

**Е.Д. Сафронычева, Д.С. Каржаев, В.А. Волков, М.В. Тис,  
В.В. Шаршавикова, Л.В. Ветчинникова, Е.К. Потокина, А.В. Жигунов**

**ДИАГНОСТИКА ОДНО- И ДВУЛЕТНИХ СЕЯНЦЕВ  
КАРЕЛЬСКОЙ БЕРЕЗЫ  
С ПОМОЩЬЮ МОЛЕКУЛЯРНОГО МАРКЕРА WPCW1,  
КОРРЕЛИРУЮЩЕГО С ПРИЗНАКОМ «УЗОРЧАТАЯ ДРЕВЕСИНА»**

*Введение.* Древесные растения, в том числе произрастающие на Северо-Западе России, обычно имеют прямоволокнистую или слабовыраженную текстуру древесины. Уникальным представителем широко распространенного здесь рода *Betula* L. считается карельская береза *Betula pendula* Roth var. *carelica* (Mercklin) Hämet-Ahti, главной особенностью которой является неповторимая узорчатая древесина, передающаяся по наследству [Ветчинникова, Титов, 2021]. Визуально наличие узорчатой текстуры в древесине можно установить по косвенным признакам, к которым, в частности, относятся утолщения или выпуклости на стволе, однако они чаще всего становятся различимыми только на 8–10-й год развития растений, хотя у одних внешне они становятся заметными уже в возрасте 3–5 лет [Ермаков, 1986; Ruupänen, 1988; Нупунен et al., 2010], а у других – только в 20–25 [Сакс, Бандер, 1970; Соколов, 1970].

В 1970-е гг. был разработан способ диагностики карельской березы, который позволяет напрямую определять наличие в стволе узорчатой древесины и степень насыщенности ее рисунка. Он предусматривает вырез участка коры на стволе (в местах утолщений) в виде небольшого прямоугольника (например, размером 2 × 4 см) [Ермаков, 1986] или Г-образного надреза [Евдокимов, 1989], когда кору снимали не полностью, а только отгибали. Если под снятой корой поверхность древесины на стволе ровная и гладкая, то она соответствует обычной прямоволокнистой текстуре; если на ней открываются рельефные эллипсовидные углубления в виде вытянутых вдоль ствола ямок, то это свидетельствует о наличии узорчатой текстуры. Чем больше таких углублений на участке древесины под снятой корой, тем, как правило, выше насыщенность ее рисунка. На внутренней стороне коры карельской березы в местах образования узорчатой древесины наблюдаются соответствующие форме и размерам ямок килевидные выступы, полностью отсутствующие

щие у других видов березы. Пользоваться этим способом диагностики узорчатой текстуры древесины и определять плотность ее рисунка целесообразно в период активного транспорта ассимилятов (в условиях Карелии и Ленинградской обл. это июнь-июль), когда кора отделяется от древесины без особых усилий. Вместе с тем такой способ часто становится причиной повреждения тканей самого дерева, поэтому мы не рекомендуем его использовать.

С началом активного выращивания карельской березы многие исследователи пытались найти морфологические и/или физиолого-биохимические особенности, которые уже на ранних этапах ее развития могли свидетельствовать о появлении в дальнейшем узорчатой текстуры в ее древесине. Например, при визуальной оценке сеянцев рекомендуется обращать внимание на наличие 2–3 почек вместо одной на вершине главного побега и/или «бородавок» в его верхней части; образование «припухлости» или «вздутия», особенно в нижней части стволика; неравномерное развитие междоузлий; ветвление; замедление роста и/или формирование боковых побегов вследствие отмирания верхушечной почки [Соколов, 1950; Любавская, 1978; Ветчинникова, Титов, 2019; Saarnio, 1980]. Некоторые авторы предлагали ориентироваться на площадь листовой пластинки, которая у карельской березы вдвое превышала таковую у березы повислой [Николаева, 2004], но согласно другим авторам [Saarnio, 1980; Побирушко, 1992], этот показатель существенно варьирует в зависимости от погодных условий конкретных лет. Некоторые авторы отмечали повышенную активность пероксидаз у сеянцев карельской березы по сравнению с березой повислой в возрасте одного года [Попов и др., 1996] и даже раньше – 1,5–2,5 месяцев [Галибина и др., 2016; Никерова и др., 2019]. При анализе ростовых веществ Н.Е. Косиченко и С.В. Щетинкин [Косиченко, Щетинкин, 1987; Щетинкин, 1988] обнаружили более высокое (почти в 2 раза) содержание гетероауксина в местах утолщений и наплывов, чем между ними. Ряд авторов отмечали в пасоке карельской березы в отдельные годы повышенное содержание цитокининов [Ahokas, 1985], глутаминовой кислоты [Эглите, Ошкая, 1973] и отсутствие сорбитола [Pätiälä, 1980], а в стволе – сахарозы [Новицкая, 2008]. Однако такого рода различия носят преимущественно количественный характер или обнаруживаются к моменту визуального проявления косвенных признаков наличия узорчатой древесины и потому не могут считаться диагностическими [Ветчинникова, Титов, 2021].

В последние годы внимание ученых сместилось в сторону привлечения молекулярно-генетических методов исследования [Gubaev et al., 2024]. К примеру, широкие возможности открывает использование молекулярного маркера, получившего название ВрСW1, коррелирующего с признаком «узорчатая древесина» [Жигунов и др., 2024].

К настоящему времени, когда карельская береза оказалась на грани исчезновения, а в природных условиях практически отсутствует ее жизнеспособный подрост, актуализировалась проблема диагностики среди семенного потомства носителей признака «узорчатая древесина» на ранних этапах их развития. В связи с этим целью наших исследований явилась диагностика одно- и двухлетних сеянцев карельской березы с помощью молекулярного маркера ВрСW1, направленного на выявление среди них потенциальных носителей узорчатой древесины.

*Объекты и методы исследований.* Объектом исследований служило семенное (полусибсовое) потомство карельской березы *Betula pendula* Roth var. *carelica* (Mercklin) Hämet-Ahti, полученное от свободного опыления деревьев, произрастающих на территории Гатчинского постоянного лесосеменного участка, расположенного вблизи п. Тervoлово Ленинградской области [Ветчинникова и др., 2024]. В период проведения опытов сеянцы выращивали в условиях неотапливаемой теплицы, расположенной на территории Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета (г. Санкт-Петербург), а в конце сентября переносили из теплицы на площадку закаливания.

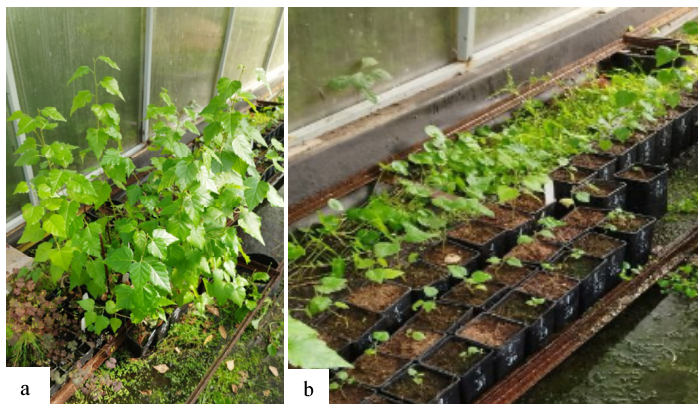
Определение ростовых показателей (высота и диаметр у основания стебля на уровне корневой шейки) проводили по завершении вегетационного периода. Высоту растений измеряли с помощью линейки, а диаметр – штангенциркулем. Вариабельность показателей оценивали с помощью коэффициента вариации (С, %) [Мамаев, 1973].

Материалом для исследований служили листья 99 сеянцев, среди которых 23 – двухлетние с одревесневшим побегом (образцы № 1–23) и 76 – однолетние недревесневшие (с зелеными побегом) (образцы № 24–99) (рис. 1). До начала экстракции ДНК листья хранили при температуре –80 °С.

ДНК выделяли модифицированным СТАВ-методом [Rahimah et al., 2006], разводили дистиллированной водой в соотношении 1 : 9 и использовали для проведения ПЦР-анализа с привлечением молекулярного маркера ВрСW1 [Жигунов и др. 2024], который по размеру ампликона позволяет выявлять потенциальных носителей признака «узорчатая древесина» среди семенного потомства на ранних этапах его развития [Ветчинникова и др., 2025].

Реакционная смесь для ПЦР состояла из дистиллированной воды – 7,4 мкл, 10х буфера (Евроген, Москва) – 1 мкл, смеси dNTP (10 мМ каждого) (Евроген) – 0,2 мкл, прямого праймера (10мкМ) и обратного (10 мкМ) – по 0,2 мкл, Таq ДНК-полимеразы (Евроген, Москва) – 0,2 мкл, ДНК –

0,8 мкл, общий объем – 10 мкл. Амплификацию проводили в амплификаторе Bio-Rad T-100 (США). Программа амплификации включала начальную стадию денатурации при 95°C в течение 3 мин, затем 30 циклов: денатурация при 95°C в течение 30 с, отжиг матрицы с праймерами при 58°C – 30 с, элонгация 72°C – 45 с и заключительный цикл элонгации при 72°C – 5 мин. Электрофорез проводили в 1,5% агарозном геле в трис-боратном буфере с ЭДТА (TBE) при 70 Вт в течение 1,5 часов. Электрофореграммы получали с помощью станции гель-документирования ChemiDoc XRS+ (Bio-Rad, США).



*Рис. 1. Внешний вид двухлетних (а) и однолетних (б) сеянцев карельской березы*

*Fig. 1. The appearance of two-year-old (a) and one-year-old (b) Karelian birch plants*

Для статистической оценки ростовых показателей (высота и диаметр у корневой шейки) сеянцев с наличием или отсутствием узорчатой древесины использовался однофакторный дисперсионный анализ (ANOVA). Дополнительно для определения степени влияния высоты и диаметра на проявление изучаемого признака применялась логистическая регрессия (или метод построения линейного классификатора).

*Результаты исследования.* В результате ПЦР-анализа ДНК, выделенного из листьев одно- и двухлетнего полусибсового потомства (от свободного опыления) карельской березы, получены продукты амплификации длиной как 530 п.н., так и 476 п.н. в гомо- или гетерозиготном состоянии. Разница в

длине фрагментов (обусловленная делецией, равной 54 п.н.) обнаружена нами ранее при изучении sibсового потомства (от контролируемого опыления) карельской березы в возрасте 15 лет и старше, которая проявляется у носителей признака «узурчатая древесина» с точностью 92% и выше [Gubaev et al., 2024]. Отсутствие делеции и гомозиготность по аллелю, соответствующему 530 п.н., наоборот, характеризуют растения как «безузурчатые».

Исследования показали, что у одно- и двулетнего полусибсового потомства карельской березы в совокупности только у 23 из 95 изученных сеянцев выявлены продукты амплификации, содержащие делецию (рис. 2). Добавим, что аллель, соответствующий 476 п.н., представлен преимущественно в гетерозиготном состоянии (476/530 п.н.) и лишь у двух (№ 12 и 61) из 23 растений находится в гомозиготном состоянии (476/476 п.н.).

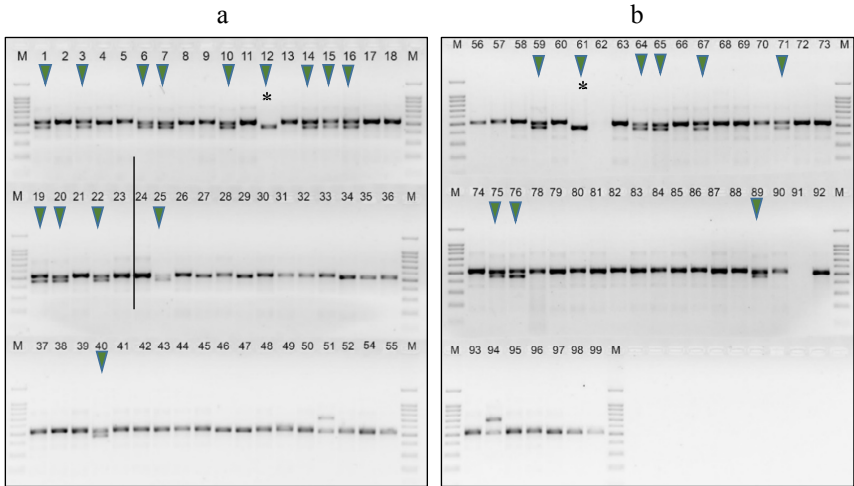


Рис 2. ПЦР-диагностика сеянцев карельской березы с использованием маркера BpCW1. Потенциальные носители признака «узурчатая древесина» указаны стрелкой, где \* – аллель, соответствующий 476 п.н., в гомозиготном состоянии. Вертикальная черта разделяет двулетние (образцы № 1–23) и однолетние (образцы № 24–99) растения. Последовательные ряды цифр (а, б) соответствуют номерам деревьев

Fig. 2. PCR diagnostics of Karelian birch seedlings using the BpCW1 marker. Potential carriers of the “patterned wood” trait are indicated by an arrow, where \* is the allele corresponding to 476 bp in the homozygous state. The vertical line separates biennial (samples No. 1–23) and annual (samples No. 24–99) plants, where consecutive rows of numbers (a, b) correspond to tree numbers

Невысокий процент (24,2%) потенциальных носителей признака «узорчатая древесина» среди изученных растений можно объяснить, с одной стороны, их семенным происхождением, когда при свободном (перекрестном) опылении могли участвовать деревья не только карельской березы, но и березы повислой, растущие на сопредельной территории, а с другой – их ранним возрастом и спецификой гистогенеза у семян карельской березы, имеющего место в первые два года их развития. В частности, согласно мнению С.В. Щетинкина и Н.А. Щетинкиной [2018], в первый год широкие агрегатные лучи в тканях стебля формируются из межпучковой паренхимы за счет деятельности лучевых инициалей, а на второй год – локальных участков камбия, включающих наряду с лучевыми и веретеновидные инициали. Все это, по мнению авторов, в совокупности обуславливает появление узорчатой текстуры в древесине карельской березы лишь на второй год развития побегов.

Сравнительный анализ разновозрастных семян свидетельствует, что количество растений, имеющих делецию, среди двулетних семян выше по сравнению с однолетними в 3,6 раза (рис. 3). В определенной степени это также говорит о том, что наследование признака «узорчатая древесина» в семенном потомстве карельской березы зависит от того, какие виды растений участвовали в перекрестном опылении, а его проявление у потенциальных носителей – от фазы развития первичной образовательной ткани – прокамбия, который формирует ткани сосудистых пучков и дает начало вторичному камбию, позднее образующему вторичные проводящие ткани (ксилему и флоэму).

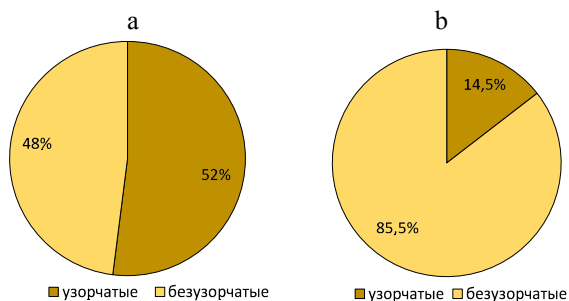


Рис. 3. Соотношение узорчатых и безузорчатых растений в дву- (а) и однолетнем (б) семенном потомстве карельской березы, полученном от свободного опыления

Fig. 3. The ratio of patterned and unpatterned plants in two-year (a) and one-year (b) seed progeny of Karelian birch obtained from open pollination

Это не противоречит мнению авторов, которые на основании изучения гистогенеза карельской березы пришли к заключению, что образование узорчатой древесины начинается в первый год жизни растений, а усиливается на второй, когда активизируется работа вторичного камбия [Щетинкин, Щетинкина, 2018]. Вместе с тем, как было сказано выше, визуально начало формирования узорчатого рисунка в древесине карельской березы проявляется в среднем на 8-й год ее развития и позднее, что хорошо заметно на поперечных спилах (рис. 4).

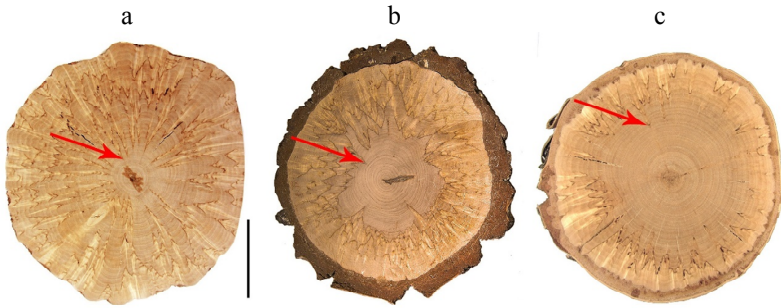


Рис. 4. Визуальное проявление узорчатого рисунка в древесине (указано стрелкой) на 8-й (а), 15-й (б) и 25-й (с) годы развития карельской березы.

Поперечные спилы. Масштабная линейка = 5 см [Ветчинникова и др., 2013]

Fig. 4. Visual manifestation of the patterned design in wood (indicated by the arrow) in the 8th (a), 15th (b), and 25th (c) years of development of Karelian birch.

Cross-sections. Scale bar = 5 cm [Ветчинникова и др., 2013]

Анализ ростовых показателей сеянцев карельской березы, полученных в результате свободного опыления, выявил значительные различия в зависимости от их возраста (табл. 1). Так, у двулетних растений по сравнению с однолетними высота больше в среднем почти в 6 раз, а диаметр – более чем в 3 раза. Существенные различия, отмеченные по ростовым показателям, нашли отражение в коэффициенте вариации как по высоте (78,5 и 46,6%), так и по диаметру (61,6 и 36,7%) у одно- и двулетних сеянцев соответственно. Возможно, это, хотя бы отчасти, является отражением полиморфизма жизненных форм, характерного для карельской березы [Ветчинникова и др., 2025]. При этом коэффициент вариации у однолетних растений по сравнению с двулетними был выше почти в 2 раза не только по высоте, но и по диаметру. Можно допустить, что это обусловлено фазой созревания семян, поскольку их сбор проводился дважды в разные даты в июле и августе.

Таблица 1

**Высота и диаметр одно- и двухлетних сеянцев карельской березы, полученных в результате от свободного опыления**

**Height and diameter of one- and two-year-old Karelian birch seedlings obtained as a result of open pollination**

Показатель	Возраст сеянцев	
	однолетние	двухлетние
	Высота	
Число деревьев, шт.	72	23
Среднее значение, см	9,2±7,2	54,1±25,2
Размах изменчивости, см	2,0–49,0	14,0–90,0
Коэффициент вариации (C), %	78,5	46,6
	Диаметр (у корневой шейки)	
Число деревьев, шт.	72	23
Среднее значение, мм	1,5±0,59	4,7±1,7
Размах изменчивости, мм	0,2–4,9	1,4–7,6
Коэффициент вариации (C), %	61,6	36,7

Обнаруженный размах изменчивости сеянцев по высоте и диаметру свидетельствует о неравномерности их роста, однако их значения не отразились на результатах диагностики семенного потомства. Так, результаты однофакторного дисперсионного анализа (ANOVA) свидетельствуют, что между группами (носителей признака «узорчатая древесина» или с отсутствием таковой) расчетные значения достоверности сходства дисперсии (*p*-value) у однолетнего и двухлетнего семенного потомства по высоте составили 0,24 и 0,79, а по диаметру – 0,10 и 0,36 соответственно. Это свидетельствует об отсутствии влияния высоты и диаметра на проявление изучаемого признака в первые два года развития растений. Логистическая регрессия также не обнаружила взаимосвязей между ростовыми показателями и формированием «узорчатой древесины» у карельской березы (показатель *p*-value равен 0,31).

*Заключение.* Карельская береза *Betula pendula* Roth var. *carelica* (Mercklin) Hämet-Ahti является аборигенным представителем европейской лесной дендрофлоры, а ее дизъюнктивный ареал располагается исключительно на территории стран Балтийского региона [Ветчинникова, Титов,

2021]. Появление карельской березы в данном макрорегионе, по всей вероятности, произошло благодаря исторически сложившемуся сочетанию климатических, геоморфологических, фитоценологических и эдафических условий и является отражением особого направления в эволюции рода *Betula* L., в результате которого сформировался и закрепился качественно новый морфотип [Ветчинникова, Титов, 2023]. При этом благодаря высокому полиморфизму и индивидуальной изменчивости не только по текстуре древесины (от едва заметной волнистости волокон до ярко выраженной), но и, например, по формам роста (от кустообразной до высокоствольной), у карельской березы заметно расширилась норма реакции, что позволяет ей нормально расти и развиваться в разных экологических условиях, а формирование «узорчатости» в древесине способствовало усилению механической функции ствола деревьев и появлению возможности накопления большего количества запасных веществ и их более рациональному использованию при ухудшении внешних условий [Ветчинникова, Титов, 2021]. Дополнительно отметим, что, имея гибридное происхождение, карельская береза легко скрещивается с березой повислой, а в годы отсутствия фенологической изоляции также и с березой пушистой, несмотря на то, что последняя имеет тетраплоидный, а не диплоидный набор хромосом. В результате перекрестного опыления между видами в семенном потомстве карельской березы наблюдается явно выраженное расщепление признаков, поэтому отбор потенциальных носителей признака «узорчатая древесина» среди однолетних сеянцев карельской березы затруднителен даже для специалистов.

Использование молекулярного маркера ВрСW1 позволило выявить среди одно- и двулетних сеянцев карельской березы, полученных в результате свободного опыления, потенциально «узорчатые» и «безузорчатые» растения. Так, у 23 из 95 сеянцев (или 24%) идентифицированы продукты амплификации длиной 530 п.н. и/или 476 п.н., которые характерны для «узорчатых» растений, причем таких растений среди однолетних сеянцев оказалось 14,5%, а среди двулетних – 52%. Можно предположить, что это обусловлено не только их семенным происхождением, но и особенностями гистогенеза карельской березы, при котором образующийся в первый год прокамбий формирует первичные проводящие ткани, а затем, соединяясь в сплошное кольцо, дает начало вторичному камбию, который позднее делится и согласно сезонным изменениям активности формирует годичные кольца. Очевидным является факт, что по ростовым показателям двулетние сеянцы существенно превышали однолетние. В среднем они оказались

больше по высоте в 6 раз, а по диаметру у корневой шейки – в 3 раза. Однако эти показатели в первые два года жизни растений не оказали какого-либо влияния на проявление у них признака «узорчатая древесина», несмотря на полиморфизм жизненных форм, характерный для карельской березы. На основании полученных данных авторы пришли к заключению, что при семенном размножении карельской березы с помощью молекулярного маркера VrCW1 уже на ранних этапах развития среди сеянцев (особенно двулетних) можно выявить потенциальных носителей признака «узорчатая древесина», что невозможно сделать обычными методами, основанными на анализе только внешних (морфологических) или физиолого-биохимических признаков.

*Сведения о финансировании исследования.* Исследование выполнено за счет средств Российского научного фонда (проект № 22-16-00096-П «Выявление генетических факторов, контролирующих признак «узорчатость древесины» у карельской березы с использованием высокопроизводительного генотипирования»).

*Конфликт интересов.* Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

### **Библиографический список**

*Ветчинникова Л.В., Титов А.Ф.* Карельская береза – уникальный биологический объект // *Успехи современной биологии.* 2019. Т. 139, № 5. С. 412-433. DOI: 10.1134/S0042132419050107.

*Ветчинникова Л.В., Титов А.Ф.* Карельская береза: важнейшие результаты и перспективы исследований. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2021. 243 с.

*Ветчинникова Л.В., Титов А.Ф.* Карельская берёза: загадки остаются // *Успехи современной биологии.* 2023. Т. 143, № 1. С. 91–104. DOI: 10.31857/S0042132423010118.

*Ветчинникова Л.В., Титов А.Ф., Кузнецова Т.Ю.* Карельская береза: биологические особенности, динамика ресурсов и воспроизводство. Петрозаводск: КарНЦ, 2013. 312 с.

*Ветчинникова Л.В., Жигунов А.В., Гудкова К.А., Савельев О.А.* Современное состояние насаждений карельской березы в Ленинградской области // *Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии.* 2024. Вып. 250. С. 46–66. DOI: 10.21266/2079-4304.2024.250.46-66.

*Ветчинникова Л.В., Титов А.Ф., Сафроньчева Е.Д., Жигунов А.В.* Особенности роста сеянцев карельской березы, полученных в результате свободного опыления, и выявление среди них носителей признака «узорчатая древесина» с помощью молекулярного маркера VrCW1 // *Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии.* 2025. Вып. 256. С. 397-413. DOI: 10.21266/2079-4304.2025.256.397-413.

Галибина Н.А., Мошкина Е.В., Никерова К.М., Мощенская Ю.Л., Знаменский С.Р. Активность пероксидазы как индикатор степени узорчатости древесины карельской березы // Лесоведение. 2016. № 4. С. 294-304.

Евдокимов А.П. Биология и культура карельской березы. Л.: ЛГУ, 1989. 228 с.

Ермаков В.И. Механизмы адаптации березы к условиям Севера. Л.: Наука, 1986. 144 с.

Жигунов А.В., Ветчинникова Л.В., Губаев Р.Ф., Каржаев Д.С., Волков В.А., Поточкина Е.К. ВpCW1 – молекулярный маркер для выявления генотипов карельской березы на ранних стадиях развития. Патент РФ № 2823809. 2024. 7 с.

Косиченко Н.Е., Щетинкин С.В. Анатомическое строение искусственно индуцированной узорчатой древесины березы // Современные проблемы экологической анатомии растений. Ташкент, 1987. С. 122-124.

Любавская А.Я. Карельская береза. М.: Лесная промышленность, 1978. 158 с.

Мамаев С.А. Формы внутривидовой изменчивости древесных растений. М.: Наука, 1973. 284 с.

Никерова К.М., Галибина Н.А., Мощенская Ю.Л., Новицкая Л.Л., Подгорная М.Н., Софронова И.Н. Участие каталазы и пероксидазы в процессах ксилогенеза у карельской березы // Лесоведение. 2019. № 2. С. 115-127. DOI: 10.1134/S0024114819020086.

Николаева Н.Н. Формирование листового аппарата у форм березы повислой (*Betula pendula* Roth) с разной текстурой древесины: автореф. дис. ... канд. биол. наук. СПб., 2004. 25 с.

Новицкая Л.Л. Карельская береза: механизмы роста и развития структурных аномалий. Петрозаводск: Verso, 2008. 144 с.

Побирушко В.Ф. Распространение и изменчивость березы карельской в Беларуси // Ботаника. 1992. Вып. 31. С. 31–39.

Попов В.К., Авраменко Р.С., Филоненко Е.В. Способ диагностики узорчатой древесины карельской березы. Патент РФ № 2063679. 1996. 5 с.

Сакс К.А., Бандер В.Л. Опыт по выращиванию карельской березы в Латвийской ССР // Лесная генетика, селекция и семеноводство. Петрозаводск, 1970. С. 294–300.

Соколов Н.О. Карельская береза. Петрозаводск: Гос. изд. Карело-Финской ССР, 1950. 116 с.

Соколов Н.О. Отбор и выращивание березы карельской в Ленинградской области с использованием самосева // Лесная генетика, селекция и семеноводство. Петрозаводск, 1970. С. 277-281.

Щетинкин С.В. Гистогенез узорчатой древесины березы (*Betula pendula* Roth var. *carelica* Merkl. и *Betula pendula* Roth.): автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Воронеж, 1988. 24 с.

Щетинкин С.В., Щетинкина Н.А. К формированию узорчатой древесины карельской березы // Актуальные проблемы лесного комплекса: сб. науч. тр. 2018. Вып. 51. С. 180-186.

Эглите Г.К., Ошкая В.П. Свободные аминокислоты карельской березы // Изв. АН Латв. ССР. 1973. № 1. С. 15–20.

Ahokas H. Cytokinins in the spring sap of curly birch (*Betula pendula* f. *carelica*) and the non-curly form // J. Plant. Physiol. 1985. Vol. 118. P. 33–39.

Gubaev R., Karzhaev D., Grigoreva E., Lytkin K., Safronycheva E., Volkov V., Nesterchuk V., Vetchinnikova L., Zhigunov A., Potokina E. Dissection of figured wood trait in curly birch (*Betula pendula* Roth var. *carelica*) using high-throughput genotyping // Scientific Reports. 2024. Vol. 14. P. 50-58. DOI: 10.1038/s41598-024-55404-y.

Hunynen J., Niemistö P., Viherä-Aarnio A., Brunner A., Hein S., Velling P. Silviculture of birch (*Betula pendula* Roth and *Betula pubescens* Ehrh.) in Northern Europe // Forestry: International Journal of Forest Research. 2010. Vol. 83. No. 1. P. 103–119. DOI: 10.1093/FORESTRY/PPP035.

Pätiälä R. V. Pirun puristama visakoivu // Suomen Luonto. 1980. Vol. 39, no. 1. P. 3–5.

Rahimah A.B., Cheah S.C., Rajinder S. Freeze-drying of oil palm (*Elaeis guineensis*) leaf and its effect on the quality of extractable DNA // Journal of Oil Palm Research. 2006. Vol. 18. P. 296-304.

Ryynänen L. Cloning of *Betula pendula* and *Betula pubescens* by means of tissue culture // Bulletin of the Finnish Forest Research Institute. 1988. No. 304. P. 24–30.

Saarnio R. Visakoivu – vuoden puu // Dendrologian seuran tiedotuksia. 1980. Vol. 11, no. 1. P. 4–14.

## References

Ahokas H. Cytokinins in the spring sap of curly birch (*Betula pendula* f. *carelica*) and the non-curly form. *J. Plant. Physiol.*, 1985, vol. 118, pp. 33–39.

Eglite G.K., Oshkaya V.P. Free amino acids of Karelian birch. *Izv. AN Latv. SSR*, 1973, no. 1, pp. 15–20. (In Russ.)

Ermakov V.I. Mechanisms of adaptation of birch to Northern conditions. Leningrad: Nauka, 1986. 144 p. (In Russ.)

Evdokimov A.P. Biology and cultivation of curly birch. Leningrad: LSU, 1989. 228 p. (In Russ.)

Galibina N.A., Moshkina E.V., Nikerova K.M., Moschenskaya Y.L., Znamensky S.R. Peroxidase activity as indicator of the degree of figured wood in curly birch. *Lesovedenie*, 2016, no. 4, pp. 294–304. (In Russ.)

Gubaev R., Karzhaev D., Grigoreva E., Lytkin K., Safronycheva E., Volkov V., Nesterchuk V., Vetchinnikova L., Zhigunov A., Potokina E. Dissection of figured wood trait in curly birch (*Betula pendula* Roth var. *carelica* (Mercklin) Hämet-Ahti) using high-throughput genotyping. *Scientific Reports*, 2024, vol. 14, pp. 50–58. DOI: 10.1038/s41598-024-55404-y.

Hunynen J., Niemistö P., Viherä-Aarnio A., Brunner A., Hein S., Velling P. Silviculture of birch (*Betula pendula* Roth and *Betula pubescens* Ehrh.) in Northern

Europe. *Forestry: International Journal of Forest Research*, 2010, vol. 83, no. 1, pp. 103-119. DOI: 10.1093/FORESTRY/PPP035.

Kosichenko N.E., Shchetinkin S.V. Anatomical structure of artificially induced figured birch wood. *Contemporary Problems of Ecological Plant Anatomy*. Tashkent, 1987, pp. 122-124. (In Russ.)

Lyubavskaya A.Ya. Curly birch. Moscow: Lesnaya Promyshlennost, 1978, 158 p. (In Russ.)

Mamaev S.A. Forms of intraspecific variability of woody plants. Moscow: Nauka, 1973. 284 p. (In Russ.)

Nikerova K.M., Galibina N.A., Moschenskaya Y.L., Novitskaya L.L., Podgornaya M.N., Sofronova I.N. Participation of catalase and peroxidase in xylogenesis processes in curly birch. *Lesovedenie*, 2019, no. 2, pp. 115–127. DOI: 10.1134/S0024114819020086. (In Russ.)

Nikolaeva N.N. Formation of leaf apparatus in forms of *Betula pendula* Roth with different wood texture: author's abstract. Diss. ... Cand. Biol. Sci. St. Petersburg, 2004. 25 p. (In Russ.)

Novitskaya L.L. Karelian birch: mechanisms of growth and development of structural anomalies. Petrozavodsk: Verso, 2008. 144 p. (In Russ.)

Pätiälä R.V. Pirun puristama visakoivu. *Suomen Luonto*, 1980, vol. 39, no. 1, pp. 3–5.

Pobirushko V.F. Distribution and variability of curly birch in Belarus. *Botanica*, 1992, vol. 31, pp. 31-39. (In Russ.)

Popov V.K., Avramenko R.S., Filonenko E.V. Method for diagnosis of figured wood in curly birch. Patent of Russian Federation No. 2063679. 1996. 5 p. (In Russ.)

Rahimah A.B., Cheah S.C., Rajinder S. Freeze-drying of oil palm (*Elaeis guineensis*) leaf and its effect on the quality of extractable DNA. *J. Oil Palm Res.*, 2006, vol. 18, pp. 296-304.

Ryyänen L. Cloning of *Betula pendula* and *Betula pubescens* by means of tissue culture. *Bulletin of Finnish Forest Research Institute*, 1988, no. 304, pp. 24-30.

Saarnio R. Visakoivu – vuoden puu. *Dendrologian seuran tiedotuksia*, 1980, vol. 11, no. 1, pp. 4-14.

Saks K.A., Bander V.L. Experience of cultivating curly birch in Latvian SSR. *Forest Genetics, Breeding and Seed Production*. Petrozavodsk, 1970, pp. 294-300. (In Russ.)

Shchetinkin S.V. Histogenesis of figured birch wood (*Betula pendula* Roth var. *carelica* Merkl. and *Betula pendula* Roth): author's abstract. Diss. ... Cand. Agr. Sci. Voronezh, 1988. 24 p. (In Russ.)

Schetinkin S.V., Schetinkina N.A. On the formation of figured wood in curly birch. *Current Problems of Forest Complex: collection of sci. works*, 2018, vol. 51, pp. 180-186. (In Russ.)

Sokolov N.O. Curly birch. Petrozavodsk: State Publishing House of Karelian-Finnish SSR, 1950. 116 p. (In Russ.)

Sokolov N.O. Selection and cultivation of curly birch in Leningrad region using self-seeding. *Forest Genetics, Breeding and Seed Production*. Petrozavodsk, 1970, pp. 277–281. (In Russ.)

Vetchinnikova L.V., Titov A.F. The Karelian Birch: a Unique Biological Object. *Uspekhi sovremennoi biologii*, 2019, vol. 139, no. 5, pp. 419–433. DOI: 10.1134/S0042132419050107. (In Russ.)

Vetchinnikova L.V., Titov A.F. Curly birch: main results and research perspectives. Petrozavodsk: Karelian Research Centre of RAS, 2021. 243 p. (In Russ.)

Vetchinnikova L.V., Titov A.F. Curly Birch: Some Secrets Remain. *Uspekhi sovremennoi biologii*, 2023, vol. 143, no. 1, pp. 91–104. DOI: 10.31857/S0042132423010118. (In Russ.)

Vetchinnikova L.V., Titov A.F., Kuznetsova T.Yu. Curly birch: biological characteristics, resource dynamics, and reproduction. Petrozavodsk: KarNC, 2013. 312 p. (In Russ.)

Vetchinnikova L.V., Zhigunov A.V., Gudkova K.A., Savelyev O.A. Contemporary state of curly birch plantations in Leningrad region. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotehniceskoi Akademii*, 2024, iss. 250, pp. 46–66. DOI: 10.21266/2079-4304.2024.250.46-66. (In Russ.)

Vetchinnikova L.V., Titov A.F., Safronycheva E.D., Zhigunov A.V. Features of growth of curly birch seedlings obtained by open pollination and identification of carriers of figured wood trait using molecular marker BpCW1. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotehniceskoi Akademii*, 2025, iss. 256, pp. 397-413. DOI: 10.21266/2079-4304.2025.256.397-413. (In Russ.)

Zhigunov A.V., Vetchinnikova L.V., Gubaev R.F., Karzhaev D.S., Volkov V.A., Potokina E.K. BpCW1 - molecular marker for early identification of curly birch genotypes. Patent of Russian Federation No. 2823809. 2024. 7 p. (In Russ.)

*Материал поступил в редакцию 12.12.2025*

---

**Сафроньчева Е.Д., Каржаев Д.С., Волков В.А., Тис М.В., Шаршавикова В.В., Ветчинникова Л.В., Потоккина Е.К., Жигунов А.В.** Диагностика одно- и двулетних семян карельской березы с помощью молекулярного маркера BpCW1, коррелирующего с признаком «узорчатая древесина» // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2026. Вып. 257. С. 107–125. DOI: 10.21266/2079-4304.2026.257.107-125

Представлены результаты диагностики карельской березы *Betula pendula* Roth var. *carelica* (Mercklin) Hämet-Ahti среди одно- и двулетних семян, полученных в результате свободного опыления деревьев, произрастающих в Ленинградской области на территории Гатчинского постоянного лесосеменного участка. Использование молекулярного маркера BpCW1 позволило уже в первый год жизни выявить среди семян потенциальных носителей узорчатой

древесины, хотя ее косвенные признаки внешне проявляются у деревьев в среднем в возрасте 8 лет и позднее. Показано, что у 23 из 95 изученных сеянцев (24%) имеются продукты амплификации (476 п.н. или 476/530 п.н.), свойственные карельской березе. Установлено, что аллель, содержащий делецию, представлен главным образом (91,3%) в гетерозиготном (476/530 п.н.) состоянии и лишь небольшой процент (8,7%) – в гомозиготном (476/476 п.н.), независимо от возраста сеянцев. Количество потенциальных носителей узорчатой древесины среди двулетних сеянцев выше по сравнению с однолетними в 3,6 раза. Высказано предположение, что, небольшая доля растений с узорчатой древесиной в семенном потомстве карельской березы обусловлена, с одной стороны, их происхождением (от свободного опыления), а с другой – спецификой гистогенеза сеянцев в первые два года их развития. Из анализа ростовых показателей следует, что двулетние растения по средним значениям высоты и диаметра существенно превосходят однолетние (в шесть и три раза соответственно). На основании проведенной работы сделан вывод о возможности использования семян от свободного опыления для выращивания посадочного материала карельской березы при условии выявления среди них носителей признака «узорчатая древесина» с помощью молекулярного маркера BpCW1, что в раннем возрасте практически невозможно сделать другими методами, основанными на анализе только внешних (морфологических) или физиолого-биохимических признаков. В дальнейшем этот способ может использоваться как для решения научных задач, так и практического использования.

Ключевые слова: карельская береза, *Betula pendula* Roth var. *carelica* (Mercklin) Hämet-Ahti, семенное потомство, рост, узорчатая древесина, диагностика.

**Safronycheva E.D., Karzhaev D.S., Volkov V.A., Tis M.V., Sharshavikova V.V., Vetchinnikova L.V., Potokina E.K., Zhigunov A.V.** Diagnostics of one- and two-year-old seedlings of curly birch using the molecular marker BPCW1, which correlates with the “patterned wood” trait. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotekhnicheskoy Akademii*, 2026, iss. 257, pp. 107–125 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2026.257.107-125

The results of diagnostics of curly birch (*Betula pendula* Roth var. *carelica* (Mercklin) Hämet-Ahti) are presented among one- and two-year-old seedlings obtained as a result of open pollination of trees growing in the Leningrad Region on the territory of the Gatchina PLSU. Using the BpCW1 molecular marker, it was possible to identify potential carriers of figured wood among seedlings already in the first year of life, although its indirect characteristics become apparent in trees on average at the age of 8 years or later. It was shown that 23 of the 95 seedlings studied (24%) contained amplification products (476 bp or 476/530 bp) characteristic of

curly birch. It was established that the allele containing the deletion is represented mainly (91.3%) in the heterozygous (476/530 bp) state and only a small percentage (8.7%) in the homozygous (476/476 bp) state, regardless of the age of the seedlings. However, the number of potential carriers of patterned wood is 3.6 times higher among two-year-old seedlings than among one-year-olds. It is hypothesized that the small proportion of plants with patterned wood in the seed progeny of curly birch is due, on the one hand, to their origin (from open pollination) and, on the other, to the specific histogenesis of seedlings during the first two years of their development. Analysis of growth indicators shows that two-year-old plants significantly exceed one-year-olds in average height and diameter (sixfold and threefold, respectively). Based on the conducted work, it is concluded that the use of open-pollinated seeds for growing curly birch planting material is feasible, provided that carriers of the “patterned wood” trait are identified among them using the BpCW1 molecular marker. This is virtually impossible to achieve at an early age using other methods based solely on the analysis of external (morphological) or physiological-biochemical characteristics. In the future, this method can be used both for solving scientific problems and for practical use.

**Key words:** curly birch, *Betula pendula* Roth var. *carelica* (Mercklin) Hämet-Ahti, seed progeny, growth, patterned wood, diagnostics.

---

**САФРОНЫЧЕВА Елизавета Дмитриевна** – младший научный сотрудник Центра биоинформатики и геномных исследований Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова;

194024, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия;

младший научный сотрудник научно-исследовательского отдела генетики и биотехнологии Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства. SPIN-код: 4971-2924. ResearcherID: JNT-0110-2023. ORCID: 0009-0001-7015-5230.

194021, Институтский пр., д. 21, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: esafronycheva@mail.ru

**SAFRONYCHEVA Elizaveta D.** – Junior Researcher at the Center for Bioinformatics and Genomic Research, St.Petersburg State Forest Technical University;

194024. Institute per. 5. St. Petersburg. Russia;

Junior Researcher at the Scientific Research Department of Genetics and Biotechnology, Saint Petersburg Forestry Research Institute. SPIN-code: 4971-2924. ResearcherID: JNT-0110-2023. ORCID: 0009-0001-7015-5230.

194021. Institutsky av. 21. St. Petersburg. Russia. E-mail: esafronycheva@mail.ru

**КАРЖАЕВ Дмитрий Сергеевич** – младший научный сотрудник Центра биоинформатики и геномных исследований Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова;

194024, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия;

научный сотрудник научно-исследовательского отдела генетики и биотехнологии Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства.

194021, Институтский пр., д. 21, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: karzhaevd@gmail.com

**KARZHAEV Dmitry S.** – Junior Researcher at the Center for Bioinformatics and Genomic Research, St.Petersburg State Forest Technical University;

194024. Institute per. 5. St. Petersburg. Russia;

Researcher at the Scientific Research Department of Genetics and Biotechnology, Saint Petersburg Forestry Research Institute.

194021. Institutsky av. 21. St. Petersburg. Russia. E-mail: karzhaevd@gmail.com

**ВОЛКОВ Владимир Александрович** – директор Центра биоинформатики и геномных исследований Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова;

194024, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия;

научный сотрудник научно-исследовательского отдела генетики и биотехнологии Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства, кандидат биологических наук.

194021, Институтский пр., д. 21, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: vol-j@mail.ru

**VOLKOV Vladimir A.** – PhD (Biological), Director of the Center for Bioinformatics and Genomic Research, St.Petersburg State Forest Technical University;

194024. Institute per. 5. St. Petersburg. Russia;

Researcher at the Scientific Research Department of Genetics and Biotechnology, Saint Petersburg Forestry Research Institute.

194021. Institutsky av. 21. St. Petersburg. Russia. E-mail: vol-j@mail.ru

**ТИС Маргарита Витальевна** – младший научный сотрудник Центра биоинформатики и геномных исследований Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова;

194024, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия;

лаборант-исследователь научно-исследовательского отдела генетики и биотехнологии Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства.

194021, Институтский пр., д. 21, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: margarita.tis@yahoo.com

**TIS Margarita V.** – Junior Researcher at the Center for Bioinformatics and Genomic Research, St.Petersburg State Forest Technical University;

194024. Institute per. 5. St. Petersburg. Russia;

Laboratory Research Assistant at the Scientific Research Department of Genetics and Biotechnology, Saint Petersburg Forestry Research Institute.

194021. Institutsky av. 21. St. Petersburg. Russia. E-mail: margarita.tis@yahoo.com

**ШАРШАВИКОВА Вероника Владимировна** – лаборант-исследователь научно-исследовательского отдела генетики и биотехнологии Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства.

194021, Институтский пр., д. 21, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: veronikasharshavikova@gmail.com

**SHARSHAVIKOVA Veronika V.** – Laboratory Research Assistant at the Scientific Research Department of Genetics and Biotechnology, Saint Petersburg Forestry Research Institute.

194021. Institutsky av. 21. St. Petersburg. Russia. E-mail: veronikasharshavikova@gmail.com

**ВЕТЧИННИКОВА Лидия Васильевна** – главный научный сотрудник лаборатории лесных биотехнологий Института леса Карельского научного центра РАН;

185910, ул. Пушкинская, д. 11, г. Петрозаводск, Россия;

ведущий научный сотрудник Центра биоинформатики и геномных исследований Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова, доктор биологических наук, доцент. SPIN-код: 7683-6378. ResearcherID: J-5665-2018. ORCID: 0000-0003-2091-905X.

194024, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: vetchin@krc.karelia.ru

**VETCHINNIKOVA Lidya V.** – DSc (Biology), Chief Researcher, Laboratory for Forest Biotechnology, Forest Research Institute, Karelian Research Center of the RAS;

185910. Pushkinskaya str. 11. Petrozavodsk. Russia;

Leading Researcher at the Center for Bioinformatics and Genomic Research, St.Petersburg State Forest Technical University, Associate Professor. SPIN-code: 7683-6378, ResearcherID: J-5665-2018. ORCID: 0000-0003-2091-905X.

194024. Institute per. 5. St. Petersburg. Russia. E-mail: vetchin@krc.karelia.ru

**ПОТОКИНА Елена Кирилловна** – профессор Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова, доктор биологических наук. ResearcherID: AAN-1726-2020. Scopus AuthorID: 6603633906. ORCID: 0000-0002-2578-6279.

194024, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: e.potokina@yahoo.com

**ПОТОКИНА Elena K.** – DSc (Biological), Professor, St.Petersburg State Forest Technical University. SPIN-code: 7270-0032. ResearcherID: AAN-1726-2020. Scopus AuthorID: 6603633906. ORCID: 0000-0002-2578-6279.

194024. Institute per. 5. St. Petersburg. Russia. E-mail: e.potokina@yahoo.com

**ЖИГУНОВ Анатолий Васильевич** – заведующий кафедрой лесных культур Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова, доктор сельскохозяйственных наук, профессор. SPIN-код: 6704-5792. ORCID: 0000-0001-8707-7526.

194024, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: a.zhigunov@bk.ru

**ZHIGUNOV Anatolii V.** – DSc (Agriculture), Head of the Department of Forest Crops, St.Petersburg State Forest Technical University, Professor. SPIN-code: 6704-5792. ORCID: 0000-0001-8707-7526.

194021. Institute per. 5. St. Petersburg. Russia. E-mail: a.zhigunov@bk.ru