

Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии имени В.П. Филиппова. 2022. № 4(69). С. 109–116.

Vestnik of Buryat State Academy of Agriculture named after V. Philipov. 2022;4(69):109–116.

Научная статья

УДК 630\*232

doi: 10.34655/bgsha.2022.69.4.014

## ОСОБЕННОСТИ КЛОНАЛЬНОГО МИКРОРАЗМНОЖЕНИЯ БЕРЕЗЫ КАРЕЛЬСКОЙ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПИТАТЕЛЬНОЙ СРЕДЫ И РОСТОРРЕГУЛИРУЮЩИХ ВЕЩЕСТВ

С.С. Макаров<sup>1</sup>, Е.С. Багаев<sup>1</sup>, А.И. Чудецкий<sup>1</sup>, И.Б. Кузнецова<sup>2</sup>, Ю.В. Александрова<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Центрально-европейская лесная опытная станция, филиал Всероссийского научно-исследовательского института лесоводства и механизации лесного хозяйства, Кострома, Россия

<sup>2</sup>Костромская государственная сельскохозяйственная академия, п. Караваяево, Костромской р-н, Костромская обл., Россия

<sup>3</sup>Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, Архангельск, Россия

Автор, ответственный за переписку: Сергей Сергеевич Макаров, [makarov\\_serg44@mail.ru](mailto:makarov_serg44@mail.ru)

**Аннотация.** В статье приведены результаты исследований по изучению влияния различных стерилизующих агентов на жизнеспособность эксплантов и влияние состава питательной среды и концентраций росторегулирующих веществ цитокининовой и ауксиновой групп на рост и развитие микрорастений березы карельской. Для сохранения генофонда и разведения трудно размножаемых хозяйственно ценных древесных пород целесообразно использовать метод микроклонального размножения. Необходимо совершенствование технологии микроклонального размножения форм березы карельской центрально-европейского происхождения. На этапе «введение в культуру *in vitro*» наибольшая жизнеспособность (82–88%) эксплантов березы карельской отмечена при стерилизации их растворами нитрата серебра 0,2% и препарата Лизоформин 3000 5% в течение 15 мин, сулемы 0,2% – в течение 10 мин. Наибольшие показатели суммарной длины микропобегов (3,1–16,3 см) и корней (1,6–3,9 см) березы карельской *in vitro* выявлены на питательной среде WPM. На этапе «собственно микроразмножение» суммарная длина микропобегов березы карельской увеличилась, в среднем, в 1,3 раза при повышении в питательной среде концентрации 6-БАП от 0,1 до 0,2 мг/л, в варианте с добавлением препарата Эпин-Экстра в концентрации 0,5 мг/л, в среднем, в 1,9 раза. На этапе «укоренение микропобегов» повышение концентрации ИМК и ИУК от 0,5 до 1,0 мл/л способствовало увеличению суммарной длины корней березы карельской *in vitro* в 1,3–1,5 раза. Максимальная суммарная длина корней (3,9 см) микрорастений березы карельской отмечена на питательной среде WPM с добавлением ИМК в концентрации 1,0 мл/л.

**Ключевые слова:** карельская береза, микроклональное размножение, побегообразование, корнеобразование, питательная среда, регуляторы роста, *in vitro*.

## PECULIARITIES OF CLONAL MICRO-PROPAGATION OF KARELIAN BIRCH (SILVER BIRCH) DEPENDING ON THE NUTRIENT MEDIUM AND GROWTH-REGULATING SUBSTANCES

Sergey S. Makarov<sup>1</sup>, Evgeniy S. Bagaev<sup>1</sup>, Anton I. Chudetsky<sup>1</sup>, Irina B. Kuznetsova<sup>2</sup>,  
Yulia V. Aleksandrova<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Central European Forest Experiment Station, Branch of All-Russian Research Institute of Silviculture and Mechanization of Forestry, Kostroma, Russia

<sup>2</sup>Kostroma State Agricultural Academy, Karavaevo village, Kostroma district, Kostroma region, Russia

<sup>3</sup>Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Arkhangelsk, Russia

Corresponding author: Sergey S. Makarov, makarov\_serg44@mail.ru

**Abstract.** *The article deals with the results of studies concerning the influence of various sterilizing agents on the viability of explants and the influence of the nutrient medium composition and the concentration of growth-regulating substances of the cytokinin and auxin groups on the growth and development of Karelian Birch microplants. For preservation of the gene pool and cultivation of economically valuable and difficult to propagate tree species, it is advisable to use a clonal micro-propagation method. It is necessary to improve the technology of the micro-propagation of forms of Karelian Birch of the Central European origin. The highest viability index (82–88%) of Karelian Birch explants was observed when explants were sterilized with solutions of silver nitrate 0.2% and Lysoformin 3000 5% for 15 min, sublimate 0.2% - for 10 minutes at the stage of "introduction into in vitro culture". The highest indicators of the total length of microshoots (3.1–16.3 cm) and roots (1.6–3.9 cm) of Karelian Birch in vitro were found with the WPM nutrient medium. The total length of Karelian Birch microshoots increased in an average of 1.3 times with the increase in the concentration of 6-BAP in the nutrient medium from 0.1 to 0.2 mg/l, in the option with the addition of Epin-Extra at a concentration of 0.5 mg/l – in an average of 1.9 times at the "proper micro-propagation" stage. The increase in concentration of IBA and IAA from 0.5 to 1.0 ml/l contributed to the increase of the total length of Karelian Birch roots in vitro by 1.3–1.5 times at the "rooting of microshoots" stage. The maximum total length of the roots (3.9 cm) of Karelian Birch microplants was marked with the WPM nutrient medium with the addition of IBA at a concentration of 1.0 ml/l.*

**Keywords:** Karelian Birch, clonal micro-propagation, shoot formation, root formation, nutrient medium, growth-regulating substances, *in vitro*.

**Введение.** Береза карельская – уникальный и исключительно ценный подвид березы белой, уникальный феномен в роде *Betula*. Она получила широкую известность благодаря удивительно красивому узорчатому рисунку древесины, ее мраморной текстуре с перламутровым блеском и янтарным оттенком. Являясь высокодекоративным отделочным материалом наряду с ценными тропическими породами, древесина березы карельской так же высоко ценится за ее прочность, устойчивость к гниению, долговечность. Объем заготовки ее учитывается в килограммах, при этом внешне деревья березы карельской часто имеют небольшую

высоту, кустообразную форму, характерные наросты и утолщения на стволе и ветвях. Кроме того, вопросы о причинах образования узорчатой древесины карельской березы, ее систематического положения и наследования характерного признака до сих пор до конца не изучены.

Впервые в Центральной России участки с естественным произрастанием березы карельской были обнаружены в лесах Костромской области в начале 1960-х гг. научным сотрудником Костромской лесной опытной станции ВНИИЛМ С.Н. Багаевым [1]. При участии костромских ученых были заложены лесные культуры березы карельской в Костромской, Ки-

ровской, Ярославской, Ивановской областях, в Республике Марий Эл и ряде других регионов России. В Костромской области впервые была сформирована лесосеменная база березы карельской. Ученые Костромской ЛОС обосновали необходимость сохранения и рационального использования карельской березы, разработали целевую программу ее воспроизводства для районов Центральной России [2], реализация которой будет способствовать сохранению, воспроизводству и рациональному использованию древесины узорчатой березы в различных отраслях производства от мебельного до изготовления сувениров.

Для сохранения генофонда и разведения трудно размножаемых ценных лесных пород целесообразно использовать возможности современной биотехнологии, в частности метода микроклонального размножения растений. Исследования по введению в культуру *in vitro* березы карельской проводились рядом российских ученых в различных регионах страны [3-11]. Однако требуется совершенствование технологии микроклонирования с применением различных современных стерилизующих агентов и росторегулирующих веществ, в том числе для форм центрально-европейского происхождения.

**Цель исследований** – изучить влияние стерилизующих агентов на жизнеспособность эксплантов березы карельской, а также состава питательной среды и концентраций росторегулирующих веществ цитокининовой и ауксиновой групп на процессы образования микропобегов и корней в культуре *in vitro*.

**Объекты и методы.** Исследования проводили в 2020–2021 гг. в лаборатории клонального микроразмножения растений на базе Центрально-европейской лесной опытной станции ВНИИЛМ по общепринятым методикам [12; 13]. В качестве объектов исследований использовали образцы клонов березы карельской (*Betula pendula* Roth var. *carelica*) костромского происхождения, отобранные на лесосеменной плантации в Костромском районе Костромской области.

На этапе введение в культуру *in vitro* для стерилизации выделенных эксплантов березы карельской использовали водные растворы сулемы (0,2%), перекиси водорода (30%), хлорной извести (1:1), нитрата серебра (0,2%), препаратов Экостерилизатор бесхлорный (5%) и Лизоформин 3000 (5%). Время стерилизации – 5, 10, 15 и 20 мин. Определяли жизнеспособность эксплантов как соотношение количества выживших к общему количеству вводимых в культуру. Растения-регенеранты культивировали на питательных средах Мурасиге-Скуга (MS) [14] и Woody Plant Medium (WPM) [15], в том числе с разбавлением минеральной основы в 2 раза, в условиях световой комнаты при фотопериоде 16 ч света и 8 ч темноты, поддержании температуры +25°C и влажности воздуха 75–80%. В качестве росторегулирующих веществ на этапе «собственно микроразмножение» использовали 6-бензиламинопурил в концентрациях 0,1 и 0,2 мг/л, а также добавку препарата Эпин-Экстра в концентрации 0,5 мл/л; на этапе «укоренение микропобегов» – индолилмасляную (ИМК) и индолилуксусную (ИУК) кислоты в концентрациях 0,5 и 1,0 мл/л. Учитывали количество, среднюю и суммарную длину микропобегов и корней в расчете на одно растение. Повторность опыта 10-кратная, по 15 пробирочных растений в каждой. Оценку достоверности опытов проводили с помощью наименьшей существенной разности на 5% уровне значимости ( $HCp_{05}$ ), где: фактор А – питательная среда; фактор В – концентрация росторегулирующего вещества. Для статистической обработки экспериментальных данных использовали программы Microsoft Office Excel 2016 и AGROS v.2.11.

**Результаты и обсуждение.** В ходе исследований выявлено, что на этапе введения в культуру *in vitro* эксплантов березы карельской наиболее эффективными основными стерилизаторами оказались нитрат серебра 0,2% и Лизоформин 3000 5% при времени стерилизации 15 мин, где жизнеспособность эксплантов достигала 82 и 88% соответственно. До-

статочно высокая жизнеспособность (86%) эксплантов березы карельской отмечена при использовании раствора сулемы 0,2% в течение 10 мин, однако при увеличении времени стерилизации до 15 и 20 мин она резко снижалась до 52 и 12%, что, по всей видимости, связано с фито-

токсичностью хлорида ртути. При времени стерилизации 5 мин процент жизнеспособных эксплантов при обработке исследуемыми стерилизующими агентами был низким и не превышал 10–22%, остальные экспланты погибали от инфекции (табл. 1).

**Таблица 1** – Жизнеспособность (%) эксплантов березы карельской в зависимости от стерилизующих агентов и времени стерилизации

| Стерилизующий агент           | Время стерилизации, мин |    |    |    |
|-------------------------------|-------------------------|----|----|----|
|                               | 5                       | 10 | 15 | 20 |
| Сулема 0,2%                   | 10                      | 84 | 52 | 12 |
| Перекись водорода 30%         | 16                      | 24 | 66 | 20 |
| Хлорная известь 1:1           | 18                      | 26 | 50 | 60 |
| AgNO <sub>3</sub> 0,2%        | 10                      | 62 | 88 | 52 |
| Экостерилизатор бесхлорный 5% | 22                      | 34 | 62 | 50 |
| Лизоформин 3000 5%            | 16                      | 44 | 82 | 44 |

На этапе «собственно микроразмножение» значимых различий по количеству побегов (в среднем, 2,3–3,0 шт.) у растений-регенерантов березы карельской в зависимости от состава питательной среды не выявлено. При повышении концентрации цитокинина 6-БАП от 0,1 до 0,2 мг/л количество побегов у растений-регенерантов увеличивалось в 1,9–2,5 раза.

Наибольшее количество корней (в среднем, 3,3 шт.) березы карельской формировалось при концентрации 6-БАП 0,2 мг/л и добавке препарата Эпин-Экстра в концентрации 0,5 мл/л, при этом на питательной среде WPM показатели были максимальными и достигали, в среднем, 4,3 шт. (табл. 2).

**Таблица 2** – Количество побегов (шт.) березы карельской в зависимости от состава питательной среды, концентрации цитокинина 6-БАП и добавки препарата Эпин-Экстра

| Питательная среда  | Концентрация 6-БАП        |          |                      |          | Среднее |
|--|---------------------------|----------|----------------------|----------|---------|
|  | без препарата Эпин-Экстра |          | Эпин-Экстра 0,5 мл/л |          |         |
|  | 0,1 мг/л                  | 0,2 мг/л | 0,1 мг/л             | 0,2 мг/л |         |
| MS   | 1,2                       | 1,4      | 2,3                  | 3,2      | 2,3     |
| MS 1/2   | 1,4                       | 1,3      | 2,5                  | 2,8      | 2,3     |
| WPM  | 1,3                       | 1,3      | 2,3                  | 4,3      | 3,0     |
| WPM 1/2  | 1,1                       | 1,2      | 2,1                  | 3,0      | 2,5     |
| Среднее  | 1,2                       | 1,3      | 2,3                  | 3,3      | -       |
| НСР <sub>05</sub> фактор А = 1,59, фактор В = 1,48, общ = 1,82 |                           |          |                      |          |         |

Средняя длина побегов березы карельской не имела статистически значимых различий в зависимости от состава питательной среды и варьировала от 2,3 до 3,0 см. Концентрация цитокинина 6-БАП и добавка препарата Эпин-Экстра также не оказали существенного влияния на среднюю длину побегов березы карельской, которая составляла при концентрации 6-БАП 0,1 мг/л, в среднем, 2,1 см, а при 0,2 мг/л – 2,6 см, а в вариантах с до-

бавлением препарата Эпин-Экстра при аналогичных концентрациях 6-БАП – в 1,1–1,2 раза больше (табл. 3).

Суммарная длина побегов березы карельской была существенно больше в вариантах с питательной средой WPM и составляла, в среднем, 7,4 см, что в 1,5 – 1,6 раза больше, чем в других вариантах. При повышении концентрации в питательной среде цитокинина 6-БАП от 0,1 до 0,2 мг/л суммарная длина побегов бе-

**Таблица 3** – Средняя длина побегов (см) березы карельской в зависимости от состава питательной среды, концентрации цитокинина 6-БАП и добавки препарата Эпин-Экстра

| Питательная среда  | Концентрация 6-БАП, мг/л  |          |                      |          | Среднее |
|--|---------------------------|----------|----------------------|----------|---------|
|  | без препарата Эпин-Экстра |          | Эпин-Экстра 0,5 мл/л |          |         |
|  | 0,1 мг/л                  | 0,2 мг/л | 0,1 мг/л             | 0,2 мг/л |         |
| MS   | 2,1                       | 2,3      | 2,2                  | 2,7      | 2,3     |
| MS 1/2   | 2,0                       | 2,2      | 2,4                  | 2,5      | 2,3     |
| WPM  | 2,4                       | 3,0      | 2,7                  | 3,8      | 3,0     |
| WPM 1/2  | 1,9                       | 2,8      | 2,0                  | 3,2      | 2,5     |
| Среднее  | 2,1                       | 2,6      | 2,3                  | 3,1      | -       |
| НСР <sub>05</sub> фактор А = 1,92, фактор В = 1,87, общ = 2,19 |                           |          |                      |          |         |

резы карельской значительно увеличивались: при добавлении в питательную среду адаптогена Эпин-Экстра, в среднем, в 1,9 раза, в вариантах без препарата – в 1,3 раза. Максимального значения сум-

марная длина побегов (в среднем, 16,3 см) березы карельской достигала на питательной среде WPM при концентрации цитокинина 6-БАП 0,2 мг/л с добавкой адаптогена Эпин-Экстра 0,5 мг/л (табл. 4).

**Таблица 4** – Суммарная длина побегов (см) березы карельской в зависимости от состава питательной среды, концентрации цитокинина 6-БАП и добавки препарата Эпин-Экстра

| Питательная среда  | Концентрация 6-БАП, мг/л  |          |                      |          | Среднее |
|--|---------------------------|----------|----------------------|----------|---------|
|  | без препарата Эпин-Экстра |          | Эпин-Экстра 0,5 мл/л |          |         |
|  | 0,1 мг/л                  | 0,2 мг/л | 0,1 мг/л             | 0,2 мг/л |         |
| MS   | 2,5                       | 3,2      | 5,1                  | 8,6      | 4,8     |
| MS 1/2   | 2,8                       | 2,9      | 6,0                  | 7,0      | 4,7     |
| WPM  | 3,1                       | 3,9      | 6,2                  | 16,3     | 7,4     |
| WPM 1/2  | 2,1                       | 3,4      | 4,2                  | 9,6      | 4,8     |
| Среднее  | 2,6                       | 3,4      | 5,4                  | 10,4     | -       |
| НСР <sub>05</sub> фактор А = 2,52, фактор В = 2,47, общ = 3,96 |                           |          |                      |          |         |

На этапе «укоренение побегов» выявлено, что значимых различий по количеству корней у растений-регенерантов березы карельской в зависимости от состава питательной среды не выявлено, в среднем данный показатель составлял

1,4–1,8 шт. С повышением в питательной среде концентрации ауксинов ИМК и ИУК от 1,0 до 2,0 мл/л количество корней на одно растение березы карельской незначительно увеличивалось, в среднем, в 1,3 раза (табл. 5).

**Таблица 5** – Количество корней березы карельской (шт.) в зависимости от состава питательной среды и концентрации ауксинов

| Питательная среда  | Концентрация ауксина, мл/л |     |     |     | Среднее |
|--|----------------------------|-----|-----|-----|---------|
|  | ИМК                        |     | ИУК |     |         |
|  | 0,5                        | 1,0 | 0,5 | 1,0 |         |
| MS   | 1,5                        | 1,7 | 1,1 | 1,5 | 1,4     |
| MS 1/2   | 1,5                        | 1,6 | 1,2 | 1,5 | 1,4     |
| WPM  | 1,7                        | 2,6 | 1,3 | 1,4 | 1,8     |
| WPM 1/2  | 1,4                        | 1,9 | 1,4 | 1,7 | 1,6     |
| Среднее  | 1,5                        | 1,9 | 1,2 | 1,5 | -       |
| НСР <sub>05</sub> фактор А = 1,73, фактор В = 1,60, общ = 1,89 |                            |     |     |     |         |

Средняя длина корней березы карельской *in vitro* не имела статистически значимых различий в зависимости от состава питательной среды и составляла,

в среднем, 1,3–1,4 см. Концентрации ауксинов ИМК и ИУК также не оказали существенного влияния на среднюю длину корней березы карельской (табл. 6).

**Таблица 6** – Средняя длина корней березы карельской (см) в зависимости от состава питательной среды и концентрации ауксинов

| Питательная среда  | Концентрация ауксина, мл/л |     |     |     | Среднее |
|--|----------------------------|-----|-----|-----|---------|
|  | ИМК                        |     | ИУК |     |         |
|  | 0,5                        | 1,0 | 0,5 | 1,0 |         |
| MS   | 1,3                        | 1,6 | 1,1 | 1,3 | 1,3     |
| MS 1/2   | 1,4                        | 1,5 | 1,2 | 1,4 | 1,4     |
| WPM  | 1,4                        | 1,5 | 1,2 | 1,4 | 1,4     |
| WPM 1/2  | 1,3                        | 1,8 | 1,2 | 1,2 | 1,4     |
| Среднее  | 1,4                        | 1,7 | 1,2 | 1,3 | -       |
| НСР <sub>05</sub> фактор А = 1,69, фактор В = 1,51, общ = 1,71 |                            |     |     |     |         |

Суммарная длина корней на одно растение березы карельской была наибольшей (2,5 см) в вариантах с питательной средой WPM. При повышении концентрации ауксина ИМК от 0,5 до 1,0 мл/л суммарная длина корней березы карельской

увеличивалась, в среднем, в 1,5 раза, при использовании ИУК – в 1,3 раза. Максимальная суммарная длина корней (3,9 см) березы карельской отмечена в варианте с питательной средой WPM и концентрацией ауксина ИМК 1,0 мл/л (табл. 7).

**Таблица 7** – Суммарная длина корней березы карельской (см) в зависимости от состава питательной среды и концентрации ауксинов

| Питательная среда  | Концентрация ауксина, мл/л |     |     |     | Среднее |
|--|----------------------------|-----|-----|-----|---------|
|  | ИМК                        |     | ИУК |     |         |
|  | 0,5                        | 1,0 | 0,5 | 1,0 |         |
| MS   | 1,9                        | 2,7 | 1,2 | 1,9 | 1,9     |
| MS 1/2   | 2,1                        | 2,4 | 1,4 | 2,1 | 2,0     |
| WPM  | 2,4                        | 3,9 | 1,6 | 2,0 | 2,5     |
| WPM 1/2  | 1,8                        | 3,4 | 1,7 | 2,0 | 2,2     |
| Среднее  | 2,1                        | 3,1 | 1,5 | 2,0 | -       |
| НСР <sub>05</sub> фактор А = 1,19, фактор В = 1,11, общ = 1,60 |                            |     |     |     |         |

Таким образом, по результатам проведенных исследований по клональному микроразмножению березы карельской можно сделать следующие **выводы**:

1. На этапе введения в культуру *in vitro* березы карельской наиболее эффективными стерилизующими агентами для эксплантов оказались нитрат серебра 0,2% и препарат Лизоформин 3000 5% при времени стерилизации 15 мин, а также сулема 0,2% при времени стерилизации 10 мин.

2. Суммарная длина микропобегов и корней березы карельской была наибольшей в вариантах с питательной средой WPM.

3. Повышение концентрации в питательной среде цитокинина 6-БАП от 0,1 до 0,2 мг/л способствовало существенно увеличению суммарной длины побегов березы карельской при добавлении в пи-

тательную среду адаптогена Эпин-Экстра в концентрации 0,5 мг/л.

4. С повышением в питательной среде концентраций ИМК и ИУК от 0,5 до 1,0 мл/л статистически незначимо увеличивались количество и средняя длина и статистически значимо – суммарная длина корней растений регенерантов березы карельской.

5. Максимальная суммарная длина корней березы карельской отмечена на питательной среде WPM с ауксином ИМК в концентрации 1,0 мл/л.

#### Список источников

- Багаев С.Н. Карельская и капокорешковая береза в лесах Костромской области // Лесное хозяйство. 1963. № 6. С. 20–22.
- Багаев С.С. Целевая программа воспроизводства березы карельской // Повышение комплексной продуктивности южно-таежных лесов европейской части РСФСР:

сб. науч. тр. Москва : ВНИИЛМ, 1990. С. 45–51.

3. Ветчинникова, Л.В. Клональное микроразмножение селекционного материала березы карельской // Научные основы селекции древесных растений Севера. Петрозаводск : КарНЦ РАН, 1998. С. 73–87.

4. Машкина О.С., Табацкая Т.М., Стародубцева Л.М. Длительное микрочеренкование для массового клонального размножения карельской березы и тополя // Физиология растений. 1999. Т. 46. № 6. С. 950–953.

5. Ветчинникова Л.В., Ветчинникова Т.Ю., Устинова А.В. Клональное микроразмножение карельской березы в Карелии // Resources and Technology. 2005. Т. 5. С. 17–22.

6. Машкина О.С., Табацкая Т.М. Рекомендации по сохранению и воспроизводству методами биотехнологии ценных генотипов карельской березы, осины, тополя белого и сереющего. Воронеж : НИИЛГиС, 2005. 29 с.

7. Аубакирова Л.С., Калашникова Е.А. Индукция *in vitro* клеточных структур *Betula pendula* Roth // Аграрная наука и образование на современном этапе развития: опыт, проблемы и пути их решения : мат-лы II междунар. науч.-практ. конф. (г. Ульяновск, 8–10 июня 2010 г.). Ульяновск: УГСХА, 2010. Т. V: Агронимия и агроэкология. С. 8–11.

8. Сиволапов В.А. Плантационное лесоразведение быстрорастущих пород в лесостепи с использованием биотехнологии *in vitro* : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Воронеж, 2012. 18 с.

9. Ветчинникова Л.В., Титов А.Ф., Кузнецова Т.Ю. Влияние бензиламинопурина на жирнокислотный состав мембранных липидов в побегах карельской березы *in vitro* // Цитология. 2017. Т. 59, № 7. С. 498–504. EDN: ZBNWZX

10. Концевая И.И. Эффект абсцизовой кислоты при депонировании карельской березы в культуре *in vitro* // Бюллетень науки и практики. 2018. Т. 4. № 7. С. 11–16. EDN:XTTMR

11. Анохина Н.С., Коновалов В.Ф., Ханова Э.Р. Микроразмножение карельской березы и триплоидной осины *in vitro* // Экобиотех. 2021. Т. 4. № 2. С. 101–106. EDN: FXKIUP

12. Бутенко Р.Г. Биология клеток высших растений *in vitro* и биотехнологии на их основе. Москва : ФБК-Пресс, 1999. 160 с.

13. Сельскохозяйственная биотехнология : учеб. / В.С. Шевелуха [и др.]. Москва : Высшая школа, 2008. 416 с. EDN: QKQWQJ

14. Lloyd G., McCown B. Commercially-feasible Micropropagation of Mountain Laurel, *Kalmia latifolia*, by Use of Shoot Tip Culture // Combined Proceedings of the International Plant Propagator's Society. 1980. V. 30. Pp. 421–427.

15. Murashige T.A., Skoog F. Revised Medium for Rapid Growth and Bioassays with Tobacco Tissue Cultures // *Physiol. Plantarum*. 1962. V. 3. № 15. Pp. 473–497.

## References

1. Bagaev S.N. Karel'skaya i kapokoshkovaya bereza v lesah Kostromskoj oblasti [Karelian and Wart-and-Radicle Birch in the Forests of the Kostroma Region]. *Lesnoe hozyajstvo [Forestry]*. 1963;6:20–22 (In Russ.)

2. Bagaev S.S. Celevaya programma vosproizvodstva berezy karel'skoj [Target Program for the Reproduction of Karelian Birch]. *Povyshenie kompleksnoj produktivnosti yuzhno-taevnyh lesov evropejskoj chasti RSFSR [Increasing the Complex Productivity of the Southern Taiga Forests of the European Part of the RSFSR]*. Moscow. VNIILM Publ., 1990. Pp. 45–51 (In Russ.)

3. Vetchinnikova L.V. Klonalnoe mikrorazmnozhenie selekcionnogo materiala berezy karel'skoj [Clonal Micropropagation of Breeding Material of Karelian Birch]. *Nauchnye osnovy selekcii drevesnyh rastenij Severa [Scientific Bases of Selection of Woody Plants of the North]*. Petrozavodsk. Karelian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences Publ., 1998. Pp. 73–87 (In Russ.)

4. Mashkina O.S., Tabatskaya T.M., Starodubtseva L.M. Dlitel'noe mikrocherenkovanie dlya massovogo klonal'nogo razmnozheniya karel'skoj berezy i topolya [Long-term Microcutting for Mass Clonal Propagation of Karelian Birch and Poplar]. *Fiziologiya rastenij [Plant Physiology]*. 1999;46(6):950–953 (In Russ.)

5. Vetchinnikova L.V., Vetchinnikova T.Yu., Ustinova A.V. Klonal'noe mikrorazmnozhenie karel'skoj berezy v Karelii [Clonal Micropropagation of Karelian Birch in Karelia]. *Resources and Technology*. 2005;5:17–22 (In Russ.)

6. Mashkina O.S., Tabatskaya T.M. Rekomendacii po sohraneniyu i vosproizvodstvu metodami biotekhnologii cennyh genotipov karel'skoj berezy, osiny, topolya belogo i sereyushchego [Recommendations for the Conservation and Reproduction by

Biotechnological Methods of Valuable Genotypes of Karelian Birch, Aspen, White and Gray Poplars]. Voronezh: Research Institute of Forest Genetics and Breeding Publ., 2005. 29 p. (In Russ.)

7. Aubakirova L.S., Kalashnikova E.A. Indukciya in vitro kletochnyh struktur *Betula pendula* Roth [In Vitro Induction of Cell Structures of *Betula pendula* Roth]. *Proc. II Int. Conf. "Agrarnaya nauka i obrazovanie na sovremennom etape razvitiya: opyt, problemy i puti ih resheniya"*, Ulyanovsk, Russia, 2010, 8–10 June. Ulyanovsk: Ulyanovsk State Agricultural Academy Publ., 2010. Vol. V. P. 8–11 (In Russ.)

8. Sivolapov V.A. Plantacionnoe lesorazvedenie bystrorastushchih porod v lesostepi s ispol'zovaniem biotekhnologii in vitro [Plantation Afforestation of Fast-growing Species in the Forest-steppe Using In Vitro Biotechnology]. Candidate's Dissertation Abstract. Voronezh, 2012. 18 p. (In Russ.)

9. Vetchinnikova L.V., Titov A.F., Kuznetsova T.Yu. The effect of benzylaminopurine on fatty-acid composition of membrane lipids in shoots of Karelian birch in vitro. *Tsitologiya*. 2017;59(7):498–504 (In Russ.)

10. Kontsevaya I.I. Effect of abscisic acid on depositing of the Karelian birch in vitro. *Bulletin of Science and Practice*. 2018;4(7):11–16 (In Russ.)

11. Anokhina N.S., Konovalov V.F., Khanova E.R. Micropropagation of Karelian Birch and Triploid Aspen In Vitro. *Ekobiotekh*. 2021;4(2):101–106 (In Russ.)

12. Butenko R.G. Biologiya kletok vysshih rastenij in vitro i biotekhnologii na ih osnove [Biology of Cells of Higher Plants In Vitro and Biotechnology Based on Them]. Moscow: FBK-Press, 1999. 160 p. (In Russ.)

13. Sheveluha V.S. [et al.]. Sel'skohozyajstvennaya biotekhnologiya [Agricultural Biotechnology]. Moscow. Vysshaya shkola, 2008. 416 p. (In Russ.)

14. Lloyd G., McCown B. Commercially-feasible Micropropagation of Mountain Laurel, *Kalmia latifolia*, by Use of Shoot Tip Culture. *Combined Proceedings of the International Plant Propagator's Society*, 1980;30:421–427.

15. Murashige T., Skoog F. A Revised Medium for Rapid Growth and Bioassays with Tobacco Tissue Cultures. *Physiol. Plantarum*. 1962;3(15):473–497.

#### Информация об авторах

**Сергей Сергеевич Макаров** – кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник группы недревесной продукции леса;

**Евгений Сергеевич Багаев** – кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий инженер группы лесоводства;

**Антон Игоревич Чудецкий** – ведущий инженер группы лесоводства;

**Ирина Борисовна Кузнецова** – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры агрохимии, почвоведения и защиты растений; доцент;

**Юлия Васильевна Александрова** – кандидат сельскохозяйственных наук, старший преподаватель кафедры ландшафтной архитектуры и искусственных лесов.

#### Information about the authors

**Sergey S. Makarov** – Candidate of Science (Agriculture), Senior Researcher, Non-timber Forest Products Group;

**Evgeniy S. Bagaev** – Candidate of Science (Agriculture), Leading Engineer, Forestry Group;

**Anton I. Chudetsky** – Leading Engineer, Forestry Group;

**Irina B. Kuznetsova** – Candidate of Science (Agriculture), Associate Professor, Agrochemistry, Soil Science and Plant Protection Chair; Associate Professor.

Статья поступила в редакцию 05.05.2022; одобрена после рецензирования 02.06.2022; принята к публикации 07.10.2022.

The article was submitted 05.05.2022; approved after reviewing 02.06.2022; accepted for publication 07.10.2022.