

УДК 582.632.1:582.522.68

ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВ ИНТРОДУКЦИИ КАРЕЛЬСКОЙ БЕРЕЗЫ

Л. В. Ветчинникова¹, А. Ф. Титов^{2,3}

¹ Институт леса КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр РАН», Петрозаводск, Россия

² Институт биологии КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр РАН», Петрозаводск, Россия

³ Отдел комплексных научных исследований ФИЦ «Карельский научный центр РАН», Петрозаводск, Россия

Представлен анализ накопленного в нашей стране и за рубежом опыта интродукции карельской березы, на основе которого выделены основные способы и методы, используемые при оценке ее перспектив. Как следует из анализа, наиболее важными и чаще используемыми подходами и критериями являются: сопоставление почвенно-климатических условий предполагаемого пункта интродукции с теми, где находится исходный материал (метод климатических аналогов), оценка происхождения и биологических особенностей исходного материала, оценка состава лесобразующих пород и сопутствующих им видов в предполагаемом пункте интродукции. В дополнение к ним авторами предложен «дистанционный метод», дающий информацию о расстоянии от границы ареала до предполагаемого пункта интродукции и соотношенном с «усредненным» расстоянием, на которое ранее уже переносилась карельская береза в рамках интродукционной работы. Отмечена важная роль агротехнических мероприятий, густоты и плотности посадки интродуцентов на проявление признаков «узорчатая текстура» и «степень насыщенности рисунка» в древесине. Сделан вывод, что хотя карельская береза и обладает достаточно высокой экологической пластичностью и, соответственно, высоким интродукционным потенциалом, при оценке перспектив ее интродукции необходимо использовать максимально широкий набор косвенных критериев и показателей, совокупность которых позволит с большей вероятностью оценить будущий результат интродукции и станет важной предпосылкой для повышения ее эффективности. Отсутствие указанного комплексного подхода при оценке перспектив интродукции является одной из главных причин ее недостаточно высокой эффективности, а следовательно, существенно снижает шансы на успешное решение задачи сохранения генофонда и расширенное воспроизводство этого уникального представителя лесной дендрофлоры с помощью интродукции.

Ключевые слова: *Betula pendula* Roth var. *carelica* (Mercklin) Hämet-Ahti; карельская береза; узорчатая древесина; интродукция; методы оценки перспектив интродукции.

L. V. Vetchinnikova, A. F. Titov. ASSESSMENT OF CURLY BIRCH INTRODUCTION PROSPECTS

We offer an analysis of the experience of curly birch introductions in Russia and abroad, from which the main means and methods of evaluating introduction prospects were derived. It follows from this analysis that the most important and commonly used approaches and criteria are: comparison of the edaphic and climatic conditions in the prospective introduction site and the location from which the source material is taken (climate analogues method); assessment of the origin and biological characteristics of the source

material; assessment of the composition of stand-forming tree species and their companion species in the prospective introduction site. In addition, we suggest the “distance method”, providing information about the distance from the species range boundary to the prospective introduction site, and about the distance over which curly birch has previously been moved for introduction relative to the “averaged” distance. The importance of cultural operations, stocking rate and density of the planted trees for the expression of “figured grain” and “figure intensity” features in wood is highlighted. It is concluded that although curly birch has quite high ecological plasticity and, accordingly, a high introduction potential, the prospects for its introduction should be assessed using a widest possible set of indirect criteria and indicators, which will collectively yield a more probable future estimate of the introduction outcome, and generate a premise for improving its efficiency. The lack of the said integrated approach to evaluating the prospects of introduction is a key reason for its underperformance, notably reducing the chances of successfully dealing with the tasks of gene pool preservation and augmented reproduction of this unique member of the forest tree flora by means of introductions.

Key words: *Betula pendula* Roth var. *carelica* (Mercklin) Hämet-Ahti; curly birch; figured wood; introduction; methods for the assessment of introduction prospects.

Введение

Интродукция растений имеет длительную историю, и многие годы ее главная задача заключалась в выращивании растений за пределами их ареалов с целью последующего хозяйственного использования [Лапин и др., 1979; Некрасов, 1980; Дроздов, 1998; Коропачинский и др., 2011 и др.]. На современном этапе одной из важных задач интродукции становится расселение за пределы ареала видов, имеющих ключевое значение для поддержания стабильности экосистем, а с начала 1980-х годов заметно усилилось внимание к интродукции редких и исчезающих видов, среди которых важное место занимают древесные растения, такие, например, как карельская береза *Betula pendula* Roth var. *carelica* (Mercklin) Hämet-Ahti. Однако в отличие от травянистых видов их интродукция является намного более трудоемким процессом, поскольку многолетний цикл развития древесных растений предполагает длительный срок проведения испытаний, на выполнение которых нередко требуются десятки лет и значительные средства. При этом определенные неудачи могут иметь место не только на начальных этапах этой работы, но и после ее формального завершения. Примером может служить клен ясенелистный *Acer negundo* L., который далеко не сразу был интродуцирован в Европу из Северной Америки, а сейчас считается инвазивным видом [Коропачинский и др., 2011].

Необходимо подчеркнуть, что интродукция редких, находящихся под угрозой исчезновения видов растений является особенно сложной и ответственной задачей, поскольку выращивание в новых условиях предполагает

не только увеличение их общей численности, но и сохранение их генетического разнообразия. Для достижения этого требуется серьезная предварительная работа, направленная на объективную оценку перспектив интродукции, поскольку всегда существует вероятность непреднамеренной утери редких генотипов и получения результатов, не соответствующих ожиданиям. Так, перенос и выращивание карельской березы, находящейся в нашей стране под угрозой исчезновения, в различных природно-климатических условиях показали, что хотя ее основные биологические особенности при интродукции сохраняются, количество деревьев с узорчатой текстурой в древесине, которая считается ее главным и высокоценным отличительным признаком, редко превышает 40–60 %.

Исходя из вышеизложенного нами была поставлена задача на основе накопленного опыта интродукции карельской березы рассмотреть подходы, методы и критерии (показатели), наиболее часто используемые при оценке перспектив интродукции, знание и учет которых будут способствовать более успешной интродукции этого уникального представителя лесной дендрофлоры.

Краткая характеристика ареала карельской березы и почвенно-климатических условий местообитаний ее природных популяций

Карельская береза является уникальным аборигенным представителем европейской дендрофлоры. Она имеет ограниченный и фрагментированный ареал, который приурочен к природно-климатическим условиям, исторически сложившимся на территориях

в северо-западной части континентальной Европы (или стран Балтийского региона в широком его понимании) [Ветчинникова, Титов, 2020а, б, 2021]. На всем протяжении ареала лесов карельская береза не образует, встречается одиночно или группами, причем в одних местообитаниях ее количество исчисляется единицами, а в других – несколькими десятками и гораздо реже сотнями деревьев. Наибольшей численностью в XX веке и до сих пор характеризуются ее популяции, находящиеся на территории Республики Беларусь [Любавская, 1978; Побирušко, 1992; Ветчинникова, Титов, 2019]. В нашей стране основные ресурсы карельской березы сосредоточены на территории Республики Карелия, хотя к началу XXI века по сравнению с серединой XX века в результате главным образом неконтролируемых рубок они сократились почти на две трети [Ветчинникова и др., 2013; Ветчинникова, Титов, 2018а, б, 2020в].

Республика Карелия расположена на северо-западе европейской части России (60°40'–66°40' с. ш. 29°30'–37°57' в. д.) в атлантико-арктической климатической зоне умеренного пояса, климат которого обусловлен прежде всего близостью морей (Балтийского, Белого и Баренцева) и океанов (Атлантического и Северного Ледовитого) и характеризуется переходным от морского к континентальному (табл.) [Климат..., 2009; Назарова, 2015, 2017; Filatov et al., 2019]. Своеобразие природы здесь определяется также особенностями годичного и суточного ритмов светового периода, средняя продолжительность которого существенно возрастает с апреля по июль. В период, когда солнце практически не пересекает горизонт, здесь наблюдаются так называемые «белые ночи» (в районе г. Петрозаводска это период с 26 мая по 17 июля). Затем темное время суток постепенно и значительно увеличивается, а продолжительность светового дня сокращается и к 22 декабря (день зимнего солнцестояния, самый короткий день в году) составляет от восхода солнца до его заката чуть более 5 часов. Растянность территории Карелии в широтном направлении обуславливает ее деление на две климатические зоны: северную и южную, которые соответствуют северной и средней подзонам тайги. Поскольку карельская береза является аборигенным представителем лесной дендрофлоры южной части Карелии, ниже приводится почвенно-климатическая характеристика только данной территории (61–62° с. ш. 34° в. д.).

Основным фактором среды, лимитирующим рост растений в Карелии, является не-

достаток тепла. Вегетационный период здесь длится около 75–105 суток [Атлас..., 1989]. Средняя температура июля соответствует +16,4...+16,9 °С, число дней с температурой 10 °С и выше составляет 112–114 (табл.). Значительной является суточная амплитуда колебаний температуры, которая наблюдается только в зимний период и может достигать 25–30 °С [Назарова, 2008, 2017]. В южной части республики холодный период с температурой воздуха ниже нуля продолжается в среднем 140–150 суток. Однако благодаря влиянию Атлантического океана среднегодовая температура воздуха в южной части Карелии в среднем на 10 °С выше, чем в более континентальных районах, расположенных на той же географической широте, как, например, в Якутии.

Для территории Карелии характерен сильно расчлененный рельеф и наличие большого количества рек, озер и болот. Особенностью территории является также почти повсеместная бедность почв питательными веществами, прежде всего азотом. Наиболее широко здесь распространены подзолистые почвы и болотные, а также занимающие промежуточное положение по уровню увлажнения болотно-подзолистые [Федорец и др., 2008; Почва..., 2009; Лукина и др., 2019].

По сравнению с Карелией Республика Беларусь находится значительно южнее (56°10'–51°16' с. ш. 23°11'–32°47' в. д.), в центре Восточной Европы, и характеризуется умеренно континентальным климатом (табл.) [Клімат..., 2004]. Его основные черты определяются относительной близостью к Атлантическому океану и равнинным рельефом, который не препятствует перемещению воздушных масс в различных направлениях, обуславливая неустойчивость погоды на территории страны в целом. Зимой западные ветры приносят относительно теплый воздух высокой влажности. Арктические воздушные массы поступают в течение года (суммарно около 40–70 суток): зимой и летом они вызывают похолодание, весной – поздние заморозки, а осенью – ранние. На юго-востоке изредка наблюдается влияние тропического воздуха. По характеру распределения тепла и влажности на территории Беларуси выделяются три климатические области: северная область – умеренно теплая и влажная, центральная – теплая, умеренно влажная, южная – теплая, неустойчиво влажная. Средняя годовая температура воздуха здесь варьирует от +7,4 °С на юго-западе до +4,4 °С на северо-востоке (табл.). Общая продолжительность периода с температурой воздуха выше +5 °С составляет 180–208 суток, а суммы темпера-

Климатические особенности южной (Республика Беларусь) и северной (Республика Карелия, Россия) частей ареала, на территории которых сохранились природные популяции карельской березы

Climatic features of the southern (Republic of Belarus) and northern (Republic of Karelia, Russia) parts of the range, on the territory of which natural populations of Karelian birch have survived

Характеристика климата Climate characteristics	Ареал карельской березы Range of Karelian birch	
	южная часть southern part	северная часть northern part
Тип климата Climate type	умеренно континентальный moderate continental	переходный от морского к континентальному transitional from marine to continental
Продолжительность солнечного сияния (часов за год) Sunshine duration (hours per year)	1730–1950	1650–1750
Годовое количество осадков, мм Annual precipitation, mm	600–700	550–750
Безморозный период (дней) Frost-free period (days)	150–180	120–130
Температура воздуха, °С Air temperature, °C		
средняя годовая average annual	+4,4...+7,4	+2,8...+3,3
средняя в январе average in January	– 4... – 8	– 8,8... – 10,2
средняя в июле average in July	+17...+19	+16,4...+16,9
Число суток с температурой воздуха > +5 °С Number of days with temperature air > +5 °C	180–208	159–165
Число суток с температурой воздуха > +10 °С Number of days with temperature air > +10 °C	–	112–114
Средняя многолетняя сумма активных температур воздуха > +5 °С Average long-term sum of active air temperatures > +5 °C	2500–2900 °C	1700–1800 °C
Средняя многолетняя сумма активных температур воздуха > +10 °С Average long-term sum of active air temperatures > +10 °C	2100–2500 °C	1250–1350 °C

Примечание. Тире означает отсутствие данных.

Note. Dash means no data.

тур выше +10 °С увеличиваются с севера на юг с 2100° до 2500°, что почти в два раза выше по сравнению с Карелией. Холодный зимний период начинается во второй половине ноября и продолжается 105–145 дней, что почти на месяц меньше, чем в Карелии.

На территории Беларуси распространены дерновые, дерново-карбонатные, дерново-подзолистые и дерново-подзолистые заболоченные почвы [Клебанович, Василюк, 2003; Клебанович, 2006]. Леса располагаются преимущественно на песчаных равнинах и заболоченных низинах. Карельская береза встречается здесь почти повсеместно, но распределена неравномерно. Ее основные ресурсы сосредоточены в центральной части страны, а на юге и юго-востоке она встречается редко [Побирушко, 1992; Сидор и др., 2016].

Способы и методы оценки перспектив интродукции

Сравнительная оценка почвенно-климатических условий исходного района и пункта интродукции

Прохождение растениями полного цикла развития свидетельствует об их успешной интродукции, а сезонный ритм ростовых процессов отражает характер их реакции на действие факторов внешней среды, среди которых особое место принадлежит температуре. Очевидно, по этой причине для оценки условий интродукции растений долгое время применялся метод «климатических аналогов», предложенный в начале XX века немецким лесоводом Г. Майром [Mayr, 1906], согласно которому успеш-

ный перенос растений возможен в условия, по климатическим характеристикам сходные с условиями региона их естественного произрастания. Позднее опыт интродукции древесных растений показал необходимость поиска не только климатических, но и экологических аналогов [Некрасов, 1980; Царев и др., 2001; Урусов и др., 2010; Урусов, Варченко, 2015; Егоров, 2019; Ёзиев, Кудратов, 2020 и др.]. Подтверждением этому, например, является факт, что к 80-м годам зона интродукции карельской березы отодвинулась в отдельных направлениях на 3 тысячи километров и более от границы ее ареала и находится, таким образом, в существенно разных природно-климатических условиях – от лесотундры и северной тайги до лесостепи и степи. При этом в нее входят не только близкие по климату территории (например, Московская и Воронежская области), но и значительно более холодные (Мурманская область) или более жаркие (Самаркандская область, Узбекистан) [Ветчинникова, Титов, 2021]. Тем не менее анализ результатов интродукции показывает, что даже в разных природно-климатических условиях карельская береза сохраняет близкие по ритмам ростовые процессы и фенологическое развитие, присущие ей в естественных местообитаниях. Хотя сроки прохождения отдельных фенофаз могут сдвигаться на более ранние (в южных широтах) или более поздние (в северных широтах). В целом эти данные говорят о достаточно высоких адаптационных возможностях карельской березы и, соответственно, о ее высоком интродукционном потенциале.

Отметим, что определенное влияние на рост растений при интродукции могут также оказывать почвенные условия. Тем не менее многие специалисты [Соколов, 1950; Martinsson, 1995; Emanuelsson, 1999; Багаев, 2016; Ветчинникова, Титов, 2020в и др.] отмечают, что именно невысокая требовательность карельской березы к почвенным условиям (за исключением высокого уровня грунтовых вод, понижающих доступ кислорода к корневой системе) позволяет ей успешно расти, давая хороший прирост и высококачественную древесину в достаточно широком диапазоне почвенных условий.

Подбор исходного материала

На этапе, предшествующем интродукции, особое значение имеет правильный выбор исходного растительного материала. Накопленный опыт показывает, что при использовании семян от свободного опыления, взятых со случайно выбранных деревьев, количество осо-

бей с узорчатой древесиной может составлять в потомстве всего 2–3 %, редко достигая 25 % или чуть выше. Для сохранения в семенном потомстве всех признаков и свойств карельской березы, включая прежде всего узорчатую текстуру в древесине, необходимо предварительно проводить контролируемое опыление, а в качестве родителей использовать деревья, обладающие хорошо выраженными косвенными признаками «узорчатости» [Любавская, 1966, 1978; Ермаков, 1975, 1986; Щурова, 2011; Ветчинникова и др., 2013]. При этом результаты интродукции, проведенной в Московской области, показали, что проявление в семенном потомстве признаков и свойств, характерных для карельской березы, зависит как от материнского, так и от отцовского растения [Любавская, 1970]. Например, если для скрещивания используются родительские деревья, имеющие между собой внешнее сходство по форме роста и типу поверхности ствола, то наследование признаков происходит, как правило, по материнской линии, и напротив, при скрещивании разнотипных по этим признакам деревьев среди потомков преобладают растения с признаками, характерными для отцовских деревьев.

Отметим, что определенное влияние на скорость роста интродуцентов карельской березы оказывает географическое происхождение семян. Например, в условиях Свердловской области у сеянцев белорусского происхождения в зимний период было зафиксировано повреждение низкой температурой верхушечных побегов, а растения из Карелии опережали в прохождении осенних фенофаз растения из Латвии [Махнев, 1982].

Увеличению количества «узорчатых» деревьев может способствовать также сортировка семенного потомства по высоте [Любавская, 1978], поскольку у карельской березы отставание в росте, наблюдаемое в первые годы развития растений, является одним из косвенных показателей начала формирования узорчатой текстуры в ее древесине. Таким образом, нельзя ограничиваться только отбором наиболее крупных сеянцев и/или саженцев, как это принято в практике лесного хозяйства, иначе даже в случае использования семян от контролируемого опыления количество деревьев с узорчатой древесиной составит в потомстве не более 40–60 %, как это наблюдалось в Карелии [Ермаков, 1986] или при интродукции в Московской области [Погиба, Казанцева, 2006; Коновалов и др., 2016].

Однако наиболее полно признаки карельской березы сохраняются при вегетативном размножении, полученном, например, путем

прививки, но из-за низкой приживаемости прививаемых компонентов у карельской березы она не получила широкого применения [Ветчинникова, 2005; Лаур, 2011]. Еще менее подходящим оказался метод зеленого черенкования [Савельев, 1992; Шапкин, Казанцева, 1996; Погиба, Казанцева, 2006 и др.]. К настоящему времени лучшие результаты достигнуты при выращивании посадочного материала с использованием клонального микроразмножения [Жигунов, 2013]. Отметим также и то, что при размножении в культуре *in vitro* вегетативное потомство карельской березы сохраняет способность к формированию узорчатой текстуры в древесине при условии, если оно получено за счет активизации развития уже имеющихся в растениях меристем в пазушных (аксиллярных) почках стебля, минуя процесс каллусообразования [Ruynänen, Ruynänen, 1986; Байбурина, 1998; Ветчинникова и др., 2013; Зеленина, Машкина, 2013]. При этом благодаря обеззараживанию практически исключается риск распространения каких-либо заболеваний или патогенных возбудителей при переносе растений, полученных *in vitro*, в новые условия.

Поскольку древесина карельской березы обладает особой ценностью, то естественное стремление получать ее в промышленных масштабах предполагает создание искусственных плантаций. В этом случае необходимо учитывать их целевое назначение. В частности, при организации лесосеменных плантаций (или насаждений) переход на клонное размножение с целью сохранения генофонда карельской березы может привести к сужению ее генетического разнообразия, что, однако, можно преду-

предить, если в качестве посадочного материала будет отобрано не менее 10, а лучше 30–50 и более разных клонов. В случае создания лесосырьевых плантаций вполне допустимо использование ограниченного числа клонов, даже одного наиболее продуктивного. В настоящее время важнейшим источником исходного материала карельской березы могут служить особо охраняемые природные территории, созданные с участием карельской березы [Особо охраняемые..., 2017], а также природные популяции, сохранившиеся в нашей стране (на территории Карелии) [Ветчинникова, Титов, 2018а, б] и в Беларуси [Сидор и др., 2016], и живые коллекции [например, Коллекция...].

Использование косвенных признаков карельской березы

При интродукции карельской березы, как и при ее выявлении в природе и в искусственных насаждениях, особую роль играет визуальная диагностика признаков, косвенно указывающих на формирование узорчатой текстуры в древесине. Первые визуально заметные признаки начала формирования «узорчатости» у растений могут наблюдаться в возрасте 2–3 лет в виде утолщений или «валиков» в основании боковых побегов (рис. 1, А), тогда как у других видов березы они отсутствуют. После снятия коры в этих местах на поверхности древесины карельской березы хорошо просматривается рельефная или ямчатая структура (рис. 1, Б, В). С возрастом указанные изменения усиливаются, и поверхность ствола становится мелкобугорчатой (многочисленные небольшие

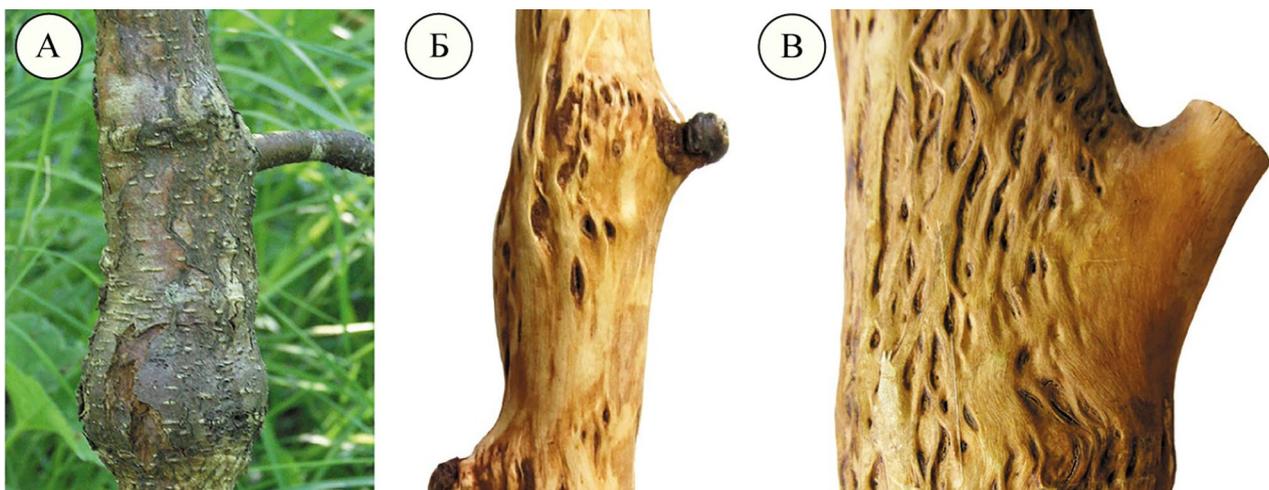


Рис. 1. Внешний вид утолщений в основании бокового побега карельской березы (А) и поверхность древесины ствола под снятой корой растения в возрасте двух (Б) и пяти (В) лет

Fig. 1. Outward appearance of swellings at lateral shoot base in curly birch (A), their debarked wood surface in plants aged: 2 years (B), 5 years (C)

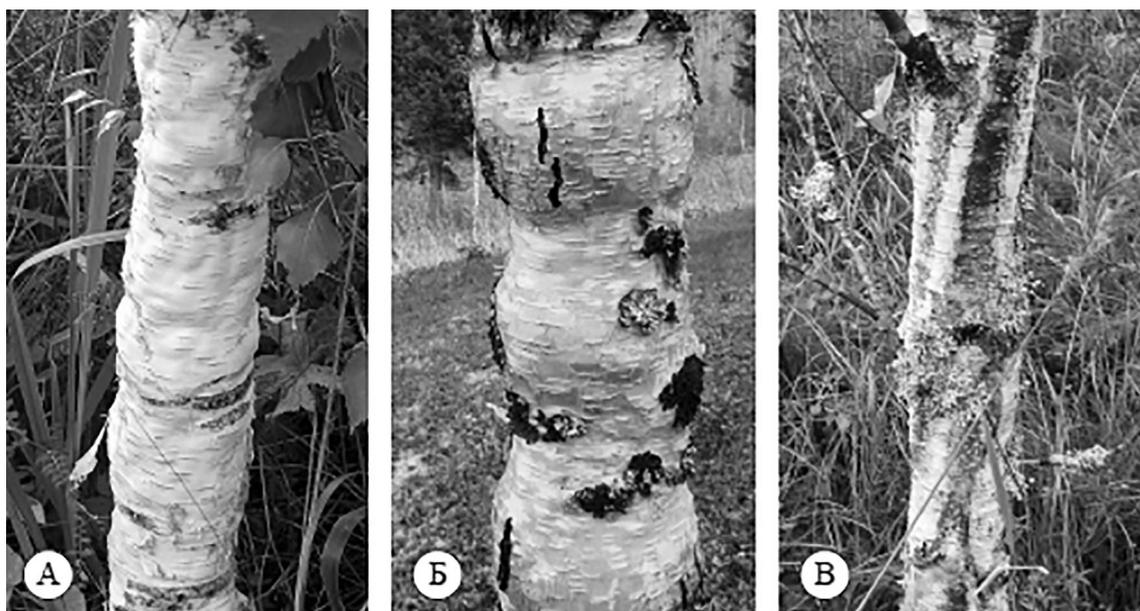


Рис. 2. Типы поверхности ствола карельской березы: мелкобугорчатый (А), шаровидноутолщенный (Б) и ребристый (В)

Fig. 2. Trunk shapes in curly birch: with small protuberances (A), with necks and muffs (Б), with stripes (B)

выпуклости относительно плотно и равномерно располагаются вдоль поверхности ствола), шаровидноутолщенной (единичные крупные утолщения сменяются относительно ровными участками по длине ствола) или ребристой (неровности проявляются в виде тяжей, вытянутых вдоль ствола) (рис. 2) [Saarnio, 1976, 1980; Евдокимов, 1989; Kosonen et al., 2004; Ветчинникова и др., 2013; Ветчинникова, Титов, 2019, 2021].

По типу поверхности ствола можно ориентировочно судить об особенностях проявления узорчатого рисунка в древесине и степени его насыщенности. Например, шаровидноутолщенный тип обычно говорит о наличии 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 в древесине, как правило, формируется у деревьев карельской березы с мелкобугорчатым типом поверхности ствола.

В 70-е годы был предложен способ, который позволяет напрямую определять наличие в стволе узорчатой древесины и плотность его рисунка [Евдокимов, 1978; Ермаков, 1979]. Он предусматривает вырез участка коры на стволе (в местах утолщений) в виде небольшого прямоугольника (например, размером 2×4 см) или Г-образного надреза в коре. Если под снятой корой открываются рельефные углубления

в виде вытянутых вдоль ствола ямок, о которых говорилось выше (рис. 1, В), то чем их больше, тем, как правило, выше насыщенность узорчатого рисунка в древесине. Пользоваться этим способом наиболее удобно в период активного транспорта ассимилятов (в условиях Карелии это июнь, июль), когда кора отделяется от древесины без особых усилий. Других надежных способов (включая физиолого-биохимические или молекулярно-генетические) прижизненной диагностики узорчатой текстуры и определения степени насыщенности рисунка в древесине карельской березы пока нет.

Использование дополнительных критериев

1) Растения-спутники (сопутствующие виды). Дополнительным косвенным критерием при интродукции может служить сопоставление видового состава лесобразующих пород и сопутствующих их видов на территории, где сложился ареал карельской березы, и в пункте интродукции. Например, в Республике Карелия и в Беларуси, как известно, широко распространены сосновые леса (более 60 % лесной площади). Насаждения с преобладанием ели занимают примерно 25 и 10 % соответственно, березы – около 10 и 20 %, осины – 0,7 и 3,5 %, ольхи серой *Alnus incana* (L.) Willd. – 0,2 и 0,5 % и ольхи черной *Alnus glutinosa* (L.) Gaertn. – 0,1 и 9,7 %. В Беларуси помимо хвойных и мелколиственных пород с севера на юг увеличивается доля ши-

роколиственных пород, таких как дуб (5,4%) [Бурак и др., 2007]. Отметим, что у большинства видов в зоне бореальных и смешанных лесов почвенное питание осуществляется преимущественно за счет эктотрофной микоризы и не является видоспецифичным. Вероятно, по этой причине при интродукции карельской березы почвенные условия чаще всего не являются лимитирующими. От других лесных видов карельская береза отличается прежде всего отношением к световому фактору, предпочитая хорошо освещенные места. Поэтому при ее переносе в новые условия логично ожидать, что она будет хорошо расти там, где распространены светлохвойные леса, образованные, в частности, сосной обыкновенной *Pinus sylvestris* L. Высаживать карельскую березу на территориях с преобладанием темнохвойных лесов, образованных елью европейской *Picea abies* (L.) N. Karst., пихтой сибирской *Abies sibirica* Ledeb. или сосной сибирской кедровой *Pinus sibirica* Du Tour., очевидно, нецелесообразно. Хотя в Дании имеется опыт, когда вместе с карельской березой в качестве «промежуточных» деревьев выращивают широко известную «рождественскую» ель (или пихту Нордманна (*Abies nordmanniana* (Steven) Spach)), а в Финляндии для тех же целей используют преимущественно ель европейскую (иногда и другие виды ели), но с условием, что ее убирают в первое десятилетие после посадки, не допуская превышения определенной высоты.

Учитывая, что ареал карельской березы перекрывается с ареалами березы повислой *B. pendula* Roth и березы пушистой *B. pubescens* Ehrh., следует ожидать, что ее интродукция будет успешной в местообитаниях, где произрастают эти ее сородичи или другие виды из рода *Betula* L. По всей вероятности, они имеют сходные требования к местообитаниям, и если экологические условия не выходят за пределы нормы их реакции, то могут оказаться благоприятными и для карельской березы. Однако при совместном выращивании близкородственных видов отрицательным последствием становится их вероятное скрещивание между собой. В этом случае при перекрестном опылении карельской березы с другими видами березы в семенном потомстве количество особей с узорчатой древесиной резко уменьшается. Интересно, что в первые 10–15 лет карельская береза растет в насаждениях достаточно интенсивно и не уступает по высоте сопутствующим видам [Евдокимов, 1989]. Однако по мере формирования узорчатой древесины она снижает темпы роста и в результате смыкания крон, например, соседних быстрорастущих

деревьев березы повислой, постепенно переходит в подчиненный ярус [Любавская, 1978; Ветчинникова и др., 2013; Ветчинникова, Титов, 2020в]. В дальнейшем карельская береза не выдерживает конкуренцию с другими, более быстрорастущими деревьями, начинает уступать им в развитии и, как правило, оказывается в угнетенном состоянии и даже отмирает.

Наконец, отметим, что имеется опыт создания смешанных насаждений карельской березы и с другими сопутствующими растениями. При этом предпочтение отдается тем видам, которые не могут конкурировать с ней по высоте, например, лещине обыкновенной *Corylus avellana* L. или малине обыкновенной *Rubus idaeus* L. Однако создание смешанных культур карельской березы с быстрорастущими породами (дуб красный *Quercus rubra* L., сосна обыкновенная) в условиях Житомирской области (Украина) не принесло ожидаемого результата [Литвак, Евдокимов, 1977].

2) «Дистанционный метод». В 70-е годы в СССР были разработаны основные принципы лесосеменного районирования для важнейших лесообразующих пород [Лесосеменное..., 1982], которые наряду с другими задачами предусматривали использование семян за пределами ареала конкретных видов. Они базировались на результатах исследований географических культур (семенных потомств географически отдаленных популяций). За основную единицу лесосеменного районирования был принят лесосеменной район, т. е. определенная территория со сравнительно сходными экологическими условиями и сходным составом лесообразующих пород и сопутствующих видов. Лесосеменное районирование было разработано отдельно для каждого из числа основных видов хвойных растений, произрастающих на территории бывшего СССР, а также для дуба черешчатого *Quercus robur* L. и бука европейского *Fagus sylvatica* L. в виде специально подготовленных картосхем (с указанием границ районов и подрайонов) и сопровождающих их таблиц. К сожалению, работы подобного рода ни тогда, ни в дальнейшем не проводились не только в отношении карельской березы, но и по березе как лесообразующей породе в целом.

Необходимо сказать, что интродукция растений во многом схожа с районированием сортов сельскохозяйственных культур, которое уже более полувека активно осуществляется в нашей стране, хотя между ними есть и существенные различия. Из опыта районирования следует, что многие сорта можно с успехом выращивать в районах, достаточно удаленных

от места их создания. В случае с интродукцией новый географический пункт также может находиться далеко от границы ареала. И если пунктов интродукции у конкретного вида существует уже достаточно много, то путем их «усреднения» можно определить ту дистанцию (расстояние), которая может оказаться приемлемой для переноса интересующего нас объекта в новые условия. Отсюда следует, что среднее расстояние (дистанцию, D_{cp}) от ближайшей границы ареала до предполагаемого пункта интродукции можно рассчитать следующим образом:

$$D_{cp} = \frac{D_1 + D_2 + D_3 + \dots + D_n}{n};$$

где D_1, D_2, D_3 и т. д. – расстояние между существующими пунктами интродукции и ближайшими к ним точками на границе ареала.

Разумеется, подобный метод оценки перспектив интродукции является очень условным и может использоваться только в качестве дополнительного. Однако учитывая, что для оценки перспектив интродукции прямые методы, по сути, отсутствуют и приходится опираться только на косвенные, результат оценки окажется более надежным (хотя и вероятностным), если используется максимально широкий набор критериев и косвенных показателей.

Роль агротехнических мероприятий

Помимо уже перечисленных выше существуют и другие причины того, что при интродукции в искусственно созданных насаждениях карельской березы количество деревьев, обладающих узорчатой текстурой в древесине, остается ниже желаемого. Среди них можно выделить такие, как размер саженцев, высокая плотность их размещения при посадке и отсутствие регулярных уходов.

Показано, что наиболее высокой приживаемостью характеризуются растения, имеющие высоту от 0,5 до 1,5 м, а меньший по размерам посадочный материал проявляет низкую устойчивость по отношению к травянистой растительности. Посадку лучше проводить в весенний период. Саженцы с закрытой корневой системой можно высаживать в течение всего вегетационного сезона, но более предпочтительным считается весенний период.

На формирование узорчатой текстуры в древесине существенное влияние оказывает густота посадки деревьев: при высокой плотности «узорчатость» в древесине деревьев формируется слабо или вообще отсутствует даже при использовании высококачественного

посадочного материала. Опыт показывает, что при использовании сеянцев от контролируемого опыления густота посадки может составлять от 1600 до 2000 шт./га при расстоянии между растениями 2,5 и 2,2 м соответственно. Клонированный материал следует высаживать более редко – от 400 до 800 шт./га, что примерно соответствует плотности зрелого древостоя. Разные по генотипу клоны (от 10 и более), как правило, высаживаются в ряду поочередно.

Показана экономическая эффективность создания смешанной посадки карельской березы путем чередования клонов, выращенных *in vitro* (400 шт./га), и сеянцев, полученных в результате контролируемого опыления (1200 шт./га) [Hagqvist, Mikkola, 2008]. В этом случае расстояние между клонами, высаженными через ряд, составляет 5 м, а между гибридами – 2,5 м. При такой схеме посадки растения семенного происхождения будут сдерживать рост боковых ветвей у растений, полученных вегетативно, снижая в дальнейшем трудозатраты на их обрезку.

Для нормального развития растений в течение по меньшей мере первых семи лет необходимо проводить своевременные и регулярные агротехнические и лесоводственные уходы, включающие скашивание травянистой растительности, обрезку сучьев в нижней части кроны, удаление поросли и семенного потомства быстрорастущих пород, которые случайно оказались рядом и сформировали жизнеспособный подрост.

Следует также помнить, что на ранних этапах развития искусственные насаждения карельской березы могут стать кормовой базой для мышевидных грызунов, зайцев и лосей. Для их защиты от мышевидных грызунов применяют специальные ограждения в виде пластиковых труб различного сечения [Фогилев, 1986], а также обработку растений специальными химическими составами [Teusan, 1983; Ermala, 2009, устное сообщение]. Для защиты от зайцев обычно используются ограждения из проволоки, а от лосей – ограждения с подачей тока слабого напряжения.

Заключение

Карельская береза является уникальным и высокоценным биологическим объектом, природные популяции которого сохранились к настоящему времени только на территории России (Республика Карелия) и в Беларуси. Тем не менее имеющийся опыт интродукции карельской березы показывает ее способность успешно расти в широком диапазоне природ-

но-климатических условий – от северной тайги до лесостепи, которые существенно отличаются от мест ее естественного произрастания. Однако, несмотря на это, при планировании работ по переносу карельской березы за пределы ареала очень важно предварительно осуществлять оценку природно-климатических условий предполагаемого пункта интродукции. Наиболее оптимальными для нее, по всей вероятности, являются условия, характерные для бореальных и смешанных лесов. Дополнительными критериями при этом могут служить: а) оценка состава лесообразующих пород и сопутствующих им видов в предполагаемом пункте интродукции с учетом того, что карельская береза, в отличие от некоторых других древесных пород, предпочитает хорошо освещенные местообитания; б) «дистанционный метод», который дает представление об условно допустимом расстоянии от границы ее ареала (или места происхождения исходного растительного материала) до той географической точки, которая намечена в качестве нового пункта интродукции.

Вполне очевидно, что наиболее полно признаки и свойства карельской березы, как и у других растений, сохраняются в вегетативном потомстве, полученном, например, в результате клонального микроразмножения *in vitro*. Однако в этом случае для сохранения генетического разнообразия количество разных клонов должно быть не меньше 10, а лучше 30–50. Использование при интродукции семенного материала также вполне допустимо, но только полученного в результате контролируемого опыления с участием деревьев (отцовских и материнских), имеющих явно выраженные косвенные признаки карельской березы. Кроме того, при создании искусственных насаждений карельской березы следует обращать внимание на географическое происхождение растительного материала и на густоту посадки, так как при высокой плотности «узорчатость» в древесине формируется слабо, а может и не проявиться вообще. Результат интродукции карельской березы зависит также и от проведения своевременных и регулярных агротехнических мероприятий и лесоводственных уходов.

В целом можно заключить: несмотря на то, что карельская береза обладает высокой экологической пластичностью и, соответственно, высоким интродукционным потенциалом, при оценке перспектив ее переноса в новые районы (за пределы ареала) следует учитывать и использовать максимальный набор косвенных критериев и показателей, которые в совокупности позволят не только определить веро-

ятный результат интродукции, но и повысить ее эффективность. Неиспользование такого подхода является одной из главных причин недостаточно высокой эффективности интродукции этого уникального представителя лесной дендрофлоры.

В организационном плане важно и другое. Учитывая резкое сокращение численности карельской березы в нашей стране и угрозу ее полного исчезновения необходимо скоординировать все работы по ее интродукции в рамках единой государственной целевой программы. Ее появление могло бы стать хорошей основой не только для сохранения генофонда этого уникального биологического объекта, но и его расширенного воспроизводства, в том числе с помощью интродукции.

Финансовое обеспечение исследований осуществлялось из средств федерального бюджета на выполнение государственного задания КарНЦ РАН (Институт леса КарНЦ РАН, Институт биологии КарНЦ РАН, Отдел комплексных научных исследований КарНЦ РАН).

Литература

- Атлас Карельской АССР. М.: ГУГК, 1989. С. 14–15.
- Багаев С. С. Создание лесных плантаций и культур березы в зоне деятельности Центрально-Европейской ЛОС ВНИИЛМ // Инновации и технологии в лесном хозяйстве: Тезисы докл. V междунар. науч.-практич. конф. (СПб., 31 мая – 2 июня 2016 г.). СПб.: СПбНИИЛХ, 2016. С. 29.
- Байбурина Р. К. Микроразмножение взрослых гибридов березы карельской в культуре тканей // Растительные ресурсы. 1998. Т. 34, № 2. С. 9–22.
- Бурак Ф. Ф., Усс Е. А., Луферов О. М. Динамика лесной растительности Республики Беларусь в разрезе основных лесообразующих пород // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2007. № 17. С. 36–38.
- Ветчинникова Л. В. Карельская береза и другие редкие представители рода *Betula L.* / Ред. А. Ф. Титов. М.: Наука, 2005. 269 с.
- Ветчинникова Л. В., Титов А. Ф. Карельская береза в заказниках Республики Карелия: история, современное состояние и проблемы // Бот. журн. 2018а. Т. 103, № 2. С. 256–265. doi: 10.1134/S0006813618020096
- Ветчинникова Л. В., Титов А. Ф. Роль особо охраняемых природных территорий в сохранении генофонда карельской березы // Труды КарНЦ РАН. 2018б. № 10. С. 3–10. doi: 10.17076/eco912
- 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. Современное состояние ресурсов *Betula pendula var. carelica* (Betu-

laseae) // Растительные ресурсы. 2020а. Т. 56, № 1. С. 16–33. doi: 10.31857/S0033994620010082

Ветчинникова Л. В., Титов А. Ф. О границах ареала карельской березы // Изв. вузов. Лесн. журн. 2020б. № 6. С. 9–21.

Ветчинникова Л. В., Титов А. Ф. Особенности структуры популяций карельской березы // Успехи современной биологии. 2020в. № 6. С. 601–615. doi: 10.31857/S0042132420050087

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., Кузнецова Т. Ю. Карельская береза: биологические особенности, динамика ресурсов и воспроизводство. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2013. 312 с.

Дроздов И. И. Интродукция ценного лесообразователя // Лесной вестник. 1998. № 3. С. 99–103.

Егоров А. А. Применение современных методов эколого-географического анализа в интродукции растений // Леса России: политика, промышленность, наука, образование: Матер. IV науч.-техн. конф. СПб.: СПбПУ, 2019. С. 395–397.

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

Евдокимов А. П. Эколого-биологические свойства и обоснование методов выращивания карельской березы: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Л., 1978. 20 с.

Ермаков В. И. Итоги исследований по внутривидовой и межвидовой гибридизации березы карельской // Вопросы лесоведения и лесоводства в Карелии. Петрозаводск: Карел. фил. АН СССР, 1975. С. 178–194.

Ермаков В. И. Закономерности наследования узорчатой текстуры древесины в гибридном потомстве березы карельской // Селекция и лесное семеноводство в Карелии. Петрозаводск: Карел. фил. АН СССР, 1979. С. 4–20.

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

Ёзиев Л. Х., Кудратов Г. Д. Методика оценки результатов интродукции древесных растений (на примере Южного Узбекистана) // Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии. 2020. Т. 19, № 1. С. 218–222. doi: 10.14258/pbssm.2020043

Жигунов А. В. Применение биотехнологий в лесном хозяйстве России // Изв. вузов. Лесн. журн. 2013. № 2. С. 27–35.

Зеленина Е. А., Машкина О. С. Цитогенетическая характеристика коллекции клонов карельской березы (*Betula pendula* Roth var. *carelica* Merkl.) в длительной культуре *in vitro* // Фактори експериментальної еволюції організмів. 2013. Т. 12. С. 232–235.

Клебанович Н. В. География кислотности пахотных почв Беларуси // Вестник БГУ. Сер. 2. Химия. Биология. География. 2006. № 1. С. 92–97.

Клебанович Н. В., Василюк Г. В. Известкование почв Беларуси. Минск: БГУ, 2003. 322 с.

Клімат // Карелия: энциклопедия; в 3 т. / Гл. ред. А. Ф. Титов. Т. 2: К–П. Петрозаводск: ПетроПресс, 2009. С. 62–63.

Клімат // Беларуская энцыклапедыя. Т. 18, ч. 2: Беларусь. Мн.: Беларуская энцыклапедыя, 2004. С. 43.

Коновалов В. В., Махрова Т. Г., Романовский М. Г. Ивантеевские культуры карельской березы // Вестн. МГУЛ. Лесной вестник. 2016. № 1. С. 129–139.

Коллекция *in vitro* клонов редких растений семейства Betulaceae. URL: <http://www.ckp-rf.ru/usu/465691> (дата обращения: 12.01.2021).

Коропачинский И. Ю., Встовская Т. Н., Томошевич М. А. Очередные задачи интродукции древесных растений в Азиатской России // Сиб. экол. журнал. 2011. № 2. С. 147–170.

Лагин П. И., Калуцкий К. К., Калуцкая О. Н. Интродукция лесных пород. М.: Лесн. пром-ть, 1979. 224 с.

Лаур Н. В. Единый генетико-селекционный комплекс: учебное пособие. Петрозаводск: ПетрГУ, 2011. 130 с.

Лесосеменное районирование основных лесообразующих пород в СССР. М.: Лесн. пром-ть, 1982. 368 с.

Литвак П. В., Евдокимов А. П. Опыт культур карельской березы в условиях Украинского Полесья // Изв. вузов. Лесн. журн. 1977. № 5. С. 149–151.

Лукина Н. В., Орлова М. А., Бахмет О. Н., Тихонова Е. В., Тебенькова Д. Н., Казакова А. И., Крышень А. М., Горнов А. В., Смирнов В. Э., Шашков М. П., Ершов В. В., Князева С. В. Влияние растительности на характеристики лесных почв Республики Карелия // Почвоведение. 2019. № 7. С. 827–842. doi: 10.1134/S0032180X19050071

Любавская А. Я. Селекция и разведение карельской березы. М.: Лесн. пром-ть, 1966. 124 с.

Любавская А. Я. Итоги интродукции карельской березы в Московской области // Лесная генетика, селекция и семеноводство. Петрозаводск: Карелия, 1970. С. 301–310.

Любавская А. Я. Карельская береза. М.: Лесн. пром-ть, 1978. 158 с.

Махнев А. К. Интродукция карельской березы на Среднем Урале // Интродукция и акклиматизация декоративных растений. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1982. С. 30–35.

Назарова Л. Е. Многолетние изменения температуры воздуха в Карелии // География и природные ресурсы. 2008. № 3. С. 75–79.

Назарова Л. Е. Атмосферные осадки в Карелии // Труды КарНЦ РАН. 2015. № 9. С. 114–120. doi: 10.17076/lim56

Назарова Л. Е. Изменчивость климата водосбора Онежского озера // VI Семеновские чтения: наследие П. П. Семенова-Тянь-Шанского и современная наука: Матер. междунар. науч. конф. 2017. С. 90–91.

Некрасов В. И. Актуальные вопросы развития теории акклиматизации растений. М.: Наука, 1980. 102 с.

Особо охраняемые природные территории Республики Карелия / Сост. В. А. Ягодкина. Петрозаводск, 2017. 432 с.

Побирушко В. Ф. Распространение и изменчивость березы карельской в Беларуси // Ботаника. Минск: Навука і тэхніка, 1992. Вып. 31. С. 31–39.

Погиба С. П., Казанцева Е. В. Онтогенез карельской березы в культурах Московской области // Вестн. МГУЛ. Лесной вестник. 2006. № 5(47). С. 75–81.

Почва // Карелия: энциклопедия; в 3 т. / Гл. ред. А. Ф. Титов. Т. 2: К–П. Петрозаводск: ПетроПресс, 2009. С. 415.

Савельев О. А. Автовегетативное размножение ценных форм карельской березы: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. СПб., 1992. 19 с.

Сидор А. И., Ковалевич А. И., Луферова Н. С. и др. Карелка: Что имеем... // Лесное и охотничье хозяйство. 2016. № 11. С. 18–23.

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

Урусов В. М., Варченко Л. И. К оптимальным микроклонатам и их растительным маркерам в Приморье // Вестник КрасГАУ. 2015. № 6. С. 35–40.

Урусов В. М., Майоров И. С., Чипизубова М. Н. Оценка сходства климата как основа успеха интродукции // Вестник ТГЭУ. 2010. № 1. С. 108–121.

Федорец Н. Г., Бахмет О. Н., Солодовников А. Н., Морозов А. К. Почвы Карелии: геохимический атлас. М.: Наука, 2008. 47 с.

Фогилев А. В. Защитные пластмассовые трубки для семян // Лесное хозяйство за рубежом: Экспресс-информация, ЦБНТИ Гослесхоза СССР. 1986. Вып. 18. С. 4–6.

Царев А. П., Погиба С. П., Тренин В. В. Селекция и репродукция лесных древесных пород: Учебник. М.: Логос, 2001. 520 с.

Шапкин О. П., Казанцева Е. В. Вегетативное размножение форм карельской березы с декоративной текстурой древесины // Строение, свойства и качество древесины – 96: Тез. докл. междунар. симпозиума. М.: МГУЛ, 1996. С. 36.

Щурова М. Л. Состояние насаждений карельской березы в Республике Карелия // Структурные и функциональные отклонения от нормального роста и развития растений под воздействием факто-

ров среды: Матер. междунар. конф. (Петрозаводск, 20–24 июня 2011). Петрозаводск, 2011. С. 306–309.

Emanuelsson J. The natural distribution and variation of curly birch (*Betula pendula* Roth var. *carelica* (Merkl.) Sok.): Examensarbete i ämnet skogsskötsel. Umeå, Institutionen för skogsskötsel sveriges lantbruksuniversitet, 1999. 54 p.

Filatov N., Baklagin V., Efremova T., Nazarova L., Palshin N. Climate change impacts on the watersheds of lakes Onego and Ladoga from remote sensing and in situ data // Inland Waters. 2019. Vol. 9, no. 2. P. 130–141. doi: 10.1080/20442041.2018.1533355

Hagqvist R., Mikkola A. Visakoivun kasvatus ja käyttö. Metsäkustannus Oy, 2008. 168 s.

Kosonen M., Leikola M., Hagqvist R., Mikkola A., Väilitalo H. Visakoivu Curly Birch. Metsälehti Kustannus, 2004. 208 p.

Mayr H. Fremdländische wald- und parkbäume für Europa. Berlin, 1906. 622 p.

Martinsson O. Odling av masurbjörk – en outvecklade nisch för svenskt skogsbruk // Fakta Skog. 1995. No. 11. 4 s.

Ryynänen L., Ryynänen M. Propagation of adult curly birch succeeds with tissue culture // Silva Fenn. 1986. Vol. 20, no. 2. P. 139–147.

Saarnio R. Viljeltyjen visakoivikoiden laatu ja kehitys Etelä-Suomessa // Folia Forestalia. 1976. No. 263. P. 3–28.

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

Teusan A. Auf der Suche nach fichtengerechten Verbißschutzverfahren mit chemischen Mitteln // Forstpflanz.-Forstsam. 1983. Vol. 23, no. 3. P. 53–55.

Поступила в редакцию 20.01.2021

References

Atlas Karel'skoi ASSR [Atlas of the Karelian ASSR]. Moscow: GUGK, 1989. P. 14–15.

Bagaev S. S. Sozdanie lesnykh plantatsii i kul'tur berezy v zone deyatel'nosti Tsentral'no-Evropeiskoi LOS VNIILM [Creation of forest plantations and birch culture in the area of the activity of the Central-European forest experiment station of the Russian Research Institute for Silviculture and Mechanization of Forestry]. *Innovatsii i tekhnol. v lesnom khozyaistve: Tezisy dokl. V mezhdunar. nauch.-praktich. konf. (SPb., 31 maya – 2 iyunya 2016 g.)* [Innovations and technologies in the forest management: Abs. V int. sci.-pract. conf. (St. Petersburg, May 31 – June 2, 2016)]. St. Petersburg: SPbNIIKKh, 2016. P. 29.

Baiburina R. K. Mikroklonal'noe razmnozhenie vzroslykh gibridov berezy karel'skoi v kul'ture tkanei [Microclonal propagation of adult hybrids of the curly birch in tissue culture]. *Rastitel'nye resursy* [Plant Resources]. 1998. Vol. 34, no. 2. P. 9–22.

Burak F. F., Uss E. A., Luferov O. M. Dinamika lesnoi rastitel'nosti Respubliki Belarus' v razreze osnovnykh lesoobrazuyushchikh porod [Dynamics of forest vegetation in the Republic of Belarus in the context of the main forest-forming species]. *Aktual'nye probl. lesnogo*

kompleksa [Topical Iss. of the Timber Complex]. 2007. No. 17. P. 36–38.

Drozdov I. I. Introduktsiya tsennogo lesoobrazovatelya [Introduction of a valuable forest-forming species]. *Lesnoi vestnik* [Forestry Bull.]. 1998. No. 3. P. 99–103.

Egorov A. A. Primenenie sovremennykh metodov ekologo-geograficheskogo analiza v introduktsii rastenii [Application of modern methods of ecological-geographical analysis in plant introduction]. *Lesnaya Rossiya: politika, promyshlennost', nauka, obrazovanie: Mater. IV nauch.-tekhn. konf.* [Forests of Russia: politics, industry, science, and education: Proceed. IV sci. tech. conf.]. St. Petersburg: SPbPU, 2019. P. 395–397.

Ermakov V. I. Itogi issledovaniya po vnutrividovoi i mezhdovoi gibridizatsii berezy karel'skoi [Results of the research on intraspecific and interspecific hybridization of the Karelian birch]. *Voprosy lesovedeniya i lesovodstva v Karelii* [Issues of forestry and forestry in Karelia]. Petrozavodsk: Karel'sk. fil. AN SSSR, 1975. P. 178–194.

Ermakov V. I. Mekhanizmy adaptatsii berezy k usloviyam Severa [Mechanisms of birch adaptation to the conditions of the North]. Leningrad: Nauka, 1986. 144 p.

Ermakov V. I. Zakonomernosti nasledovaniya uzorchatoi tekstury drevesiny v gibridnom potomstve berezy

karel'skoi [Patterns of veined wood inheritance in hybrid offspring of the Karelian birch]. *Selektsiya i lesnoe semenovodstvo v Karelii* [Selection and forest seed production in Karelia]. Petrozavodsk: Karel'sk. fil. AN SSSR, 1979. P. 4–20.

Evdokimov A. P. Biologiya i kul'tura karel'skoi berezy [Biology and culture of the Karelian birch]. Leningrad: LGU, 1989. 228 p.

Evdokimov A. P. Ekologo-biologicheskie svoistva i obosnovanie metodov vyrashchivaniya karel'skoi berezy [Ecological and biological properties and substantiation of methods for growing the curly birch]: Summary of PhD (Cand. of Agr.) thesis. Leningrad, 1978. 20 p.

Ezhev L. Kh., Kudratov G. D. Metodika otsenki rezul'tatov introduktsii drevesnykh rastenii (na primere Yuzhnogo Uzbekistana) [Methodology for assessment of the results of woody plants introduction (on the example of Southern Uzbekistan)]. *Probl. botaniki Yuzhnoi Sibiri i Mongolii* [Probl. of botany of Southern Siberia and Mongolia]. 2020. Vol. 19, no. 1. P. 218–222. doi: 10.14258/pbssm.2020043

Fedorets N. G., Bakhmet O. N., Solodovnikov A. N., Morozov A. K. Pochvy Karelii: geokhimicheskii atlas [Soils in Karelia: a geochemical atlas]. Moscow: Nauka, 2008. 47 p.

Fogilev A. V. Zashchitnye plastmassovye trubki dlya seyantsev [Protective plastic tubes for seedlings]. *Lesnoe khozyaistvo za rubezhom: Ekspres-informatsiya, TsBNTI Gosleskhoza SSSR* [Forestry abroad: Express information, Central Bank Sci. and Tech. Information Center of the USSR State Forestry Administration]. 1986. Iss. 18. P. 4–6.

Klebanovich N. V. Geografiya kislotnosti pakhotnykh pochv Belarusi [Geography of arable soils acidity in Belarus]. *Vestnik BGU. Ser. 2. Khim. Biol. Geografiya* [BSU Bull. Ser. 2. Chem. Biol. Geography]. 2006. No. 1. P. 92–97.

Klebanovich N. V., Vasilyuk G. V. Izvestkovanie pochv Belarusi [Liming of soils in Belarus]. Minsk: BGU, 2003. 322 p.

Klimat [Climate]. *Kareliya: entsiklopediya; v 3 t.* [Karelia: Encyclopedia; in 3 vol.]. Ed. A. F. Titov. Vol. 2: K–P. Petrozavodsk: PetroPress, 2009. P. 62–63.

Klimat [Climate]. *Belaruskaya entsyklopedyya* [Belarusian encyclopedia]. Vol. 18, pt. 2: Belarus'. Minsk: Belaruskaya entsyklopedyya, 2004. P. 43. (In Belarusian)

Kollektsiya in vitro klonov redkikh rastenii semeistva Betulaceae [In vitro collection of rare plants clones of the *Betulaceae* family]. URL: <http://www.ckp-rf.ru/usu/465691> (accessed: 12.01.2021).

Konovalov V. V., Makhrova T. G., Romanovskii M. G. Ivanteevskie kul'tury karel'skoi berezy [Ivanteevsky cultures of the Karelian birch]. *Vestn. MGUL. Lesnoi vestnik* [Forestry Bull.]. 2016. No. 1. P. 129–139.

Koropachinskii I. Yu., Vstovskaya T. N., Tomoshevich M. A. Ocherednye zadachi introduktsii drevesnykh rastenii v Aziatskoi Rossii [Immediate problems in the introduction of woody plants in the Asian part of Russia]. *Sib. ekol. zhurn.* [Contemporary Probl. Ecol.]. 2011. No. 2. P. 147–170.

Lapin P. I., Kalutskii K. K., Kalutskaya O. N. Introduktsiya lesnykh porod [Introduction of forest species]. Moscow: Lesn. prom-t', 1979. 224 p.

Laur N. V. Edinyi genetiko-selektsionnyi kompleks: uchebnoe posobie [Unified genetic and breeding complex: a textbook]. Petrozavodsk: PetrGU, 2011. 130 p.

Lesosemennoe raionirovanie osnovnykh lesobrazuyushchikh porod v SSSR [Forest seed zoning of the main forest-forming species in the USSR]. Moscow: Lesn. prom-t', 1982. 368 p.

Litvak P. V., Evdokimov A. P. Opyt kul'tur karel'skoi berezy v usloviyakh Ukrainiskogo Poles'ya [Experience of the curly birch crops in the conditions of the Ukrainian Polesye]. *Izv. vuzov. Lesn. zhurn.* [Russ. Forestry J.]. 1977. No. 5. P. 149–151.

Lukina N. V., Orlova M. A., Bakhmet O. N., Tikhonova E. V., Teben'kova D. N., Kazakova A. I., Kryshen' A. M., Gornov A. V., Smirnov V. E., Shashkov M. P., Ershov V. V., Knyazeva S. V. Vliyaniye rastitel'nosti na kharakteristiki lesnykh pochv Respubliki Kareliya [The influence of vegetation on the forest soil properties in the Republic of Karelia]. *Pochvovedenie* [Soil Sci.]. 2019. No. 7. P. 827–842. doi: 10.1134/S0032180X19050071

Lyubavskaya A. Ya. Itogi introduktsii karel'skoi berezy v Moskovskoi oblasti [Results of the Karelian birch introduction in the Moscow Region]. *Lesnaya genetika, selektsiya i semenovodstvo* [Forest genetics, selection, and seed production]. Petrozavodsk: Kareliya, 1970. P. 301–310.

Lyubavskaya A. Ya. Karel'skaya bereza [Karelian birch]. Moscow: Lesn. prom-t', 1978. 158 p.

Lyubavskaya A. Ya. Selektsiya i razvedeniye karel'skoi berezy [Selection and breeding of the Karelian birch]. Moscow: Lesn. prom-t', 1966. 124 p.

Makhnev A. K. Introduktsiya karel'skoi berezy na Srednem Urale [Introduction of the Karelian birch in the Middle Urals]. *Introduktsiya i akklimatizatsiya dekorativnykh rastenii* [Introduction and acclimatization of ornamental plants]. Sverdlovsk: UNTs AN SSSR, 1982. P. 30–35.

Nazarova L. E. Atmosfernye osadki v Karelii [Precipitation in Karelia]. *Trudy KarNTs RAN* [Trans. KarRC RAS]. 2015. No. 9. P. 114–120. doi: 10.17076/lim56

Nazarova L. E. Izmenchivost' klimata vodosbora Oнежskogo ozera [Climate variability of the Lake Onega catchment]. *VI Semenovskie chteniya: nasledie P. P. Semanova-Tyan-Shanskogo i sovr. nauka: Mat. mezhdunar. nauch. konf.* [VI Semyonov readings: the heritage of P. P. Semenov-Tyan-Shansky and modern science: Proceed. int. sci. conf.]. 2017. P. 90–91.

Nazarova L. E. Mnogoletnie izmeneniya temperatury vozdukh v Karelii [Long-term changes in air temperature in Karelia]. *Geografiya i prirodnye resursy* [Geography and Nat. Resources]. 2008. No. 3. P. 75–79.

Nekrasov V. I. Aktual'nye voprosy razvitiya teorii akklimatizatsii rastenii [Topical issues of the development of the plant acclimatization theory]. Moscow: Nauka, 1980. 102 p.

Osobo okhranyaemye prirodnye territorii Respubliki Kareliya [Specially protected natural areas of the Republic of Karelia]. Ed. V. A. Yagodkina. Petrozavodsk, 2017. 432 p.

Pobirushko V. F. Rasprostraneniye i izmenchivost' berezy karel'skoi v Belarusi [Distribution and variability

ty of the Karelian birch in Belarus]. *Botanika* [Botany]. Minsk: Navuka i tekhnika, 1992. Iss. 31. P. 31–39.

Pochva [Soil]. *Kareliya: entsiklopediya*; v 3 t. [Karelia: the encyclopedia; in 3 vol.]. Ed. A. F. Titov. Vol. 2: K–P. Petrozavodsk: PetroPress, 2009. P. 415.

Pogiba S. P., Kazantseva E. V. Ontogenez karel'skoi berezy v kul'turakh Moskovskoi oblasti [Ontogeny of the Karelian birch in the cultures of the Moscow Region]. *Vestn. MGUL. Lesnoi vestnik* [Forestry Bull.]. 2006. No. 5(47). P. 75–81.

Savel'ev O. A. Avtovegetativnoe razmnzhenie tsennykh form karel'skoi berezy [Autovegetative reproduction of valuable forms of the Karelian birch]: Summary of PhD (Cand. of Agr.) thesis. St. Petersburg, 1992. 19 p.

Shapkin O. P., Kazantseva E. V. Vegetativnoe razmnzhenie form karel'skoi berezy s dekorativnoi teksturoi drevesiny [Vegetative propagation of the Karelian birch forms with decorative wood texture]. *Stroenie, svoistva i kachestvo drevesiny – 96: Tez. dokl. mezhdunar. simp.* [Structure, properties, and quality of wood – 96: Proceed. int. symp.]. Moscow: MGUL, 1996. P. 36.

Shchurova M. L. Sostoyanie nasazhdenii karel'skoi berezy v Respublike Kareliya [State of the Karelian birch plantations in the Republic of Karelia]. *Strukturnye i funktsional'nye otkloneniya ot normal'nogo rosta i razvitiya rastenii pod vozdeistviem faktorov sredy: Mat. mezhdunar. konf. (Petrozavodsk, 20–24 iyunya 2011)* [Structural and functional deviations from the normal growth and development of plants under the influence of environmental factors: Proceed. int. conf. (Petrozavodsk, June 20–24, 2011)]. Petrozavodsk, 2011. P. 306–309.

Sidor A. I., Kovalevich A. I., Luferova N. S. et al. Karelka: Chto imeem... [Karelka: What we have...]. *Lesnoe i okhotnich'e khozyaistvo* [Forestry and Hunting]. 2016. No. 11. P. 18–23.

Sokolov N. O. Karel'skaya bereza [Karelian birch]. Petrozavodsk: Gos. izd-vo Karelo-Finskoi SSR, 1950. 116 p.

Tsarev A. P., Pogiba S. P., Trenin V. V. Seleksiya i reproduksiya lesnykh drevesnykh porod: Uchebnik [Selection and reproduction of forest tree species: A textbook]. Moscow: Logos, 2001. 520 p.

Urusov V. M., Maiorov I. S., Chipizubova M. N. Otsenka skhodstva klimata kak osnova uspekha introduktsii [Assessment of climate similarity as the basis for successful introduction]. *Vestnik TGEU* [Proceed. PSEU]. 2010. No. 1. P. 108–121.

Urusov V. M., Varchenko L. I. K optimal'nym mikro-klimatam i ikh rastitel'nym markeram v Primor'e [To optimal microclimates and their plant markers in Primorye]. *Vestnik KrasGAU* [Bull. KrasSAU]. 2015. No. 6. P. 35–40.

Vetchinnikova L. V. Karel'skaya bereza i drugie redkie predstaviteli roda *Betula* L. [Karelian birch and other rare representatives of the genus *Betula* L.]. Ed. A. F. Titov. Moscow: Nauka, 2005. 269 p.

Vetchinnikova L. V., Titov A. F. Karel'skaya bereza – unikal'nyi biologicheskii ob'ekt [Karelian birch, a unique biological object]. *Uspekhi sovr. biol.* [Advances in Current Biol.]. 2019. Vol. 139, no. 5. P. 412–433. doi: 10.1134/S0042132419050107

Vetchinnikova L. V., Titov A. F. Karel'skaya bereza: vazhneishie rezul'taty i perspektivy issledovaniya [Curly

birch: major research results and prospects for future research]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2021. 243 p.

Vetchinnikova L. V., Titov A. F. Karel'skaya bereza v zakaznikakh Respubliki Kareliya: istoriya, sovremennoe sostoyanie i problemy [Karelian birch in sanctuaries in the Republic of Karelia: history, current state, and problems]. *Bot. zhurn.* [Bot. J.]. 2018a. Vol. 103, no. 2. P. 256–265. doi: 10.1134/S0006813618020096

Vetchinnikova L. V., Titov A. F., Kuznetsova T. Yu. Karel'skaya bereza: biologicheskie osobennosti, dinamika resursov i vosproizvodstvo [Curly birch: biological characteristics, resource dynamics, and reproduction]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2013. 312 p.

Vetchinnikova L. V., Titov A. F. O granitsakh areala karel'skoi berezy [On the boundaries of the Karelian birch range]. *Izv. vuzov. Lesn. zhurn.* [Russ. Forestry J.]. 2020b. No. 6. P. 9–21.

Vetchinnikova L. V., Titov A. F. Osobennosti struktury populyatsii karel'skoi berezy [Specific characteristics of curly birch population structure]. *Uspekhi sovr. biol.* [Advances in Current Biol.]. 2020b. No. 6. P. 601–615. doi: 10.31857/S0042132420050087

Vetchinnikova L. V., Titov A. F. Rol' osobo okhranyaemykh prirodnykh territorii v sokhraneniya genofonda karel'skoi berezy [The role of protected areas in the conservation of the curly birch gene pool]. *Trudy KarNTs RAN* [Trans. KarRC RAS]. 2018b. No. 10. P. 3–10. doi: 10.17076/eco912

Vetchinnikova L. V., Titov A. F. Sovremennoe sostoyanie resursov *Betula pendula* var. *carelica* (Betulaceae) [Current status of *Betula pendula* var. *carelica* (Betulaceae) resources]. *Rastitel'nye resursy* [Plant Resources]. 2020a. Vol. 56, no. 1. P. 16–33. doi: 10.31857/S0033994620010082

Zelenina E. A., Mashkina O. S. Tsitogeneticheskaya kharakteristika kolleksii klonov karel'skoi berezy (*Betula pendula* Roth var. *carelica* Merkl.) v dlitel'noi kul'ture *in vitro* [Cytogenetic characteristics of the collection of clones of the Karelian birch (*Betula pendula* Roth var. *carelica* Merkl.) in long-term *in vitro* culture]. *Faktori eksperimental'noi evolyutsii organizmiv* [Factors of experimental evolution of organisms]. 2013. Vol. 12. P. 232–235.

Zhigunov A. V. Primenenie biotekhnologii v lesnom khozyaistve Rossii [Application of biotechnology in forestry in Russia]. *Izv. vuzov. Lesn. zhurn.* [Russ. Forestry J.]. 2013. No. 2. P. 27–35.

Emanuelsson J. The natural distribution and variation of curly birch (*Betula pendula* Roth var. *carelica* (Merkl.) Sok.): Degree project in the subject forest management. Umeå, Institutionen för skogsskötsel sveriges lantbruksuniversitet, 1999. 54 p.

Filatov N., Baklagin V., Efremova T., Nazarova L., Palshin N. Climate change impacts on the watersheds of lakes Onego and Ladoga from remote sensing and in situ data. *Inland Waters*. 2019. Vol. 9, no. 2. P. 130–141. doi: 10.1080/20442041.2018.1533355

Hagqvist R., Mikkola A. Visakoivun kasvatus ja käyttö [Cultivation and use of the curly birch]. Metsäkustannus Oy, 2008. 168 p. (In Finnish)

Kosonen M., Leikola M., Hagqvist R., Mikkola A., Väilitalo H. Visakoivu Curly Birch. Metsälehti Kustannus, 2004. 208 p. (In Finnish)

Mayr H. Fremdländische wald- und parkbäume für Europa [Foreign forest and park trees for Europe]. Berlin, 1906. 622 p. (In German)

Martinsson O. Odling av masurbjörk – en outvecklad nisch för svenskt skogsbruk [Cultivation of the curly birch – an undeveloped niche for Swedish forestry]. *Fakta Skog*. 1995. No. 11. 4 p. (In Swedish)

Ryynänen L., Ryynänen M. Propagation of adult curly birch succeeds with tissue culture. *Silva Fenn*. 1986. Vol. 20, no. 2. P. 139–147.

Saarnio R. Viljeltyjen visakoivikoiden laatu ja kehitys Etelä-Suomessa [Quality and development of the cultivated birch stands in southern Finland]. *Folia Forestalia*. 1976. No. 263. P. 3–28. (In Finnish)

Saarnio R. Visakoivu – vuoden puu [Curly birch – the tree of the year]. *Dendrologian seuran tiedotuksia*. 1980. Vol. 11, no. 1. P. 4–14. (In Finnish)

Teusan A. Auf der Suche nach fichtengerechten Verbißschutzverfahren mit chemischen Mitteln [In search of methods of protection against bites using chemical agents that are harmless to spruce]. *Forstpflanz.-Forstsam*. 1983. Vol. 23, no. 3. P. 53–55. (In German)

Received January 20, 2021

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Ветчинникова Лидия Васильевна

главный научный сотрудник лаб. лесных биотехнологий, д. б. н.
Институт леса КарНЦ РАН,
Федеральный исследовательский центр
«Карельский научный центр РАН»
ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия,
Россия, 185910
эл. почта: vetchin@krc.karelia.ru
тел.: (8142) 768160

Титов Александр Федорович

главный научный сотрудник, чл.-корр. РАН, д. б. н., проф.
Отдел комплексных научных исследований КарНЦ РАН
руководитель лаб. экологической физиологии растений
Институт биологии КарНЦ РАН,
Федеральный исследовательский центр
«Карельский научный центр РАН»
ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия,
Россия, 185910
эл. почта: titov@krc.karelia.ru

CONTRIBUTORS:

Vetchinnikova, Lidia

Forest Research Institute, Karelian Research Centre,
Russian Academy of Sciences
11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia
e-mail: vetchin@krc.karelia.ru
tel.: (8142) 768160

Titov, Alexander

Department for Multidisciplinary Scientific Research,
Karelian Research Centre, Russian Academy of Sciences
Institute of Biology, Karelian Research Centre,
Russian Academy of Sciences
11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia
e-mail: titov@krc.karelia.ru