



## **Опыт первичной акклиматизации посадочного материала *in vitro* *Betula pendula var. Dalecarlica* в условиях г. Архангельска**

**Алина А. Крайнова** ✉, [alinakrajnova@yandex.ru](mailto:alinakrajnova@yandex.ru),  <https://orcid.org/0000-0003-1974-634X>

**Александр М. Антонов**, [a.antonov@narfu.ru](mailto:a.antonov@narfu.ru)  <https://orcid.org/0000-0002-7076-233X>

**Ольга П. Лебедева**, [o.lebedeva@narfu.ru](mailto:o.lebedeva@narfu.ru)  <https://orcid.org/0000-0002-5282-4904>

ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова», Набережная  
Северной Двины, 17, г. Архангельск, 163002, Российская Федерация

### **Аннотация**

Статья освещает опыт адаптации к природным условиям северного региона посадочного материала *Betula pendula var. Dalecarlica*, который был получен лабораторным микроразмножением и транспортирован к месту проведения эксперимента. Береза далекарлийская известна своими декоративными свойствами и устойчивостью к среде произрастания, поэтому имеет высокий потенциал для использования в озеленении северных городов. Растения, культивированные методом *in vitro*, обеспечивают генетическую однородность и высокое качество посадочного материала. Для минимизации стресса после перевозки и подготовки саженцев к естественным условиям все растения на некоторое время помещались в микроклимат гидропонной установки. Затем для проведения акклиматизации, посадочный материал разделили по условиям произрастания на три равные части: часть осталась в гидропонике, остальные были перенесены в теплицу и открытый грунт. Во всех условиях опыта использовался одинаковый субстрат. В течение 40 дней проводился мониторинг таких основных морфометрических параметров роста и развития растений, как высота стволика, количество листьев и количество междоузлий. Наибольшие показатели отмечались у растений, которые пребывали в условиях гидропонной установки. Другие среды акклиматизации сыграли дополнительным стрессовым фактором для растений. Проведенные исследования продемонстрировали, что оптимальные условия адаптации способствуют более эффективному развитию растений. Результаты данного опыта могут быть полезны для улучшения практик по приспособлению посадочного материала к *ex-vitro* условиям регионов с суровым климатом с целью повышения биоразнообразия и эффективности культивирования растений, а также для разработки методик по улучшению выживаемости и развития культур, полученных *in vitro*.

**Ключевые слова:** посадочный материал *in vitro*, транспортировка, адаптация *ex-vitro*, *Betula pendula var. Dalecarlica*.

**Финансирование:** данное исследование не получало внешнего финансирования.

**Благодарности:** авторы благодарят рецензентов за вклад в экспертную оценку статьи.

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Для цитирования:** Крайнова, А. А. Опыт первичной акклиматизации посадочного материала *in vitro* *Betula pendula var. Dalecarlica* в условиях г. Архангельска / А. А. Крайнова, А. М. Антонов, О. П. Лебедева // Лесотехнический журнал. – 2025. – Т. 15. – № 2 (58). – С. 47-63. – Библиогр.: с. 59-62 (21 назв.). – DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2025.2/4>

*Поступила* 05. 02.2025. *Пересмотрена* 07.03. 2025. *Принята* 26.05.2025. *Опубликована онлайн*  
26.06.2025.

*Article*

## **Experience of primary acclimatization of planting material *in vitro* *Betula pendula* var. *Dalecarlica* in the conditions of Arkhangelsk**

**Alina A. Krainova** ✉, alinakrajnova@yandex.ru,  <https://orcid.org/0000-0003-1974-634X>

**Aleksander M. Antonov**, a.antonov@narfu.ru  <https://orcid.org/0000-0002-7076-233X>

**Olga P. Lebedeva**, o.lebedeva@narfu.ru  <https://orcid.org/0000-0002-5282-4904>

*Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 17, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation*

### **Abstract**

The article covers the experience of adaptation to natural conditions of the northern region of planting material *Betula pendula* var. *Dalecarlica*, which was obtained by laboratory micropropagation and transported to the place of the experiment. *Dalecarlica* birch is known for its decorative properties and resistance to the growing environment, so it has a high potential for use in landscaping northern cities. Plants cultivated *in vitro* provide genetic homogeneity and high quality of planting material. To minimize stress after transportation and preparation of seedlings for natural conditions, all plants were placed in the microclimate of a hydroponic installation for some time. Then, for acclimatization, the planting material was divided into three equal parts according to growing conditions: some remained in hydroponics, the rest were transferred to a greenhouse and open ground. The same substrate was used in all experimental conditions. For 40 days, monitoring of such basic morphometric parameters of plant growth and development as stem height, number of leaves and number of internodes was carried out. The highest indicators were observed in seedlings that were kept in hydroponic conditions. Other acclimatization environments played an additional stress factor for plants. The conducted studies demonstrated that optimal adaptation conditions contribute to more effective plant development. The results of this experiment can be useful for improving practices for adapting planting material to *ex-vitro* conditions of regions with a harsh climate in order to increase biodiversity and efficiency of plant cultivation, as well as for developing methods for improving the survival and development of cultures obtained *in vitro*.

**Keywords:** *planting material in vitro, transportation, adaptation, Dalecarlica birch, introduced species.*

**Funding:** this research received no external funding.

**Acknowledgments:** authors thank the reviewers for their contribution to the peer review.

**Conflict of interest:** the authors declare no conflict of interests.

**For citation:** Krainova A. A., Antonov A. M., Lebedeva O. P. (2025). Experience of primary acclimatization of planting material *in vitro* *Betula pendula* var. *Dalecarlica* in the conditions of Arkhangelsk. Forestry Engineering journal, Vol. 15, No. 2 (58), pp. 47-63 (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2025.2/4>.

*Received* 05. 02.2025. *Revised* 07.03. 2025. *Accepted* 26.05. 2025. *Published online* 26.06.2025.

### **Введение**

Использование новых видов растений для озеленения городской среды является неотъемлемой частью развития ее инфраструктуры и обуславливается проблемами деградации экосистемы города, снижением устойчивости зелёных насаждений и последствиями изменяющегося климата. Чрезмерная застройка приводит к утрате экосистем, однотипность растений делает их уязвимыми к болезням, а изменения климата требуют новых и устойчивых видов.

Повышение разнообразия посадочного материала может осуществляться за счет использования видов, способных произрастать в малоблагоприятных условиях города. К таким условиям относятся загрязнённый воздух, характеризующийся высоким уровнем токсичных веществ, низкая освещённость, наблюдающаяся в условиях плотной застройки, а также бедный питательными веществами состав почвы. Выбор видов, адаптированных к этим факторам, способствует созданию более устойчивой городской экосистемы. Использование растений *in vitro* для данных целей позволит получать такие виды и может стать ключом к развитию и улучшению качества зеленой инфраструктуры.

*Betula pendula var. Dalecarlica* или береза далекарлийская является разновидностью березы повислой и отличается перисто-рассеченной формой листа, благодаря которой представляет собой ценный вид для декоративного озеленения [1].

Феногенетическая изменчивость листьев является не только особенностью березы далекарлийской, но и играет важную роль в приспособлении к среде обитания. Рассеченные листовые пластинки в меньшей степени испытывают механическое повреждение от ветра, уменьшают площадь листа, облегчают теплообмен, снижают транспирацию, что способствует сохранению водного гомеостаза и адаптации к экологическому стрессу [2, 3].

Кроме того, данное дерево отличается высокой устойчивостью к загрязнению атмосферы, способно адаптироваться к низким температурам и неприхотливо к почвам [1, 4-7], что делает данный вид пригодным для интеграции в городскую среду.

Берёза далекарлийская уже прижилась в таких регионах с малоблагоприятным климатом, как

Мурманская область, Карелия и северные районы Ленинградской области. В этих местах её используют для озеленения городских парков, скверов и улиц, что помогает создать зелёные пространства для отдыха. Например, в Петрозаводске и Мурманске берёзу высаживают в общественных зонах, где она не только украшает ландшафт, но и служит экосистемной опорой, способствуя улучшению городской экологии. Кроме того, её активно используют в частных садоводствах и придомовых территориях, где холодостойкость и неприхотливость растения позволяют успешно адаптироваться к суровому климату.

Березу далекарлийскую чаще всего размножают вегетативно, преимущественно прививкой, однако это может привести к появлению потомства с цельными листьями из-за рецессивного характера признака [8, 9]. Поэтому традиционные методы размножения не обеспечивают необходимую генетическую однородность и жизнеспособность растений для качественного озеленения в отличие от клонального микроразмножения, которое позволяет полностью сохранить ценные характеристики исходного дерева. Это подтверждают и исследования по микроразмножению березы далекарлийской [10-12].

Кроме того, гены, играющие роль в регуляции развития и усложнения структуры листа, являются эволюционно древними и консервативными [13]. Состояние генов может стабильно наследоваться в клеточных поколениях и неограниченно долго сохраняться при вегетативном размножении [14]. Причем, индуцированное условиями культивирования *in vitro* эпигенетическое молчание достаточно стабильно и долговременно передается по клеточным поколениям в процессе клонального микроразмножения и наблюдается на протяжении 16-19 лет такого культивирования, а также сохраняется после высадки микрорастений в условия *ex vitro* [8]. Кроме того, в зависимости от используемого метода размножения, количество поколений, необходимых для закрепления признака рассеченности листа, варьируется: при традиционных методах требуется 3-5 поколений, в то время как *in vitro* позволяет достичь желаемых признаков значительно быстрее – за 1-2 поколения. [11, 15, 16].

Таким образом, предложенный подход к использованию растений *in vitro* для озеленения городской среды имеет множество преимуществ. Во-первых, такие растения обладают высокой генетической однородностью и предсказуемостью, что позволяет создавать единообразные зеленые пространства. Во-вторых, выращивание *in vitro* позволяет избежать многих болезней и вредителей, снижая потребность в пестицидах и способствуя улучшению городской экологии. Кроме того, метод клеточной культуры обеспечивает быстрое размножение редких или инрайонированных видов, что увеличивает биоразнообразие и способствует восстановлению экосистем. Растения, полученные таким образом, можно адаптировать к специфическим климатическим условиям, что повышает шансы на их успешное укоренение и рост. Также использование растений *in vitro* содействует созданию устойчивых городских экосистем, улучшая качество среды и создавая комфортные пространства для его жителей.

Ключевой сложностью при работе с растениями *in vitro* является процесс их адаптации к естественным условиям. Адаптация считается лимитирующим этапом клонального микроразмножения, результаты которого зависят от состояния укорененных растений и используемого способа адаптации. Важные аспекты включают изучение реакции растений на изменение температуры, уровня влажности и светового режима, а также определение условий, способствующих успешному укоренению и росту, и скорости их адаптации к новым условиям [10-12].

Архангельск, расположенный в устье реки и близости Белого моря, отличается климатом, который обеспечивает мягкие зимы и умеренные летние температуры, создавая благоприятные условия для интродукции лиственных древесных пород. В городе наблюдаются небольшие колебания дневных и ночных температур, высокая влажность, а также достаточное количество осадков в размере 600-700 мм в год, что способствует увлажнению почвы. Вегетационный период длится около 140 дней, что оптимально для фотосинтеза и развития растений, а амплитуда температур варьируется от -30 °С зимой до +30 °С летом, что тоже позволяет местным видам адаптироваться. Особенно важен микроклимат, формируемый «городскими островами тепла», которые

смягчают зимние холода. Роза ветров отличается от пригородной, наличие высоких строений формирует особый микроклимат, что способствует созданию комфортных условий для акклиматизации, а высокая влажность воздуха улучшает укоренение растений [17]. Все эти климатические и микроклиматические факторы совместно создают оптимальные условия для успешной акклиматизации берёзы далекарлийской и других лиственных деревьев в г. Архангельске.

Важно отметить, что в климатических условиях г. Архангельска нет известных исследований по интродукции растений *in vitro*, в связи с чем имеется много открытых вопросов на данную тему, включая их адаптацию к малоблагоприятным условиям климата, долгосрочность выживаемости, а также влияние климатических факторов, таких как низкие температуры и высокая влажность. Требуется изучения и вопрос патологической устойчивости, влияние состава почвы на рост и доступность питательных веществ, взаимодействие с микробиотой почвы и социально-экономические аспекты целесообразности внедрения таких растений в ландшафтные проекты. Устранение этих пробелов может открыть новые перспективы для озеленения г. Архангельска.

Целью настоящих исследований является подбор оптимальных условий акклиматизации посадочного *in vitro* материала *Betula pendula var. Dalecarlica* в условиях г. Архангельска. Задачами работы явилось выявить наиболее эффективную методику предварительной адаптации саженцев, полученных методом *in vitro* с целью повышения их устойчивости к факторам среды произрастания, а также провести мониторинг показателей роста и развития акклиматизируемых растений в зависимости от используемых условий адаптации.

### **Объекты и методы исследования**

Объектом исследования являются *ex-vitro* растения березы далекарлийской, полученные методом клонального микроразмножения и транспортированные к месту проведения эксперимента.

Адаптация растений к нестерильным условиям была произведена лабораторией-производителем. Транспортировка саженцев из лаборатории была осуществлена по истечению двухмесячного срока выращивания. Перевозился посадочный материал в кассетах по 84 ячейки в субстрате. В совокупности транспортировка заняла около 5 дней.

После прибытия большая часть растений выглядела жизнеспособными и имела удовлетворительный вид (рис.1), однако у 35% растений листья имели сильные признаки дехромации, часть листьев засохла, при этом растения имели зеленую надземную часть и крепкие корни. Доля полностью погибших растений на данном этапе составила 12%. Вероятно, все эти дефекты могли возникнуть в результате воздействия недостатка освещения и воды при транспортировке.



Рисунок 1. Вид растений *in vitro*

Figure 1. Plant species *in vitro*

Источник: Собственная композиция авторов

Source: authors' composition

Начальная адаптация заключалась в восстановлении тургора зеленой массы и выявлении отпада растений [18].

После транспортировки растения были помещены на 7 суток в условия гидропонной установки. Гидропоника позволяет экономить пространство и при этом создавать контролируемые параметры микроклимата, в которых особенно нуждаются растения *in vitro*, что формирует предпосылки для успешной акклиматизации растений и является преимуществом данной технологии по сравнению с традиционными методами.

Визуальная оценка состояния растений имеет важное значение для понимания их здоровья и роста, и она часто коррелирует с биологическими параметрами, такими как потеря тургора и повреждение корневой системы. Например, уменьшение тургора может проявляться в виде увядания или потери жесткости листьев, что служит индикатором недостаточной влаги или повреждений корней. Поврежденная корневая система может также ограничивать способности растений к поглощению воды и питательных веществ, что визуально проявляется в медленном росте или изменении окраски листьев. Таким образом, оценка как визуальных признаков, так и биологических параметров позволяет дополнительно оценить состояние растений и выявить возможные проблемы.

Были подобраны следующие условия микроклимата в гидропонике: 16-часовой фотопериод, искусственное освещение, соответствующее 4500 лк, влажность – 62%, температура – 26-28 °С, полив методом подтопления. Специализированные препараты и гормональные стимуляторы не использовались. Вода для полива имела кислотность, близкую к нейтральной (рН = 7,1).

Через неделю производилась пересадка растений в больший объем, в пластиковые контейнеры по 0,5 л, без заглубления корневой шейки, что позволяет корневой системе развиваться в достаточно ограниченном пространстве, обеспечивая при этом

необходимое место для роста корней и поглощения питательных веществ.

В качестве субстрата использовали торф (Агробалт, рН = 5,5) с добавлением перлита и вермикулита в соотношении 7:2:1, что обусловлено необходимостью создания оптимальных условий для аэрации корней и удержания влаги. Такое соотношение способствует хорошему дренажу и предотвращает заболачивание, что особенно важно для здоровья растений.

При этом в нашей работе учитывался успешный опыт известных аналогичных исследований [19-21].

Через две недели эксперимента растения поместили в различные условия: теплица, открытый грунт и гидропоника (взято за эталон).

В условиях теплицы средняя температура среды в солнечный день составляла порядка 24-26°C, влажность – 76%, в пасмурный день – 19°C, влажность – 65%, интенсивность освещения – 4300 лк, полив осуществлялся два раза в неделю, дополнительно в течение дневного времени суток работало туманное орошение.

В открытом грунте средняя температура воздуха была около 20°C, влажность воздуха – 62% в пасмурный день; в солнечный день температура составляла в среднем 23°C, влажность – 48%, интенсивность освещения – 4600 лк, режим полива – осадки, при их отсутствии – полив два раза в неделю.

В условиях гидропонной установки средняя температура окружающей среды составляла около 25-28°C, влажность – 62%, интенсивность освещения – 4500 лк, полив был организован два раза в неделю методом подтопления.

Разница во влажности между условиями значительно влияет на развитие растений. Высокая влажность в теплице улучшает усвоение воды и питательных веществ, создавая благоприятные условия. Также она снижает испарение с листьев, что способствует более эффективной транспирации и фотосинтезу. В открытом грунте низкая влажность может замедлять развитие растений и служить стрессовым фактором.

Условия полива различаются между группами растений, что также может оказывать влияние

на их рост и развитие. Например, в открытом грунте растения зависят от естественных осадков, что делает их более уязвимыми к колебаниям климата и неравномерному распределению влаги, что может приводить к замедлению роста. В открытом грунте равномерность полива контролировалась с помощью регулярного наблюдения за состоянием почвы у растений. В теплицах с туманным орошением обеспечивалась равномерная подача влаги, что способствовало оптимальному развитию корневой системы. В гидропонике применялось подтопление, которое гарантировало быстрое и контролируемое снабжение влагой, что могло ускорить рост растений, но требовало контроля во избежание переувлажнения и дефицита кислорода для корней. Следовательно, каждый метод полива мог отразиться на развитии растений.

Температура также имела ключевую роль. В солнечные дни температура активизировала фотосинтез, но увеличивала испарение. В теплицах, где температура контролируется, растения лучше адаптируются. В пасмурные дни температура была ниже, что замедляло обмен веществ, но теплица обеспечивала стабильные условия для активного роста. Поэтому теплица создавала более комфортную среду для растений по сравнению с открытым грунтом.

Показатели температуры и влажности имеют ключевое значение для роста и развития растений, поскольку влияют на физиологические процессы растений. Оптимальный температурный режим способствует активному обмену веществ и повышению активности ферментов, что, в свою очередь, ускоряет рост и развитие растений. Слишком низкие или слишком высокие температуры могут замедлить рост, привести к стрессу и повреждениям. Влажность создает условия для усвоения питательных веществ и воды, а ее нехватка влаги приводит к увяданию и снижению роста. Поэтому создание оптимальной температуры и влажности является основой для успешной акклиматизации растений.

Помимо температуры и влажности были стандартизированы интенсивность освещения и идентичный для всех условий опыта субстрат, которые обеспечивали равные стартовые условия для всех групп, уменьшая вариации в результатах.

## Естественные науки и лес

После пересадки в индивидуальные контейнеры каждые 10 дней производились замеры высоты стволика, количества листьев и количества междоузлий. Эти параметры напрямую отражают рост и развитие растений, предоставляя простые и наглядные данные о процессе вегетации. Высота растения является индикатором его общего состояния и способности к фотосинтезу, тогда как количество междоузлий служит показателем темпов роста, так как частые междоузлия указывают на активное удлинение стебля. Количество листьев оказывает важное влияние на фотосинтетическую активность и, следовательно, на здоровье растения. Однако стоит учесть, что изучение, например, корневой системы могло бы дать дополнительное представление о влиянии

методов выращивания, но это мы не могли сделать ввиду вероятности полной утраты растений после манипуляций с корневой системой.

### Результаты и обсуждение

Собранные данные оценивались на основе статистического анализа, критерия Стьюдента и анализа корреляции средних параметров растений.

Данные учёта возможных выбросов, то есть растения с выраженными повреждениями в общей обработке данных не участвовали.

В таблице 1 представлена характеристика прироста растений на 30 и 40 день после их пересадки.

Таблица 1

Статистический анализ прироста через 30 и 40 дней

Table 1

Statistical analysis of growth after 30 and 40 days

Место эксперимента / параметр   Experiment location /parameter	Max	Min	$M \pm m$ , см   cm	$\sigma$ , см   cm	C, %	Доверительный интервал   Confidence interval
30-й день   The 30 <sup>th</sup> day						
Высота, см   Height, cm						
Открытый грунт   Open ground	22,0	7,0	14,0±0,7	4,1	29%	11,6-16,4
Теплица   Greenhouse	25,0	11,5	17,3±0,8	4,5	26%	14,6-19,9
Гидропоника   Hydroponics	35,0	10,5	24,5±1,3	7,4	30%	20,1-28,9
Количество листьев, шт.   Number of leaves, pcs.						
Открытый грунт   Open ground	12,0	7,0	11,5±0,6	3,6	31%	9,4-13,6
Теплица   Greenhouse	14,0	8,0	11,7±0,3	1,8	15%	10,7-12,8
Гидропоника   Hydroponics	32,0	10,0	20,5±1,1	6,3	31%	16,8-24,3
Количество междоузлий, шт.   Number of internodes, pcs.						
Открытый грунт   Open ground	21,0	2,0	10,9±1,0	5,7	52%	7,5-14,3
Теплица   Greenhouse	22,0	10,0	14,4±0,6	3,2	22%	12,5-16,2
Гидропоника   Hydroponics	32,0	8,0	18,6±1,3	7,4	40%	14,3-23,0
40-й день   The 40 <sup>th</sup> day						
Высота, см   Height, cm						
Открытый грунт   Open ground	22,5	7,5	14,4±0,8	4,3	30%	11,8-16,9
Теплица   Greenhouse	26,0	12,5	18,3±0,8	4,7	26%	15,5-21,1
Гидропоника   Hydroponics	41,0	10,0	28,5±1,6	9,3	32%	23,1-34,0
Количество листьев, шт.   Number of leaves, pcs.						
Открытый грунт   Open ground	20,0	6,0	11,2±0,8	4,4	40%	8,6-13,8
Теплица   Greenhouse	15,0	9,0	12,3±0,3	1,7	14%	11,2-13,3
Гидропоника   Hydroponics	28,0	10,0	17,7±1,0	5,8	33%	14,3-21,2

## Естественные науки и лес

Количество междоузлий, шт.   Number of internodes, pcs.							
Открытый грунт   Open ground	23,0	7,0	13,4±0,8	4,3	32%	10,8-15,9	
Теплица   Greenhouse	24,0	13,0	16,5±0,6	3,4	20%	14,5-18,5	
Гидропоника   Hydroponics	38,0	9,0	25,7±1,4	7,9	31%	21,1-30,4	

Примечание: М – среднее значение параметра, m – стандартная ошибка параметра;  $\sigma$ , см – среднеквадратичное отклонение по выборке; C, % – коэффициент вариации. | Note: M is the mean value of the parameter, m is the standard error of the parameter;  $\sigma$ , cm is the standard deviation of the sample; C, % is the variation coefficient.

Источник: собственные вычисления авторов

Source: authors' own calculations

Данные (табл.1) показали, что наибольших параметров по сравнению с растениями из других условий эксперимента, достигли саженцы, пребывавшие в условиях гидропоники. Растения в теплице имели промежуточные результаты, а самые минимальные – были у сеянцев в открытом грунте.

Показатели прироста варьировались в пределах 20-40% на 40-е сутки, а в первый учет максимальный коэффициент вариации наблюдался по количеству междоузлий в условиях открытого грунта. Наибольшее количество листьев отмечалось у растений в гидропонной установке, соответственно, где и количество междоузлий тоже было максимальным.

Условия открытого грунта, а именно влияние погодных условий, явились дополнительным фактором стресса и как следствием замедленного роста и развития посадочного материала. В открытом грунте значения параметров сильно варьировались по всем измеряемым параметрам, но сохранялась зависимость высоты растений от количества междоузлий.

В теплице растения имели средние показатели роста, что могло быть связано с некоторым контролем влажности и температуры, создающими более благоприятную среду по сравнению с открытым грунтом. Условия теплицы смягчали влияние внешних факторов, что способствовало лучшей акклиматизации растений.

Для березы повислой первого года согласно «ОСТ 56-98-93. Отраслевой стандарт. Сеянцы и саженцы основных древесных и кустарниковых пород. Технические условия» стандартными для средней подзоны тайги европейской части России считаются саженцы, имеющие высоту стволика не менее 20 см. В нашем случае только посадочный материал в условиях гидропоники по истечению одного месяца выращивания соответствовал ОСТу (табл. 1).

Для наглядности распределение растений по крупности в различных условиях проводимого эксперимента представлено на рис.2.

## Естественные науки и лес

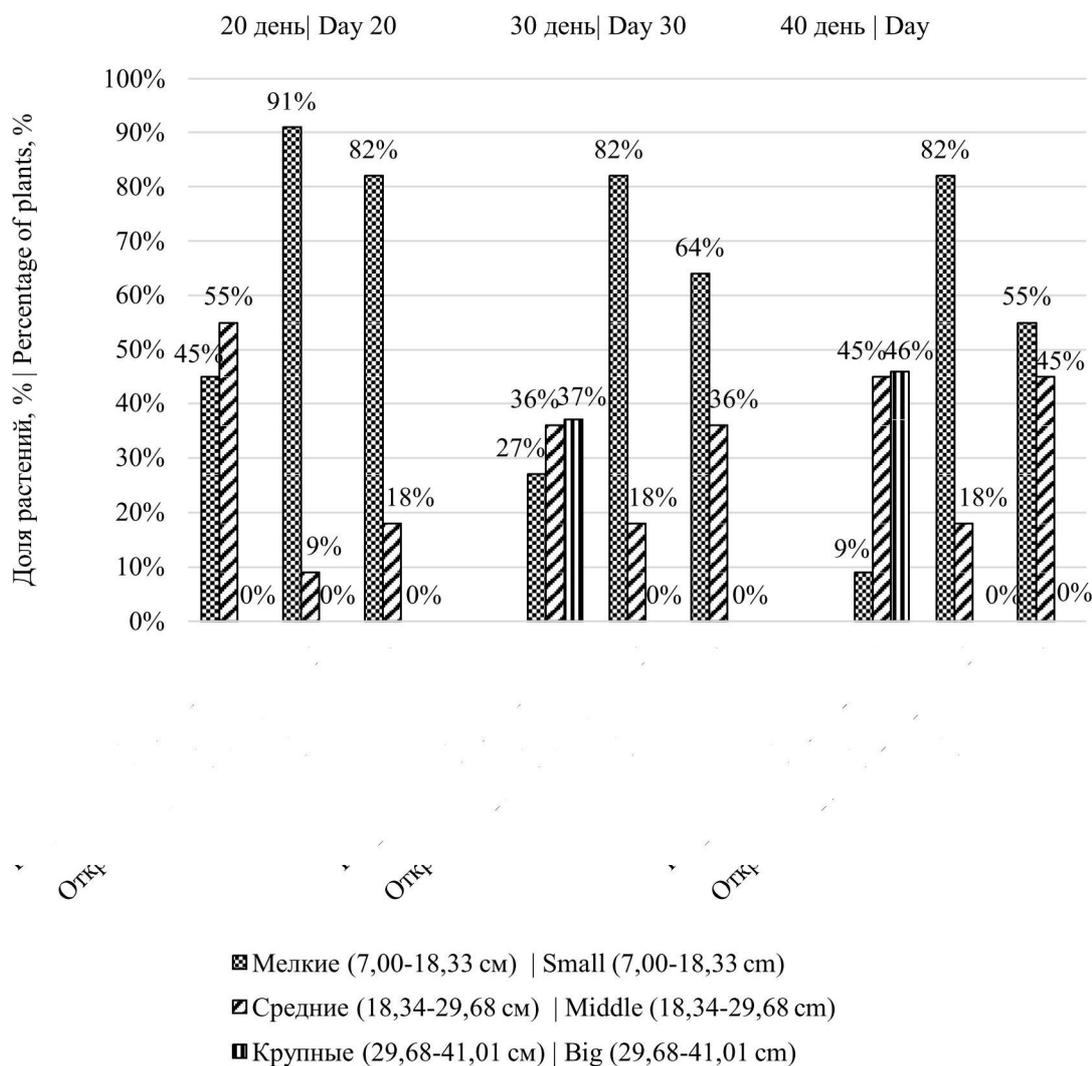


Рисунок 2. Распределение растений по крупности

Figure 2. Distribution of plants by size

Источник: собственная композиция авторов

Source: authors' composition

В ходе исследования у гидропонных растений изначально не было отмечено категории «крупных», при этом преобладали «средние» растения (55%) и достаточно большая доля «мелких» (45%). Однако на 30-й день после пересадки доля «крупных» растений в гидропонике возросла до 37% от общего числа, в то время как остальное составили «средние» растения.

В условиях теплицы на протяжении всего эксперимента наблюдались только «мелкие» растения,

чья доля колебалась от 82% до 55%, и «средние» экземпляры составляли от 18% до 45%.

В открытом грунте также отмечалось значительное преобладание «мелких» растений (91-82%), в то время как «средние» занимали лишь оставшуюся долю. Возможные причины таких данных могут заключаться в различных условиях уровня освещения, температуры, влажности, а также режима полива.

С учетом того, что распределение исходных данных имеет нормальный характер, достоверность

## Естественные науки и лес

отличий средних величин морфологических параметров посадочного материала на 30-й и 40-й день опыта в зависимости от условий выращивания оценивалась по критерию Стьюдента (табл. 2). При

этом критическое значение при доверительной вероятности 0,05 было принято равным 2,201.

Таблица 2

Расчетные значения коэффициента Стьюдента на 30-й и 40-й день

Table 2

Calculated values of the Student coefficient on the 30th and 40th day

Сравнимые средние параметры растения   Comparable average plant parameters	Средние параметры растений   Average plant parameters	Расчетные значения коэффициента Стьюдента ( $t_{кр} = 2,201$ )   Calculated values of the Student coefficient ( $t_{cr} = 2,201$ )	
		30 день   Day 30	40 день   Day 40
		Гидропоника и открытый грунт   Hydroponics and open ground	Высота   Height
Количество междоузлий   Number of internodes	<b>2,75</b>		<b>4,56</b>
Количество листьев   Number of leaves	<b>4,15</b>		<b>2,97</b>
Гидропоника и теплица   Hydroponics and greenhouse	Высота   Height	<b>2,76</b>	<b>3,28</b>
	Количество междоузлий   Number of internodes	1,76	<b>3,55</b>
	Количество листьев   Number of leaves	<b>4,45</b>	<b>2,97</b>
Открытый грунт и теплица   Open ground and greenhouse	Высота   Height	1,79	2,03
	Количество междоузлий   Number of internodes	1,76	1,92
	Количество листьев   Number of leaves	0,23	0,76

Примечание:  $t_{расч.}$  – расчетное значение критерия Стьюдента.

| Note:  $t_{calc.}$  – calculated value of the Student's criterion.

Источник: собственные вычисления авторов

Source: authors' own calculations

На 30-й и 40-й день наблюдений растения, выращенные в гидропонике, демонстрировали значительные отличия по всем показателям по сравнению с растениями в открытом грунте. Также были выявлены заметные различия между средними показателями растений в гидропонике и растениями,

пребывавшими в теплице. В то же время, при сравнении растений открытого грунта и теплицы, статистически значимых различий обнаружено не было. Такие результаты могут быть обусловлены особенностями условий гидропонике по обеспечению и поддержанию постоянных условий для роста,

## Естественные науки и лес

например, оптимальный уровень влаги и освещенности, чего нет в открытом грунте и в теплице.

На рис. 3 представлен внешний вид растений, выращенных в различных условиях, что позволяет провести их визуальный сравнительный анализ

и отметить заметные отличия цвета и текстуры листьев.



Рисунок 3. Внешний вид растений: 1 – открытый грунт, 2 – теплица, 3 – гидропоника  
Figure 3. Appearance of plants: 1 – open ground, 2 – greenhouse, 3 – hydroponics

Источник: собственная композиция авторов

Source: authors' composition

В открытом грунте растения выглядят меньше всего по сравнению с другими условиями пребывания: имеют в целом небольшие размеры и скудное количество листьев неравномерного оттенка с присутствием светлых или желтоватых пятен, что может быть следствием воздействия внешних факторов, таких как постоянные изменения температуры, влажности, а также воздействия прямых солнечных лучей.

У растений, размещенных в теплице, наблюдалось заметно больше зеленой массы: растения выглядели крупнее и имели больше листьев, чем в

грунте, однако их окраска была не равномерна и имела бурые пятна.

В гидропонике растения представляли собой самую крупную группу, с обильной зеленой массой. Листья таких растений имели однотонный темно-зеленый окрас, без пятен и были в разы крупнее, чем у аналогичных экземпляров из других условий опыта, что вероятно связано с оптимизированным доступом к стабильным и благоприятным факторам среды.

## Естественные науки и лес

Таким образом, наглядно видно, как каждый метод выращивания повлиял на внешний вид растений и их общие характеристики.

Корреляционный анализ показателей роста и развития растений, представленный в таблице 3, показал, что на 30-й день эксперимента существует

значимая зависимость между высотой растений и количеством междоузлий в условиях грунта и теплицы, с коэффициентом корреляции 0,64. При этом также спустя месяц в теплице была установлена корреляция между высотой растения и количеством листьев, равная 0,52.

Таблица 3

Корреляционная связь параметров на 30-й и 40-й день

Table 3

Correlation of parameters on the 30th and 40th day

Место эксперимента / Значение коэффициента корреляции   Experiment location / Correlation Coefficient Value	Высота и количество листьев   Height and number of leaves	Количество листьев и количество междоузлий   Number of leaves and number of internodes	Высота и количество междоузлий   Height and number of internodes
<b>30-й день   the 30<sup>th</sup> day</b>			
Гидропоника   Hydroponics	0,34	0,25	0,36
Открытый грунт   Open ground	0,35	0,10	<b>0,64</b>
Теплица   Greenhouse	<b>0,52</b>	0,10	<b>0,64</b>
<b>40-й день   the 40<sup>th</sup> day</b>			
Гидропоника   Hydroponics		0,12	<b>0,66</b>
Открытый грунт   Open ground	0,17	-0,13	<b>0,79</b>
Теплица   Greenhouse	<b>0,65</b>	-0,13	<b>0,79</b>

Источник: собственные вычисления авторов. | Source: authors' own calculations.

На 40-й день исследования зависимость между высотой и количеством междоузлий сохранялась во всех экспериментальных условиях.

При этом наблюдалось также увеличение корреляции между высотой растения и количеством листьев в теплице, которое составило 0,65.

Такие результаты могут быть объяснены тем, что увеличение высоты растений обычно сопровождается увеличением числа междоузлий и листьев,

### **Заключение**

Результаты исследования по адаптации березы далекарлийской в различных условиях выращивания: открытом грунте, теплице и гидропонике, показали значительные отличия в развитии растений. Исследование проводилось на основе основных морфометрических параметров растений, таких как высота, количество листьев и количество междоузлий. При этом наибольшую чувствительность к

что позволяет сделать вывод о благоприятных условиях создаваемого микроклимата для развития данных параметров.

В других условиях зависимости не наблюдались, что может свидетельствовать о том, что влияющие факторы были недостаточно благоприятными для роста растений.

условиям проявили высота растений и количество междоузлий.

В открытом грунте береза проявила устойчивость к естественным погодным условиям, однако имела самые наименьшие показатели: доля «мелких» растений составляла 82-91% (7-18 см) на протяжении всего исследования, «крупные» экземпляры отсутствовали. В данной среде рост березы

ограничивался факторами окружающей среды, такими как недостаток влаги и изменение температуры.

Теплица обеспечила более стабильные условия, что способствовало интенсивному росту и развитию растений благодаря контролю температуры и влажности. Здесь доля мелких растений составляла 55% к концу эксперимента (на начало опытов их было 82%), остальную часть (45%) составляли растения среднего размера (18,3-29,7 см).

Гидропоника, в свою очередь, оказалась наиболее эффективной средой для адаптации березы далекарлийской, полученной методом *in vitro*, обеспечивая оптимальные условия выращивания, что привело к наилучшим показателям роста: доля «мелких» экземпляров на конец опытов была 9%, а «крупные» растения составляли 46% (29,7-41 см).

Кроме того, гидропонные растения имели наибольшие отличия по остальным параметрам учета (количеству листьев и междоузлий) по сравнению с растениями в теплице и открытом грунте.

На основе полученных данных можно рекомендовать использование тепличных условий для выращивания березы в регионах с часто меняющимся климатом, а гидропонные системы – для получения максимальных показателей роста и ускорения развития. Эти рекомендации могут быть полезны как для специалистов, так и для любителей, желающих внедрить березу далекарлийскую в ландшафтном дизайне.

Важно отметить, что наше исследование проводилось на лимитированной выборке, что может ограничивать обобщаемость результатов для других видов растений.

### Список литературы

1. Крайнова А. А. Далеккарлийская береза как редкий и перспективный вид для озеленения северных территорий / А. А. Крайнова, А. М. Антонов // Леса России: политика, промышленность, наука, образование: материалы VIII Всероссийской научно-технической конференции 24-26 мая 2023 г. / Под. ред. А.А. Добровольского. – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2023. – С. 511-514. – Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?edn=sjpcpz&ysclid=m73ja8djaf466065255>.
2. Jinxiu Ke, Duo Chen, Yanping Guo. Designing leaf marginal shapes: Regulatory mechanisms of leaf serration or dissection: Biodiversity Science. 2018; 26(9): 988-997. DOI: <https://doi.org/10.17520/biods.2018127>.
3. Chitwood D.H., Sinha N.R. Evolutionary and environmental forces sculpting leaf development: Curr. Biol. 2016; 26(7): 297–306. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cub.2016.02.033>.
4. Калякина Р. Г. Влияние интенсивности движения автотранспорта на величину асимметрии листовой пластинки березы повислой / Р. Г. Калякина, А. С. Журавлев, А. А. Дмитриев // Актуальные проблемы лесного комплекса. – 2017. – № 47. – С. 110-113. – Режим доступа : <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-intensivnosti-dvizheniya-avtotransporta-na-velichinu-asimmetrii-listovoy-plastinki-berezy-povisloy?ysclid=m73nt82ddh910196931>.
5. Петункина Л.О. Береза повислая как индикатор качества городской среды / Л.О. Петункина, А.С. Сарсацкая // Вестник Кемеровского гос. ун-та. – 2015. – № 4-3(64). – С. 68-71. – Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=24986475&ysclid=m73o4z8hz0126229826>.
6. Пихтовникова Н. А. Влияние осадков на пылезадерживающую способность листьев кустарников / Н. А. Пихтовникова, И. И. Бурдина, Л. И. Аткина // Лесная наука в реализации концепции уральской инженерной школы: социально-экономические и экологические проблемы лесного сектора экономики: матер. XI Междунар. науч.-техн. конф. / М-во образования и науки РФ, Урал. гос. лесотехн. ун-т. – Екатеринбург, 2017. – С. 271–273. – Режим доступа : <https://elar.usfeu.ru/handle/123456789/6481>.
7. Беляева Ю.В. Распределение показателей количества пыли на листовых пластинках *Betula pendula* Roth., произрастающей в Г.О. Тольятти / Ю.В. Беляева // Известия Самарского науч. центра РАН. – 2015. – № 4-5. – С. 989-993. – Режим доступа : <https://cyberleninka.ru/article/n/raspredelenie-pokazateley-kolichestva-pyli-na-listovyh-plastinkah-betula-pendula-roth-proizrastayushey-v-g-o-tolyatti?ysclid=m73p3ue0x6865122487>.

8. Машкина О.С. Морфогенез рассеченного листа березы в культуре *in vitro* / О.С. Машкина, Т.М. Табацкая // Российский журнал биологии развития. – 2020. – Т. 51. – С. 397-409. – Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44096007>.
9. Vitamvas J., Kunes I., Viehmannova I., Linda R., Balas M. *Conservation of Betula oycoviensis, an endangered rare taxon, using vegetative propagation methods*. iForest. 2020; 13: 107–113. DOI: <https://doi.org/10.3832/ifer3243-013>.
10. Zhang L.-J., He J.-Y., Sun X.-M. *Tissue Culture and Plantlet Regeneration of Betula pendula Roth 'Dalecarlica'*. Forest Research. 2018; 31(4): 135–141. DOI: <https://link.cnki.net/doi/10.13275/j.cnki.lykxyj.2018.04.019>.
11. Кулагин Д.В., Константинов А.В., Кирьянов П.С., Карунос А.С. Некоторые аспекты воспроизводства редких и декоративных представителей рода *Betula in vitro* для получения посадочного материала // Сборник материалов II Международной научно-практической конференции «Биотехнология: достижения и перспективы развития» Пинск, Полесский ГУ, 7–8 декабря 2017 г. Пинск: Полесский ГУ, 2017. С. 24–26. – Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32443030&pf=1>.
12. Rathwell R., Shukla M.R., Jones M.P., Saxena P.K. *In vitro propagation of cherry birch (Betula lenta L.)*. Canadian Journal of Plant Science. 2016; 96: 571-578. DOI: <https://doi.org/10.1139/cjps-2015-0331>.
13. Лутова Л. А. Факторы в генетике развития и эволюции высших растений / Л. А. Лутова, И. Е. Додуева, М. А. Лебедева, В. Е. Творогова // Генетика. – 2015. – Т. 51 – № 5. – С. 449–466. – Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23299397&ysclid=m73qn8da2d971881507>.
14. Лебедева М. А., Эпигенетические механизмы и их роль в развитии растений / М. А. Лебедева, В. Е. Творогова, О. Н. Тиходеев // Генетика. – 2017. – Т. 53. – № 10. – С. 1057–1071. – Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=30075251>.
15. Емельянова О.Ю. Перспективы интродукции растений рода *Betula L.* в Орловской области / О.Ю. Емельянова, М.А. Макаркина, А.Н. Фирсов // Современное садоводство. – 2018. – №. 4 (28). – С. 61-69. – Режим доступа : <https://elibrary.ru/item.asp?id=36648605&ysclid=m73sp8ztbv981937973>.
16. Vikas K., Sandeep R., Manoj K. T., Deepak K. R. *Application of biotechnology in forestry: nature environment and pollution technology current status and future perspective*. An international quarterly scientific journal. 2015; 14(3): 1-10. ISSN: 0972-6268. URL: [http://www.neptjournal.com/upload-images/NL-53-29-\(27\)B-3197.pdf](http://www.neptjournal.com/upload-images/NL-53-29-(27)B-3197.pdf).
17. Зальвская О. С., Интродукция видов дендрофлоры в субарктических условиях: 06.03.01: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. – Архангельск, 2022. – 44 с. – URL: <https://narfu.ru/upload/iblock/5e5/avtoreferat.pdf>.
18. Крайнова А. А. Начальная адаптация посадочного материала *ex-vitro Betula Pendula var. Dalecarlica* после транспортировки // А. А. Крайнова, А. М. Антонов, О. П. Лебедева / Актуальные проблемы развития лесного комплекса: материалы XXII Международной научно-технической конференции (5 декабря 2024 г.). – Вологда: ВоГУ, 2024. – С. 10-12. – Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36264031&ysclid=m73ubnf9sx176305715>.
19. Машкина О.С. Технология долгосрочного хранения в культуре *in vitro* ценных генотипов березы и выращивание на ее основе посадочного материала / О.С. Машкина, Т.М. Табацкая, Н.И. Внукова // Биотехнология. – Воронеж, 2019. – Т. 34. – № 3. – С. 57-67. – Режим доступа : <https://elibrary.ru/item.asp?id=38304525>.
20. Лебедев В. Г. Эффективная технология массового получения посадочного материала различных видов березы на основе культуры *in vitro* / В. Г. Лебедев, А. Б. Азарова, М. С. Аркаев, С. А. Невский, К. А. Шестибратов // Биотехнология. – 2017. – Т. 33. – № 2. – С. 76-88. – Режим доступа : <https://elibrary.ru/item.asp?id=29143185>.
21. Способ ускоренного выращивания посадочного материала древесных растений семейства *Betulaceae* на основе клонирования *in vitro*: пат. 2756074 Российская Федерация, МПК 01Н 5/00 / Л. В. Ветчинникова, О. С. Серебрякова. – Заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр «Карельский научный центр Российской академии наук». – № 2020128604; заявл. 27.08.2020; опубл. 27.09.2021. – Бюл. № 27.

### **References**

1. Krainova A. A. Antonov A. M. *Dalekarijskaya bereza kak redkij i perspektivnyj vid dlya ozeleneniya severnyh territorij* [Dalecarlica birch as a rare and promising species for landscaping in northern territories]. Rossiyskiy zhurnal «Lesa Rossii: politika, promyshlennost', nauka, obrazovanie» = The Russian journal «Forests of Russia: politics, industry, science, education». 2023; 511-514. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44096007>.
2. Jinxiu Ke, Duo Chen, Yanping Guo. *Designing leaf marginal shapes: Regulatory mechanisms of leaf serration or dissection*: Biodiversity Science. 2018; 26(9): 988-997. DOI: <https://doi.org/10.17520/biods.2018127>.
3. Chitwood D.H., Sinha N.R. *Evolutionary and environmental forces sculpting leaf development*: Curr. Biol. 2016; 26(7): 297–306. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cub.2016.02.033>.
4. Kalyakina, R.G. Zhuravlev, A.S., Dmitriev, A.A. *Vliyanie intensivnosti dvizheniya avtotransporta na velichinu asimmetrii listovoy plastinki berezy povisloy*. [The influence of traffic intensity on the magnitude of leaf blade asymmetry of silver birch]. Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa = The Russian journal «Actual problems of the forest complex». 2017; 47: 110-113. (In Russ.). URL : <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-intensivnosti-dvizheniya-avtotransporta-na-velichinu-asimmetrii-listovoy-plastinki-berezy-povisloy?ysclid=m73nt82ddh910196931>.
5. Petunkina L.O. Sarsackaya A.S. *Bereza povislaya kak indikator kachestva gorodskoj sredy*. [Silver birch as an indicator of urban environment quality]. Vestnik Kemerovskogo gosudarstvennogo universiteta = The Russian journal «Bulletin of the Kemerovo State University». 2015; 4-3(64): 68-71. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=24986475&ysclid=m73o4z8hz0126229826>.
6. Pikhtovnikova N. A. Burdina I. I. Atkina L. I. *Vliyanie osadkov na pylezaderzhivayushchuyu sposobnost' list'ev kustarnikov*. [The influence of precipitation on the dust-holding capacity of shrub leaves]. Lesnaya nauka v realizacii koncepcii ural'skoj inzhenernoj shkoly: social'no-ekonomicheskie i ekologicheskie problemy lesnogo sektora ekonomiki : mater. XI Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf.= The Russian journal « Forest science in the implementation of the concept of the Ural engineering school: socio-economic and environmental problems of the forest sector of the economy: materials of the XI International Scientific and Technical Conference». 2017; 271–273. (In Russ.). URL: <https://elar.usfeu.ru/handle/123456789/6481>.
7. Belyaeva Yu.V. *Raspredelenie pokazatelej kolichestva pyli na listovyh plastinkah Betula pendula Roth., proizrastayushchej v G.O. Tol'yatti*. [Distribution of dust amount indicators on leaf blades of *Betula pendula* Roth., growing in the Tolyatti Urban District]. Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra RAN = The Russian journal «Bulletin of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences». 2015; 4-5: 989-993. (In Russ.). URL : <https://cyberleninka.ru/article/n/raspredelenie-pokazateley-kolichestva-pyli-na-listovyh-plastinkah-betula-pendula-roth-proizrastayushchey-v-g-o-tolyatti?ysclid=m73p3ue0x6865122487>.
8. Mashkina O.S. Tabatskaya T.M. *Morfogenez rassechennogo lista berezy v kul'ture in vitro*. [Morphogenesis of dissected birch leaf in vitro culture]. Rossijskiy zhurnal biologii razvitiya = The Russian journal «Russian Journal of Developmental Biology». 2020; 51: 397–409. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44096007>.
9. Vitamvas J., Kunes I., Viehmannova I., Linda R., Balas M. *Conservation of *Betula oycoviensis*, an endangered rare taxon, using vegetative propagation methods*. iForest. 2020; 13: 107–113. DOI: <https://doi.org/10.3832/ifer3243-013>.
10. Zhang L.-J., He J.-Y., Sun X.-M. *Tissue Culture and Plantlet Regeneration of *Betula pendula* Roth 'Dalecarlica'*. Forest Research. 2018; 31(4): 135–141. DOI: <https://link.cnki.net/doi/10.13275/j.cnki.lykxyj.2018.04.019>.
11. Kulagin D. V. Konstantinov A. V., Kir'yanov P. S., Karunos A. S. *Nekotorye aspekty vosproizvodstva redkih i dekorativnyh predstavitelej roda *Betula* in vitro dlya polucheniya posadochnogo materiala*. [Some aspects of reproduction of rare and decorative representatives of the genus *Betula* L. in vitro to obtain planting material]. Sbornik materialov II Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii «Biotekhnologiya: dostizheniya i perspektivy razvitiya = The Russian journal « Collection of materials of the II International Scientific and Practical Conference “Biotechnology: Achievements and Development Prospects”»]. 2017; 24-26. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32443030&pf=1>.

12. Rathwell R., Shukla M.R., Jones M.P., Saxena P.K. *In vitro propagation of cherry birch (Betula lenta L.)*. Canadian Journal of Plant Science. 2016; 96: 571-578. DOI: <https://doi.org/10.1139/cjps-2015-0331>.
13. Lutova L.A., Dodueva I.E., Lebedeva M.A., Tvorogova V. E. *Faktory v genetike razvitiya i evolyucii vysshih rastenij*. [Transcription factors in developmental genetics and the evolution of higher plants]. Rossijskij zhurnal "Genetika" = Russian journal «Genetics». 2015; 51(5): 449–466. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23299397&ysclid=m73qn8da2d971881507>.
14. Lebedeva M.A., Tvorogova V.E., Tikhodeyev O.N. *Epigeneticheskie mekhanizmy i ih rol' v razvitii rastenij* [Epigenetic mechanisms and their role in plant development]. Rossijskij zhurnal «Genetika» = Russian journal «Genetics». 2017. V. 53. № 10. P. 1057–1071. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=30075251>.
15. Emelyanova O. Yu., Makarkina M. A., Firsov A. N. *Perspektivy introdukcii rastenij roda Betula L. v Orlovskoj oblasti*. [Prospects for the introduction of plants of the genus Betula L. in the Oryol region]. Rossijskij zhurnal «Sovremennoe sadovodstvo» = Russian journal «Modern gardening». 2018; 4(28): 61-69. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36648605&ysclid=m73sp8ztbv981937973>.
16. Vikas K., Sandeep R., Manoj K. T., Deepak K.R. *Application of biotechnology in forestry: nature environment and pollution technology current status and future perspective*. An international quarterly scientific journal. 2015; 14(3): 1-10. ISSN: 0972-6268. URL: [http://www.neptjournal.com/upload-images/NL-53-29-\(27\)B-3197.pdf](http://www.neptjournal.com/upload-images/NL-53-29-(27)B-3197.pdf).
17. Zalyvskaya O. S. Introduction of dendroflora species in subarctic conditions: 06.03.01 : abstract of the dissertation for the degree of Doctor agricultural sciences. – Arkhangelsk, 2022. – 44 p. – URL: <https://narfu.ru/upload/iblock/5e5/avtoreferat.pdf>.
18. Krainova A.A., Antonov A.M., Lebedeva O. P. *Nachal'naya adaptaciya posadochnogo materiala ex-vitro Betula Pendula var. Dalecarlica posle transportirovki*. [Initial adaptation of ex-vitro planting material Betula Pendula var. Dalecarlica after transportation]. Rossijskij zhurnal «Aktual'nye problemy razvitiya lesnogo kompleksa: materialy XXII Mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii» = Russian journal «Actual problems of forest complex development: materials of the XXII International scientific and technical conference». 2024; 10-12. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36264031&ysclid=m73ubnf9sx176305715>.
19. Mashkina O. S., Tabackaya T. M., Vnukova N. I. *Tekhnologiya dolgosrochnogo hraneniya v kul'ture in vitro cennyh genotipov berezy i vyrashchivanie na ee osnove posadochnogo materiala*. [Technology of long-term storage in vitro culture of valuable birch genotypes and cultivation of planting material on its basis]. Rossijskij zhurnal «Biotehnologiya» = Russian journal «Biotechnology». 2019; 34(3): 57-67. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=38304525>.
20. Lebedev V. G., Azarova A.B., Arkaev M. S., Nevskij S.A., Shestibratov K.A. *Effektivnaya texnologiya massovogo polucheniya posadochnogo materiala razlichnyx vidov berezy na osnove kul'tury in vitro*. [Efficient technology for mass production of planting material of various birch species based on in vitro culture]. Rossijskij zhurnal «Biotehnologiya» = Russian journal «Biotechnology». 2017; 33(2): 76-88. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29143185>.
21. Method for accelerated cultivation of planting material of woody plants of the Betulaceae family based on in vitro cloning: pat. 2756074 Russian Federation, MPK At 01H From 5/00 / L.V. Vetchinnikova, O.S. Serebryakova – applicant and patent holder Karelian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. – No. 2020128604 ; application 27.08.2020 ; publ. 27.09.2021, Issue No. 27.

### Сведения об авторах

✉ Крайнова Алина Алексеевна – аспирант кафедры ландшафтной архитектуры и искусственных лесов, ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова», Набережная Северной Двины, 17, г. Архангельск, 163002, Российская Федерация, e-mail: [alinakrajnova@yandex.ru](mailto:alinakrajnova@yandex.ru).

Антонов Александр Михайлович – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, заведующий кафедрой ландшафтной архитектуры и искусственных лесов, ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова», Набережная Северной Двины, 17, г. Архангельск, 163002, Российская Федерация, e-mail: [a.antonov@narfu.ru](mailto:a.antonov@narfu.ru).

## **Естественные науки и лес**

*Лебедева Ольга Петровна* – заведующий лабораторией клонального микроразмножения растений и экспериментальной гидропоники, ассистент кафедры ландшафтной архитектуры и искусственных лесов, ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова», Набережная Северной Двины, 17, г. Архангельск, 163002, Российская Федерация, e-mail: o.lebedeva@narfu.ru.

### **Information about the authors**

✉ *Alina A. Krainova* – postgraduate student of the Department of Landscape Architecture and Artificial Forests, Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 17, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation, e-mail: alinakrajnova@yandex.ru.

*Alexander M. Antonov* – candidate of agricultural sciences, associate professor, head of the Department of Landscape Architecture and Artificial Forests, Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 17, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation, e-mail: a.antonov@narfu.ru.

*Olga P. Lebedeva* – head of the Laboratory of Clonal Micropropagation of Plants and Experimental Hydroponics, assistant of the Department of Landscape Architecture and Artificial Forests, Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 17, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation, e-mail: o.lebedeva@narfu.ru.

✉ - Для контактов/Corresponding