



Научная статья

УДК 582.632.1:630*232

DOI: 10.37482/0536-1036-2023-5-9-26

Сибсовое потомство карельской березы на Заонежской лесосеменной плантации

Л.В. Ветчинникова^{1,3} ✉, *д-р биол. наук, гл. науч. сотр.*; *ResearcherID: J-5665-2018*,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2091-905X>

А.Ф. Титов^{2,3}, *чл.-корр. РАН, д-р биол. наук, проф., гл. науч. сотр.*;

ResearcherID: A-6705-2014, *ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6880-2411>*

*Е.Э. Костина*¹, *мл. науч. сотр.*; *ResearcherID: AEW-2779-2022*,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1115-9853>

*А.В. Жигунов*³, *д-р с.-х. наук, проф.*; *ResearcherID: AAK-8124-2020*,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8707-7526>

¹Институт леса Карельского научного центра РАН, ул. Пушкинская, д. 11, г. Петрозаводск, Россия, 185910; vetchin@krc.karelia.ru ✉, kostina@krc.karelia.ru

²Институт биологии Карельского научного центра РАН, ул. Пушкинская, д. 11, г. Петрозаводск, Россия, 185910; titov@krc.karelia.ru

³Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия, 194024; a.zhigunov@bk.ru

Поступила в редакцию 03.02.23 / Одобрена после рецензирования 05.03.23 / Принята к печати 10.03.23

Аннотация. Представлены результаты изучения роста и развития разновозрастных (35 и 15 лет) деревьев, являющихся сибсовым потомством карельской березы, полученным в результате контролируемого опыления. Исследованные деревья растут на Заонежской лесосеменной плантации (участки № 1 и 2 соответственно), в юго-восточной части Карелии, на территории Медвежьегорского района. Показано, что на участке № 1 в семенном потомстве карельской березы к 20 годам количество растений с признаками узорчатой текстуры в древесине составило 67 %, а к 35 – почти 80 %. Предположительно, это обусловлено, с одной стороны, генетическими особенностями исходных (плюсовых) родительских деревьев, а с другой – благоприятными условиями, которые сложились на территории лесосеменной плантации в 1-е годы развития сибсового потомства. На примере 4 из 36 гибридных семей (отобранных с учетом наличия прямого и обратного скрещиваний) изучены особенности роста и развития разновозрастных насаждений. Обнаружено, что в сибсовом потомстве гибридных семей доминировали деревья высокоствольной формы роста, при этом в насаждении на участке № 1 (35 лет) преобладали деревья с мелкобугорчатым типом поверхности ствола, на участке № 2 (15 лет) – с шаровидноутолщенным. С возрастом скорость линейного роста у деревьев существенно снижалась, а радиального, наоборот, увеличивалась. Однако с повышением толщины коры происходило «сглаживание» ранее выпуклой поверхности ствола. Помимо этого, выявлены особенности живого напочвенного

покрова, сформировавшегося под влиянием разновозрастных (35 и 15 лет) насаждений карельской березы. На основании проведенных исследований сделан вывод, что при целевом выращивании карельской березы с узорчатой текстурой древесины (например, для производства строганного шпона) можно получить хорошие результаты уже при достижении деревьями возраста 20–35 лет. Кроме того, созданная лесосеменная плантация, учитывая количество представленных на ней деревьев и их происхождение, является важной частью ценного генофонда карельской березы, который в дальнейшем может стать основой для расширенного воспроизводства ресурсов этого уникального представителя европейской лесной дендрофлоры.

Ключевые слова: карельская береза, *Betula pendula* Roth var. *carelica* (Mercklin) Hämet-Ahti, лесосеменная плантация, сибсовое потомство, рост березы, развитие березы, формовое разнообразие березы

Благодарности: Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 22-16-00096 «Выявление генетических факторов, контролирующих признак “узорчатости древесины” у карельской березы с использованием высокопроизводительного генотипирования»). Авторы благодарят М.Л. Щурову за предоставление проектной документации по созданию Заонежской лесосеменной плантации и участие в проведении натурного обследования насаждений карельской березы в 2006 и 2022 гг., а также О.С. Серебрякову и Н.Е. Петрову за участие в экспедиции и помощь в сборе полевых материалов в 2022 г.

Для цитирования: Ветчинникова Л.В., Титов А.Ф., Костина Е.Э., Жигунов А.В. Сибсовое потомство карельской березы на Заонежской лесосеменной плантации // Изв. вузов. Лесн. журн. 2023. № 5. С. 9–26. <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2023-5-9-26>

Original article

Sibs Progeny of Curly Birch at the Zaonezhye Forest Seed Orchard

Lidia V. Vetchinnikova^{1,3}✉, Doctor of Biology, Chief Research Scientist;

ResearcherID: [J-5665-2018](https://orcid.org/0000-0003-2091-905X), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2091-905X>

Alexander F. Titov^{2,3}, Corresp. Member of RAS, Doctor of Biology, Prof., Chief Research Scientist; ResearcherID: [A-6705-2014](https://orcid.org/0000-0001-6880-2411), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6880-2411>

*Ekaterina E. Kostina*¹, Junior Research Scientist; ResearcherID: [AEW-2779-2022](https://orcid.org/0000-0003-1115-9853),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1115-9853>

*Anatolii V. Zhigunov*³, Doctor of Agriculture, Prof.; ResearcherID: [AAK-8124-2020](https://orcid.org/0000-0001-8707-7526),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8707-7526>

¹Forest Research Institute of Karelian Research Centre, Russian Academy of Sciences, ul. Pushkinskaya, 11, Petrozavodsk, 185910, Russian Federation; vetchin@krc.karelia.ru✉, kostina@krs.karelia.ru

²Institute of Biology of Karelian Research Centre, Russian Academy of Sciences, ul. Pushkinskaya, 11, Petrozavodsk, 185910, Russian Federation; titov@krc.karelia.ru

³St. Petersburg State Forest Technical University named after S.M. Kirov, Institutsky per., 5, St. Petersburg, 194021, Russian Federation; a.zhigunov@bk.ru

Received on February 3, 2023 / Approved after reviewing on March 5, 2023 / Accepted on March 10, 2023

Abstract. The article reports the results of studies on the growth and development of curly birch sibs progeny (produced through controlled pollination) aged 35 and 15 years growing in the Zaonezhye forest seed orchard (sites 1 and 2, respectively) in south-eastern Karelia,



Medvezhyegorsky District. The number of trees with signs of wood figure in the seed progeny of curly birch in site 1 was 67 % by the age of 20 years, and by the age of 35 years – almost 80 %. This can probably be attributed to the genetic characteristics of the parent (plus) trees on one hand and to the favorable conditions in the forest seed orchard during the first years of the sibs progeny development on the other. Four of the 36 hybrid families (selected to include forward- and backcrossing products) were used for the case study of the growth and development patterns in stands of different age. The sibs progeny of these hybrid families was dominated by high-stemmed plants, but the main trunk shape in the 15-year-old stand was one with necks and muffs, while in the 35-year-old stand – with small protuberances. The rate of height growth in the trees decreased notably with age, whereas radial (stem diameter) growth, on the contrary, accelerated. As the bark grew thicker, however, the formerly bulgy surface “smoothed down”. We have also identified specific features of the ground vegetation formed under the effect of curly birch plantations of different age (15- and 35 years old). A conclusion drawn from the study is that good results from targeted cultivation of curly birch with figured grain (e.g., for sliced veneer) can be achieved already by the age of 20–35 years. Furthermore, considering the number of trees and their origin, this forest seed orchard constitutes an essential part of the valuable gene pool of curly birch, which may turn into a source for expanded reproduction of the resources of this unique member of the European forest tree flora.

Keywords: curly birch, *Betula pendula* Roth var. *carelica* (Mercklin) Hämet-Ahti, forest seed orchard, sibs progeny, birch growth, birch development, birch shape diversity

Acknowledgements: The research was carried out with the financial support from the Russian Science Foundation (project № 22-16-00096 “Identification of genetic factors controlling the wood pattering trait in curly birch using high-throughput genotyping”). The authors would like to thank M.L. Shchurova for providing project documentation for the establishment of the Zaonezhye forest seed orchard and participation in the field survey of curly birch plantations in 2006 and 2022, as well as O.S. Serebryakova and N.E. Petrova for participation in the expedition and assistance in collecting field materials in 2022.

For citation: Vetchinnikova L.V., Titov A.F., Kostina E.E., Zhigunov A.V. Sibs Progeny of Curly Birch at the Zaonezhye Forest Seed Orchard. *Lesnoy Zhurnal* = Russian Forestry Journal, 2023, no. 5, pp. 9–26. (In Russ.). <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2023-5-9-26>

Введение

В первой половине XX в. в связи с актуализацией проблемы повышения продуктивности лесов широкое развитие получили селекционно-генетические исследования. Первоначально они были сосредоточены на изучении внутривидовой изменчивости лесообразующих пород и ограничивались выявлением наиболее интересных по тем или иным признакам форм деревьев, а затем на отборе наиболее ценных генотипов для создания искусственных насаждений с целью получения в течение длительного времени семян основных древесных пород с улучшенными наследственными свойствами.

В Карелии с начала создания объектов лесного семеноводства основное внимание уделялось главным лесообразующим породам – сосне и ели. Согласно официальным данным, на 01.01.2023 г. здесь отобраны и аттестованы плюсовые деревья (сосна – 1110 шт., ель – 323 шт.), плюсовые насаждения (сосна – 288,1 га, ель – 132,8 га), лесосеменные плантации (ЛСП) (сосна – 347,0 га, ель – 54,6 га), постоянные лесосеменные участки (ПЛСУ) (сосна – 13,4 га) и т. д. Кроме сосны и ели в структуре объектов лесного семеноводства Республики присутствует также уникальный представитель европейской лесной дендрофлоры – карельская береза *Betula pendula* Roth var. *carelica* (Mercklin) Hämet-Ahti.

Сегодня ее природные популяции на территории региона по численности сравнительно невелики – около 1,5 тыс. деревьев, но являются наибольшими не только в России, но и в Северной Европе [3].

К настоящему времени в состав объектов лесного семеноводства Республики Карелии с участием карельской березы входят 14 плюсовых деревьев, архив клонов (0,4 га), Заонежская ЛСП (16,8 га), на которой представлено семенное (сибсовое) потомство, полученное в результате контролируемого опыления, и участок семенного (полусибсового) потомства, выращенного из семян от свободного опыления (площадью 6,9 га). В 2021 г. участок семенного (полусибсового) потомства из-за отсутствия необходимой информации о родительских деревьях переведен из категории ЛСП в ПЛСУ. Кроме этого в 2021 г. на территории Олонецкого центрального лесничества сотрудниками Института леса Карельского научного центра РАН совместно с работниками АУ РК «Кареллесхоз» при поддержке Министерства природных ресурсов и экологии Республики Карелии созданы первые в России популяционно-экологические культуры карельской березы (415 растений 43 генотипов), полученные путем клонального микроразмножения *in vitro* [8], общей площадью 1,4 га [4].

Оценка современного состояния объектов лесного семеноводства (включая ЛСП), созданных на территории Республики Карелии, дается многими авторами [10, 12, 14, 16–18, 23], но большинство работ посвящены хвойным породам. В отношении карельской березы исследования почти не проводились, хотя они представляют значительный интерес, не только практический, но и научный.

Цель – изучение формового разнообразия и состояния произрастающих в условиях ЛСП в юго-восточной части Карелии, на территории Медвежьегорского района, сибсовых потомств (35 и 15 лет) карельской березы, полученных в результате контролируемого опыления.

Объекты и методы исследования

Объектом исследования служило сибсовое потомство карельской березы *Betula pendula* Roth var. *carelica* (Mercklin) Hämet-Ahti, полученное путем контролируемого опыления. Деревья произрастают на Заонежской ЛСП I порядка, расположенной в юго-восточной части Карелии [15], в Медвежьегорском районе. По характеру древостоев и почвенно-геологическим особенностям район соответствует природным условиям, свойственным значительной части южной Карелии. Аборигенным компонентом дендрофлоры является карельская береза.

Согласно проектной документации создания Заонежской ЛСП и полученным в ходе исследований данным о представленном здесь семенном потомстве карельской березы, сибсовое потомство располагается на 2 участках (поле № 2 и 10) [15], которые для удобства обозначены нами в тексте как № 1 и 2. Участок № 1, площадью 4,8 га, создан в 1987 г., участок № 2, площадью 7,0 га, – в 2006 г. Согласно паспорту ЛСП, на участках № 1 и 2 было высажено около 1,5 тыс. (от 20 вариантов скрещивания) и около 3,0 тыс. (от 16 вариантов скрещивания) растений соответственно. Почва на участке № 1 – дерново-среднеподзолистая, а на участке № 2 – среднеподзолистая

супесчаная. Растения расположены рядами с размещением на площади 5×8 м (в ряду и между рядами соответственно) по 2 шт. в одно посадочное место с учетом, что позднее будут удалены деревья, у которых не проявятся косвенные признаки «узорчатости» древесины.

Родительские деревья сибсового потомства, представленного на ЛСП, имеют карельское происхождение и ранее были зарегистрированы в республиканском реестре плюсовых деревьев. О них есть информация, но сами деревья не сохранились или сохранились частично, поскольку в 90-е гг. подверглись незаконной рубке.

В 2006 г. на участке № 1 работниками Петрозаводской лесосеменной станции (с нашим участием) была проведена оценка формового разнообразия деревьев (в возрасте 20 лет) по форме роста и типу поверхности ствола (табл. 1). На участке № 2 такие работы ранее не осуществлялись.

В 2022 г. для изучения формового разнообразия сибсового потомства карельской березы в возрасте 35 (участок № 1) и 15 (участок № 2) лет в целях формирования выборки для его генетической оценки на ЛСП нами отобраны гибридные семьи: а) включающие потомство от прямого и обратного скрещивания конкретной родительской пары; б) имеющие максимально возможное количество растений в обоих вариантах скрещивания; в) характеризующиеся разнообразием по форме роста и типу поверхности ствола (в т. ч. без признаков узорчатости); г) для которых сохранились (хотя бы частично) родительские деревья. В результате среди сибсового потомства из 36 гибридных семей карельской березы указанным критериям соответствовали только 4. На участке № 1 это гибридные семьи карельской березы, полученные от прямого ♀133 × ♂134 (68 деревьев) и обратного ♀134 × ♂133 (20 деревьев) скрещиваний. На участке № 2 – гибридные семьи от прямого ♀51 × ♂58а (96 деревьев) и обратного ♀58а × ♂51 (15 деревьев) скрещиваний.

В ходе полевых работ у деревьев определяли форму роста: высоко-, короткоствольная, кустообразная или кустарниковая (рис. 1) – и тип поверхности ствола [3, 6]. При этом к высокоствольной форме относили деревья с хорошо выраженным стволом и высоко приподнятой кроной – от 1,5–2,0 м и более (рис. 1, а); к короткоствольной – деревья, у которых стволовая часть до 1,5 м, выше которой располагаются несколько мощно развитых скелетных ветвей, формирующих общую крону (рис. 1, б); к кустообразной – деревья с укороченным (от 10 см до 1 м), но явно выраженным стволом, несущим раскидистую крону (рис. 1, в). Среди древовидных форм отмечали также низкорослые растения кустарниковой формы, у которых мощно развитые скелетные ветви имели общий ствол в прикорневой части, отходящий от корневой шейки (рис. 1, г).

Высоту определяли с помощью высотомера Suunto PM-5/1520 РС или 1,8-метровой линейкой с точностью до 5 см (для деревьев с кустообразной формой роста), диаметр ствола – мерной вилкой с двух сторон дерева на высоте 1,3 м (для узорчатых деревьев высоко- и короткоствольной форм роста и без признаков узорчатости) или 0,5 м от шейки корня (у узорчатых деревьев кустообразной формы роста). Для оценки изменчивости показателей использовали коэффициент вариации (С, %) и шкалу уровней изменчивости, предложенную ранее для древесных растений [11].

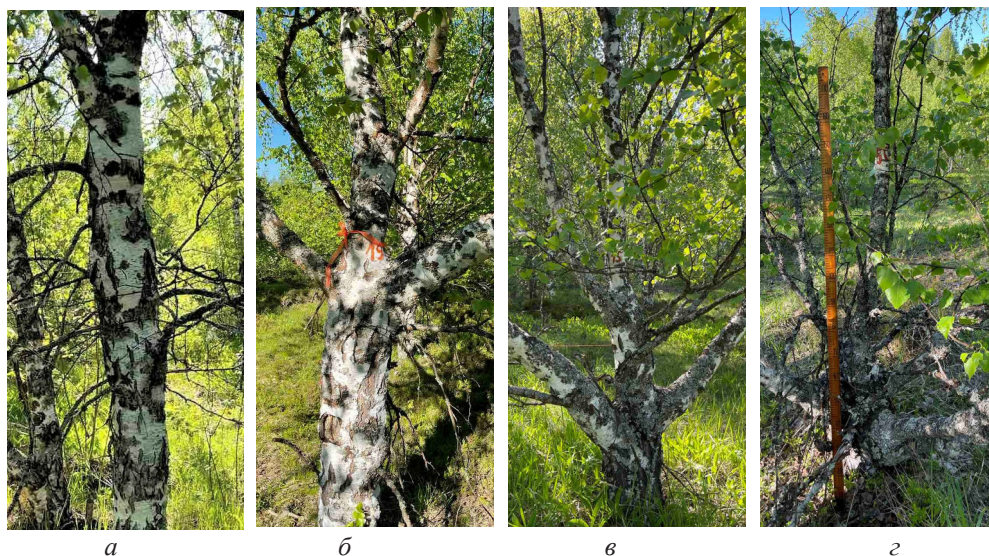


Рис. 1. Формы роста карельской березы: высокоствольная (а), короткоствольная (б), кустообразная (в) и кустарниковая (г). Июнь 2022 г.

Fig. 1. Curly birch growth forms: high-stemmed (a), short-stemmed (b), shrub-like (c), shrubby (d). June, 2022

Геоботаническое описание участков проводили в 2022 г. по общепринятой методике, использованной нами ранее [5]. Для этого на обоих участках закладывали по 5 площадок размером 1×1 м. Названия видов и их принадлежность к аборигенной или адвентивной части флоры приведены в соответствии с «Конспектом флоры Карелии» [9]. Для характеристики видов, согласно сайту [13], использовали эколого-ценотическую оценку, предложенную М.Л. Раменской [19], и экологические шкалы Н. Ellenberg [26, 27], Е. Landolt [28] и Д.Н. Цыганова [24].

Результаты исследования и их обсуждение

Исследования показали, что спустя 20 лет после создания ЛСП на участке № 1 в sibсовом потомстве карельской березы у 66,6 % деревьев (от числа сохранившихся) присутствуют косвенные признаки узорчатости древесины (табл. 1). При этом в 3 из 20 гибридных семей количество узорчатых особей достигло 88 %, а еще в 1 – 84 %. Доля деревьев высокоствольной формы роста на участке № 1 к 2006 г. составила 24,4 %, короткоствольной – 27,9 %, а кустообразной – 14,3 %. Число деревьев с шаровидноутолщенным типом поверхности ствола (23,6 %) в среднем было немного больше по сравнению с мелкобугорчатым (22,1 %). Добавим, что в 1-е десятилетие после создания ЛСП часть деревьев (около 1/3) была удалена в ходе рубок ухода, поскольку посадка, как уже отмечено выше, проводилась по 2 дерева в 1 посадочное место. В результате утрачены не только безузорчатые деревья, но и часть узорчатых.

К 2022 г. на участке № 1 количество растений с признаками узорчатой текстуры в древесине составило почти 80 %. Количество сестринских растений в гибридных семьях варьировало от 5 до 120 деревьев.

Таблица 1

Характеристика (%) сибсового потомства карельской березы *Betula pendula* var. *carelica* на участке № 1 по форме роста и типу поверхности ствола, 2006 г.
Characterization (%) of curly birch *Betula pendula* var. *carelica* sibs progeny in site № 1 by growth form and trunk surface type, 2006

Вариант скрещивания	Количество деревьев, сохранившихся в гибридных семьях	Форма роста			Тип поверхности ствола				Всего	
		в/ств	к/ств	кустообр.	ш/ут	м/буг	к/буг	ребр.	узорч.	б/пр
♀130 × ♂132	96	12	26	8	16	8	13	9	46	54
♀130 × ♂135	13	25	45	0	40	15	5	10	70	30
♀130 × ♂136	15	65	23		12	53	0	23	88	12
♀131 × ♂134	30	10		12	17	12	4	12	45	55
♀131 × ♂135	25	0	31	23	8	16	30	0	54	46
♀131 × ♂136	19	20	23	17	28		16		60	40
♀132 × ♂130	16	30	30	0	0	20	20	20		
♀132 × ♂131	124	9	31	12	14	5	25	8	52	48
♀132 × ♂133	98	23	16	27	30	25	11	0	66	34
♀132 × ♂134	97	25	32	20	31	37	8	1	77	23
♀132 × ♂136	93	28	20	9	20	12	16	9	57	43
♀133 × ♂130	50	8	31	24	22	18	15	8	63	37
♀133 × ♂131	53	30	12	30	12	24	18	17	71	29
♀133 × ♂134	87	22	33	33	22	40	24	2	88	12
♀133 × ♂135	100	21		21	28	21	17	9	75	25
♀133 × ♂136	32	19	37	9	39	10	13	3	65	35
♀134 × ♂131	21	33	43	11	15	51	5	16	87	13
♀134 × ♂133	20	7	30	22	36	18		0	59	41
♀134 × ♂135	51	50	26	8	32	31	17	4	84	16
♀134 × ♂136	7		13	0	50	13	0	0	63	37
Среднее	1047	24,4	27,9	14,3	23,6	22,1	13,0	7,8	66,6	33,4

Примечание: в/ств – высокоствольная; к/ств – короткоствольная; кустообр. – кустообразная; ш/ут – шаровидноутолщенная; м/буг – мелкобугорчатая; к/буг – крупнобугорчатая; ребр. – ребристая; узорч. – с признаками узорчатости; б/пр – без признаков узорчатости.

На участке № 2 через 15 лет после его создания количество растений в сибсовом потомстве также сократилось (примерно на 30 %) вследствие проведения уходов в 1-е пять лет. На 2022 г. здесь в зависимости от варианта скрещивания количество деревьев в гибридной семье варьирует от 40 до 1000 шт.

Важным компонентом нового биоценоза, сложившегося на ЛСП, является живой напочвенный покров, который сформировался под влиянием насаждений

карельской березы и, в свою очередь, оказывал существенное влияние на рост и развитие всех находящихся здесь деревьев. Общее проективное покрытие живого напочвенного покрова к настоящему времени составило в среднем 70 %. На участках № 1 и 2 в целом зафиксировано 38 видов, из них 32 – сосудистые растения (преимущественно лесные), 4 – лишайники, 2 – мхи. Несмотря на значительное сходство состава напочвенного покрова, выявлены особенности каждого из участков. В частности, на территории участка № 1 обнаружено 28 видов сосудистых растений, а на территории участка № 2 – 19, среди которых в обоих случаях преобладает вереск обыкновенный, но с разной площадью проективного покрытия (20 и 40 % соответственно). Различия установлены также в соотношении эколого-ценотических групп в видовом составе сосудистых растений: в насаждении на участке № 1 в отличие от участка № 2 отмечены адвентивные виды и не отмечены болотные эу-мезотрофы (рис. 2).

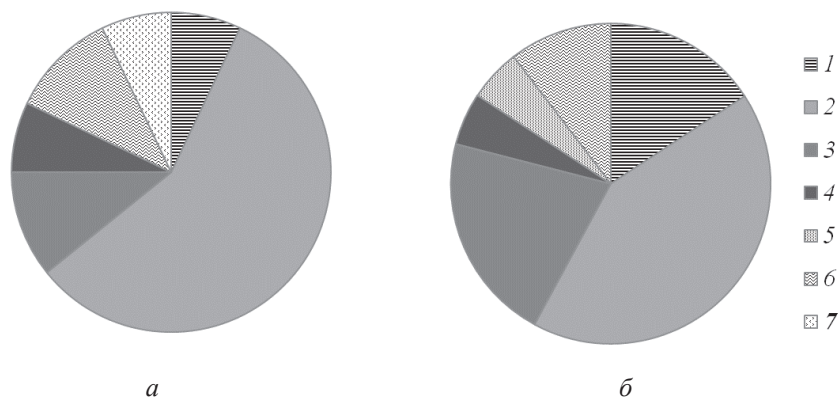


Рис. 2. Соотношение эколого-ценотических групп в видовом составе сосудистых растений живого напочвенного покрова (% от общего числа видов) в насаждениях карельской березы 35 (а) и 15 (б) лет (2022 г.): 1 – лесные эвтрофные мезо-гигрофиты сциофиты; 2 – лесные мезо-олиготрофные мезофиты сциофиты-семигелиофиты; 3 – лесные олиготрофные ксерофиты-гелиофиты; 4 – лесные виды с широкой экологической амплитудой; 5 – болотные эу-мезотрофы; 6 – луговые мезо-гигрофиты; 7 – адвентивные виды

Fig. 2. Proportions of ecological-coenotic groups in the species composition of vascular plants in the ground vegetation (% of the total number of species) in curly birch stands aged 35 years (a) and 15 years (b) (2022), where: 1 – forest-dwelling eutrophic meso-hygrophytic sciophyte; 2 – forest-dwelling meso-oligotrophic mesophytic sciophyte-semiheliophyte; 3 – forest-dwelling oligotrophic xerophytic heliophyte; 4 – forest-dwelling species with a wide ecological amplitude; 5 – meso-eutrophic mire species; 6 – meso-hygrophytic meadow species; 7 – non-native species

Сравнительный анализ сибсовых потомств карельской березы (на примере 4 гибридных семей, полученных в результате прямого и обратного скрещиваний), произрастающих в разновозрастных насаждениях (35 и 15 лет) на территории ЛСП, также выявил различия между группами потомств. В насаждении на участке № 1 большинство растений (54 %) в сибсовом потомстве изученных гибридных семей по форме роста оказались высокоствольными (рис. 3, а). Их высота в целом варьировала от 4,1 до 14,6 м (табл. 2) и почти не зависела от варианта скрещивания. Так, в гибридной семье ♀133 × ♂134 вы-

сота в среднем составила 9,2 м, а при обратном скрещивании ♀134 × ♂133 – 8,0 м (табл. 2). Широкая амплитуда изменчивости отмечена и в отношении диаметра ствола. В варианте скрещивания ♀133 × ♂134 его значения у высоко- и короткоствольных форм роста варьировали от 2,9 до 30,0 см (на высоте 1,3 м от корневой шейки) (табл. 2), а у кустообразных – от 21,4 до 33,8 см (на высоте 0,5 м от корневой шейки). В среднем диаметр ствола (на высоте 1,3 м) у изученных деревьев в 35-летнем насаждении составил около 15,0 см, при этом у 30 % он превысил 18,0 см. По характеру поверхности ствола здесь доминировал мелкобугорчатый тип (около 52 %) (рис. 3, б), у единичных особей просматривалась небольшая ребристость на стволах. Деревья без признаков узорчатости составили около 20 %.

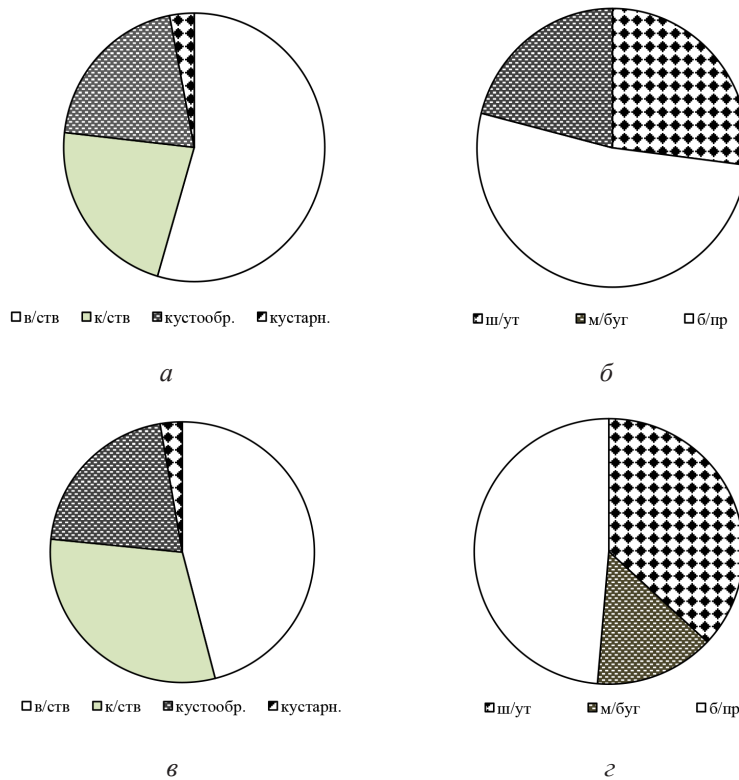


Рис. 3. Соотношение деревьев карельской березы (% от их общего числа) в изученных гибридных семьях на участках № 1 (а, б) и 2 (в, г) по форме роста (а, в) и типу поверхности ствола (б, г) к 2022 г. (здесь и на рис. 4: в/ств – высокоствольная; к/ств – короткоствольная; кустообр. – кустообразная; кустарн. – кустарниковая; ш/ут – шаровидноутолщенная; м/буг – мелкобугорчатая; б/пр – без признаков узорчатости; ребр. – ребристая)

Fig. 3. Proportions of curly birch trees (% of their total number) within the studied hybrid families growing in sites 1 (a, б) and 2 (в, г) by growth forms (a, в) and trunk shapes (б, г) to 2022. Here and in Fig. 4: в/ств – high-stemmed, к/ств – short-stemmed, кустообр. – shrub-like, кустарн. – shrubby; ш/ут – with necks and muffs, м/буг – with small protuberances, б/пр – without “figured grain”; ребр. – ribbed

Таблица 2

**Высота и диаметр деревьев сибсового потомства карельской березы
Betula pendula var. carelica в зависимости от варианта скрещивания
Height and diameter of curly birch sibs progeny trees depending on crossing variants**

Показатель	Участок № 1		Участок № 2	
	♀133 × ♂134	♀134 × ♂133	♀51 × ♂58a	♀58a × ♂51
<i>Высота</i>				
Число деревьев, шт.	68	20	96	15
Высота (<i>H</i>), $M \pm m$, м	9,2±2,51	8,0±1,93	5,0±2,40	4,9±2,76
Размах изменчивости, м	8,1–13,1	4,1–14,6	1,6–10,6	1,2–9,6
Коэффициент вариации, %	24,0	27,3	47,8	56,7
<i>Диаметр</i>				
Число деревьев, шт.	59	17	62	9
Диаметр, $M \pm m$, см (<i>H</i> = 1,3 м)	15,3±5,37	15,0±5,25	6,7±4,47	7,2±3,18
Размах изменчивости, см	2,9–30,0	6,3–21,3	1,5–19,3	4,0–13,0
Коэффициент вариации, %	35,1	35,0	66,5	44,2

В сибсовом потомстве карельской березы 2-й изученной пары, произрастающей в насаждении на участке №2, также преобладали (46 %) деревья высокоствольной формы роста (рис. 3, в). Их высота в среднем составила около 5,0 м (от 1,2 до 10,6 м) и характеризовалась очень большим коэффициентом вариации – 52 % (табл. 2). Интересно, что в варианте скрещивания ♀51 × ♂58a около 70 % деревьев имели высоту до 6,0 м, а в гибридной семье ♀58a × ♂51 – наоборот, более 60 % из них превышали 6,0 м. Наибольшие различия по диаметру ствола зафиксированы в гибридной семье ♀51 × ♂58a, где значения колебались от 1,5 до 19,3 см (на высоте 1,3 м от шейки корня), а коэффициент вариации составил более 65 % (табл. 2). Почти у половины деревьев диаметр ствола был менее 6 см и только у 17 % превышал 12 см. Число деревьев с признаками узорчатости и без них в изученном сибсовом потомстве на участке было примерно равным. У 59 деревьев из 111 в большей или меньшей степени просматривались выпуклости на поверхности ствола, свидетельствующие об активном формировании узорчатой текстуры древесины. По характеру утолщений на поверхности стволов у деревьев шаровидноутолщенный тип более чем в 2 раза преобладал над мелкобугорчатым (рис. 3, з).

Проведенные исследования показали, что при плантационном выращивании карельской березы, а именно сибсового потомства, полученного в результате контролируемого опыления плюсовых деревьев, с предварительной подготовкой территории (удалением надземной и подземной частей древесной и травянистой растительности) и организацией регулярных уходов в 1-е десятилетие, можно достигнуть хороших результатов уже в течение 20–35 лет. Так, изучение формового разнообразия 35-летнего сибсового потомства карельской березы, находящегося на территории Заонежской ЛСП, выявило, что здесь оно почти на 80 % представлено деревьями с характерными внешними признаками наличия узорчатой текстуры древесины. Наряду с этим

в семенном потомстве отмечены существенные различия в проявлении указанных признаков не только между гибридными семьями, но и относительно родительских деревьев, а также в зависимости от возраста деревьев. Например, на участке № 1 спустя 20 лет после создания ЛСП в варианте скрещивания ♀130 × ♂136 преобладали деревья высокоствольной формы роста (65 %), которые по данному признаку соответствовали отцовскому растению, а по типу поверхности ствола, мелкобугорчатой (53 %), – материнскому. Подобное проявление внешних признаков наблюдали в варианте скрещивания ♀134 × ♂135, при скрещивании ♀131 × ♂136, наоборот, в потомстве хотя и ненамного, но преобладали деревья с короткоствольной (23 %) формой роста (подобно материнскому растению) и шаровидноутолщенным типом поверхности ствола (подобно отцовскому).

Существенные изменения в формовом составе насаждения, находящегося на участке № 1, как по высоте, так и по типу поверхности ствола произошли у карельской березы в возрасте от 20 до 35 лет, причем в разных семьях они проявились по-разному. Так, в варианте скрещивания ♀133 × ♂134 за указанный период в 1,5 раза увеличилось количество деревьев высокоствольной формы роста с шаровидноутолщенным типом поверхности ствола (рис. 4, а, в), а при обратном скрещивании ♀134 × ♂133, наоборот, более чем в 2 раза возросло количество деревьев короткоствольной формы роста с мелкобугорчатым типом поверхности ствола (рис. 4, б, г). По всей вероятности, это обусловлено генетическими особенностями родительских деревьев. В обеих семьях произошло уменьшение (почти в 1,5 раза) числа деревьев с кустообразной формой роста, что, скорее всего, связано с благоприятными условиями для их линейного (в высоту) роста, которые сложились на территории ЛСП в 1-е годы их развития.

Карельская береза на ранних этапах развития отличается очень низкой конкурентоспособностью по сравнению не только с другими древесными, но и с травянистыми растениями. На территории Заонежской ЛСП хорошо прослеживается изменение видового состава живого напочвенного покрова со времени создания участков № 1 и 2 (через 35 и 15 лет соответственно). Коэффициент флористической общности видов (по Жаккару) в изученных насаждениях карельской березы составил 0,47, что также свидетельствует о различиях между ними в сложившихся со временем экологических условиях. В частности, на участке № 1 по сравнению с участком № 2 доля мезо-гигрофитов в напочвенном покрове была заметно больше. Снижению влажности почвы, очевидно, способствовало характерное для березы [22] дренирующее действие корневых систем и кроны, перехватывающей атмосферные осадки. На изученных участках в травяно-кустарничковом ярусе преобладали светлюбивые виды – семигелиофиты, что обусловлено довольно редким размещением растений карельской березы на занимаемой площади при организации плантации. Изменение соотношения свето- и теневыносливых видов в целом не столь очевидно, но появление сциофитов на участке № 1 может свидетельствовать об изменении условий освещения в связи с развитием и частичным смыканием кроны произрастающих здесь деревьев карельской березы.

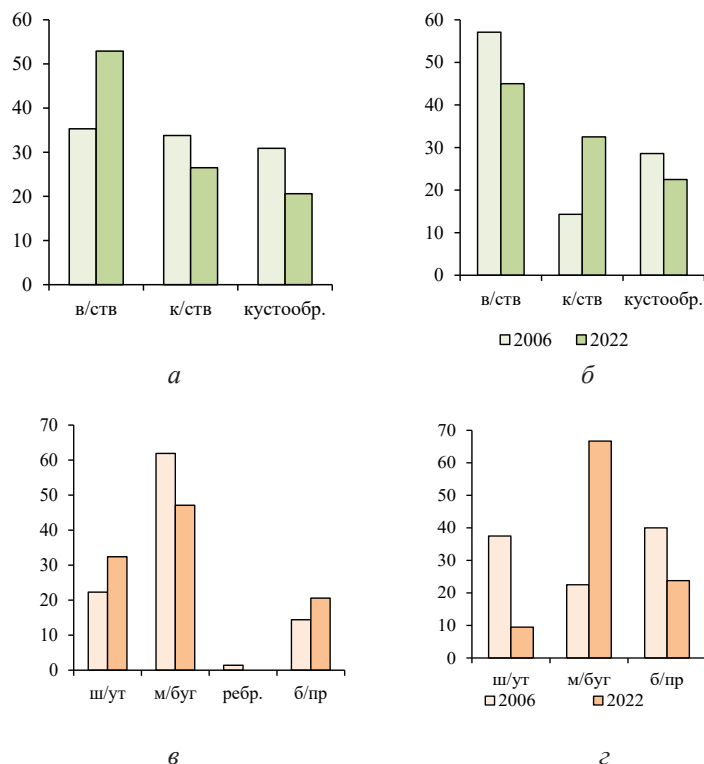


Рис. 4. Соотношение деревьев карельской березы (% от общего количества) по форме роста (а, б) и типу поверхности ствола (в, г) при прямом ♀133 × ♀134 (а, в) и обратном ♀134 × ♀133 скрещиваниях (б, г) в 2006 и 2022 гг.

Fig. 4. Proportions of curly birch trees (% of the total number) in forward crossing ♀133 × ♀134 (а, в) and backcrossing ♀134 × ♀133 by growth forms (а, б) and trunk shapes (в, г) in 2006 and 2022

Существенные различия между изученными участками обнаружены в видовом составе травяно-кустарничкового яруса по их отношению к почвенному плодородию. При этом увеличение доли эвтрофных видов на участке № 1, скорее всего, также связано с изменением почвенных условий, которое произошло за счет регулярного поступления в почву опада березы. Более того, в насаждении данного участка опад сформирован в процессе более длительного накопления не только листьев и отмерших частей березы (например, веток), но и самой травяно-кустарничковой растительности. Известно, что богатый питательными веществами опад березы благоприятно влияет на трофность почв в таежной зоне [21]. Различия по видовому составу живого напочвенного покрова, выявленные между участками, обусловлены также отчасти видовым составом растительности, произрастающей на прилегающей к ним естественной лесной территории [5]. В результате на изученных участках ЛСП сложились вполне благоприятные условия по уровню освещения, увлажнения и почвенного плодородия для карельской березы. Кроме того, благодаря низкой густоте посадки (~460 шт./га) и

своевременному проведению уходов в обоих насаждениях отсутствует конкуренция деревьев карельской березы не только с другими древесными растениями, но и между собой.

Сравнительный анализ разновозрастных насаждений показал, что к возрасту 35 лет в гибридных семьях ($\text{♀}133 \times \text{♂}134$ и обратно) почти у 80 % деревьев были признаки узорчатости древесины, тогда как в 15-летнем сибсовом потомстве (от скрещивания $\text{♀}51 \times \text{♂}58$ и обратно) такие деревья составили только 53 %. По форме роста в изученных гибридных семьях около половины деревьев имели высокоствольную форму роста (54 и 46 % на участках № 1 и 2 соответственно). Высота деревьев в среднем составила около 9 и 5 м в насаждениях на участках № 1 и 2 соответственно. На участке № 1 диаметр ствола у потомства в среднем равнялся 15 см, при этом у 3 деревьев он составил 33 см, а у 60 % превышал 16 см. Диаметр ствола у деревьев на участке № 2 в среднем достигал 7 см, и они характеризовались активным как линейным, так и радиальным ростом.

Для сравнения приведем данные по другим территориям. В культурах карельской березы в условиях Костромской области к возрасту 12 лет высота деревьев в среднем варьировала от 3,7 до 5,9 м, диаметр ствола – от 3,4 до 6 см [2]. В условиях Нижегородской области к возрасту 12 лет высота растений карельской березы составила 3,5 м, диаметр ствола – 3,4 см [7], а к 24 годам – в среднем 16 м и 12 см соответственно [1]. В условиях Беларуси к возрасту 29 лет высота карельской березы колебалась от 7,2 до 12,2 м, диаметр ствола – от 16 до 21 см [20].

Обращает на себя внимание факт, что в условиях Карелии средняя высота 35-летних деревьев карельской березы в целом превышает высоту 15-летних в 1,8 раза, а по диаметру ствола – в 2,2 раза. Это согласуется с мнением ряда авторов [29]: для полноценного роста и развития, например, доля кроны березы повислой должна составлять не менее 50 % от высоты дерева. С возрастом биомасса стволовой древесины увеличивается, а доля ветвей уменьшается [31].

При выявлении карельской березы в природе, в искусственных насаждениях и при ее интродукции особую роль играет визуальная диагностика признаков, косвенно указывающих на формирование узорчатой текстуры древесины. Первые признаки начала формирования узорчатости у растений могут наблюдаться уже в возрасте 2–3 лет в виде утолщений или «валиков» в основании боковых побегов, тогда как у других видов березы они отсутствуют. С возрастом эти изменения усиливаются, и поверхность ствола становится шаровидноутолщенной – единичные крупные утолщения сменяются относительно ровными участками по длине ствола (рис. 5, а), мелкобугорчатой – многочисленные небольшие выпуклости относительно плотно и равномерно располагаются вдоль поверхности ствола (рис. 5, б) или ребристой – неровности проявляются в виде тяжей, вытянутых вдоль ствола. У деревьев без признаков узорчатости поверхность ствола ровная, выпуклости отсутствуют (рис. 5, в). По типу поверхности ствола можно ориентировочно судить и о степени насыщенности узорчатого рисунка в древесине. Например, шаровидноутолщенный тип обычно предполагает наличие крупноузорчатого рисунка преимущественно

в древесине утолщений и относительно слабом его проявлении или полном отсутствии на ровных участках ствола; ребристый – о слабой волнистости текстуры в древесине, которая в дальнейшем может усилиться. Наиболее насыщенная узорчатая текстура древесины по всей толщине ствола формируется, как правило, у деревьев с мелкобугорчатым типом поверхности ствола.



Рис. 5. Типы поверхности ствола у карельской березы: шаровидноутолщенный (а), мелкобугорчатый (б), без признаков узорчатости (в) и «заплывший» (г). Июнь 2022 г.
Fig. 5. Trunk shapes in curly birch: with necks and muffs (a), with small protuberances (б), without “figured grain” (в), and “bloated” (г). June, 2022. Zaonezhye forest seed orchard, Republic of Karelia

Судя по внешним признакам, к настоящему времени в насаждении участка № 1 скорость линейного роста деревьев начала снижаться, тогда как радиальный рост продолжается. Данный процесс сопровождается изменением характера не только поверхности ствола, но и текстуры древесины: насыщенность ее рисунка, по-видимому, уменьшается. Об этом свидетельствует «сглаживание» ранее выпуклой поверхности ствола вследствие увеличения толщины коры (рис. 5, г) и «выравнивание» рельефной, ямчатой поверхности древесины, что можно наблюдать после снятия коры. Поверхность ствола становится «бугорчатой», а ранее наблюдаемая «мелкобугорчатость» – слабо выражена. Специалисты, занимающиеся карельской березой, называют такое явление «заплыванием» поверхности ствола и рекомендуют выращивать и заготавливать древесину в возрасте до 35 лет [6, 25, 30].

Заключение

Исследование sibсового потомства карельской березы, представленного на Заонежской лесосеменной плантации, показало, что даже при контролируемом опылении в гибридных семьях встречаются деревья со слабо выраженными

косвенными признаками «узорчатости» в древесине или с их отсутствием. Однако правильная организация мероприятий при создании целевых плантаций и проведение в них регулярных уходов позволяют к возрасту рубки получить насаждение, в котором более 80 % деревьев будут иметь признаки узорчатой древесины.

На территории Заонежской лесосеменной плантации к 2022 г. произрастает в целом не менее 3 тыс. деревьев, представляющих сибсовое потомство карельской березы в возрасте 35 и 15 лет. Деревья размещаются на 2 участках и по внешним признакам являются типичными как для условий Карелии, так и для ареала карельской березы в целом. Большинство из них находятся в хорошем состоянии. По форме роста на обоих участках доминируют высокоствольные деревья, что, вероятно, обусловлено их происхождением и благоприятными условиями для роста в 1-е десятилетия развития. В насаждении 35 лет преобладают деревья с мелкобугорчатым типом поверхности ствола, а в 15-летнем – с шаровидноутолщенным. Однако тип поверхности ствола, согласно полученным данным, с возрастом может изменяться. Исследования позволили также установить, что с возрастом существенно снижается скорость роста в высоту на фоне усиления роста по диаметру ствола. Стоит отметить, в 15-летнем насаждении у деревьев активно продолжается и линейный, и радиальный рост. При средней высоте 9 м у 60 % деревьев из 35-летнего насаждения диаметр ствола превышал 16 см. В случае целевого выращивания узорчатой древесины деревья с таким диаметром вполне пригодны для производства строганного шпона.

К настоящему времени исследованные нами искусственно созданные разновозрастные насаждения карельской березы плантационного типа являются наилучшими не только в Карелии, но и, по-видимому, в России. Это прежде всего объясняется тем, что здесь была проведена соответствующая подготовка территории, а в дальнейшем регулярно осуществлялись как агротехнические, направленные на увеличение приживаемости и сохранности саженцев, так и лесоводственные (рубки лиственной поросли и хвойного самосева) мероприятия, которые обеспечивали устранение конкуренции со стороны других лиственных и/или хвойных пород. Использование посадочного материала, выращенного из семян, полученных в результате контролируемого опыления плюсовых деревьев, способствовало значительному увеличению в потомстве числа растений, имеющих узорчатую текстуру древесины. Однако сами плюсовые деревья прошли селекционный отбор исключительно по морфологическим признакам без их генетической оценки. Относительно невысокая эффективность отбора по фенотипу, отсутствие методов ранней диагностики проявления признаков узорчатости предполагают необходимость проведения их генетической оценки деревьев, а для выращивания посадочного материала на данном этапе целесообразно использовать клональное микроразмножение лучших деревьев карельской березы *in vitro*, представленных, например, в коллекции клонов, созданной в лаборатории лесных биотехнологий Института леса Карельского научного центра РАН.

Оценивая общее состояние насаждений карельской березы, произрастающих на Заонежской лесосеменной плантации, как хорошее, следует иметь в виду, что, несмотря на их искусственное происхождение, они были созданы преимущественно с использованием местного генетического материала (карельского происхождения) и являются частью ценного генофонда, который требует сохранения и в будущем мог бы обеспечить расширенное воспроизводство карельской березы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Бабаев Р.Н. Селекционная оценка представителей рода береза (*Betula* L.) при интродукции в Среднее Поволжье на примере Нижегородской области: дис. ... канд. с.-х. наук. Н. Новгород, 2022. 345 с.
Babaev R.N. *Breeding Evaluation of Representatives of the Genus Birch (Betula L.) during Introduction into the Middle Volga Region on the Example of Nizhny Novgorod Region*: Cand. Agric. Sci. Diss. Arkhangelsk, 2022. 345 p. (In Russ.).
2. Багаев С.С. Лесокультурное освоение осушенных земель на территории Костромской низины // Повышение эффективности лесного комплекса: материалы Пятой Всерос. нац. науч.-практ. конф. с междунар. участием, Петрозаводск, 22 мая 2019 г. Петрозаводск: ПетрГУ, 2019. С. 14–15.
Bagaev S.S. Forestry Development of Drained Lands on the Territory of the Kostroma Lowland. *Increasing the Efficiency of the Forest Complex: Materials of the 5th All-Russian National Scientific and Practical. Conf. with International Participation*. 2019. Petrozavodsk, PetrSU, pp. 14–15. (In Russ.).
3. Ветчинникова Л.В., Титов А.Ф. Карельская береза: важнейшие результаты и перспективы исследований: моногр. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2021. 243 с.
Vetchinnikova L.V., Titov A.F. *Curly Birch: Major Results and Research Perspectives*. Petrozavodsk, KarRC RAS Publ., 2021. 243 p. (In Russ.).
4. Ветчинникова Л.В., Титов А.Ф. Клональное микроразмножение редких представителей рода *Betula* L. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2022. 51 с.
Vetchinnikova L.V., Titov A.F. *Clonal Micropropagation of Rare Representatives of the Genus Betula L.* Petrozavodsk, KarRC RAS Publ., 2022. 51 p. (In Russ.).
5. Ветчинникова Л.В., Титов А.Ф., Костина Е.Э., Серебрякова О.С., Жигунов А.В. Особенности напочвенного покрова, сформированного под влиянием насаждений карельской березы в условиях Заонежья (Республика Карелия) // Изв. СПбЛТА. 2022. Вып. 240. С. 6–24.
Vetchinnikova L.V., Titov A.F., Kostina E.E., Serebryakova O.S., Zhigunov A.V. Special Features of the Ground Vegetation Formed under the Effect of Curly Birch Stands in Zaonezhye, Republic of Karelia. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotehnicheskoj Akademii*, 2022, iss. 240, pp. 6–24. (In Russ.). <https://doi.org/10.21266/2079-4304.2022.240.6-24>
6. Ветчинникова Л.В., Титов А.Ф., Кузнецова Т.Ю. Карельская береза: биологические особенности, динамика ресурсов и воспроизводство: моногр. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2013. 312 с.
Vetchinnikova L.V., Titov A.F., Kuznetsova T.J. *Curly Birch: Biological Characteristics, Resource Dynamics, and Reproduction*. Petrozavodsk, KarRC RAS Publ., 2013. 312 p. (In Russ.).
7. Горелов Н.И., Козлов Н.А., Козьмин А.В. Испытательные культуры деревьев березы карельской // Лесн. хоз-во. 2011. № 1. С. 27–28.
Gorelov N.I., Kozlov N.A., Kozmin A.V. Test Cultures of Curly Birch Trees. *Lesnoye Khozyaystvo*, 2011, no. 1, pp. 27–28. (In Russ.).
8. Коллекция *in vitro* клонов редких растений семейства Betulaceae // Научно-технологическая инфраструктура Российской Федерации. Режим доступа: <https://ckp-rf.ru/catalog/usu/465691/> (дата обращения: 03.07.23).
Collection of in vitro Clones of Rare Species of the Betulaceae Family. (In Russ.).
9. Кравченко А.В. Конспект флоры Карелии. Петрозаводск: КарНЦ РАН 2007. 403 с.
Kravchenko A.V. *Compendium of Karelian Flora*. Petrozavodsk, KarRC RAS Publ., 2007. 403 p. (In Russ.).
10. Лаур Н.В. Единый генетико-селекционный комплекс. Петрозаводск: ПетрГУ, 2011. 130 с.
Laur N.V. *Unified Genetic and Breeding Complex*. Petrozavodsk, PetrGU Publ., 2011. 130 p. (In Russ.).

11. Мамаев С.А. Формы внутривидовой изменчивости древесных растений: (На примере семейства Pinaceae на Урале). М.: Наука, 1973. 284 с.

Мамаев S.A. *Forms of Intraspecific Variability of Woody Plants*. Moscow, Nauka Publ., 1973. 284 p. (In Russ.).

12. Мордась А.А., Раевский Б.В., Акимова Е.В. Рост и развитие полусибсовых потомств сосны обыкновенной на ранних этапах онтогенеза // Научные основы селекции древесных растений Севера. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 1998. С. 43–50.

Mordas A.A., Raevsky B.V., Akimova E.V. Growth and Development of Semi-sibs Scotch Pine Progeny at the Early Stages of Ontogenesis. *Scientific Bases of Breeding Woody Plants of the North*. Petrozavodsk, KarRC RAS Publ., 1998, pp. 43–50 (In Russ.).

13. Плантариум. Растения и лишайники России и сопредельных стран: открытый онлайн атлас и определитель растений. 2007–2023. Режим доступа: <https://www.plantarium.ru/> (дата обращения: 27.06.23).

Plantarium: Open On-line Atlas and Key to Plants and Lichens of Russia and Neighboring Countries, 2007–2023. (In Russ.).

14. Прокопюк В.М., Раевский Б.В. Современное состояние объектов генетико-селекционного комплекса хвойных видов Республики Карелия // Тр. КарНЦ РАН. 2022. № 3. С. 22–27.

Prokopyuk V.M., Raevsky B.V. The Current State of the Conifer Species Selective Breeding Network in the Republic of Karelia. *Transactions of the Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences*, 2022, no. 3, pp. 22–27. (In Russ.). <https://doi.org/10.17076/ecc01506>

15. Рабочий проект реконструкции лесосеменной плантации первого порядка в Заонежском лесхозе Республики Карелия. М., 2003. 127 с.

Detailed Project for Reconstruction of the First Order Forest Seed Plantation in Zaonezhsky Forestry Enterprise of the Republic of Karelia. Moscow, 2003. 127 p. (In Russ.).

16. Раевский Б.В. Современное состояние и перспективы развития единого генетико-селекционного комплекса Карелии // Изв. вузов. Лесн. журн. 2013. № 5. С. 88–95.

Raevsky B.V. The Current State and Development Perspectives of Woody Species Breeding Base in Karelia. *Lesnoy Zhurnal = Russian Forestry Journal*, 2013, no. 5, pp. 88–95. (In Russ.). <http://lesnoizhurnal.ru/upload/iblock/13b/lkh9.pdf>

17. Раевский Б.В., Игнатенко Р.В., Новичонко Е.В., Прокопюк В.М., Куклина К.К. Современное состояние селекции и семеноводства хвойных пород // Изв. вузов. Лесн. журн. 2022. № 6. С. 9–37.

Raevsky B.V., Ignatenko R.V., Novichonok E.V., Prokopyuk V.M., Kuklina K.K. The Current State of Conifer Species Breeding and Seed Production. *Lesnoy Zhurnal = Russian Forestry Journal*, 2022, no. 6, pp. 9–37. (In Russ.). <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2022-6-9-37>

18. Раевский Б.В., Куклина К.К., Щурова М.Л. Селекционно-генетическая оценка плюсовых деревьев сосны обыкновенной в Карелии // Тр. КарНЦ РАН. 2020. № 3. С. 45–59.

Raevsky B.V., Kuklina K.K., Schurova M.L. Genetic and Breeding Assessment of Scotch Pine Plus Trees in Karelia. *Transactions of the Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences*, 2020, no. 3, pp. 45–59. (In Russ.). <https://doi.org/10.17076/eb1163>

19. Раменская М.Л. Анализ флоры Мурманской области и Карелии. Л.: Наука, 1983. 215 с.

Ramenskaya M.L. *Analysis of Flora in the Murmansk Region and the Republic of Karelia*. Leningrad, Nauka Publ., 1983. 215 p. (In Russ.).

20. Сидор А.И., Ковалевич А.И., Луферова Н.С., Ревяко И.Д., Мальцева Л.В., Фомин Е.А. Карелка: Что имеем ... // Лесн. и охотничье хоз-во. 2016. № 11. С. 18–23.

Sidor A.I., Kovalevich A.I., Lufurova N.S., Revuako I.D., Maltseva L.V., Fomin E.A. Curly Birch: What do We Have.... *Forestry and Hunting*. 2016, no. 11, pp. 18–23. (In Russ.).

21. Солодовников А.Н. Показатели плодородия почв под лиственными и хвойными лесами в среднетаежной подзоне Северо-Запада России // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 6. Ст. 602. Режим доступа: <https://s.science-education.ru/pdf/2015/6/226.pdf> (дата обращения: 03.07.23).

Solodovnikov A.N. Soil Fertility Indicators under Deciduous and Coniferous Forests in the Middle Taiga Subzone of Northwest Russia. *Modern Problems of Science and Education*, 2015, no. 6, 602 p. (In Russ.).

22. Тарасова Ю.В., Матвеев И.В., Орешкин Д.Г. Влияние одиночных берез (*Betula pendula* Roth) на характеристики почв некоторых растительных сообществ таежной зоны // Вестн. СПбГУ. 2003. Сер. 3: Биология. Вып. 3(19). С. 37–46.

Tarasova J.V., Matveev I.V., Oreshkin D.G. The Influence of Single Birches (*Betula pendula* Roth) on Characteristics of Soil in Some Plant Communities in the Taiga Zone. *Bulletin of St. Petersburg State University*, 2003, ser. 3, iss. 3 (no. 19), pp. 37–46. (In Russ.).

23. Царев А.П., Лаур Н.В., Щурова М.Л. Состояние и проблемы развития постоянной лесосеменной базы в Республике Карелия // Тр. лесоинж. фак. ПетрГУ. Петрозаводск, 1996. Вып. 1. С. 100–103.

Tsarev A.P., Laur N.V., Shchurova M.L. The Current State and Development Problems of Permanent Forest Seed Base in the Republic of Karelia. *Proceedings of the Forest Engineering Faculty of PetrSU*. Petrosavodsk, 1996. Iss. 1, pp. 100–103. (In Russ.). <https://doi.org/10.15393/j2.art.1996.2377>

24. Цыганов Д.Н. Фитоиндикация экологических режимов в подзоне хвойношироколиственных лесов. М.: Наука, 1983. 197 с.

Cyganov D.N. *Phyto-indication of Ecological Regimes in the Subzone of Coniferous-deciduous Forests*. Moscow, Nauka Publ., 1983. 197 p. (In Russ.).

25. Щурова М.Л. Состояние насаждений карельской березы в Республике Карелия // Структурные и функциональные отклонения от нормального роста и развития растений под воздействием факторов среды: материалы междунар. конф., Петрозаводск, 20–24 июня 2001 г. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2011. С. 305–310.

Shurova M.L. The Current State of Curly Birch Plantations in the Republic of Karelia. *Structural and Functional Deviations from Normal Growth and Development of Plants under the Influence of Environmental Factors. Material of intern. conf.* Petrozavodsk, KarRC RAS Publ., 2011, pp. 305–310. (In Russ.).

26. Ellenberg H. *Zeigerwerte der Gefasspflanzen Mitteleuropas*. Gottingen, 1974. 97 p. (In Germ.).

27. Ellenberg H. *Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen. In Okologischer, Dynamischer und Historischer Sicht*. Stuttgart, 1996. 1095 s. (In Germ.).

28. Landolt E. *Okologische Zeigerwerte zur Sweizer Flora*. Veroff. Geobot. Inst. Zurich, 1977. H. 64. P. 1–208. (In Germ.).

29. Niemistö P. Effect of Growing Density on Biomass and Stem Volume Growth of Downy Birch Stands on Peatland in Western and Northern Finland. *Silva Fennica*, 2013, vol. 47, no. 4, pp. 1–24. <https://doi.org/10.14214/sf.1002>

30. Paganová V. Analysis of Inheritance and Growth of Curly Birch Progenies from Controlled Hybridisation and Possibilities of their Utilisation for Timber Production in Agricultural Landscape. *Czech Journal of Genetics and Plant Breeding*, 2004, vol. 40, no. 2, pp. 51–62. <https://doi.org/10.17221/3700-CJGPB>

31. Perala D.A., Alvin A.A. Regeneration Silviculture of Birch – A Review. *For. Ecol. Manage.*, 1990, vol. 32, pp. 39–77. [https://doi.org/10.1016/0378-1127\(90\)90105-K](https://doi.org/10.1016/0378-1127(90)90105-K)

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