



Научная статья
УДК 630*232.13
DOI: 10.37482/0536-1036-2022-5-9-20

Селекционные испытания факториальных гибридов *Populus tremula* L. в ювенильном возрасте

А.П. Царев¹✉, д-р с.-х. наук, проф.; ResearcherID: [S-6639-2019](https://orcid.org/0000-0001-8019-0016),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8019-0016>

Р.П. Царева¹, канд. с.-х. наук, ст. науч. сотр.; ResearcherID: [AAK-2110-2021](https://orcid.org/0000-0002-6949-4665),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6949-4665>

В.А. Царев^{1,2}, канд. с.-х. наук, доц.; ResearcherID: [ABE-5600-2020](https://orcid.org/0000-0002-3921-9339),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3921-9339>

Н.В. Лаур³, д-р с.-х. наук, доц.; ResearcherID: [AAL-1770-2021](https://orcid.org/0000-0003-1989-0384),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1989-0384>

¹Всероссийский научно-исследовательский институт лесной генетики, селекции и биотехнологии, ул. Ломоносова, д. 105, г. Воронеж, Россия, 394087; antsa-55@yandex.ru✉, tsarais42@mail.ru, vad.tsareff@yandex.ru

²Воронежский государственный лесотехнический университет, ул. Тимирязева, д. 8, г. Воронеж, Россия, 394087; vad.tsareff@yandex.ru

³Петрозаводский государственный университет, просп. Ленина, д. 33, г. Петрозаводск, Республика Карелия, Россия, 185910; laur@petsu.ru

Поступила в редакцию 15.10.20 / Одобрена после рецензирования 21.01.21 / Принята к печати 25.01.21

Аннотация. Осина характеризуется быстрым ростом, неприхотливостью к условиям местопроизрастания, ценной древесиной и рядом других полезных свойств. На евроазиатском материке наибольшие площади занимает осина вида *Populus tremula* L. К сожалению, она имеет значительный недостаток – поражаемость сердцевинной гнилью *Fomes igniarius* Fr. Множество исследователей проводили селекционный отбор гнилеустойчивых насаждений и отдельных деревьев осины в естественных лесах, а затем перешли к искусственной гибридизации. Кроме различных вариантов скрещиваний представляет интерес факториальная гибридизация, при которой несколько женских особей скрещиваются с несколькими мужскими. Полученные при этом гибриды позволяют определить наилучшие родительские индивидуумы или их пары. Впервые факториальная гибридизация *P. tremula* в стране была осуществлена в Центральном-Черноземном регионе России в 2015–2016 гг. в рамках международного сотрудничества с германским Институтом лесной генетики имени Тюнена по проекту MARussia. Цель работы заключалась в проведении гибридизации, создании полевого опыта по сортоиспытанию полученных гибридов и наблюдении за ними для выявления лучших гибридов и родителей. Гибриды испытывали на опытных полевых объектах в Воронежской и Липецкой областях. В настоящей публикации приведены результаты полевых испытаний на Латненском сортоиспытательном участке в Семилукском районе Воронежской области (51°42' с. ш. 38°56' в. д.; общая площадь – 2160 м²). Сохранность

растений разных гибридных семей в 4-летнем полевом опыте колебалась от 67 до 100 %. В среднем она была 88 %. Средняя высота растений этого возраста в отдельных семьях варьировала от $349 \pm 38,7$ до $510 \pm 30,0$ см, составляя в среднем по опыту 419 см. Средний диаметр на высоте 1,3 м равнялся 3,4 см с колебаниями по семьям от 2,4 до 4,6 см. Средние по семьям размеры видовых цилиндров гибридов осин – $3,5 \text{ дм}^3$ с колебаниями от 1,7 до 7,7 дм^3 . Предварительно установлены общая и специфическая комбинационные способности использованных родительских форм. Результаты сопоставлены с результатами испытаний, проведенных в других странах. Выполненные лабораторные и полевые эксперименты по гибридизации *P. tremula* L. в Центральном Черноземье позволят определить лучшие родительские формы и отобрать ряд хозяйственно ценных гибридов.

Ключевые слова: осина, факториальная гибридизация, сердцевинная гниль, полевое сортоиспытание, видовые цилиндры, общая комбинационная способность, специфическая комбинационная способность, Центральное Черноземье

Благодарности: Авторы благодарят коллег из ВНИИЛГИСбиотех за помощь при выращивании гибридов, создании испытательного сортоучастка и уходе за ним. Особую благодарность авторы выражают M. Fladung и G. von Wühlisch из германского Института лесной генетики им. Тюнена за творческое сотрудничество по проекту MARussia (грант 68706 BLE), а также директору Института лесных, инженерных и строительных наук ПетрГУ А.В. Питухину за подписание согласия на сотрудничество с германским Институтом лесной генетики им. Тюнена. Авторы благодарят Институт леса КарНЦ РАН за письмо поддержки актуальности исследований по заявленному гранту.

Для цитирования: Царев А.П., Царева Р.П., Царев В.А., Лаур Н.В. Селекционные испытания факториальных гибридов *Populus tremula* L. в ювенильном возрасте // Изв. вузов. Лесн. журн. 2022. № 5. С. 9–20. <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2022-5-9-20>

Original article

Breeding Tests of Juvenile Factorial Hybrids of *Populus tremula* L.

Anatoly P. Tsarev^{1✉}, Doctor of Agriculture, Prof.; ResearcherID: [S-6639-2019](https://orcid.org/0000-0001-8019-0016),
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8019-0016>

Raisa P. Tsareva¹, Candidate of Agriculture, Senior Research Scientist;
ResearcherID: [AAK-2110-2021](https://orcid.org/0000-0002-6949-4665), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6949-4665>

Vadim A. Tsarev^{1,2}, Candidate of Agriculture, Assoc. Prof.; ResearcherID: [ABE-5600-2020](https://orcid.org/0000-0002-3921-9339),
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3921-9339>

Natalia V. Laur³, Doctor of Agriculture, Assoc. Prof.; ResearcherID: [AAL-1770-2021](https://orcid.org/0000-0003-1989-0384),
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1989-0384>

¹All-Russian Research Institute of Forest Genetics, Breeding and Biotechnology, ul. Lomonosova, 105, Voronezh, 394087, Russian Federation; antsa-55@yandex.ru[✉], tsarais42@mail.ru, vad.tsareff@yandex.ru

²Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, ul. Timiryazeva, 8, Voronezh, 394087, Russian Federation; vad.tsareff@yandex.ru

³Petrozavodsk State University, prosp. Lenina, 33, Petrozavodsk, Republic of Karelia, 185910, Russian Federation; laur@petrsu.ru

Received on October 15, 2020 / Approved after reviewing on January 21, 2021 / Accepted on January 25, 2021



Abstract. The aspen is known for its rapid growth, unpretentiousness to growing conditions, valuable timber and some other useful properties. The largest areas on the Eurasian continent are occupied by *Populus tremula* L. Unfortunately, it is susceptible to heart rot *Fomes igniarius* Fr., which is a significant drawback. Considering this drawback many scientists had carried out selection of rot-resistant stands and individual aspen trees in natural forests, and later proceeded to artificial hybridization. Besides different crossing options, factorial hybridization, in which several females are crossed with several males, is of interest. The resulting hybrids provide an opportunity to determine the best parental individuals or their pairs. Factorial hybridization of *P. tremula* in Russia was first carried out in the Central Chernozem region in 2015–2016 within the framework of international cooperation with the Institute of Forest Genetics of the Johann Heinrich von Thünen-Institute (Germany) under the MARussia project. The purpose of the work was to carry out hybridization, create a field experiment on variety testing of the resulting hybrids and observe them to identify the best hybrids and parents. The hybrids were tested at experimental field sites in the Voronezh and Lipetsk regions. This paper presents the results of field testing at the Latnoye variety test plot in the Semiluky district of the Voronezh region (51°42' N, 38°56' E; total area – 2,160 m²). Survival of plants of different hybrid families in the 4-year field experiment ranged from 67 to 100 %; on average, it was 88 %. The average height of plants at this age in individual families varied from 349±38.7 to 510±30.0 cm, being on average 419 cm in the experiment. The average diameter at breast height (1.3 m) was 3.4 cm with fluctuations by families from 2.4 to 4.6 cm. The average size of species cylinders of aspen hybrids by families was 3.5 dm³ with fluctuations from 1.7 to 7.7 dm³. The general and specific combining abilities of the parental forms had been preliminarily found. The results have been compared with the results obtained in other countries. Performed laboratory and field experiments on hybridization of *P. tremula* L. in the Central Chernozem region will allow to determine the best parental forms and select a number of economically valuable hybrids.

Keywords: aspen, factorial hybridization, heart rot, field variety testing, species cylinders, general combining ability, specific combining ability, Central Chernozem Region

Acknowledgements: The authors are grateful to their colleagues at the All-Russian Research Institute of Forest Genetics, Breeding and Biotechnology (Voronezh, Russia) for their help in cultivation of hybrids, development of the testing plot and maintenance thereof. Special thanks to Dr. M. Fladung and Dr. G. von Wühlisch from the Institute of Forest Genetics of the Johann Heinrich von Thünen-Institute (Großhansdorf, Germany) for creative collaboration on the MARussia project (grant 68706, BLE) and to Prof. A.V. Pitukhin, Director of the PetrSU Institute of Forestry, Engineering and Construction Sciences, for signing an agreement for cooperation with the Institute of Forest Genetics of the Johann Heinrich von Thünen-Institute. The authors appreciate the letter of support for the relevance of research on the stated grant from the Forest Research Institute of Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences.

For citation: Tsarev A.P., Tsareva R.P., Tsarev V.A., Laur N.V. Breeding Tests of Juvenile Factorial Hybrids of *Populus tremula* L. *Lesnoy Zhurnal* = Russian Forestry Journal, 2022, no. 5, pp. 9–20. (In Russ.). <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2022-5-9-20>

Введение

Осина – один из самых распространенных видов тополя в России и в мире. В России занимаемая этой породой площадь в 2013 г. превышала 24 млн га – 2-е место в мире [3]. Среди зарубежных стран наиболее обширные по территории осинового леса (более 40 млн га) находятся в Канаде [10]. Осина быстро растет, неприхотлива к условиям местопроизрастания, обладает некоробящейся древесиной, но имеет крупный недостаток – поражаемость сердцевинной гнилью *Fomes igniarius* Fr.

Учитывая этот недостаток, множество исследователей проводили селекционный отбор гнилеустойчивых насаждений и отдельных деревьев осины в естественных лесах. В Советском Союзе и России пионером таких работ был А.С. Яблоков [6–8], имевший десятки последователей в разных регионах страны. Эти ученые являются авторами сотни работ. Последняя из подобных публикаций, посвященная памяти А.С. Яблокова, издана во Всероссийском научно-исследовательском институте лесоводства и механизации лесного хозяйства в 2021 г. [1].

Кроме отбора в естественных насаждениях России ряд исследователей, включая и А.С. Яблокова [8], в течение второй половины XX в. проводили работы по искусственной гибридизации осины с последующим отбором гнилеустойчивых особей. Некоторые из исследователей получили положительные результаты [2, 4, 16].

Гибридизация за рубежом, где занимались скрещиванием *Populus tremula* × *P. tremuloides* и наоборот, интенсивно проводилась в Германии [19, 20]. Обширный обзор гибридизации тополей с участием *P. tremula*, *P. tremuloides*, *P. davidiana* в странах Северной Америки, Европы и Азии осуществили В.Ж. Stanton et al. [14].

Среди различных видов скрещиваний представляет интерес факториальная гибридизация, при которой несколько женских особей скрещиваются с несколькими мужскими. Она считается одной из лучших, поскольку включает все возможные варианты скрещиваний и дает почти полную информацию о генетических характеристиках используемых родительских деревьев. Схема может давать информацию об общей (ОКС) и специфической (СКС) комбинационной способностях.

Полученный при этом материал после полевых испытаний позволяет отобрать наилучшие родительские индивидуумы или их пары [22]. К сожалению, схема очень трудна для осуществления, особенно с экономической точки зрения. Кроме того, нередко при проведении реальных опытов по гибридизации в силу различных причин (нескрещиваемость, гибель семян или всходов от грибковых заболеваний, повреждение энтомофитовредителями и др.) не удается сохранить целиком полученные гибриды.

Впервые в России факториальная гибридизация осины проведена в Центрально-Черноземном регионе России в 2015–2016 гг. В 1-й год подобраны и исследованы родительские формы, а также апробированы скрещивания. В 2016 г. получены новые гибриды. Работа была начата в рамках международного сотрудничества с немецким Институтом лесной генетики имени Тюнена по проекту MARussia. С германской стороны по проекту работали М. Fladung и G. Von Wühlisch [12]. С российской стороны кроме авторов настоящей публикации в исследованиях участвовали еще 2 группы – из Москвы [11] и Санкт-Петербурга [21].

Согласно проекту, при работе в Центральном Черноземье предполагалось решение следующих задач:

оценить существующие полевые опыты и клональные архивы для выявления осин, показывающих контрастные характеристики по продуктивности биомассы, устойчивости к грибковым заболеваниям и повреждению энтомофитовредителями, переносимости засухи, фенологическим характеристикам, чтобы определить деревья, на примере которых можно в последующем изучать расщепления;

собрать образцы листьев для анализа, выявить подходящие генные маркеры для пыльцы деревьев, которые будут использованы при скрещивании;

выполнить скрещивания отобранных кандидатов деревьев, чтобы получить сегрегирующие потомства в достаточном числе для дальнейшего генетического анализа (100–300 сеянцев на каждый вариант скрещиваний);

вырастить потомства в питомнике для последующего испытания;

дать фенотипическую оценку важных черт отобранных деревьев, как показано в первой задаче;

создать полевой опыт долгосрочных наблюдений за потомствами.

Проведены начальные 2-летние гибридизационные работы, получены семена, всходы, и выращен гибридный материал в количествах, превышающих задание, и у большего, чем в задании, числа вариантов скрещиваний. Отобраны лучшие гибридные сеянцы, из которых созданы 2 полевых испытательных участка в Липецкой и Воронежской областях.

Итоги наблюдений первых лет были опубликованы в нескольких научных работах [5, 12, 17], где отражены результаты, полученные в лабораториях, данные роста 2-летних сеянцев в питомнике и 3-летних растений на постоянных испытательных участках.

В настоящей работе представлены результаты 4-летних полевых испытаний гибридов осины, полученных соавторами в 2016 г. вблизи с. Латное Воронежской области. К настоящему времени стало возможным определить не только высоту испытываемых растений, но и их объемные характеристики.

Целью настоящей публикации было подведение кратких итогов исследований, определение лучших гибридных семей и отдельных гибридов, прошедших 2-летние испытания в теплице (2016–2017 гг.) и 4-летний цикл полевого сортоиспытания (2018–2021 гг.).

Объекты и методы исследования

Латненский сортоучасток находится в Семилукском районе Воронежской области. Географические координаты участка – 51°42' с. ш. 38°56' в. д.; общая площадь – 2160 м²; подготовка почвы: зяблевая вспашка в 2016 г., поддержание черного пара механизированной культивацией в следующем году, перепашка с боронованием и посадка под лопату 2-летними гибридными сеянцами осины осенью 2017 г.

Размещение – 4 × 2 м. Посадка осуществлена в 3-кратной повторности. Смещение делянок гибридов рандомизированное. Почва участка вышла из-под сельхозпользования и представлена черноземом обыкновенным суглинистым. По всему периметру сортоучастка высажены опушечные ряды из тополей.

Всего на Латненском сортоучастке высажено 198 гибридных сеянцев осины от 19 сибсовых и 6 полусибсовых семей. От каждой семьи высажено по 9 гибридов (по 3 гибрида на делянку).

В последующие 2 года в междурядьях проведена тракторная культивация, а в рядах – ручная прополка (по 4 раза в год). Летом 3-го года осуществ-

влено 3 ухода, но в отдельных случаях появились корневые отпрыски осин, и от тракторной культивации пришлось отказаться. Уходы 4-го года в рядах и междурядьях выполнены 1 раз в июле ручной бензинокосилкой. Общий вид сортоучастка представлен на рисунке.



Полевой 4-летний сортоучасток гибридов осины вблизи с. Латное Семилукского района Воронежской области (17 июля 2021 г.)

A 4-year-old field variety test plot of aspen hybrids near the Latnoye village, Semiluky district, Voronezh region. July 17, 2021

Измерения растений осуществлены в сентябре. Фиксировали высоту (H , см) и диаметр ствола на высоте 1,3 м (D , см). По этим показателям рассчитывали объемы видовых цилиндров (ВЦ, дм^3): $\text{ВЦ} = \pi D^2 / 4H = D^2 \cdot 0,785H$.

По ВЦ определили наиболее быстрорастущие гибриды осины в возрасте 4 лет. ОКС и СКС родительских растений по ВЦ найдены в соответствии с методикой [22]. Для проведения расчетов и построения графиков использована программа Excel.

Результаты исследования и их обсуждение

Динамика роста в высоту гибридов осин при разном сочетании родительских форм в течение 4 лет испытаний представлена в табл. 1. Как видно из приведенных данных, прирост по высоте в 1-й год в целом составил 41 см, во 2-й – 116 см, в 3-й – 86 см и в 4-й – 99 см. То есть после стресса в период приживаемости в течение 1-го года приросты в последующие 3 года были около 1 м/год. Из 19 вариантов скрещиваний в 1-ю пятерку (ранги 1–5) вошли семьи со средними высотами от 440 до 510 см.

В некоторых семьях со средними показателями встречались деревья с высотой 570 (семья № 18), 520 (семья № 19), 580 (семья № 14), 510 см (семья № 16) и др. Если такие деревья сохраняют хороший рост, они могут быть отобраны в категорию лучших.

Таблица 1

**Сохранность и динамика роста гибридов осины по высоте
на Латненском сортоучастке в течение 4 лет
Survival and growth dynamics of aspen hybrids by height
at the Latnoye variety test plot for 4 years**

№ гибридной семьи	Вариант скрещивания	Высажено, шт.	Сохранность в 4 года, %	Высота посадочного материала, см	Средняя высота, см, в возрасте, лет				Ранги в 4 года
					1	2	3	4	
1	10-03 × 08-02	9	89	118	179	289	350	464 ± 33,0	4
3	10-03 × 07-02	7	86	75	103	240	315	371 ± 37,5	18
4	10-03 × 32-03	9	89	85	139	288	380	471 ± 31,9	3
5	10-03 × 45-03	9	100	103	158	277	376	473 ± 32,0	2
6	10-03 × 48-02	9	89	57	107	211	286	349 ± 38,7	19
<i>Итого и среднее по материнской форме</i>		43	91	88	137	262	350	430	–
2	18-02 × 08-02	9	89	67	115	216	299	378 ± 31,4	17
7	18-02 × 07-02	2	100	119	156	260	375	510 ± 30,0	1
10	18-02 × 32-03	9	78	74	119	242	324	420 ± 8,5	10
11	18-02 × 45-03	9	78	80	124	219	307	433 ± 45,0	6
12	18-02 × 48-02	9	89	44	117	274	364	440 ± 28,4	5
9	18-02 × Ос _{local}	7	100	81	136	216	287	412 ± 33,9	11
<i>Итого и среднее по материнской форме</i>		45	87	78	128	238	326	421	–
13	23-05 × 07-02	6	100	29	83	212	298	388 ± 43,6	14
14	23-05 × 08-02	9	89	94	134	219	294	381 ± 54,5	15
15	23-05 × 32-03	2	100	30	78	199	275	380 ± 60,0	16
19	23-05 × 45-03	9	89	66	122	228	339	425 ± 38,5	8
<i>Итого и среднее по материнской форме</i>		26	92	55	104	215	302	397	–
16	45-01 × 08-02	9	78	87	121	214	314	427 ± 33,3	7
17	45-01 × 45-03	3	100	80	115	215	303	407 ± 77,9	13
18	45-01 × 48-02	9	67	38	63	197	279	409 ± 51,9	12
<i>Итого и среднее по материнской форме</i>		21	76	68	100	207	299	417	–
8	02-01 × 08-02	9	89	114	160	229	307	420 ± 27,9	9
<i>Всего и среднее по всем материнским формам</i>		144	88	77	118	234	320	419	–

Данные о диаметрах 4-летних растений осины позволили определить средние ВЦ всех гибридных семей (табл. 2).

Таблица 2

**Диаметры и объемы видовых цилиндров 4-летних гибридов осины
на Латненском сортоучастке**
**Diameters and volumes of species cylinders of 4-year-old aspen hybrids
at the Latnoye variety test plot**

№ гибридной семьи	Вариант скрещивания	Диаметр, см	ВЦ, дм ³	Ранги ВЦ на 4-й год
1	10-03 × 08-02	4,6	7,7	1
3	10-03 × 07-02	3,1	2,8	15
4	10-03 × 32-03	3,9	5,6	4
5	10-03 × 45-03	3,9	5,6	3
6	10-03 × 48-02	2,5	1,7	18
<i>Итого и среднее по материнской форме</i>		3,7	3,2	–
2	18-02 × 08-02	3,1	2,9	14
7	18-02 × 07-02	4,1	7,1	2
10	18-02 × 32-03	3,2	3,4	10
11	18-02 × 45-03	3,3	3,7	8
12	18-02 × 48-02	3,7	4,7	5
9	18-02 × Ос _{local}	3,2	3,3	11
<i>Итого и среднее по материнской форме</i>		3,4	4,1	–
13	23-05 × 07-02	2,9	2,6	16
14	23-05 × 08-02	3,5	3,7	9
15	23-05 × 32-03	2,4	1,7	19
19	23-05 × 45-03	3,5	4,1	6
<i>Итого и среднее по материнской форме</i>		3,3	2,6	–
16	45-01 × 08-02	3,1	3,2	12
17	45-01 × 45-03	3,0	2,9	13
18	45-01 × 48-02	2,8	2,5	17
<i>Итого и среднее по материнской форме</i>		2,9	2,9	–
8	02-01 × 08-02	3,5	4,0	7
<i>Итого и среднее по всем материнским формам</i>		3,4	3,5	–

Как видно из табл. 2, в лучшую пятерку по ВЦ вошли гибриды семей 10-03 × 08-02, 18-02 × 07-02, 10-03 × 45-03, 10-03 × 32-03 и 18-02 × 48-02. Их ВЦ выше средних показателей семей на 30–120 % и составляют в среднем 6,14 дм³, отличаясь в большую сторону по сравнению с общей средней величиной этого показателя по всем материнским формам в 1,8 раза.

Расчет ОКС использованных родительских особей осин по ВЦ представлен в табл. 3.

Таблица 3

Общая и специфическая комбинационная способности родительских особей гибридных семей осин по видовым цилиндрам в возрасте 4 лет

General and specific combining abilities of parental individuals of hybrid aspen families by species cylinders at the age of 4

Материнские формы	Отцовские формы						Среднее	ОКС
	08-02	07-02	32-03	45-03	48-02	Ос _{local}		
10-03	7,7	2,8	5,6	5,6	1,7	–	4,68	0,95
18-02	2,9	7,1	3,4	3,7	4,7	3,3	4,18	0,45
23-05	3,7	2,6	1,7	4,1	–	–	3,02	–0,71
45-01	3,2	–	–	2,9	2,5	–	2,86	–0,87
02-01	4,0	–	–	–	–	–	4,00	0,27
Среднее	4,24	4,16	3,57	4,08	2,97	3,30	3,73	–
ОКС	0,51	0,43	–0,16	0,35	–0,76	–0,43	–	–

Из данных табл. 3 следует, что наиболее высокая ОКС, согласно рассчитанным ВЦ, у родительских деревьев наблюдалась среди материнских растений осины 10-03, а среди отцовских – у 08-02. Наиболее низкая ОКС была у материнского дерева 45-01 и у отцовского 48-02.

СКС оказалась наиболее высокой у родительской пары 10-03 × 08-02. На 2-м месте пара 18-02 × 07-02, на последних двух местах – гибридное потомство семей 23-05 × 32-03 и 10-03 × 48-02.

Ряд высоких деревьев из семей, не вошедших в лучшую пятерку, показали и высокий диаметр. В результате они отличались и значительными ВЦ. Здесь есть деревья с ВЦ, равным 8,92 (семья № 18); 7,0 (семья № 19); 16,6 (семья № 14); 7,96 дм³ (семья № 16) и др. После достижения возраста стабилизации рангов роста из числа данных деревьев можно будет построить выборку лучших гибридов осины.

Поскольку осина обладает рядом хозяйственно ценных свойств [5], ее гибридизацией занимаются во многих зарубежных странах: Германии [13, 19, 20], Швеции [15] Эстонии [18], Канаде [9] и др. [14].

В частности, в Германии в Шлезвиг-Гольштейне (53°47' с. ш. 10°31' в. д., 37 м над ур. м.) в течение 5 лет исследовали сохранность, рост в высоту и по диаметру 14 клонов *P. × wettsteinii* (*P. tremula* × *P. tremuloides*) [13]. В 5-летних растениях сохранность была значительно ниже (от 7 до 88 %), чем в 4-летнем опыте в Латном (от 67 до 100 %, в среднем 88 %). Приросты в высоту гибридов в германском опыте явно превышали эти показатели растений Латненского участка. У разных клонов *P. × wettsteinii* средние приросты по высоте колебались от 1,26 до 1,68 м. На Латненском сортоучастке текущий прирост достиг только 63–139 см. Диаметры на высоте груди в германском опыте составляли от 4,7 до 6,5 см, что было выше, чем на Латненском сортоучастке. Средние диаметры в Латном колебались от 2,8 до 4,6 см, хотя отдельные гибридные растения в этом возрасте достигали диаметра 6,1–6,7 см.

В Швеции изучали рост 4-летних гибридов осины варианта *P. tremula* × *P. tremuloides* [15]. Средняя высота растений в различных условиях местопрорастания была от 163 до 517 см. Это близко к варьированию

средних высот различных вариантов скрещиваний осины обыкновенной *P. tremula* на Латненском участке.

В Эстонии наблюдали за ростом гибридов *P. tremula* L. × *P. tremuloides* Michx. [18]. В Германии этот вариант гибридов показывал хорошие результаты роста. В Эстонии он уступал факториальным гибридам *P. tremula* L. латненского и германского опыта. Так, средняя высота 5-летних растений в Эстонии колебалась в различных почвенных условиях от 1,3 до 4,0 м. В то время как на Латненском сортоучастке 4-летние гибриды имели среднюю высоту по всем вариантам 4,2 м с вариацией средних показателей по 5 лучшим гибридным семьям от 4,4 до 5,1 м.

В обзоре В.Ж. Stanton, М.Ж. Serapiglia, Л.В. Smart [14] показано, что в разных условиях в разных странах получены неодинаковые результаты. Это зависит от используемого сортового и гибридного материала и многих других факторов, как абиотических и биотических, так и технических и технологических. В связи с чем для достижения положительных результатов необходимо проводить обширные опыты в различных регионах.

Выполненные лабораторные и полевые эксперименты по скрещиванию *P. tremula* L. в Центральном Черноземье позволяют надеяться на последующие положительные результаты гибридизации.

Выводы

Проведенные на Латненском сортоучастке в Центральном Черноземье полевые опыты с выведенными новыми гибридами *Populus tremula* L. показали следующие результаты.

1. Сохранность растений на 4-летнем постоянном участке у разных гибридных семей колебалась от 67 до 100 %, составляя в среднем 88 %.

2. Средняя высота растений на этом участке в отдельных семьях варьировала от 349 до 510 см, равняясь в среднем по опыту 419 см. В Германии средние приросты по высоте у разных клонов осины *P. × wettsteinii* колебались от 1,26 до 1,68 м/год. На Латненском участке текущий прирост в 4-летних гибридных семьях достигал только 63–139 см/год. Средняя высота 5-летних растений в Эстонии колебалась в различных почвенных условиях от 1,3 до 4,0 м, что было существенно ниже, чем в опыте на Латненском сортоучастке.

3. Средний диаметр на высоте 1,3 м на Латненском сортоучастке у растений составлял 3,4 см с вариацией по семьям от 2,4 до 4,6 см. Диаметры гибридов в германском 5-летнем опыте колебались от 4,7 до 6,5 см – такие показатели были больше, чем в 4-летних семьях Латненского сортоучастка. Хотя отдельные наиболее крупные растения в латненском опыте достигали в этом возрасте диаметра 6,1–6,7 см.

4. Средние по семьям размеры видовых цилиндров гибридов осин Латненского сортоучастка составляли 3,5 дм³ с колебаниями от 1,7 до 7,7 дм³. В коллекции в разных семьях встречались отдельные деревья с объемом видового цилиндра 8,92; 7,0; 16,6; 7,96 дм³ и др. После достижения возраста стабилизации рангов роста можно будет отобрать из числа всех этих деревьев представительную выборку лучших гибридов осины для перспективных ассортиментов.

5. Исследование общей и специфической комбинаторных способностей использованных родительских форм показало, что наиболее высокая общая комбинаторная способность по видовым цилиндрам среди материнских растений у осины 10-03, а среди отцовских – у 08-02. Специфическая комбинаторная способность была наиболее высокой у родительских пар 10-03 × 08-02 (1-е место здесь) и 18-02 × 07-02 (2-е место). Дальнейшее изучение этих показателей позволит отобрать лучшие пары родителей для создания биклоновых семенных плантаций осины.

6. Для достижения положительных результатов гибридизации необходимо проводить обширные опыты в различных регионах. Выполненные лабораторные и полевые эксперименты по скрещиванию *P. tremula* L. в Центральном Черноземье позволят определить лучшие родительские формы и отобрать ряд хозяйственно ценных гибридов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Багаев Е.С., Макаров С.С., Багаев С.С., Родин С.А. Исполинская осина: биологические особенности и перспективы плантационного выращивания: моногр. Пушкино: ВНИИЛМ, 2021. 72 с.

Bagaev E.S., Makarov S.S., Bagaev S.S., Rodin S.A. *Giant Aspen: Biological Features and Prospects of Plantation Cultivation*: Monograph. Pushkino, VNIILM Publ., 2021. 72 p. (In Russ.).

2. Владимиров Б.Н. Гибридизация осины // Науч. тр. Моск. лесотехн. ин-та. 1972. Вып. 43. С. 49–57.

Vladimirov B.N. Aspen Hybridization. *Nauchnyye trudy Moskovskogo lesotekhnicheskogo instituta*, 1972, iss. 43, pp. 49–57. (In Russ.).

3. Государственный лесной реестр 2013: стат. сб. М.: Рослесинфорг, 2014. 690 с. *State Forest Register 2013: Statistical Collection*. Moscow, Roslesinforg Publ., 2014. 690 p. (In Russ.).

4. Петрухнов В.П. Гибридизация осины в ЦЧО // Гибридизация лесных древесных пород: сб. науч. тр. / отв. ред. А.П. Царев. Воронеж: ЦНИИЛГиС, 1988. С. 101–106.

Petrukhnov V.P. Aspen Hybridization in the Central Chernozem Region. *Hybridization of Forest Wood Species: Collection of Academic Papers*. Ed. by A.P. Tsarev. Voronezh, TSNIILGiS Publ., 1988, pp. 101–106. (In Russ.).

5. Царев А.П., Царева Р.П., Царев В.А., Евлаков П.М. Гибридизация тополей: моногр. / под общ. ред. А.П. Царева; М-во науки и высшего образования РФ, ФГБОУ ВО «ВГЛУ». Воронеж, 2021. 289 с.

Tsarev A.P., Tsareva R.P., Tsarev V.A., Evlakov P.M. *Hybridization of Poplars*: Monograph. Ed. by A.P. Tsarev. Voronezh, 2021. 289 p. (In Russ.).

6. Яблоков А.С. Исполинская форма осины в лесах СССР. // Тр. ВНИИЛХ, 1941. Вып. 23. 52 с.

Yablokov A.S. Giant Form of Aspen in the Forests of the USSR. *Trudy VNIILKh*, 1941, iss. 23. 52 p. (In Russ.).

7. Яблоков А.С. Воспитание и разведение здоровой осины. М.; Л.: Гослесбумиздат, 1949. 276 с.

Yablokov A.S. *Breeding and Planting of Healthy Aspen*. Moscow, Goslesbumizdat Publ., 1949. 276 p. (In Russ.).

8. Яблоков А.С. Воспитание и разведение здоровой осины. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Гослесбумиздат, 1963. 442 с.

Yablokov A.S. *Breeding and Planting of Healthy Aspen*. Moscow, Goslesbumizdat Publ., 1963. 442 p. (In Russ.).

9. Böhlenius H., Övergaard R., Asp H. Growth Response of Hybrid Aspen (*Populus×wettsteinii*) and *Populus trichocarpa* to Different pH Levels and Nutrient Avail-

abilities. *Canadian Journal of Forest Research*, 2016, vol. 46(11), pp. 1367–1374. <https://doi.org/10.1139/cjfr-2016-0146>

10. Carle J. Trends & Perspectives in Poplar & Willow Cultivation – A Global Synthesis of National Progress (Plenary Report). *Abstracts of Submitted Papers on the 25th Session of the International Poplar Commission in Berlin (Germany) “Poplars and Other Fast-Growing Trees – Renewable Resources for Future Green Economies”*. Working Paper IPC/14. Rome, Forestry Policy and Resources Division of FAO, 2016, pp. 1–34. Available at: <http://www.fao.org/forestry/ipc/69946/en> (accessed 15.10.20)

11. Chernyshenko O., Rumyantsev D., Sirotova A. Aspen Clonal Sustainability Assessment in Natural Populations by Tree-Ring Based Information. *Proceedings of the German Russian Conference on Forest Genetics*. Braunschweig, Thünen-Institut, 2018, pp. 17–22. <https://doi.org/10.3220/REP1539855736000>

12. Fladung M., von Wühlisch G. Improving the Productivity, Resistance, and Adaptability in Poplar – Development of Genetic Markers for Aspen (“MaRussiA”). *Proceedings of the German Russian Conference on Forest Genetics*. Braunschweig, Thünen-Institut, 2018, pp. 9–15. <https://doi.org/10.3220/REP1539855736000>

13. Liesebach M., Schneck V. Clone Test with Hybrid Aspen (As130). *Proceedings of the German Russian Conference on Forest Genetics*. Braunschweig, Thünen-Institut, 2018, pp. 127–130. <https://doi.org/10.3220/REP1539855736000>

14. Stanton B.J., Serapiglia M.J., Smart L.B. The Domestication and Conservation of *Populus* and *Salix* Genetic Resources. *Poplars and Willows: Trees for Society and the Environment*. Ed. by J.G. Isebrands, J. Richardson. Rome, FAO, 2014, pp. 124–199. <https://doi.org/10.1079/9781780641089.0124>

15. Stener L.-G., Westin J. Early Growth and Phenology of Hybrid Aspen and Poplar in Clonal Field Tests in Scandinavia. *Silva Fennica*, 2017, vol. 51, no. 3, art. 5656. <https://doi.org/10.14214/sf.5656>

16. Tsarev A.P. Growth and Breeding of Aspen in Russia. *Silvae Genetica*, 2013, vol. 62, iss. 4-5, pp. 153–160. <https://doi.org/10.1515/sg-2013-0020>

17. Tsarev A., Tsareva R., Tsarev V., Fladung M., von Wühlisch G. Aspen Hybridization: Parents’ Compatibility and Seedlings’ Growth. *Silvae Genetica*, 2018, vol. 67, iss. 1, pp. 12–19. <https://doi.org/10.2478/sg-2018-0002>

18. Tullus H., Tullus A., Soo T., Vares A. Hybrid Aspen (*Populus tremula* L. × *P. tremuloides* Michx.) Complex Study Programme in Hemiboreal Estonia. *Proceedings of the 23rd Session of IPC*. Beijing, 2008. 32 p.

19. Von Wühlisch G. Ergebnisse der Züchtung von Pappeln und Aspen in Großhansdorf. Perspektiven für die Energie – und Rohstoffherzeugung. *Pflanzenzüchtung Großhansdorf*, 2006, vol. 70, pp. 157–172. [In Ger.].

20. Von Wühlisch G. Growth Performance of F₁-Hybrids, Backcrossed Hybrids and F₂-Hybrids of *Populus tremula* and *Populus tremuloides*. *Proceedings of the 5th International Poplar Symposium “Poplars and Willows: From Research Models to Multipurpose Trees for a Bio-Based Society”*. Orvieto, Italy, 2010. 37 p.

21. Zhigunov A.V., Ulianich P.S., Lebedeva M.V., Potokina E.K. Development of Research Resources for Marker-Assisted Selection of Aspen (*Populus tremula* L.) in Russia. *Proceedings of the German Russian Conference on Forest Genetics*. Braunschweig, Thünen-Institut, 2018, pp. 35–39. <https://doi.org/10.3220/REP1539855736000>

22. Zobel B., Talbert J. *Applied Forest Tree Improvement*. New York, John Wiley, 1984. 505 p.

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов
Conflict of interest: The authors declare that there is no conflict of interest

Вклад авторов: Все авторы в равной доле участвовали в написании статьи
Authors’ Contribution: All authors contributed equally to the writing of the article