

Оригинальная статья

DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2025.4/5>

УДК 630.232.5:630.165.5



Влияние типов кассет и контейнеров на биологическую продуктивность посадочного материала гибрида *Populus alba* L. x *Populus tremula* L.

Петр М. Евлаков¹, peter.evlakov@yandex.ru  <https://orcid.org/0000-0003-0138-2410>

Алексей Н. Цепляев¹ , vsealexey@mail.ru,  <https://orcid.org/0000-0003-1938-5660>

Анна А. Попова¹, logachevaaa@rambler.ru  <https://orcid.org/0000-0003-0138-2410>

Ольга С. Рязанцева¹, dnb-87@mail.ru  <https://orcid.org/0009-0000-5227-3420>

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

В условиях сокращения лесных массивов в мире актуальным становится вопрос быстрого лесовосстановления, для чего необходимо подобрать ассортимент лесных древесных пород с улучшенными наследственными качествами, обладающими высокими темпами роста. Для получения качественных лесных насаждений в наиболее короткие сроки перспективным является использование посадочного материала с закрытой корневой системой, что позволяет повысить приживаемость растений до 100 % при посадке. Объектами исследования являлись экземпляры гибрида *Populus alba* L. x *Populus tremula* L., размноженные в условиях *in vitro* в лаборатории анализа ПЦР НИИ «Инновационных технологий и лесного комплекса» ВГЛТУ им. Г.Ф. Морозова. Исследования проводили в период с мая 2024 по ноябрь 2024 года на территории АО ПКВО: 394087, Воронежская область, г. Воронеж, ул. Учебный кордон, д. 5А. В ходе исследования определялась биологическая продуктивность растений, выращиваемых в разных видах контейнеров в теплице и на площадке закалывания. Биометрические измерения посадочного материала включали в себя: определение высоты, диаметра, сухой массы стебля и корня, количества листьев, длины корней исследуемых растений. В результате статистической обработки установлено, что наилучший результат по биометрическим показателям продемонстрировали растения, выращиваемые в контейнерах Ніко V-150 и Ніко V-265, наихудший в Ніко V-120, саженцы в контейнерах Р9 занимают промежуточное положение, но не обеспечивают рациональное использование площади. Для производства крупномерных саженцев гибрида *Populus alba* L. x *Populus tremula* L. с ЗКС в июне рекомендована в пересадка растений из кассет в технологические горшки 2 л. Саженцы данного вида эффективнее выращивать в теплице, однако следует учитывать, что такой посадочный материал лучше высаживать весной, поскольку растения не проходят фазы закалывания.

Ключевые слова: *гибрид Populus alba* L. x *Populus tremula* L., *клональное микроразмножение, in vitro, закрытая корневая система, теплица, площадка закалывания, посадочный материал, кассеты, контейнеры*

Финансирование: Исследование проводилось в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации № 1023013000020-6-4.1.2 «Отбор хозяйственно ценных и устойчивых к изменению климата древесных культур, отличающихся высокой биологической продуктивностью и потенциалом секвестрации углерода с учетом региональных почвенно-климатическим особенностей для реализации лесоклиматических проектов (FZUR-2023-0002)».

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

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Влияние типов кассет и контейнеров на биологическую продуктивность посадочного материала гибрида *Populus alba* L. x *Populus tremula* L. / П.М. Евлаков, А.Н. Цепляев, А.А. Попова, О.С. Рязанцева // Лесотехнический журнал. – 2025. – Т. 15. – № 4 (60). – С. 77-94. – Библиогр.: с. 91-93 (20 назв.). – DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2025.4/5>.

Поступила 01.08.2025. *Пересмотрена* 25.10.2025. *Принята* 30.11.2025. *Опубликована онлайн* 26.12.2025.

Article

The influence of types of cassettes and containers on the biological productivity of the planting material of the hybrid *Populus alba* L. x *Populus tremula* L.

Peter M. Evlakov¹, peter.evlakov@yandex.ru  <https://orcid.org/0000-0003-0138-2410>

Alexey N. Tseplyaev¹ , vsealexey@mail.ru,  <https://orcid.org/0000-0003-1938-5660>

Anna A. Popova¹, logachevaaa@rambler.ru  <https://orcid.org/0000-0003-0138-2410>

Olga S. Ryazantseva¹, dnb-87@mail.ru  <https://orcid.org/0009-0000-5227-3420>

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

Abstract

In the context of shrinking forests in the world, the issue of rapid reforestation is becoming relevant, for which it is necessary to select an assortment of forest tree species with improved hereditary qualities and high growth rates. To obtain high-quality forest plantings in the shortest possible time, it is promising to use planting material with a closed root system, which makes it possible to increase the survival rate of plants to 100% during planting. The objects of the study were specimens of the hybrid *Populus alba* L. x *Populus tremula* L., propagated under *in vitro* conditions in the laboratory of PCR analysis of the Research Institute of Innovative Technologies and the Forest Complex at the G.F. Morozov Voronezh State University of Forestry and Technologies. The research was conducted in the period from May 2024 to November 2024 on the territory of Joint Stock Company Nursery Complex of the Voronezh Region: 5A Uchebny Kordon str., Voronezh, 394087, Voronezh Region. In the course of the study, the biological productivity of plants grown in different types of containers in the greenhouse and in the hardening area was determined. Biometric measurements of the planting material included: determination of height, diameter, dry weight of the stem and root, number of leaves, root length of the studied plants. As a result of statistical processing, it was found that plants grown in Hiko V-150 and Hiko V-265 containers showed the best result in biometric indicators, the worst in Hiko V-120, seedlings in P9 containers occupy an intermediate position, but do not provide rational use of the area. For the production of large-sized seedlings of the hybrid *Populus alba* L. x *Populus tremula* L. In June, it is recommended to transplant plants from cassettes into technological pots of 2 liters. Seedlings of this type are more efficient to grow in a greenhouse, however, it should be borne in mind that it is better to plant such planting material in the spring, since plants do not undergo hardening phases.

Keywords: *hybrid Populus alba L. x Populus tremula L., clonal micropropagation, in vitro, closed root system, greenhouse, hardening site, planting material, cassettes, containers*

Funding: The study was conducted within the framework of the state assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation No. 1023013000020-6-4.1.2 "Selection of economically valuable and climate-resistant tree crops with high biological productivity and carbon sequestration potential, taking into account regional soil and climatic characteristics for the implementation of climatic projects (FZUR-2023-0002)"

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

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

For citation: Evlakov.P.M., Tseplyaev A.N., Popova A.A., Ryazantseva O.S. (2025). The influence of types of cassettes and containers on the biological productivity of the planting material of the hybrid *Populus alba* L. x *Populus tremula* L. Forestry Engineering journal, Vol. 15, No. 4 (60), pp. 77-94 (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2025.4/5>.

Received 01.08./2025.

Revised 25/10/2025.

Accepted 30.11.2025. *Published online* 26.12.2025.

Введение

Интенсификация лесного хозяйства Российской Федерации и развитие плантационного лесоводства обуславливают необходимость повышения эффективности воспроизводства лесных ресурсов. Ключевым элементом решения этой задачи является научно обоснованный подбор древесных пород с улучшенными наследственными свойствами, такими как ускоренный рост, высокая продуктивность биомассы и значительный потенциал секвестрации углерода [1,2].

Ведущая роль в данном процессе отводится современной биотехнологии, интегрирующей методы молекулярной биологии, геномной и клеточной инженерии. Широкое практическое применение нашел метод клонального микроразмножения *in vitro*, позволяющий тиражировать селекционные достижения путем массового производства генетически однородного посадочного материала [3]. Мировой опыт подтверждает, что основой интенсивного лесовосстановления является разработка технологий получения высококачественных саженцев, устойчивых к абиотическим и биотическим стрессорам. Эффективным решением является использование посадочного материала с закрытой корневой системой (ЗКС), что, как демонстрирует практика скандинавских стран, обеспечивает высокую приживаемость и способствует созданию высокопродуктивных насаждений в сжатые сроки [4,5].

Внедрение интенсивной модели актуализирует разработку научно-обоснованных требований к посадочному материалу с ЗКС [6,7]. Одновременно с совершенствованием агротехник актуальной задачей остается селекция древесных пород. Перспективным направлением является

создание гибридных форм тополей (*Populus* L.), сочетающих высокие темпы роста с устойчивостью к стрессам. Использование таких клонов позволяет существенно повысить продуктивность лесных плантаций [8].

Тополь (*Populus* L.) относится к числу наиболее быстрорастущих деревьев умеренных широт, имеющих значительное коммерческое значение [1]. Таксономически род представляет собой экологически пластичную группу двудомных растений, широко распространенную в Северном полушарии. Высокая адаптивность видов рода к различным почвенно-климатическим условиям обуславливает их ареал от бореальных до аридных зон [9].

Хозяйственная ценность тополя определяется исключительно высокими темпами роста и универсальными свойствами древесины. Мировой объем ее заготовки достигает приблизительно 20 млн м³ в год, что делает тополь ключевым ресурсом для целлюлозно-бумажной, деревообрабатывающей и биоэнергетической отраслей. Помимо производственной функции, тополевые насаждения выполняют важные средообразующие и экосистемные услуги, включая ремедиацию нарушенных земель, предотвращение эрозии почв и секвестрацию углерода [10].

Мировая площадь лесов с преобладанием тополя составляет около 59 млн га, из которых 31,4 млн га занимают целевые высокопродуктивные плантации. Распределение посадок по целям использования демонстрирует их многофункциональность: 61% предназначен для производства круглых лесоматериалов, 23% – для охраны окружающей среды, 9% – для получения топливной древесины и 7% – для иных целей [11]. Данная статистика подчеркивает стратегическую

роль рода *Populus* в модели интенсивного устойчивого лесного хозяйства, сочетающей экономическую эффективность с экологической стабильностью [12-14].

Анализ современных исследований подтверждает комплексное влияние параметров посадочных емкостей на развитие корневой системы и надземной части растений. Установлена прямая корреляция между объемом контейнера и ключевыми морфометрическими показателями саженцев. При этом критически важными являются не только объемные характеристики, но и конструктивные особенности емкостей, определяющие архитектуру корневой системы.

Экспериментальные данные демонстрируют видовую специфичность оптимальных объемов контейнеров. Например, исследования на австралийском кедре (*Toona ciliata*) выявили преимущества кассетных трубок объемом 288 см³ [15,16], в то время как для *Dipteryx alata* максимальные результаты были достигнуты в контейнерах объемом 820 см³ [17,18].

Конструктивные особенности емкостей оказывают существенное влияние на формирование корневой системы. Традиционные гладкостенные контейнеры часто провоцируют развитие структурных дефектов корней (спутывание, кольцевание). В отличие от них, контейнеры с системой воздушной подрезки способствуют формированию разветвленной мочковатой корневой системы без патологических деформаций, что значительно повышает приживаемость саженцев после высадки в открытый грунт [19].

Параметры микроклимата в рассадном комплексе также модулируют эффективность использования объема контейнера. Исследования показали, что применение контролируемого затенения позволяет создавать оптимальные условия для развития сеянцев, минимизируя транспирационный и световой стресс на критических стадиях органогенеза [20].

Таким образом, оптимизация параметров посадочных емкостей с учетом биологических особенностей целевых видов представляет собой необходимое условие для производства

высококачественного посадочного материала. Перспективным направлением современных исследований является разработка специализированных контейнерных систем, обеспечивающих формирование оптимальной архитектуры корневой системы при различных технологических режимах выращивания. Комплексный подход, сочетающий оптимизацию параметров ЗКС с использованием генетически улучшенного посадочного материала, создает основу для устойчивого лесовосстановления и плантационного лесовыращивания в условиях интенсификации лесного хозяйства.

Целью данной работы является установление оптимальных характеристик размеров кассет и контейнеров и разработка технических требований для выращивания посадочного материала с закрытой корневой системой гибрида *Populus alba* L. x *Populus tremula* L., полученного методом клонального микроразмножения, для применения при реализации лесоклиматических проектов.

Материалы и методы

Объект и предмет исследований

Объектами исследования являлись экземпляры гибрида *Populus alba* L. x *Populus tremula* L., размноженные в условиях *in vitro* в лаборатории анализа ПЦР НИИ «Инновационных технологий и лесного комплекса» ВГЛТУ им. Г.Ф. Морозова.



Рисунок 1. Схема опыта

Figure 1. The experiment's scheme

Источник: собственная композиция авторов
Source: author's composition

В ходе исследования определялась биологическая продуктивность растений, выращиваемых в разных видах кассет и контейнеров. Биометрические измерения посадочного материала включали в себя: определение высоты, диаметра, сухой массы стебля и корня, количества листьев, длины корней исследуемых растений.

Микрорастения гибрида тополя белого на осину *Populus alba* L. x *Populus tremula* L., полученные в культуре *in vitro*, на первом этапе были высажены в пластиковые кассеты с различным объемом и густотой:

- Niko V-120 SideSlit Д x Ш x В 352 x 216 x 110 мм, 526 ячейки/м², в кассете – 40 шт., объем ячейки - 120 см³,
- Niko V-150 Д x Ш x В 352 x 216 x 100 мм; 316 ячейки/м², в кассете – 24 шт., объем ячейки - 150 см³,
- Niko V-265 Д x Ш x В 352 x 216 x 150 мм, 368 ячеек/м², в кассете – 28 шт., объем ячейки - 265 см³,
- контейнеры P9 Д x Ш x В 90 x 90 x 100 мм, 100 шт./м², объем 500 см³.

На первом этапе растения в данных контейнерах выращивались в теплице. На втором этапе из кассет и контейнеров часть растений пересадили в контейнеры объемом 2 л (С2). Далее эти переконтейнерованные саженцы разделили на две партии, одну из которых оставили в теплице, а другую перенесли на площадку закаливания. Партию, оставленную в кассетах, доращивали в условиях теплицы.

На рисунке 1 приведено схематическое описание вариантов опыта.

Закладку экспериментов, сбор материалов полевых исследований и апробирование комплекса агротехнических мероприятий выращивания посадочного материала с закрытой корневой, камеральную обработку полевых данных проводили в период с мая 2024 по ноябрь 2024 года на территории АО ПКВО: 394087, Воронежская область, город Воронеж, улица Учебный кордон, дом 5А.

При планировании и постановке опытов следовали общеметодологическим рекомендациям [1]. У растений, выращиваемых в контейнерах,

линейкой измерялись: высота от начала прироста диаметр стволика измерялся штангенциркулем у основания прироста. Сырая и сухая масса листьев, побегов и корней определялась после сушки в сушильном шкафу Binder (Германия) до абсолютно сухого состояния путем взвешивания на электронных лабораторных электронных весах Ohaus (США). Определение массы сырых и сухих корней проводилось взвешиванием с точностью до 0,01 г.

Для установления влияния отдельных факторов на основные биометрические показатели растений были выполнены: однофакторный дисперсионный и корреляционно-регрессионный анализы. Для определения существенности различий средних рассчитывали критерий Фишера (F).

Статистическая обработка результатов замеров побегов проводилась с использованием специальных программ: Excel 2015, Statistica 10.0, Stadia 8.2 с установлением средней величины, ошибки, точности и достоверности опыта.

Результаты

Наблюдения за ростом и развитием саженцев гибридного тополя белого на осину *Populus alba* L. x *Populus tremula* L. (далее гибрид тополя) на начальном этапе (май 2024 г.) выращивания и статистическая обработка данных биометрических показателей, позволили получить ряд значимых результатов (таблица 1).

На данном этапе онтогенеза наибольшая высота растений гибрида тополя зафиксирована в кассетах Niko V-265 (14,7±0,9 см) с самой большой высотой ячейки -150 мм, на втором месте - растения в Niko V-120 и контейнере P9 (высота ячейки 100 мм), которые продемонстрировали близкую высоту -12,5 см и 12,8 см соответственно. Вариант в кассете Niko V-150 (10,1±0,7 см) уступает по средней высоте, в данном варианте были зафиксированы самые низкие по сравнению с другими максимальные и минимальные значения (7,6-14,4 см). Уровень изменчивости во всех вариантах достаточно высокий ($C_v=14,5-23,3\%$), что вероятно связано с постпересадочным стрессом и индивидуальными процессами адаптации растений.

В рамках эксперимента было проведено сравнение высоты саженцев между собой с использованием дисперсионного анализа, который

продемонстрировал достоверные отличия ($P > 0,05$) по высоте у всех вариантов опыта, кроме 1 и 4.

Таблица 1

Биометрические показатели контейнеризированных саженцев гибрида тополя на начальном этапе

Table 1

Biometric indicators of containerized poplar hybrid seedlings at the initial stage

Варианты опытов Experimental options	Высота, см Height, cm		Диаметр корневой шейки, мм Diameter of the root neck, mm		Количество листьев, шт. Number of leaves, pcs.		Сухой вес надземной части, г Dry weight of the aboveground part, g		Сухой вес корней, г Dry weight of roots, g	
	$M \pm m_m$	$C_v, \%$	$M \pm m_m$	$C_v, \%$	$M \pm m_m$	$C_v, \%$	$M \pm m_m$	$C_v, \%$	$M \pm m_m$	$C_v, \%$
Нико V-120	12,5±1,2	14,5	1,8±0,33	23,0	8±0,8	31,3	0,21±0,03	33	0,07±0,01	42
Нико V-150	10,1±0,7	21,3	1,6±0,11	23,2	7,7±0,1	24,5	0,16±0,03	50	0,06±0,01	50
Нико V-265	14,7±0,9	19,7	1,9±0,19	32,9	8,8±0,4	13,8	0,25±0,05	60	0,2±0,08	40
P9	12,8±0,7	23,5	1,8±0,13	22,8	10,5±0,5	16,2	0,35±0,04	40	0,14±0,02	42

Примечание: M – Среднее; m_m – Ошибка среднего; C_v – коэффициент вариации

Note: M – Medium; m_m – Medium error; C_v – Coefficient of variation

Источник: собственные вычисления авторов

Source: own calculations

Средние показатели диаметра у исследуемых растений продемонстрировали аналогичную тенденцию, что и в случае с высотой. Максимальные значения были у саженцев в Нико V-265, (1,9±0,19 мм), минимальные в Нико V-150 (1,6±0,11 мм) и одинаковые в остальных двух вариантах (1,6±0,11 мм). Однако, различия достоверны лишь в случае с Нико V-150 и P9. Вариация средних значений по данному признаку также высокая ($C=22,8-32,9$).

При анализе среднего количества листьев, максимальное количество зафиксировано в P9 (10,5±0,5 шт), где самая низкая густота (100 шт/м²), минимальное установлено в Нико V-150 -7,7±0,11 шт (316 шт/ м²), промежуточное же положение занимают варианты в Нико V-120 (8±0,8 шт) (526 шт/м²) и Нико V-265 (8,8±0,4 шт) (368 шт/ м²), что не подтверждает прямую зависимость количества листьев от густоты размещения растений.

Расчет дисперсий и сравнение по Фишеру подтвердило наличие достоверных различий между средними значениями количества листьев в варианте P9 и другими вариациями. Достоверные отличия зафиксированы между вариантами Нико V-265 и Нико V-150. В остальных комбинациях достоверных отличий нет.

Определение сухой массы надземной части и корней на данном этапе роста саженцев является очень важным и зачастую более точным способом определения общей продуктивности растения. Самые высокие результаты по данному показателю продемонстрировали варианты: в контейнере P9 0,35±0,04 г/0,14±0,02 г (сухая масса надземной/сухая масса корней) и в кассетах с наибольшим объемом ячейки - Нико V-265 - 0,25±0,05 г/0,2±0,08 г, самая низкая продуктивность выявлена в варианте Нико V-150 0,16±0,03/0,07±0,01 г.

На диаграмме (рисунок 2) приведено соотношение сухой надземной массы и сухой массы корней.

В вариантах Нiко V-120, Нiко V-150 и P9 продемонстрирована близкая тенденция – масса надземной части практически в 3 раза выше, чем сухая масса корней. Это связано в первую очередь с особенностями роста и развития саженцев на данном этапе онтогенеза, когда в первую очередь идет формирование фотосинтетического аппарата. В варианте с наибольшей средней высотой саженца Нiко V-265 данные параметры наиболее сбалансированы (55 % к 45%).

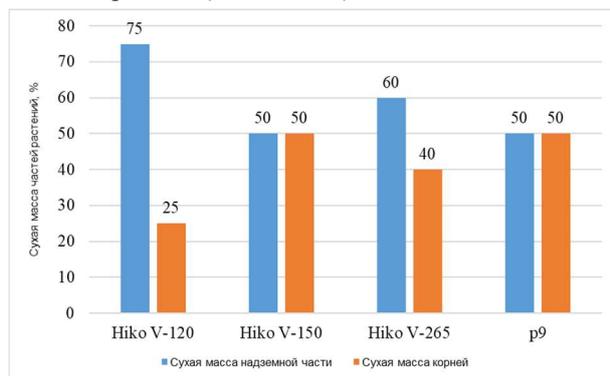


Рисунок 2. Процентное соотношение сухой массы надземной и подземной частей

Figure 2. Percentage of the dry mass of the aboveground and underground parts

Источник: собственная композиция авторов
Source: author's composition

На диаграмме (рисунок 3) приведено соотношение сухой надземной массы (стебля и листьев) и сухой массы корней относительно сухой массы всего растения. В Нiко V-120 сухая масса надземной части и корней соответственно составила 60 %/50 % от самого продуктивного варианта (P9). Различия в случае с надземной частью достоверны в большинстве сравниваемых парах, кроме Нiко V-120 и Нiко V-265, что подтверждает сходство вариантов по указанным признакам.

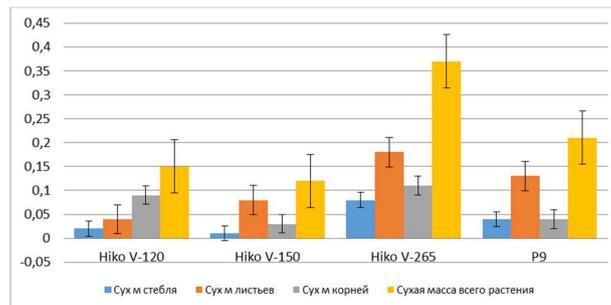


Рисунок 3. Соотношение сухой массы надземной части и сухой массы корней к массе всего растения
Figure 3. The ratio of the dry mass of the aboveground part and the dry mass of the roots to the mass of the entire plant

Источник: собственная композиция авторов
Source: author's composition

Расчет коэффициентов корреляции между важнейшими характеристиками растений в различных вариантах опыта на начальном этапе развития контейнеризированного посадочного материала продемонстрировал неоднозначную картину.

В варианте Нiко V-120 с самым маленьким объемом ячейки и наибольшей густотой наиболее тесная связь установлена между сухой массой корней и надземной частью ($r=0,84$), высотой и сухой массой надземной части ($r=0,74$), а также высотой и сухой массой корней ($r=0,73$). Между высотой и диаметром корреляция низкая ($r=0,3$). Связи между остальными показателями невысокие. В варианте с Нiко V-150 повышенная корреляция отмечена между высотой и диаметром ($r=0,6$), остальные характеристики демонстрируют минимальную связь между собой, что косвенно может свидетельствовать о не совсем нормальном развитии посадочного материала в данном варианте опыта. В высокопродуктивном варианте Нiко V-265 картина более четкая. Высокая корреляционная связь отмечена между высотой и диаметром ($r=0,9$), диаметром и сухой массой корней ($r=0,8$) высотой и сухой массой корней ($r=0,7$). Средний уровень корреляции установлен между сухой массой корней и количеством листьев, что характеризует работу листового аппарата и его активное участие в накопления биомассы. В варианте P9 высоких уровней связи не установлено, высота средне

коррелирует с сухой массой корней ($r=0,6$), что требует дальнейших наблюдений в динамике.

Сила влияния фактора «Кассета и контейнер» на рост саженцев в высоту составляет 35 % от всех факторов, воздействующих на растение ($\eta^2=0,35$). Влияние данного фактора на рост по диаметру незначителен – 7 % ($\eta^2=0,07$). На накопление сухой массы надземной части и сухой массы корней сила влияния указанного фактора составляет 29 % и 17 % соответственно. Количество листьев у саженцев зависит на 27 % от описываемого фактора.

Таким образом, на данном этапе опыта лучшие результаты по росту в высоту и по диаметру продемонстрировали растения гибрида Т. белый х осина в кассетах Niko V-265. В варианте P9 зафиксирована наибольшая биологическая продуктивность растений, но экономически эффект использования данного контейнера в условиях теплицы снижается из-за низкого выхода продукции с единицы площади (100 шт/1 м²).

Самые низкие показатели по высоте, диаметру и сухому весу всего растения зафиксированы в кассетах Niko V-150. Данную тенденцию целесообразно отследить в динамике.

На начальном этапе выращивания контейнеризированного посадочного материала гибрида тополя хорошо развиваются варианты Niko V-120 и Niko V-265, которые демонстрируют не только нормальный рост и развитие растений, но и значительную густоту растений на 1 м² теплицы, что очень важно при промышленном выращивании.

На следующем этапе анализа были определены основные биометрические параметры в период активного роста саженцев гибрида тополя (июль 2024 г.). Обработка полученных данных методами вариационной статистики позволила получить следующие результаты (таблица 2). Сравнение средних значений основных биометрических параметров показывает, что на этапе активного роста саженцев гибрида тополя высота растёт с увеличением объема корнезакрывающего кома и после пересадки интенсивность роста увеличивается в 2,7 раза для самого низкопродуктивного варианта Niko V-120 и

находится в диапазоне 1,43 -1,48 раза для остальных вариантов опыта для выращиваемых далее в теплице. Пересаженные в двухлитровые контейнеры и перенесенные на площадку закалывания растения продемонстрировали еще большую интенсивность роста. Растения в варианте Niko V-120 пересаженные в контейнер 2 л опережал аналогичный без пересадки в 3,3 раза, а остальные варианты опыта доминировали над аналогичными без пересадки на 1,6 -1,9 раза. Прирост по диаметру продемонстрировал схожую тенденцию. Наибольшую скорость роста показали экземпляры на площадке закалывания.

Расчет коэффициентов корреляции между важнейшими характеристиками растений в различных вариантах опыта на данном этапе развития контейнеризированного посадочного материала продемонстрировал, что в варианте Niko V-120 наиболее тесная связь установлена между диаметром и количеством листьев ($r=0,9$), высотой и диаметром ($r=0,85$), связи между остальными показателями невысокие. В варианте с Niko V-150 высокая корреляция отмечена между высотой и количеством листьев ($r=0,94$), высотой и сухой массой надземной части ($r=0,95$), высотой и сухой массой корней ($r=0,93$). В варианте Niko V-265 наблюдается высокая корреляционная связь отмечена между высотой и диаметром ($r=0,93$), диаметром и сухой массой корней ($r=0,94$) высотой и сухой массой корней ($r=0,95$). В варианте P9 наиболее высокая связь между сухой массой корней и высотой ($r=0,92$), диаметром ($r=0,9$) и количеством листьев ($r=0,9$).

На рисунке 4 изображены диаграммы, показывающие соотношение сухой надземной массы и сухой массы корней относительно сухой массы всего растения гибрида тополя в период активного роста для каждого варианта опыта.

Расчет силы показателя сила влияния «технология» на высоту при сравнении всех трех вариантов доращивания показал, что пересадка в большие контейнеры оказывает влияние: для Niko V-120 = 85 % ($\eta^2=0,85$); Niko V-150 = 58 % ($\eta^2=0,58$); Niko V-265 = 54 % ($\eta^2=0,54$); P9= 73 % ($\eta^2=0,73$). При этом сравнение средних показателей высоты у

вариантов, пересаженных в двухлитровые контейнеры, но выращиваемые в теплице и на площадке закаливания показало незначительное влияние фактора «Условия доращивания теплица-открытая площадка» для Нiко V-120 = 33 % ($\eta^2=0,33$); Нiко V-150 = 6 % ($\eta^2=0,06$); Нiко V-265 = 1 % ($\eta^2=0,01$); P9= 63 % ($\eta^2=0,63$). Как показывает сравнительный анализ, высокопродуктивные варианты Нiко V-150 и Нiко V-265 после пересадки практически не отличаются по интенсивности прироста в высоту.

Биометрические параметры микрорегенерантов гибрида тополя в конце первого вегетационного периода (октябрь 2024 г.) отражены в таблице 3.

Высота посадочного материала гибрида тополя, не пересаженного в контейнер С2,

соответственно, составляет от 40,1 см (Нiко V-120) до 91,0 см (P9), а диаметр от 3,4 до 6,7 мм. Показатели сухой массы саженцев также закономерно увеличиваются. Таким образом, минимальные результаты зафиксированы в Нiко V-120, максимальные – у контейнера P9, значения показателей Нiко V-150 и Нiко V-265 близки друг к другу. Нужно отметить, что отношение массы стебля к массе корня остается ниже или около 3 единиц, что является хорошим показателем качества посадочного материала. Возможно, только вариант выращивания растений в контейнерах Нiко V-120 526 шт./м² не может быть рекомендован для промышленного использования, т.к. в этом случае наблюдается сильное развитие надземной части растений над развитием их корневой системы.

Таблица 2

Биометрические показатели контейнеризированных саженцев гибрида тополя в период активного роста

Table 2

Biometric indicators of containerized poplar hybrid seedlings during the period of active growth

Варианты опытов Experimental options	Высота, см Height, cm		Диаметр корневой шейки, мм Diameter of the root neck, mm		Количество листьев, шт. Number of leaves, pcs.		Сухой вес надземной части, г Dry weight of the aboveground part, g		Сухой вес корней, г Dry weight of roots, g	
	M±m м	Cv, %	M±m м	Cv, %	M±mm	Cv, %	M±m _m	Cv, %	M±m _m	Cv, %
Гибрид тополь белый х осина (не пересаженные в 2 литра, в теплице) Hybrid white poplar aspen (not transplanted in 2 liters, in a greenhouse)										
Нiко V-120	14,1±1,4	30	1,6±0,1	25	8,3±0,7	28	0,2±0,04	57	0,06±0,01	67
Нiко V-150	23,4±1,4	9	2,7±0,1	13	12,4±0,5	12	1,2±0,13	34	0,18±0,03	50
Нiко V-265	28,2±1,0	12	3,3±0,08	7	11,7±0,4	11	1,04±0,06	19	0,34±0,03	24
P9	28,6±1,0	30	3,2±0,2	22	12,9±0,6	14	1,2±0,23	61	0,36±0,07	58
Гибрид тополь белый х осина (пересаженные в 2 литра, в теплице) Hybrid white poplar aspen (transplanted in 2 liters, in a greenhouse)										

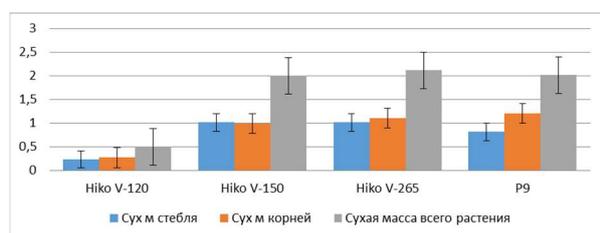
Hiko V-120	37,4±1,9	16	2,4±0,03	21	15,6±0,9	18	2,08±0,3	45	0,4±0,07	58
Hiko V-150	34,1±1,9	17	3,8±0,17	14	15,8±0,8	16	3,1±0,3	33	0,4±0,05	44
Hiko V-265	42,0±2,7	20	3,8±0,27	22	18±0,8	14	2,4±0,37	49	0,5±0,1	60
P9	40,1±1,9	15	4,6±0,23	16	18±0,7	12	2,7±0,28	34	0,7±0,09	39
Гибрид тополь белый х осина (пересаженные в 2 литра, на площадке закаливания) Hybrid white poplar aspen (transplanted in 2 liters, on the hardening site)										
Hiko V-120	46,8±2,5	17	5,5±0,22	13	18,6±1,1	18	4,2±0,4	30	1,1±0,1	29
Hiko V-150	37,2±2,1	18	4,8±0,18	12	17,6±0,9	16	2,6±0,3	37	0,6±0,08	43
Hiko V-265	43,8±2,4	17	5,2±0,3	20	18,3±0,6	10	3,2±0,4	41	1,2±0,18	49
P9	54,4±1,8	10	5,6±0,2	11	20,7±0,9	15	4,5±0,4	26	1,3±0,15	36

Примечание: М – Среднее; m_м – Ошибка среднего; Cv – коэффициент вариации

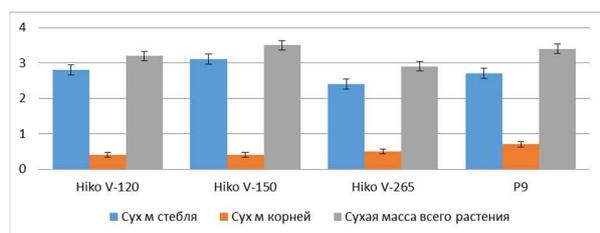
Note: M – Medium; m_m – Medium error; Cv – Coefficient of variation

Источник: собственные вычисления авторов

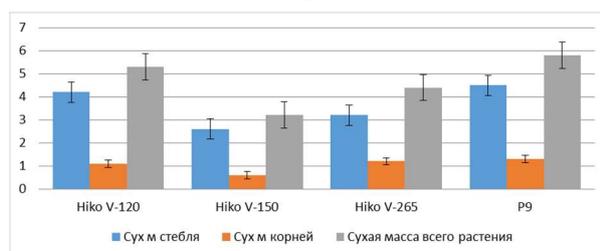
Source: own calculations



а



б



в

Рисунок 4. Соотношение сухой надземной массы и сухой массы корней относительно сухой массы всего растения гибрида тополя в период активного роста: а- кассеты без пересадки; б – пересаженные в 2 л и доращиваемые в теплице; в – пересаженные в 2 л и доращиваемые на площадке закаливания

Figure 4. The ratio of the dry aboveground mass and the dry mass of the roots relative to the dry mass of the entire poplar hybrid plant during active growth : a - cassettes without transplantation; b – transplanted in 2 liters and grown in a greenhouse; c – transplanted in 2 liters and grown on a hardening site

Источник: собственная композиция авторов

Source: author's composition

Биометрические показатели контейнеризированных саженцев гибрида тополя в конце первого вегетационного периода

Biometric indicators of containerized poplar hybrid seedlings at the end of the first growing season

Варианты опытов Experimental options	Высота, см Height, cm	Диаметр корневой шейки, мм Diameter of the root neck, mm	Сухой вес надземной части, г Dry weight of the aboveground part, g	Сухой вес корней, г Dry weight of roots, g	Масса всего растения, г Weight of the whole plant, g	Отношение стебля к массе корня The ratio of the stem to the mass of the root
Гибрид тополь белый х осина (не пересаженные в 2 литра, в теплице) Hybrid white poplar aspen (not transplanted in 2 liters, in a greenhouse)						
Нико V-120 526 шт./м ²	40,1±3,68	3,4±0,25	2,1±0,41	0,6±0,13	2,7±0,30	3,5±0,2
Нико V-150 316 шт./м ²	70,3±3,78	4,8±0,28	5,0±0,62	1,7±0,24	6,7±0,49	2,9±0,34
Нико V-265 368 шт./м ²	77,2±3,24	5,2±0,17	5,6±0,41	2,1±0,20	7,7±0,44	2,7±0,13
P9, V-500 см ³ 100 шт./м ²	91,0±3,87	6,7±0,35	9,4±1,19	3,6±0,45	13,0±0,97	2,6±0,2
Гибрид тополь белый х осина (пересаженные в 2 литра, в теплице) Hybrid white poplar aspen (transplanted in 2 liters, in a greenhouse)						
Нико V-120 526 шт./м ²	151,6±4,49	10,0±0,35	27,8±2,72	10,2±1,37	38,0±3,18	2,7±0,33
Нико V-150 316 шт./м ²	160,1±3,25	10,8±0,5	30,1±2,30	10,4±1,11	40,5±2,18	2,9±0,30
Нико V-265 368 шт./м ²	165,5±3,97	11,2±0,37	32,8±2,37	12,4±1,49	45,2±2,87	2,6±0,21
P9, V-500 см ³ 100 шт./м ²	176,4±3,38	11,8±0,46	37,7±2,16	14,0±1,27	51,7±2,37	2,7±0,15
Гибрид тополь белый х осина (пересаженные в 2 литра, на площадке закалывания) Hybrid white poplar aspen (transplanted in 2 liters, on the hardening site)						
Нико V-120 526 шт./м ²	116,1±3,32	10,7±0,46	19,8±1,43	16,8±1,84	36,6±2,79	1,2±0,08
Нико V-150 316 шт./м ²	109,0±4,17	10,9±0,4	23,5±2,07	21±1,89	44,5±2,89	1,1±0,08
Нико V-265 368 шт./м ²	92,3±3,67	9,2±0,29	14,5±1,67	11,9±1,82	26,4±2,79	1,2±0,11
P9, V-500 см ³ 100 шт./м ²	97,8±3,43	9,3±0,24	19,5±1,33	12,4±1,11	31,9±1,68	1,6±0,1

Примечание: М – Среднее; m_м – Ошибка среднего; Cv – коэффициент вариации

Note: M – Medium; m_m – Medium error; Cv – Coefficient of variation

Источник: собственные вычисления авторов

Source: own calculations

Доращивание гибрида тополя в двухлитровых контейнерах в теплице приводит к значительному увеличению как биометрических параметров посадочного материала (высота и диаметр у корневой шейки), так и характеристик их массы, причем соотношение массы надземной части к массе корней не превышает величины 3,0, что может служить благоприятной предпосылкой для успешного роста такого посадочного материала в лесных культурах. Максимальные результаты у данной группы зафиксированы в контейнерах P9, минимальные – у Niko V-120.

Расчет коэффициентов корреляции между характеристиками растений в различных вариантах опыта на данном этапе развития посадочного материала с ЗКС продемонстрировал следующие зависимости.

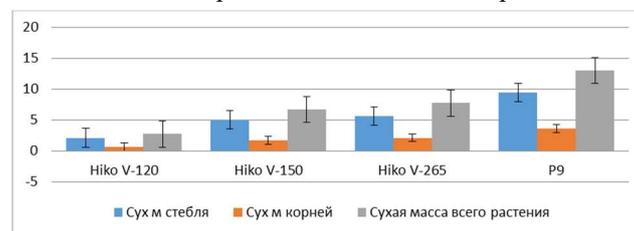
В варианте Niko V-120 высокий уровень связи установлен у сухой массы надземной части и корней ($r=0,95$). Остальные зависимости слабые, что говорит о нарушении естественного хода ростовых процессов в сторону ингибирования. Другая картина продемонстрирована у растений в варианте с Niko V-150. Высокая корреляция отмечена между высотой и сухой массой корней ($r=0,9$), диаметром ($r=0,88$), сухой массой надземной части ($r=0,85$) и корней, повышенная ($r=0,8$).

В высокопродуктивном варианте Niko V-265 корреляционные связи еще более убедительны. Так высокий уровень связи отмечен, между высотой и диаметром ($r=0,95$), высотой и сухой массой корней ($r=0,96$), высотой и сухой массой надземной части ($r=0,92$), сухой массой корней ($r=0,9$) и сухой массой надземной части. Диаметр достоверно коррелирует с сухой массой надземной части ($r=0,85$) и сухой массой корней ($r=0,9$), что свидетельствует о гармоничном развитии посадочного материала, и соответственно о комфортных условиях, которые при прочих равных условиях обеспечиваются объемом корнезакрывающего кома.

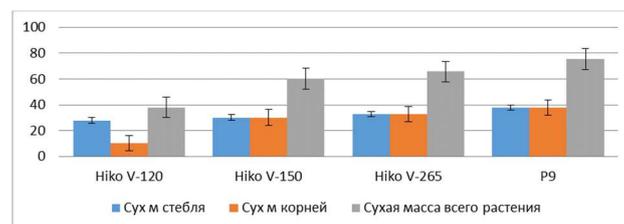
Доращивание на открытом полигоне гибрида тополя после пересадки в двухлитровые контейнеры значительно больше снижает высоту,

выращиваемых растений, относительно экземпляров, выращиваемых в теплице, при этом разница в диаметре корневой шейки – незначительная. Также следует отметить тенденцию увеличения массы корнеобитаемой зоны и снижению массы надземной части у экземпляров на площадке закаливания относительно пересаженных экземпляров в теплице. В данном случае отношение массы надземной части к массе корней в пределах 1,1-1,6, что будет способствовать высокой приживаемости и высокой скорости роста после посадки в лесные культуры.

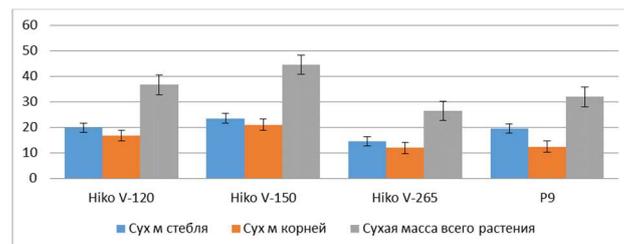
На рисунке 5 показано соотношение сухой надземной массы и сухой массы корней относительно сухой массы всего растения относительно сухой массы всего растения гибрида тополя в конце первого вегетационного периода.



а



б



в

Рисунок 5. Соотношение сухой надземной массы и сухой массы корней относительно сухой массы всего растения гибрида тополя в конце первого вегетационного периода а- кассеты без пересадки; б – пересаженные в 2 л и доращиваемые в теплице; в – пересаженные в 2 л и доращиваемые на площадке закаливания

Figure 5. The ratio of the dry aboveground mass and the dry mass of the roots relative to the dry mass of the entire poplar hybrid plant at the end of the first vegetative period is a - cassettes without transplantation; b – transplanted in 2 liters and grown in a greenhouse; c – transplanted in 2 liters and grown on a hardening area

Источник: собственная композиция авторов
Source: author's composition

Таким образом, по итогам оценки показателей в конце первого вегетационного периода наилучшие показатели продемонстрировали варианты, пересаженные в горшки 2 л и доращиваемые в теплице. Растения гибрида тополя, которые были пересажены и доращивались на площадке закаливания несколько отставали в росте от выращиваемых в теплице также в двухлитровых горшках.

Обсуждение

Данные, полученные в ходе исследования, могут быть использованы в формировании базы для разработки технических требований, необходимых для повышения качества и стандартизации посадочного материала. Анализ требований правил лесовосстановления к посадочному материалу применительно к быстрорастущим древесным культурам близким по биологическим особенностям с закрытой корневой системой, полученных методом клонального микроразмножения *in vitro* в условиях теплиц, показывает, что применительно к Лесостепному району европейской части РФ и Району степей европейской части РФ существуют критерии и требования, которые будут служить базовым сценарием для сравнения результатов исследования и разработки технических требований для посадочного материала гибрида тополя полученного методом клонального микроразмножения *in vitro* в условиях теплиц.

По итогам анализа нормативных документов и справочных материалов выявлены противоречия в требованиях к посадочному материалу с закрытой корневой системой, а для древесных культур, участвующих в нашем исследовании посадочный материал, которых

выращен по технологии *in vitro*, особенно в аспектах возраста, размеров и условий применения продемонстрировал полное отсутствие технических требований. Существующие стандарты недостаточно учитывают особенности выращивания в закрытом грунте и потенциал технологий клонального микроразмножения для быстрорастущих пород. Для повышения эффективности лесовосстановления и создания плантаций необходимо уточнить и унифицировать требования к такому посадочному материалу. Анализ стандартов, действующих в настоящий момент в РФ и сравнение с ними полученных нами данных показывает, что применение технологии производства посадочного материала с использованием метода *in vitro* в условиях теплиц позволяет в случае с саженцами гибрида Т. белый х осина получить высококондиционные саженцы с ЗКС существенно превышающие нормативные значения. Полученные результаты по биометрическим показателям посадочного материала гибрида *Populus alba L. × Populus tremula L.* согласуются с данными ряда других исследований, включающих изучение влияния типа и объёма контейнеров на рост и развитие саженцев тополя.

Так, в исследовании Evlakov, P.; Tseplyaev, A.; Ророва, А и др [9], проведённом в условиях Центрального Черноземья, показано, что высота саженцев двух генотипов тополя при выращивании с закрытой корневой системой варьировала в пределах $70,6 \pm 5,5 - 111,5 \pm 5,0$ см при использовании контейнеров объёмом от 1 до 3 л. Аналогичный диапазон (92–110 см) был получен в нашем исследовании, что подтверждает сопоставимость данных и подчёркивает важность оптимального выбора объёма корнеобитаемой зоны.

Результаты данной работы также согласуются с выводами Stener L.-G., Westin J. (2017), которые отмечали, что гибридные формы тополя и осины отличаются более высокими темпами роста и лучшей приживаемостью по сравнению с исходными видами при условии соответствия технологии выращивания экологическим особенностям региона [10]. Исходя из этого, можно говорить о целесообразности

использования гибридов *Populus alba* × *P. tremula* для плантационного лесовыращивания в условиях Центральной лесостепи.

Также, результаты проведенного нами эксперимента частично подтверждаются исследованиями Ziauka J, Kuusienė S. [11], показавшими высокую регенерационную способность побегов гибрида *Populus alba* × *P. tremula* при клональном микроразмножении *in vitro* на безгормональной среде. Данные результаты могут быть свидетельством значительного биотехнологического потенциала гибрида, что делает его перспективным объектом для ускоренного производства посадочного материала с ЗКС.

При этом следует отметить, что в имеющейся литературе отсутствуют данные по исследованиям выращиванию гибрида *Populus alba* L. × *Populus tremula* L. с ЗКС в типах контейнеров Niko V-120, V-150, V-265 и P9. В этой связи, полученные нами результаты расширяют имеющиеся представления о влиянии особенностей кассет и контейнеров на морфометрические параметры посадочного материала, что имеет практическое значение для оптимизации технологии производства посадочного материала в условиях контролируемого микроклимата.

Для выращивания кондиционного посадочного материала гибрида тополя можно рекомендовать все типы кассет и контейнер P9. Учитывая плотность размещения, а соответственно выход единицы продукции с квадратного метра следует рекомендовать кассеты Niko V-150 и Niko V-265. Пересадка в двухлитровые горшки позволяет существенно повысить основные биометрические параметры растений. Так, самые высокие показатели продемонстрировали варианты, пересаженные в горшки 2 л и доращиваемые в теплице даже в случае с невысокопродуктивным Niko V-120 саженцы почти в 4-10 раз превышали стандарт, остальные варианты продемонстрировали еще большие результаты (Niko V-150+433 %- +967 %; Niko V-265+450 %- +1001 %). Растения гибрида Т. белый × осина, которые были перенесены и доращивались на площадке закалывания несколько

отставали в росте от выращиваемых в теплице также в двухлитровых горшках. Однако, морфометрические показатели так же значительно превышали стандартные значения (Niko V-120 = +287 -+674; Niko V-150 = +263 - +627; Niko V-+207 %- +515 5 P9 = +226 %- +552 %).

На основании полученных в результате исследований данных предлагаются следующие параметры к размерам надземной части контейнеризированных саженцев гибрида тополя, полученных методом *in vitro* и выращенных в течение 1 года в теплице и на площадке закалывания с пересадкой в двухлитровые контейнеры, для лесостепной зоны Европейской части России:

- Для лесовосстановления (без пересадки в контейнер) - Толщина стволика у корневой шейки не менее 4-5 мм, Высота, не менее 60-70 см.

- Для целевых плантаций и доращивания в питомнике на крупномеры (с пересадкой в контейнер) для осенней посадки того же года - Толщина стволика у корневой шейки не менее 8-9 мм, Высота, не менее 90-110 см.

- Для целевых плантаций и доращивания в питомнике на крупномеры (с пересадкой в контейнер и доращиванием в теплице) для посадки весной следующего года - Толщина стволика у корневой шейки не менее 10-11 мм, Высота, не менее 150-160 см.

Необходимо отметить, что указанные параметры посадочного материала необходимо уточнить после пересадки и доращивания в условиях лесокультурных площадей и школ питомников.

Выводы

на основании проведенного исследования разработана научно обоснованная технология выращивания посадочного материала гибрида тополя белого на осину (*Populus alba* L. × *Populus tremula* L.), полученного методом клонального микроразмножения *in vitro*. Доказано, что оптимальным решением для начального этапа производства являются кассеты Niko V-265 объемом 265 см³, обеспечивающие сбалансированное развитие растений при высокой плотности размещения.

Ключевым элементом технологии признана обязательная пересадка саженцев в двухлитровые контейнеры, позволяющая в 1,6-3,3 раза увеличить основные биометрические показатели. Наибольшая эффективность достигнута при доращивании в тепличных условиях, где растения демонстрировали максимальные ростовые характеристики - высоту до 176 см и диаметр корневой шейки до 11,8 мм.

Установлено, что доращивание на площадке закаливания формирует более гармоничное соотношение надземной и подземной биомассы (1,1-1,6), что является важным прогностическим признаком успешной приживаемости при последующей высадке на лесокультурные площади.

Разработаны дифференцированные технические требования к посадочному материалу

для различных целей использования. Для лесовосстановления рекомендованы саженцы высотой не менее 60-70 см с диаметром корневой шейки 4-5 мм, для плантационного лесовыращивания - 90-110 см и 8-9 мм соответственно, а для получения крупномерного посадочного материала - 150-160 см при диаметре 10-11 мм.

Полученные результаты восполняют существующий нормативный пробел в области стандартизации посадочного материала, произведенного с использованием биотехнологических методов, и создают основу для разработки эффективных технологий интенсивного лесовосстановления и плантационного лесовыращивания в условиях лесостепной зоны Европейской части России.

Список литературы

1. Романов Е.М. Воспроизводство лесов в новой стратегии перехода к устойчивому развитию лесного сектора России // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Лес. Экология. Природопользование. – 2021. – № 1(49). – С. 5-22. – DOI: 10.25686/2306-2827.2021.1.5.
2. Савченкова В.А., Васильев С.Б., Никитин В.Ф., Аксенов П.А. Продуктивность лесных плантационных насаждений // Известия вузов. Лесной журнал. – 2021. – № 1. – С. 35-45. – DOI: 10.37482/0536-1036-2021-1-35-45.
3. Самарская В.О., Малаева Е.В., Постнова М.В. Аспекты клонального микроразмножения и сохранения растений *in vitro* // Природные системы и ресурсы. – 2019. – Т. 9, № 3. – С. 13-22. – DOI: 10.15688/nr.jvolsu.2019.3.2.
4. Nawaz M., Sun J., Shabbir S., Khattak W.A., Ren G., Nie X., Bo Y., Javed Q., Du D., Sonne C. A review of plants strategies to resist biotic and abiotic environmental stressors // Science of The Total Environment. – 2023. – Vol. 900. – P. 165832. – DOI: 10.1016/j.scitotenv.2023.165832.
5. Kakimzhanova A.A., Zhagipar F.S., Naziran F. Optimization of microclonal propagation conditions for increasing the multiplication factor of poplar microshoots // Вестник Евразийского национального университета имени Л.Н. Гумилева. Серия: Биологические науки. – 2019. – № 1(126). – P. 57-65. – DOI: 10.32523/2616-7034-2019-126-1-57-65.
6. Бобушкина С.В., Сеньков А.О., Файзулин Д.Х. Практика выращивания лесного посадочного материала с закрытой корневой системой применительно к тепличным комплексам Архангельской области // Вопросы лесной науки. – 2020. – Т. 3, № 4. – С. 1-16. – DOI: 10.31509/2658-607x-2020-3-4-1-16.
7. Михайлов К.Л., Демина Н.А. Экономическое обоснование и прогноз инвестирования в выращивание посадочного материала хвойных пород деревьев // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. – 2024. – № 2(42). – С. 64-68.
8. Замолотчиков Д.Г., Грабовский В.И., Каганов В.В. Экосистемные услуги и пространственное распределение защитных лесов Российской Федерации // Лесоведение. – 2021. – № 6. – С. 581-592. – DOI: 10.31857/S0024114821060115.
9. Авдеева Е.В., Ровных Н.Л., Иванов Д.В., Сухенко Н.В., Кухар И.В., Калинин М.Д. Российский и мировой опыт выращивания посадочного материала с закрытой корневой системой // Хвойные бореальной зоны. – 2022. – Т. 40, № 4. – С. 250-258.
10. Bonnin S.M., Alvarez J.A., Faustino L.I., Graciano C. Revealing the physiological basis of forester's choice of poplar clones (*Populus* spp.) // iForest. – 2024. – Vol. 17. – P. 156-164. – DOI: 10.3832/ifor4433-017.
11. Blonskaya L., Sultanova R., Muftakhova S., Martynova M., Konashova S., Sabirzyanov I., Odintsov G. Biological indices of Bashkir Lombardy poplar (*Populus nigra* L. × *Populus nigra* var. *italica* Du Roi) in urban landscapes // Bulgarian Journal of Agricultural Science. – 2019. – Vol. 25, No. S2. – P. 30-36.

12. Gudynaitė-Franckevičienė V., Pliūra A. Performance and Genetic Parameters of Poplar Hybrids and Clones in a Field Trial Are Modified by Contrasting Environmental Conditions during the Vegetative Propagation Phase // *Plants*. – 2022. – Vol. 11(18). – P. 2401. – DOI: 10.3390/plants11182401.
13. da Mota Porto A.C., Novaes E. Prediction of current and future environmental suitability for *Toona ciliata* cultivation in Brazil // *Discover Forests*. – 2025. – Vol. 1. – P. 27. – DOI: 10.1007/s44415-025-00029-w.
14. dos Santos K.D.G., de Melo Ferreira W., Silva K.L.F. et al. Germination and initial development of *Dipteryx alata* Vogel (Fabaceae) in two “Cerrado” areas: a step toward its use in reforestation programs // *Brazilian Journal of Botany*. – 2018. – Vol. 41. – P. 415–424. – DOI: 10.1007/s40415-018-0453-0.
15. Thomas B.R., Schreiber S.G., Kamelchuk D.P. Impact of planting container type on growth and survival of three hybrid poplar clones in central Alberta, Canada // *New Forests*. – 2016. – Vol. 47. – P. 815–827. – DOI: 10.1007/s11056-016-9546-4.
16. Huang C., Lin L., Chen F., Wang X., Shi M., Chen L., Yang X., Dong X., Zhang M. Shading Effects on the Growth and Physiology of Endangered *Hopea hainanensis* Merr. & Chun Seedlings // *Forests*. – 2025. – Vol. 16(7). – P. 1193. – DOI: 10.3390/fl16071193.
17. Evlakov P., Tseplyaev A., Popova A., Zapletin V., Ryzhkova V., Repnikova L., Zhuzhukin K. Influence of Container Volume and Cuttings Size on the Growth Parameters of Seedlings with a Closed Root System of Two Poplar Genotypes in the Voronezh Region // *International Journal of Plant Biology*. – 2025. – Vol. 16, No. 2. – P. 49. – DOI: 10.3390/ijpb16020049.
18. Ersson B.T., Laine T., Saksa T. Mechanized tree planting in Sweden and Finland: Current state and key factors for future growth // *Forests*. – 2018. – Vol. 9, No. 7. – P. 370. – DOI: 10.3390/f9070370.
19. Holden S.R., Treseder K.K. A meta-analysis of soil microbial biomass responses to forest disturbances // *Frontiers in Microbiology*. – 2013. – Vol. 4. – P. 163. – DOI: 10.3389/fmicb.2013.00163.
20. Reid W.V., Mooney H.A. The millennium ecosystem assessment: testing the limits of interdisciplinary and multi-scale science // *Ecology, Economy and Society*. – Singapore: Springer Singapore, 2018. – P. 49-61. – DOI: 10.1007/978-981-10-5675-8_4.

References

1. Romanov E. M. Vosproizvodstvo lesov v novoy strategii perekhoda k ustoychivomu razvitiyu lesnogo sektora Rossii. [Forest reproduction in the new strategy for the transition to sustainable development of the Russian forest sector]. *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Seriya: Les. Ekologiya. Prirodopol'zovanie = Bulletin of the Volga State University of Technology. Series: Forests. Ecology. Environmental Management*. 2021;(1):5-22. (In Russ.). DOI: 10.25686/2306-2827.2021.1.5.
2. Savchenkova V. A., Vasil'ev S. B., Nikitin V. F., Aksenov P. A. Produktivnost' lesnykh plantatsionnykh nasazhdeniy. [Productivity of forest plantation stands]. *Izvestiya vuzov. Lesnoy zhurnal = Russian Forestry Journal*. 2021;(1):35-45. (In Russ.). DOI: 10.37482/0536-1036-2021-1-35-45.
3. Samarskaya V. O., Malaeva E. V., Postnova M. V. Aspekty klonal'nogo mikrorazmnozheniya i sokhraneniya rasteniy in vitro. [Aspects of clonal micropropagation and in vitro plant preservation]. *Prirodnye sistemy i resursy = Natural Systems and Resources*. 2019;9(3):13-22. (In Russ.). DOI: 10.15688/nsr.jvolsu.2019.3.2.
4. Nawaz M., Sun J., Shabbir S., Khattak W.A., Ren G., Nie X., Bo Y., Javed Q., Du D., Sonne C. A review of plants strategies to resist biotic and abiotic environmental stressors. *Science of The Total Environment*. 2023;900:165832. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2023.165832.
5. Kakimzhanova A. A., Zhagipar F. S., Naziran F. Optimization of microclonal propagation conditions for increasing the multiplication factor of poplar microshoots. *Vestnik Evraziyskogo natsional'nogo universiteta imeni L.N. Gumileva. Seriya: Biologicheskie nauki = Bulletin of the L.N. Gumilyov Eurasian National University. Bioscience Series*. 2019;(1):57-65. DOI: 10.32523/2616-7034-2019-126-1-57-65.
6. Bobushkina S. V., Sen'kov A. O., Fayzulin D. Kh. Praktika vyrashchivaniya lesnogo posadochnogo materiala s zakrytoy kornevoy sistemoy primenitel'no k teplichnym kompleksam Arkhangel'skoy oblasti. [Practice of growing forest planting material with a closed root system for greenhouse complexes in the Arkhangelsk region]. *Voprosy lesnoy nauki = Forest Science Issues*. 2020;3(4):1-16. (In Russ.). DOI: 10.31509/2658-607x-2020-3-4-1-16.

7. Mikhaylov K. L., Demina N. A. Ekonomicheskoe obosnovanie i prognoz investirovaniya v vyrashchivanie posadochnogo materiala khvoynykh porod derev'ev. [Economic justification and investment forecast for growing planting material of coniferous tree species]. Innovatsii v APK: problemy i perspektivy = Innovations in the Agro-Industrial Complex: Problems and Prospects. 2024;(2):64-68. (In Russ.).
8. Zamolodchikov D. G., Grabovskiy V. I., Kaganov V. V. Ekosistemnye uslugi i prostranstvennoe raspredelenie zashchitnykh lesov Rossiyskoy Federatsii. [Ecosystem services and spatial distribution of protective forests of the Russian Federation]. Lesovedenie = Forest Science. 2021;(6):581-592. (In Russ.). DOI: 10.31857/S0024114821060115.
9. Avdeeva E. V., Rovnykh N. L., Ivanov D. V., Sukhenko N. V., Kukhar I. V., Kalinin M. D. Rossiyskiy i mirovoy opyt vyrashchivaniya posadochnogo materiala s zakrytoy kornevoy sistemoy. [Russian and world experience in growing planting material with a closed root system]. Khvoynye boreal'noy zony = Conifers of the Boreal Area. 2022;40(4):250-258. (In Russ.).
10. Bonnin S.M., Alvarez J.A., Faustino L.I., Graciano C. Revealing the physiological basis of forester's choice of poplar clones (Populus spp.). iForest. 2024;17:156-164. DOI: 10.3832/ifer4433-017.
11. Blonskaya L., Sultanova R., Muftakhova S., Martynova M., Konashova S., Sabirzyanov I., Odintsov G. Biological indices of Bashkir Lombardy poplar (Populus nigra L. × Populus nigra var. italica Du Roi) in urban landscapes. Bulgarian Journal of Agricultural Science. 2019;25(S2):30-36.
12. Gudynaitė-Franckevičienė V., Pliūra A. Performance and Genetic Parameters of Poplar Hybrids and Clones in a Field Trial Are Modified by Contrasting Environmental Conditions during the Vegetative Propagation Phase. Plants. 2022;11(18):2401. DOI: 10.3390/plants11182401.
13. da Mota Porto A.C., Novaes E. Prediction of current and future environmental suitability for Toona ciliata cultivation in Brazil. Discover Forests. 2025;1:27. DOI: 10.1007/s44415-025-00029-w.
14. dos Santos K.D.G., de Melo Ferreira W., Silva K.L.F. et al. Germination and initial development of Dipteryx alata Vogel (Fabaceae) in two "Cerrado" areas: a step toward its use in reforestation programs. Brazilian Journal of Botany. 2018;41:415–424. DOI: 10.1007/s40415-018-0453-0.
15. Thomas B.R., Schreiber S.G., Kamelchuk D.P. Impact of planting container type on growth and survival of three hybrid poplar clones in central Alberta, Canada. New Forests. 2016;47:815–827. DOI: 10.1007/s11056-016-9546-4.
16. Huang C., Lin L., Chen F., Wang X., Shi M., Chen L., Yang X., Dong X., Zhang M. Shading Effects on the Growth and Physiology of Endangered Hopea hainanensis Merr. & Chun Seedlings. Forests. 2025;16(7):1193. DOI: 10.3390/f16071193.
17. Evlakov P., Tseplyaev A., Popova A., Zapletin V., Ryzhkova V., Repnikova L., Zhuzhukin K. Influence of Container Volume and Cuttings Size on the Growth Parameters of Seedlings with a Closed Root System of Two Poplar Genotypes in the Voronezh Region. International Journal of Plant Biology. 2025;16(2):49. DOI: 10.3390/ijpb16020049.
18. Ersson B.T., Laine T., Saksa T. Mechanized tree planting in Sweden and Finland: Current state and key factors for future growth. Forests. 2018;9(7):370. DOI: 10.3390/f9070370.
19. Holden S.R., Treseder K.K. A meta-analysis of soil microbial biomass responses to forest disturbances. Frontiers in Microbiology. 2013;4:163. DOI: 10.3389/fmicb.2013.00163.
20. Reid W.V., Mooney H.A. The millennium ecosystem assessment: testing the limits of interdisciplinary and multi-scale science. In: Dayal V. et al., eds. Ecology, Economy and Society. Singapore: Springer Singapore; 2018. P. 49-61. DOI: 10.1007/978-981-10-5675-8_4.

Сведения об авторах

Евлаков Петр Михайлович – кандидат биологических наук, зав. лабораторией анализа ПЦР дирекции НИИ ИТЛК, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», ул. Тимирязева, 8, г. Воронеж, Российская Федерация, 394087, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0138-2410>, e-mail: peter.evlakov@yandex.ru

✉ *Цепляев Алексей Николаевич* – доктор с.-х. наук, профессор, 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/0000-0003-1938-5660>, e-mail: vsealexey@mail.ru.

Попова Анна Александровна – доктор с.-х. наук, 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

Рязанцева Ольга Сергеевна – аспирант, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», ул. Тимирязева, 8, г. Воронеж, Российская Федерация, 394087, ORCID: <http://orcid.org/0009-0000-5227-3420>, e-mail: dnb-87@mail.ru.

Information about the authors

Peter M. Evlakov – Cand. Sci. (Biol.), Head of Laboratory PCR Analysis, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Timiryazeva str., 8, Voronezh, Russian Federation, 394087, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0138-2410>, e-mail: peter.evlakov@yandex.ru.

✉ *Alexey N. Tseplyev* – Dr. Sci. (Agric.), Prof. department of botany and plant physiology, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Timiryazeva str., 8, Voronezh, Russian Federation, 394087, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1938-5660>, e-mail: vsealexey@mail.ru.

Anna A. Popova – Dr. Sci. (Agric.), Prof. department Botany and plant physiology, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Timiryazeva str., 8, Voronezh, Russian Federation, 394087, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4711-5377>, e-mail: logachevaaa@rambler.ru.

Olga S. Ryazantseva – post-graduate student, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Timiryazeva str., 8, Voronezh, Russian Federation, 394087, ORCID: <https://orcid.org/XXXX-0009-0000-5227-3420>, e-mail: dnb-87@mail.ru.

✉ Для контактов | Corresponding author