

Научная статья

Original article

УДК 630\*2

DOI 10.55186/25880209\_2025\_9\_3\_2

**СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА РОСТА И МОРФОМЕТРИЧЕСКИХ  
ПРИЗНАКОВ ГИБРИДНЫХ ФОРМ ТОПОЛЕЙ В УСЛОВИЯХ  
ЗАКРЫТОГО ГРУНТА**

**COMPARATIVE ASSESSMENT OF GROWTH AND MORPHOMETRIC TRAITS  
OF HYBRID FORMS OF POPLARS IN CLOSED GROUND CONDITIONS**



**Усманов Салават Булатович**, аспирант 3 курса факультета лесного хозяйства и экологии, ассистент кафедры таксации и экономики лесной отрасли, ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет» (420015, г.Казань, ул. К.Маркса, 65), тел. +7(927)454-00-05, ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-0780-6973>, [salusmanov7@yandex.ru](mailto:salusmanov7@yandex.ru)

**Хуснутдинов Ильнур Ильдусович**, аспирант 3 курса факультета лесного хозяйства и экологии, ассистент кафедры таксации и экономики лесной отрасли, ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет» (420015, г.Казань, ул. К.Маркса, 65), тел. +7(965)607-27-12, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1134-6651>, [husnutdinov\\_ilnur@rambler.ru](mailto:husnutdinov_ilnur@rambler.ru)

**Мухаметшина Айгуль Рамилевна**, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры лесоводства и лесных культур, ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет» (420015, г.Казань, ул. К.Маркса, 65), тел. +7(939)377-79-38, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1659-6123>, [aigulsafina@yandex.ru](mailto:aigulsafina@yandex.ru)

**Мусин Харис Гайнутдинович**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры лесоводства и лесных культур, ФГБОУ ВО «Казанский государственный

аграрный университет» (420015, г.Казань, ул. К.Маркса, 65), тел. +7(937)778-42-22,  
[haris.musin@rambler.ru](mailto:haris.musin@rambler.ru)

**Usmanov Salavat Bulatovich**, PhD Student, Assistant at the Department of Forest Mensuration and Forest Sector Economics, Kazan State Agrarian University (65 Karl Marx St., Kazan 420015, Russia), Tel. +7(927)454-00-05, ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-0780-6973>, [salusmanov7@yandex.ru](mailto:salusmanov7@yandex.ru)

**Khusnutdinov Inur Ildusovich**, PhD Student, Assistant at the Department of Forest Mensuration and Forest Sector Economics, Kazan State Agrarian University (65 Karl Marx St., Kazan 420015, Russia), Tel. +7(965)607-27-12, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1134-6651>, [husnutdinov\\_ilmur@rambler.ru](mailto:husnutdinov_ilmur@rambler.ru)

**Mukhametshina Aigul Ramilevna**, Ph.D. in Agricultural Sciences, Associate Professor, Department of Silviculture and Forest Cultures, Kazan State Agrarian University (65 Karl Marx St., Kazan 420015, Russia), Tel. +7(939)377-79-38, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1659-6123>, [aigulsafina@yandex.ru](mailto:aigulsafina@yandex.ru)

**Musin Kharis Gainutdinovich**, Doctor of Agricultural Sciences, Professor at the Department of Silviculture and Forest Cultures, Kazan State Agrarian University (65 Karl Marx St., Kazan 420015, Russia), Tel. +7(937)778-42-22, [haris.musin@rambler.ru](mailto:haris.musin@rambler.ru)

**Аннотация.** В условиях закрытого грунта проведено экспериментальное исследование по оценке роста и развития пяти гибридных форм тополей на ранней стадии вегетации. В ходе исследований были измерены морфометрические признаки: высота побега, диаметр стебля у основания и площадь листовой пластины. Установлены достоверные различия между гибридами, выявлены корреляции между биометрическими показателями и проведен кластерный анализ. Полученные результаты позволили выделить гибриды с наиболее выраженными признаками продуктивности и предварительно оценить их фотосинтетический и углеродоаккумулирующий потенциал.

**Abstract.** An experimental study to evaluate the growth and development of five hybrid forms of poplars at the early stage of vegetation was carried out under indoor conditions. In the course of the research, morphometric traits were measured: shoot height, stem

diameter at the base and leaf plate area. Reliable differences between hybrids were established, correlations between biometric parameters were identified and cluster analysis was performed. The results obtained allowed us to identify hybrids with the most pronounced productivity traits and to preliminarily assess their photosynthetic and carbon storage potential.

**Ключевые слова:** *тополь, гибридные формы, закрытый грунт, биометрические показатели, углеродный потенциал.*

**Keywords:** *poplar, hybrid forms, closed ground, biometric indices, carbon potential.*

**Введение.** Быстрорастущие древесные породы, в том числе тополя (*Populus*), играют важную роль в решении задач экологической стабилизации, озеленения и биоэнергетики [1]. Гибридные формы тополя особенно ценны благодаря высокой пластичности, способности к вегетативному размножению и быстрой аккумуляции биомассы. Эти качества делают тополь перспективной породой для масштабного воспроизводства и использования в системах устойчивого лесоразведения и озеленения [2, 3].

В последние десятилетия накоплен значительный опыт сортоиспытаний тополей в открытом грунте, преимущественно в полевых условиях [4, 5, 6]. Однако возможности закрытого грунта для сравнительной оценки роста на ранних этапах развития остаются недостаточно реализованными. Между тем, именно в контролируемой среде можно наиболее точно выявить различия между формами, исключив влияние неконтролируемых факторов внешней среды. Особое значение приобретает анализ морфологических различий между гибридными формами на ранних этапах развития, что позволяет обоснованно отбирать наиболее перспективный материал для последующего вегетативного воспроизводства [7].

Целью работы являлось проведение сравнительной оценки роста и развития различных гибридных форм тополей в условиях закрытого грунта на ранних стадиях развития, с учетом высоты побега, диаметра стебля у основания и площади листовой пластины, с последующим отбором наиболее продуктивных форм для вегетативного воспроизводства и предварительной оценки их потенциального углеродного вклада.

**Условия, материалы и методы.** Исследование проводилось в условиях закрытого грунта в течение вегетационного периода 2024 года. Объектом послужили однолетние одревесневшие вегетативные побеги пяти гибридных форм тополей различного происхождения. В конце апреля они были высажены в закрытый грунт по плотной схеме 5×5 см. Такая плотность обеспечивала компактное размещение и позволяла провести корректное сравнение гибридов на ранней стадии роста. Подробная характеристика исследуемых гибридов приведена в таблице 1.

Таблица 1. Характеристика происхождения исследуемых гибридов

№	Наименование гибрида	Лат. обозначение / Происхождение
1	Бахельери	<i>P. × euramericana</i> cv. <i>Bachelieri</i> ( <i>P. nigra</i> × <i>P. deltoides</i> )
2	Борей	<i>P. balsamifera</i> × «Пирамидально-осоконовый Камышинский» ( <i>P. nigra</i> f. <i>italica</i> × <i>P. nigra</i> )
3	Матрикс 11	<i>P. maximowiczii</i> × <i>P. trichocarpa</i>
4	Матрикс 24	<i>P. maximowiczii</i> × <i>P. trichocarpa</i>
5	Московский	<i>P. × moskoviensis</i> ( <i>P. suaveolens</i> × <i>P. laurifolia</i> )

Примечание: информация о происхождении гибридов составлена по данным из работ [8-10].

В качестве субстратной основы использовалась однородная почвенная смесь, состоящая из верхового торфа, речного песка и органического компоста в соотношении 3:1:1. Субстрат обеспечивал оптимальный водно-воздушный режим, достаточную рыхлость и близкий к нейтральному уровень кислотности, что способствовало укоренению и равномерному росту растений.

Условия микроклимата в закрытом грунте соответствовали рекомендациям по укоренению и выращиванию древесных растений: температура воздуха днем поддерживалась в диапазоне 22-26 °С, ночная температура не опускалась ниже 18 °С. Относительная влажность воздуха поддерживалась на уровне 70-80% [8]. Освещенность обеспечивалась за счет естественного дневного света.

С момента высадки до завершения вегетационного периода (апрель-октябрь 2024 года) ежемесячно проводились измерения следующих биометрических показателей: высоты побега, диаметра стебля у основания, площади листовой пластины. Площадь листовой пластины определялась графическим методом по контуру с последующим вычислением по миллиметровой сетке.

Для каждого из исследуемых признаков рассчитывались средние значения, стандартные отклонения и коэффициенты вариации. С целью выявления статистически значимых различий между гибридами применялся однофакторный дисперсионный анализ по итоговым значениям за октябрь. Для анализа взаимосвязей между биометрическими показателями использовался корреляционный анализ. Визуализация и группировка гибридов по совокупности признаков осуществлялись методом иерархической кластеризации.

**Результаты и обсуждение.** В таблице 2 представлены средние значения биометрических показателей на конец вегетационного периода (октябрь 2024 года).

Таблица 2. Биометрические показатели гибридов тополей на конец вегетационного периода

№	Наименование гибрида	Высота побега		Диаметр стебля у основания		Площадь листовой пластины	
		<i>H, см</i>	<i>CV, %</i>	<i>D, см</i>	<i>CV, %</i>	<i>S, см<sup>2</sup></i>	<i>CV, %</i>
1	Бахельери	207,6 ± 6,4	3,1	1,90 ± 0,05	2,6	284,4 ± 3,7	1,3
2	Борей	208,4 ± 7,8	3,7	1,20 ± 0,01	1,0	127,1 ± 3,3	2,6
3	Матрикс 11	239,7 ± 11,4	4,8	1,60 ± 0,06	3,8	277,3 ± 5,7	2,1
4	Матрикс 24	228,3 ± 4,1	1,8	1,50 ± 0,03	2,3	286,6 ± 6,7	2,3
5	Московский	284,3 ± 6,8	2,4	1,90 ± 0,05	2,6	293,4 ± 4,0	1,4

Наибольшая средняя высота побега зафиксирована у гибрида Московский – 284,3 см, а наименьшая у Бахельери – 207,6 см. По площади листовой пластины также лидировал гибрид Московский – 293,4 см<sup>2</sup>, в то время как минимальные значения наблюдались у гибрида Борей – 127,1 см<sup>2</sup>. Диаметр стебля варьировал от 1,2 см (Борей) до 1,9 см (Московский и Бахельери).

Коэффициенты вариации по всем признакам оставались в пределах 1,0-4,8%, что свидетельствует о высокой однородности развития растений в условиях закрытого грунта.

Согласно результатам дисперсионного анализа, различия между гибридами оказались статистически значимыми по всем трем признакам: высота побега ( $F =$

83,73;  $p < 0,001$ ), диаметр стебля ( $F = 225,39$ ;  $p < 0,001$ ) и площадь листовой пластины ( $F = 1071,33$ ;  $p < 0,001$ ).

Динамика изменения высоты побега и площади листовой пластины в течение вегетационного периода представлена на рисунках 1 и 2.

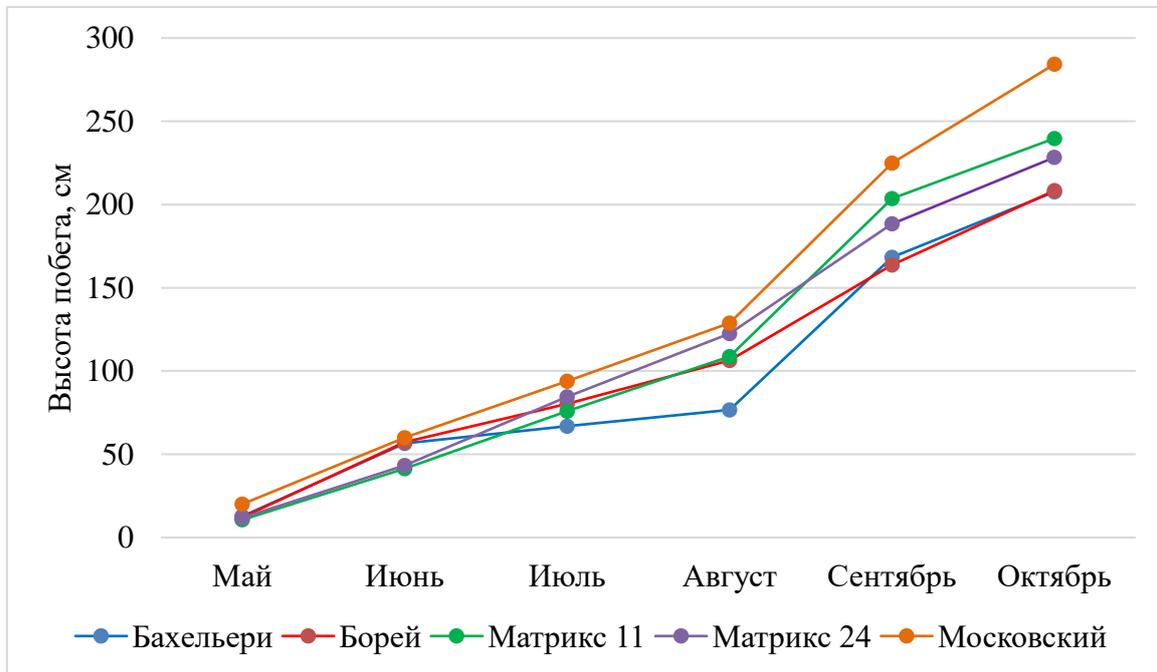


Рисунок 1 – Динамика роста высоты побега исследуемых гибридов

Наибольший прирост по высоте побега наблюдался в августе и сентябре, при этом гибрид Московский значительно опережал остальные формы к концу вегетационного периода. Матрикс 11 и Матрикс 24 показали умеренный и стабильный прирост. У гибридов Бахельери и Борей темпы роста были заметно ниже.

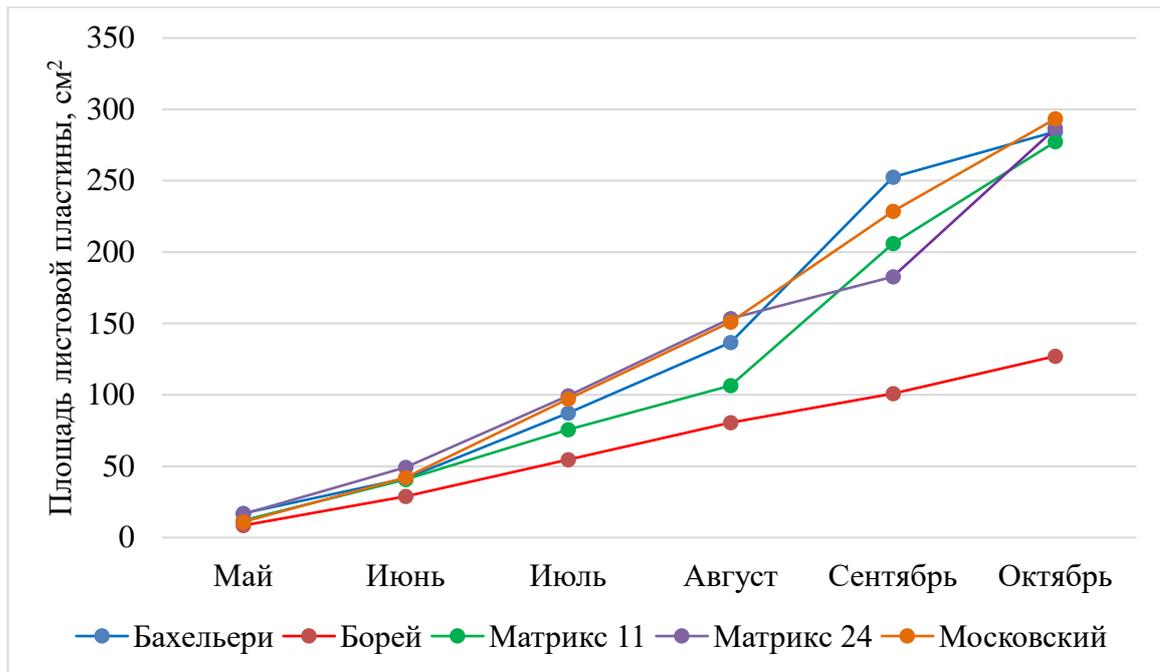


Рисунок 2 – Динамика изменения площади листовой пластины исследуемых гибридов

В конце вегетационного периода у большинства гибридов отмечались высокие значения площади листовой пластины, что свидетельствует о развитом фотосинтетическом аппарате и потенциальной способности растений к накоплению органического углерода. Лишь у гибрида Борей данный показатель существенно уступал остальным, что может свидетельствовать о более низкой потенциальной способности к углеродной фиксации.

Корреляционный анализ между морфологическими признаками показал наличие достоверных положительных связей. Между высотой побега и площадью листа ( $r = 0,476$ ) наблюдается умеренная корреляция, аналогичная связь между высотой и диаметром стебля ( $r = 0,480$ ). Наиболее выраженная положительная зависимость отмечена между диаметром стебля и площадью листовой пластины ( $r = 0,805$ ), что отражает согласованное развитие проводящей и фотосинтетической систем растения.

Для визуальной оценки морфометрического сходства исследуемых гибридов был проведен кластерный анализ на основе средних значений биометрических признаков. Результаты представлены в виде дендрограммы (рис. 3).

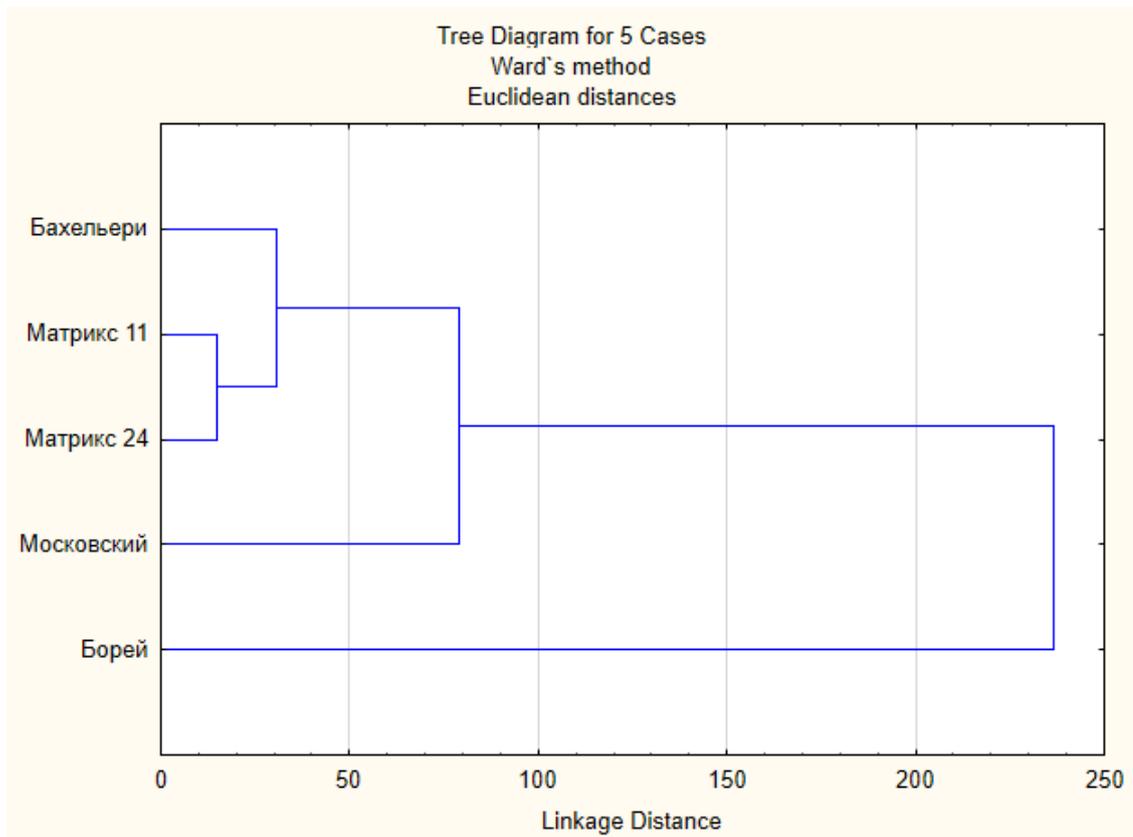


Рисунок 3 – Дендрограмма морфометрического сходства исследуемых гибридов

Наиболее близкими оказались гибриды Матрикс 11, Матрикс 24 и Бахельери, что указывает на сходство их морфологических параметров. Гибрид Московский демонстрирует частичное сходство с данной группой, но выделяется более высокими абсолютными значениями признаков. Наибольшее морфологическое отличие продемонстрировал гибрид Борей, что подтверждается ее удаленным положением на дендрограмме.

**Выводы.** Все исследуемые гибридные формы тополей успешно развивались в условиях закрытого грунта, продемонстрировав устойчивый рост. Наибольшие значения высоты побега, диаметра стебля и площади листовой пластины были зафиксированы у гибрида Московский. Несколько уступающие, но также высокие показатели отмечены у гибридов Матрикс 11, Матрикс 24 и Бахельери. Гибрид Борей по всем биометрическим признакам значительно отставал от остальных. Между морфометрическими признаками установлены достоверные положительные корреляции, в том числе сильная связь между диаметром стебля и площадью листовой пластины. Кластерный анализ подтвердил морфологическое

сходство большинства гибридов, в то время как гибрид Борей образовал обособленную группу. Высокие значения площади листовой пластины, зафиксированные у большинства гибридов, свидетельствуют о высоком фотосинтетическом потенциале и предполагаемой способности к углеродной фиксации, что придает дополнительную прикладную ценность результатам при отборе форм для создания экологически эффективных насаждений [11].

### Литература

1. Трещевская Э.И., Голядкина И.В., Трещевская С.В., Князев В.И., Кушнир Е.А. Перспективы лесной рекультивации техногенных ландшафтов с помощью культур тополя бальзамического (*Populus balsamifera* L.) // Лесотехнический журнал. 2020. №2 (38). С. 81-92.
2. 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 (33). С. 93-101.
3. Усманов, С. Б. Перспективы создания биоэнергетических плантаций на базе гибридных тополей / С. Б. Усманов, А. Р. Тухбатуллина, А. Р. Мухаметшина // Современное состояние и перспективы развития технической базы агропромышленного комплекса : Научные труды всероссийской (национальной) научно-практической конференции. Посвящается памяти д.т.н., профессора Мудрова Александра Григорьевича, Казань, 29–30 октября 2024 года. – Казань: Казанский государственный аграрный университет, 2024. – С. 429-434. – EDN CGWJTZ.
4. Максименко А.П., Максимцов Д.В., Мартынова В.Р., Неделева К.В., Холявко О.Ю., Бондаренко П.Г. Итоги сорокалетнего сортоиспытания гибридных тополей на песчано-ракушечных почвах восточного Приазовья // Научный журнал КубГАУ. 2016. №124. С. 181-200.
5. Царев В.А. Многолетнее сортоиспытание межсекционных гибридов тополя в условиях Центрально-Черноземной лесостепи // Лесотехнический журнал. 2019. №1 (33). С. 102-115.
6. Царев В.А. Эффективность сортовых тополей в степной зоне // Resour. Technol.. 2003. №. 4. С. 147-150.

7. Климов А.В., Прошкин Б.В. Использование морфо-анатомических признаков для выявления гибридных растений в зоне естественной гибридизации *Populus laurifolia* и *p. nigra* в Сибири, Россия // Вестн. Том. гос. ун-та. Биология. 2019. №46. С. 64-81.
8. Рекомендации по выращиванию посадочного материала тополей методами *in vivo* и *in vitro* с целью закладки долгосрочных сортоиспытательных насаждений / А. П. Царев, Р. П. Царева, В. А. Царев, Е. А. Шабанова ; под ред. д-ра с.-х. наук А. П. Царева ; М-во науки и высшего образования РФ, ФГБОУ ВО «ВГЛТУ». – Воронеж, 2023. – 49 с.
9. Heilig, D., Heil, B., Leibing, C. et al. Comparison of the Initial Growth of Different Poplar Clones on Four Sites in Western Slovakia—Preliminary Results. *Bioenerg. Res.* 14, 374–384 (2021). <https://doi.org/10.1007/s12155-020-10227-3>
10. Zeps, S., Neimane, U., Jansons, R. (2018). Intra annual height growth of hybrid poplars in Latvia. *Agronomy Research*, 16 (1), 254–262. <https://doi.org/10.15159/AR.17.073>
11. Березов, З. Т. Площадь листьев, индекс листовой поверхности и фотосинтетический потенциал / З. Т. Березов, Е. А. Плиева, О. И. Босиева // Достижения науки - сельскому хозяйству : Материалы Всероссийской научно-практической конференции (заочной), Владикавказ, 02–03 октября 2017 года. Том II. – Владикавказ: Горский государственный аграрный университет, 2017. – С. 93-95. – EDN XOEZSO.

### References

1. Treschevskaya E.I., Golyadkina I.V., Treschevskaya S.V., Knyazev V.I., Kushnir E.A. Prospects of forest reclamation of anthropogenic landscapes using cultures of balsam poplar (*Populus balsamifera* L.) // *Forest Engineering Journal*. 2020. №2 (38). С. 81-92.
2. Tsarev A.P., Tsareva R.P., Tsarev V.A., Lenchenkova O.Y., Miligula E.N.. Variety testing and selection of poplar hybrids for field protection plantations // *Forest Engineering Journal*. 2019. №1 (33). С. 93-101.
3. Usmanov, S. B. Prospects for the creation of bioenergy plantations based on hybrid poplars / S. B. Usmanov, A. R. Tukhbatullina, A. R. Mukhametshina // *Current*

state and prospects of development of the technical base of agroindustrial complex : Scientific Proceedings of the All-Russian (national) scientific-practical conference. Dedicated to the memory of Doctor of Technical Sciences, Professor Mudrov Alexander Grigorievich, Kazan, 29-30 October 2024. - Kazan: Kazan State Agrarian University, 2024. - C. 429-434. - EDN CGWJ TZ.

4. Maksimenko A.P., Maksimov D.V., Martynova V.R., Nedelyaeva K.V., Kholyavko O.Y., Bondarenko P.G. Results of forty-year variety testing of hybrid poplars on sandy-shell soils of the eastern Azov region // Scientific Journal of KubSAU. 2016. №124. C. 181-200.

5. Tsarev, V.A. Multiyear varietal testing of intersectional poplar hybrids in the conditions of the Central Black Earth forest-steppe // Forest Engineering Journal. 2019. №1 (33). C. 102-115.

6. Tsarev, V.A. Efficiency of varietal poplars in the steppe zone // Resour. Technol. 2003. №. 4. C. 147-150.

7. Klimov A.V., Proshkin B.V. Use of morpho-anatomical features to identify hybrid plants in the zone of natural hybridisation of *Populus laurifolia* and *p. nigra* in Siberia, Russia // Vestnik of Tomsk State University. *nigra* in Siberia, Russia // Vestnik Tom. gos. un-ta. Biology. 2019. №46. C. 64-81.

8. Recommendations on growing poplar planting material by in vivo and in vitro methods in order to establish long-term varietal trial plantations / A. P. Tsarev, R. P. Tsareva, V. A. Tsarev, E. A. Shabanova ; ed. by Dr. of Agricultural Sciences A. P. Tsarev ; Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, FGBOU VO 'VGLTU'. - Voronezh, 2023. - 49 c.

9. Heilig, D., Heil, B., Leibing, C. et al. Comparison of the Initial Growth of Different Poplar Clones on Four Sites in Western Slovakia—Preliminary Results. *Bioenerg. Res.* 14, 374–384 (2021). <https://doi.org/10.1007/s12155-020-10227-3>

10. Zeps, S., Neimane, U., Jansons, R. (2018). Intra annual height growth of hybrid poplars in Latvia. *Agronomy Research*, 16 (1), 254–262. <https://doi.org/10.15159/AR.17.073>

11. Berezov, Z. T. Leaf area, leaf surface index and photosynthetic potential / Z. T. Berezov, E. A. Plieva, O. I. Bosieva // Science achievements to agriculture :

Proceedings of the All-Russian scientific-practical conference (extramural), Vladikavkaz, 02-03 October 2017. Volume II. - Vladikavkaz: Gorsky State Agrarian University, 2017. - С. 93-95. - EDN XOEZSO.

© Усманов С.Б., Хуснутдинов И.И., Мухаметшина А.Р., Мусин Х.Г., 2025.  
*International agricultural journal*, 2025, №3, 717-728

**Для цитирования:** Усманов С.Б., Хуснутдинов И.И., Мухаметшина А.Р., Мусин Х.Г. СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА РОСТА И МОРФОМЕТРИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ ГИБРИДНЫХ ФОРМ ТОПОЛЕЙ В УСЛОВИЯХ ЗАКРЫТОГО ГРУНТА//*International agricultural journal*, 2025, №3, 717-728