Горевалова С.Ю., Посохов В.П. Сортоиспытание, селекция лесобразующих и интродуцированных пород для создания целевых плантаций, лесных культур и защитных насаждений // *Достижения и проблемы лесной генетики и селекции (к 40-летию НИИЛГИС)*. Воронеж: Истоки, 2010. С. 212–224.
- [34] Царев А.П., Царева Р.П., Царев В.А., Ленченкова О.Ю., Милигула Е.Н. Сортоиспытание и отбор гибридов тополя для полезащитных насаждений // *Лесотехнический журнал*, 2019. № 1. С. 93–102.
- [35] Шамсутдинова А.Р., Султанова Р.Р., Мустафин Р.Ф. Выращивание саженцев деревьев рода *Populus* в горно-лесной зоне Южного Урала // *Лесной вестник / Forestry Bulletin*, 2025. Т. 29. № 2. С. 30–41. DOI: 10.18698/2542-1468-2025-2-30-41
- [36] Уголев Б.Н. *Древесиноведение и лесное товароведение*. М.: МГУЛ, 2007. 351 с.
- [37] Rydholm S.A. *Pulping process*. New York: John Wiley-Sons Ltd. 1967, 1269 p.
- [38] Вариводина И.Н., Вариводин В.А. Исследование качества древесины селекционно-ценных форм тополя и осины // *Актуальные проблемы и перспективы развития лесопромышленного комплекса: науч. тр. III Междунар. науч.-техн. конф., Кострома, 21–24 сентября 2015 г. Кострома: Изд-во Костромского государственного технологического университета*, 2015. С. 7–9.
- [39] Станко Я.Н., Горбачева Г.А. Древесные породы и основные пороки древесины. Иллюстрированное справочное пособие для работников таможенной службы / под ред. Н.М. Шматкова, А.В. Беляковой. М.: Всемирный фонд дикой природы (WWF), 2010. 155 с.

Сведения об авторах

Вариводина Инна Николаевна  — канд. техн. наук, зав. отделом лесной генетики и биотехнологии (Центр лесных биотехнологий), ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт лесной генетики и биотехнологии» (ВНИИЛГИСбиотех), varivodinna@rambler.ru

Машкина Ольга Сергеевна — канд. биол. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет»; вед. науч. сотр. отдела лесной генетики и биотехнологии, ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт лесной генетики и биотехнологии» (ВНИИЛГИСбиотех), mashkinaos@mail.ru

Поступила в редакцию 07.04.2025.

Одобрено после рецензирования 19.06.2025.

Принята к публикации 13.10.2025.

WOOD QUALITY ANALYSIS OF TRIPLOID AND DIPLOID WHITE POPLAR HYBRIDS IN VORONEZH REGION

I.N. Varivodina¹✉, O.S. Mashkina^{1, 2}

¹All-Russian Research Institute of Forest Genetics, Breeding and Biotechnology», 105, Lomonosov st., 394087, Voronezh, Russia

²Voronezh State University, 1, Universitetskaya sq. 394018, Voronezh, Russia

varivodinna@rambler.ru

The article presents an analysis of the growth and wood quality of four diploid ($2n = 38$) and triploid ($2n = 57$) white poplar (*Populus alba* L.) hybrid clones, produced using diploid ($2n$) pollen artificially induced by elevated temperatures. New data on wood quality, including density and structural characteristics of wood fibers, are reported for 34-year-old triploid hybrids grown in mixed-ploidy poplar test plantations in the Voronezh Region. Analysis revealed differences in growth and wood quality among the triploid hybrids, attributed to their genetic characteristics. We suggest that the use of $2n$ gametes with high heterozygosity, formed in our case due to the absence of chromosome conjugation and segregation during the first meiotic division under heat induction, can promote the high growth and productivity of triploids. The triploid hybrid no. 65 and diploid hybrid no. 184 exhibited the best performance in the region, with superior growth, trunk volume, wood density, and fiber length and thickness. Specifically, their wood fiber lengths (1,43 mm and 1,35 mm) exceed their fiber thicknesses (0,0217 mm and 0,021 mm) by 66 and 64 times, respectively, making them promising for paper production. These hybrids also showed the highest wood densities (372 kg/m³ for no. 65 and 364 kg/m³ for no. 184). The study suggests that establishing forest plantations allocated to wood production with selected diploid and triploid white poplar hybrids is a promising approach for forest-steppe conditions.

Keywords: *Populus alba* L., hybrids, triploids, diploids, wood density, structural characteristics

Suggested citation: Varivodina I.N., Mashkina O.S. *Analiz kachestva drevesiny triploidnykh i diploidnykh gibridov topolya belogo v usloviyakh Voronezhskoy oblasti* [Wood quality analysis of triploid and diploid white poplar hybrids in Voronezh region]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2025, vol. 29, no. 6, pp. 147–157. DOI: 10.18698/2542-1468-2025-6-147-157


References

- [1] Dickmann D.I., Kuzovkina J. Poplars and willows of the world, with emphasis on silviculturally important species. Poplars and willows: trees for society and the environment. Eds. Isebrands J.G., Richardson J. CAB International and FAO, 2014, pp. 8–91.
- [2] Tsarev A.P., Tsarev V.A., Laur N.V. Phenological forms of aspen in the central black earth region of European Russia. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IV scientific-technical conference «Forests of Russia: policy, industry, science and education», St. Petersburg, 22–24 May 2019. GB: Institute of Physics Publishing, 2019, t. 316, p. 012073.
- [3] Sedlar T., Ištók I., Orešković G., Stojnić S., Goršić E., Šefc B. Physical properties of wood in white poplar clone ‘L-12’ grown in Republic of Croatia and Serbia. *Poplar*, 2019, no. 203, pp. 45–51.
- [4] Tsarev A.P. *Mnogoobrazie ispol'zovaniya drevesiny topoley* [The Diversity of use of poplar wood]. *Russian Forestry Journal*, 2018, no. 5, pp. 48–64. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.5.48
- [5] Sivolapov A.I. *Topol'sereyushchiy. Genetika, selektsiya, razmnozhenie* [Gray poplar: genetics, selection, reproduction]. Voronezh: VSU, 2005, 157 p.
- [6] Tsarev A.P., Wühlisch G., Tsareva R.P. Hybridization of poplars in the Central Chernozem region of Russia. *Silvae Genetica*, 2016, v. 65, no. 2, pp. 1–10. DOI: 10.1515/sg-2016-0011
- [7] Tsarev A.P., Tsareva R.P., Tsarev V.A. *Dinamika sokhrannosti i produktivnosti nastoyashchikh topoley pri ispytanii v usloviyakh umerennogo klimata* [The time pattern of survival and productivity of eupopulus tested in the temperate climatic belt]. *Informatsionnyy vestnik VOGiS [Vavilov J. of Genetics and Breeding]*, 2010, v. 14, no. 2, pp. 659–668.
- [8] Ištók I., Šefc B., Hasan M., Popović G., Sedlar T. Fiber characteristics of white poplar (*Populus alba* L.) juvenile wood along the Drava River. *Drvna industrija*, 2017. v. 68, no. 3, pp. 241–247. DOI: 10.5552/drind.2017.1729
- [9] Vuksanovic V., Kovacevic B., Kebert M., Pavlovic L., Kesic L., Cukanovic J., Orlovic S. In vitro selection of drought-tolerant white poplar clones based on antioxidant activities and osmoprotectant content. *Front. Plant Sci.*, 2023, v. 14, article number 1280794. DOI: 10.3389/fpls.2023.1280794
- [10] Rédei K., Keserü Zs. Promising white poplar (*Populus alba* L.) clones in sandy ridges between the rivers Danube and Tisza in Hungary. *International J. of Horticultural Science*, 2008, v. 14, no. 1–2, pp. 113–116.
- [11] Tsarev A.P., Tsarev V.A., Tsareva R.P. *Rost topoley v oroshaemykh usloviyakh Astrakhanskoy polupustyni na bugrakh Bera* [The growth of poplars under irrigated conditions of the Astrakhan semi-desert environment at the ‘Ber’s hills’]. *Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa [Actual problems of the forest complex]*, 2021, no. 59, pp. 90–93.

- [12] Tsembelev M.A. *Kolichestvennaya otsenka raznoobraziya drevesnykh rasteniy, kul'tiviruemyykh v zashchitnykh lesnykh nasazhdeniyakh respubliki Kalmykiya* [Quantitative assessment of the diversity of woody plants cultivated in protective forest plantations of the Republic of Kalmykia]. *Vestnik instituta kompleksnykh issledovaniy aridnykh territoriy* [Bulletin of the Institute of Complex Studies of Arid Territories], 2009, no. 1(18), pp. 101–104.
- [13] Ma H., Dong Y., Chen Z., Liao W., Lei B., Gao K., Li S., An X. Variation in the growth traits and wood properties of hybrid white poplar clones. *Forests*, 2015, no. 6, pp. 1107–1120. DOI: 10.3390/f6041107
- [14] Sinković T., Jambreković B., Šefc B., Ištók I., Veselčić F., Sedlar T. Some physical and mechanical properties of white poplar (*Populus alba* L.) wood grown in Varaždin region. 28th International Conference on Wood Science and Technology At: Zagreb, Croatia, 2017, article number 101. <https://www.bib.irb.hr/914647> (accessed 18.03.2025).
- [15] Dutt D., Tyagi C.H. Comparison of various eucalyptus species for their morphological, chemical, pulp and paper making characteristics. *Indian J. of Chemical Technology*, 2011, no. 18, pp. 145–151.
- [16] Santos A., Anjos O., Amaral M.E., Gil N., Pereira H., Simões R. Influence on pulping yield and pulp properties of wood density of *Acacia melanoxylon*. *J. of Wood Science*, 2012, no. 58, pp. 479–486. DOI: 10.1007/s10086-012-1286-2
- [17] Wu F., Zhang P., Pei J., Kang X. Genotypic parameters of wood density and fiber traits in triploid hybrid clones of *Populus tomentosa* at five clonal trials. *Annals of Forest Science*, 2013, no. 70, pp. 751–759. DOI: 10.1007/s13595-013-0307-7
- [18] Yahya R., Yansen Y., Sundaryono A., Horikawa Y., Sugiyama J. Neighborhood of vessels: Chemical composition and microfibril angle of fibre within *Acacia mangium*. *J. of Tropical Forest Science*, 2017, no. 29, pp. 267–274. DOI: 10.26525/jtfs2017.29.3.267274
- [19] Yadav R., Kumar D., Ansari T. Wood fiber characteristics of underutilized poplar species and comparison with *P. deltoides* in terms of their pulp and paper quality. *J. of Biomedical Research and Environmental Sciences*, 2022, v. 3, iss. 11, pp. 1433–1439. DOI: 10.37871/jbres1617
- [20] Zhang P., Wu F., Kang X. Genotypic variation in wood properties and growth traits of triploid hybrid clones of *Populus tomentosa* at three clonal trials. *Tree Genetics and Genomes*, 2012, no. 8, pp. 1041–1050. DOI: 10.1007/s11295-012-0484-9
- [21] Tsivenkova N.M., Samylin A.A. *Bystorastushchie plantatsii topolya — novaya energeticheskaya syr'evaya baza* [Fast-growing poplar plantations is a new energy resource base]. *LESPROM inform*, 2005, no. 8(30), pp. 58–63.
- [22] Mashkina O.S., Isakov Yu. N. *Genetiko-seleksionnoe uluchshenie topolya* [On genetic-breeding improvement Poplar]. *Lesovedenie* [Russian Forestry J.], 2002, no. 3, pp. 68–73.
- [23] Kang X., Wei H. Breeding polyploid *Populus*: progress and perspective. *Forestry Research*, 2022, no. 2, article number 4. DOI: 10.48130/FR-2022-0004
- [24] Sivolapov A., Blagodarova T., Sivolapov V. Reasons for the sterility of allotriploid graying poplar. *BIO Web of Conferences*, 2024, v. 145, article number 02007. DOI: 10.1051/bioconf/202414502007
- [25] Ulrich K., Ewald D. Breeding triploid aspen and poplar clones for biomass production. *Silvae Genetica*, 2014, v. 63, iss. 1–6, pp. 47–58. DOI: 10.1515/sg-2014-0008
- [26] Mashkina O. S., Amineva E. Yu. Assessment of the ecological and genetic potential of poplar mixoploids in Voronezh oblast. *Contemporary Problems of Ecology*, 2023, v. 16, no. 5, pp. 600–611. DOI: 10.1134/S1995425523050062
- [27] Mashkina O.S. *Ispytanie triploidnykh gibridov topolya v usloviyakh Voronezhskoy oblasti* [Testing of triploid poplar hybrids in the Voronezh region]. *Sibirskiy lesnoy zhurnal* [Siberian J. of Forest Science], 2016, no. 5, pp. 72–80.
- [28] Hadži-Georgiev K., Goguševski M. Dvolazne tabele mass za topola klona *Populus euramericana* cv. I-214 u gevgeliskom području. *Topola*, 1972, v. XVI, no. 90, pp. 25–29.
- [29] Poluboyarinov O.I. *Plotnost' drevesiny* [The wood density]. Moscow: Lesnaya promishlennost, 1976, 160 p.
- [30] Varivodina I.N., Varivodin V.A. *Opredelenie pokazateley tekhnicheskikh svoystv drevesiny duba s tsel'yu razrabotki predlozheniy k biotekhnologicheskim podkhodam dlya sozdaniya sistemy mikroklonal'nogo razmnozheniya tverdotsvennykh porod* [Determination of indicators of technical properties of oak wood in order to develop proposals for biotechnological approaches for the creation of a system of microclonal propagation of hardwood species]. *Nauka i praktika* [Science and Practice], 2021, pp. 6–13.
- [31] Liptáková E. *Chcmia a aplikáciapomocnych látok v drevárskom priemysle*. Ed. by Liptáková E., Sedliačik M. Bratislava, 1989, 520 p.
- [32] Turchin T.Ya., Zavgorodnyaya A.S. *Khod rosta chistykh i smeshannykh nasazhdeniy topolya belogo v poyme Dona* [Growth of pure and mixed stands of white poplar in the Don floodplain]. *Lesovedenie* [Russian J. of Forest Science], 2013, no. 1, pp. 23–29.
- [33] Rusin N.S., Koz'min A.V., Rusina L.M., Shiryayev V.N., Starodubtseva L.M., Gorevalova S.Yu., Posokhov V.P. *Sortoispytanie, selektsiya lesoobrazuyushchikh i introdutsirovannykh porod dlya sozdaniya tselevykh plantatsiy, lesnykh kul'tur i zashchitnykh nasazhdeniy* [Variety testing, selection of forest forming and introduced species for establishment of target plantations, forest crops and protective plantations]. *Dostizheniya i problemy lesnoy genetiki i selektsii (k 40-letiyu NIILGiS)* [Achievements and problems of forest genetics and breeding (to the 40th anniversary of NIILGiS)]. Voronezh: Istoki, 2010, pp. 212–224.
- [34] Tsarev A.P., Tsareva R.P., Tsarev V.A., Lenchenkova O.Y., Miligula E.N. *Sortoispytanie i otbor gibridov topolya dlya polezashchitnykh nasazhdeniy* [Variety testing and selection of Poplar hybrids for field-protective plantings]. *Lesotekhnicheskii zhurnal* [Forest Engineering J.], 2019, no. 1, pp. 93–102.
- [35] Shamsutdinova A.R., Sultanova R.R., Mustafin R.F. *Vyrashchivanie sazhentsev derev'ev roda Populus v gorno-lesnoy zone Yuzhnogo Urala* [Cultivation of seedlings (genus *Populus*) in Southern Urals mountain-forest zone]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2025, vol. 29, no. 2, pp. 30–41. DOI: 10.18698/2542-1468-2025-2-30-41

- [36] Ugolev B.N. *Drevesinovedenie i lesnoe tovarovedenie* [Wood science and forest management]. Moscow: Academia, 2007, 351 p.
- [37] Rydholm S.A. *Pulping process*. New York: John Wiley-Sons Ltd. 1967, 1269 p.
- [38] Varivodina I.N., Varivodin V.A. *Issledovanie kachestva drevesiny selektsionno-tsennykh form topolya i osiny* [Investigation of wood quality of selection-valuable forms of poplar and aspen trees]. Aktual'nye problemy i perspektivy razvitiya lesopromyshlennogo kompleksa [Actual problems and prospects of development of the timber industry complex]. Nauchnye trudy III Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii [Scientific Proceedings of the III International Scientific and Technical Conference], Kostroma, September 21–24, 2015. Kostroma: Kostroma State Technological University, 2015, pp. 7–9.
- [39] Stanko Ya.N., Gorbacheva G.A. *Drevesnye porody i osnovnye poroki drevesiny. Illyustrirovannoe spravochnoe posobie dlya rabotnikov tamozhennoy sluzhby* [Wood species and main wood defects. Illustrated reference book for customs officers]. Moscow: Vsemirnyy fond dikoy prirody [World Wildlife Fund], 2010, 155 pp.

Authors' information

Varivodina Inna Nikolaevna  — Cand. Sci. (Tech.), Head of Forest Genetics and Biotechnology Department (Forest Biotechnology Center), All-Russian Research Institute of Forest Genetics, Breeding and Biotechnology, varivodinna@rambler.ru

Mashkina Ol'ga Sergeevna — Cand. Sci. (Biol.), Associate Professor of the Voronezh State University; Leading Researcher of the Department of Forest Genetics and Biotechnology, All-Russian Research Institute of Forest Genetics, Breeding and Biotechnology, mashkinaos@mail.ru

Received 07.04.2025.

Approved after review 19.06.2025.

Accepted for publication 13.10.2025.

Вклад авторов: все авторы в равной доле участвовали в написании статьи

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Authors' Contribution: All authors contributed equally to the writing of the article

The authors declare that there is no conflict of interest