

ОСОБЕННОСТИ РОСТА И ФОРМИРОВАНИЯ ФИТОМАССЫ СЕЯНЦЕВ СОСНЫ КЕДРОВОЙ СИБИРСКОЙ С ЗАКРЫТОЙ КОРНЕВОЙ СИСТЕМОЙ ЗИМНЕГО СРОКА ПОСЕВА*

А. В. Мантулина, Д. А. Коновалова, Н. П. Братилова

Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева
Российская Федерация, 660037, г. Красноярск, просп. им. газеты «Красноярский рабочий», 31

Аннотация. Определена всхожесть семян сосны кедровой сибирской при зимнем посеве в кассеты на субстратах в различных сочетаниях на основе верхового торфа. Определены показатели надземной и подземной фракций сеянцев после четырех месяцев выращивания при зимнем посеве, в том числе в зависимости от варианта субстрата. Проведен анализ индексов качества сеянцев, выращиваемых с закрытой корневой системой, таких, как индекс компактности, индекс здоровья и индекс качества Диксона в зависимости от состава субстрата. С помощью регрессионного анализа подобраны уравнения для описания формируемой сеянцами фитомассы с учетом ее фракционного состава (корни и надземная часть).

Ключевые слова: сосна кедровая сибирская, сеянцы с ЗКС, субстрат, фитомасса, индексы качества, зимний посев.

Conifers of the boreal area. 2026, Vol. XLIV, No. 2, P. 7–12

FEATURES OF GROWTH AND FORMATION OF PHYTOMASS OF SEEDLINGS OF SIBERIAN CEDAR PINE WITH A CLOSED ROOT SYSTEM OF THE WINTER SOWING PERIOD

A. V. Mantulina, D. A. Konovalova, N. P. Bratilova

Reshetnev Siberian State University of Science and Technology
31, Krasnoyarskii rabochii prospekt, Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation

Abstract. The germination rate of Siberian stone pine seeds sown in trays on various combinations of high-moor peat-based substrates was determined. The aboveground and belowground fractions of seedlings were determined after four months of cultivation using winter sowing, including their dependence on the substrate type. Quality indices of seedlings grown with closed root systems, such as the compactness index, health index, and Dixon quality index, were analyzed depending on the substrate composition. Regression analysis was used to develop equations for describing the phytomass formed by seedlings, taking into account its fractional composition (roots and aboveground portion).

Keywords: Siberian cedar pine, seedlings with closed root system, substrate, phytomass, quality indices, winter sowing.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время большое внимание уделяется созданию лесных культур посадочным материалом с закрытой корневой системой (ЗКС). Изучением особенностей выращивания посадочного материала сосны кедровой сибирской с ЗКС в СибГУ им. М. Ф. Решетнева занимаются Н. П. Братилова, А. А. Коротков, Д. А. Коновалова и др. [3; 4; 8]. Было установлено, что на рост и развитие сеянцев в течение первого

вегетационного периода оказывает влияние состав субстрата. Добавление к торфу вермикулита или коксового волокна влияло на увеличение линейных размеров надземной части сеянцев сосны кедровой сибирской [7; 9].

На Дальнем Востоке изучали выращивание сеянцев сосны кедровой корейской с ЗКС, отмечая их лучшую приживаемость при увеличении объема кома до 200–250 см³ [13]. Было отмечено, что верховой торф

* Исследование выполнено в рамках государственного задания Минобрнауки России на выполнение коллективом научной лаборатории «Селекция древесных растений» проекта «Селекционно-генетические основы формирования целевых насаждений и рационального использования древесных ресурсов Красноярского края (Енисейской Сибири)» (№ FEFE-2024-0013).

низкой степени разложения является более предпочтительным в сравнении с субстратом питательным «Фаско» и торфом нейтрализованным [14]. По данным Т. А. Зоткиной с соавтором [5] посадочный материал сосны кедровой корейской в условиях юга Дальнего Востока не может достигнуть размеров, соответствующим действующим правилам лесовосстановления. Был представлен проект организации питомника для выращивания сеянцев хвойных пород, в том числе сосны кедровой корейской, с закрытой корневой системой в условиях Хабаровского края [11].

В теплицах ООО «Прибайкальское лесохозяйственное предприятие» изучали выращивание саженцев сосны кедровой сибирской с применением крезацина – искусственного стимулятора роста. При этом отмечался ускоренный набор растениями фитомассы [1]. Встречаются рекомендации по использованию гетероауксина для ускоренного развития корней кедровых сеянцев [15]. Имеются исследования по формированию надземной и подземной частей растений у посадочного материала сосны кедровой сибирской при разных условиях выращивания. Отмечается, что при выращивании с ЗКС формируется большее количество мелких корней, в соотношении с крупными как 1:0,17 [10].

Однако остаются нераскрытыми вопросы особенностей формирования надземной и подземной фитомассы сеянцев, выращиваемых с закрытой корневой системой в зависимости от агротехники выращивания.

Определение особенностей роста и накопления фитомассы растениями сосны кедровой сибирской в зависимости от вида посадочного материала (с открытой и закрытой корневой системой), сроков посадки, агротехники выращивания может внести весомый вклад в решение важных задач лесохозяйственного производства.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектами исследования являлись сеянцы сосны кедровой сибирской, выращиваемые с закрытой корневой системой в оранжерее СибГУ им. М. Ф. Решетнева. Семена для посева были собраны в Тюхтетском лесничестве Красноярского края и простратифицированы в зимней непромерзающей траншее. Высев семян производился в январе в кассеты Plantek-81F.

В качестве основы для субстратов использовали верховой нейтрализованный торф.

В качестве дополнительных компонентов для смесей применяли перлит, вермикулит или кокосовое волокно (табл. 1).

Для определения фитомассы отбирали модельные сеянцы. Их высушивали до абсолютно сухого состояния при температуре 105 °С в сушильном шкафу ШС-

80-01СПУ. Взвешивание проводили на электронных весах МН-100 100g/0,01g.

Обработка результатов наблюдений проводилась с помощью программы Microsoft Excel. Уравнения, описывающие ряд зависимостей, подбирали в программе CurveExpert1.3.

Для сеянцев были подсчитаны комплексные показатели качества, включающие индекс качества Диксона, индекс компактности, индекс здоровья [6; 14; 16; 17].

$$DQI = TDW / HDR + 100SRR, \quad (1)$$

$$CP = SDW/H, \quad (2)$$

$$SHI = (D/H \times RDW/SDW) \times TDW, \quad (3)$$

где DQI – индекс качества Диксона сеянцев; CP – индекс компактности сеянцев; SHI – индекс здоровья сеянцев; TDW – сухая масса сеянцев, г; HDR – отношение высоты сеянца к диаметру у корневой шейки, см/мм; SRR – отношение сухой массы надземной части к массе подземной части, г; SDW – сухая масса надземной части сеянца, г; RDW – сухая масса подземной части, г; H – высота сеянца, см; D – диаметр сеянца, мм.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Традиционными сроками посева семян сосны кедровой сибирской в условиях юга Средней Сибири являются конец весны – начало летнего периода после проведенной стратификации или осенью после сбора. Считается, что при использовании посадочного материала с закрытой корневой системой в условиях теплицы можно расширить период посева кедровых семян для высадки на лесохозяйственные площади в течение всего вегетационного периода [2; 12].

При посеве простратифицированных семян сосны кедровой сибирской II класса качества в кассеты с субстратом в январе их средняя всхожесть составила 43,5 %. В зависимости от состава субстрата всхожесть варьировала от 35,2 до 53,7 %. Большая всхожесть отмечена на варианте с торфом без добавок (рис. 1).

Первые всходы появились на 12 день, массовые отмечались на 19–26 дни.

Через 4 месяца выращивания сеянцы имели среднюю длину гипокотили 5,8±0,08 см, диаметр стволика у шейки корня – 1,5±0,01 см, длину первичной хвои – 0,9±0,02 см. Средняя длина центрального корня, определенная по модельным сеянцам, равнялась 11,8±0,95 см. Масса корней одного сеянца в среднем составила 0,06±0,003 г, средняя масса надземной части равнялась 0,11±0,007 г, а суммарная масса сеянца – 0,17±0,01 г в абсолютно сухом состоянии. На долю корней в среднем приходилось около 35 % общей фитомассы (табл. 2).

Таблица 1
Экспериментальные варианты субстратов

Номер варианта	Обозначение варианта	Основа субстрата, %	Добавочный компонент субстрата, %
1	T ₁₀₀	торф, 100	–
2	T ₅₀ P ₅₀	торф, 50	перлит, 50
3	T ₅₀ B ₅₀	торф, 50	вермикулит, 50
4	T ₅₀ K ₅₀	торф, 50	кокосовое волокно, 50

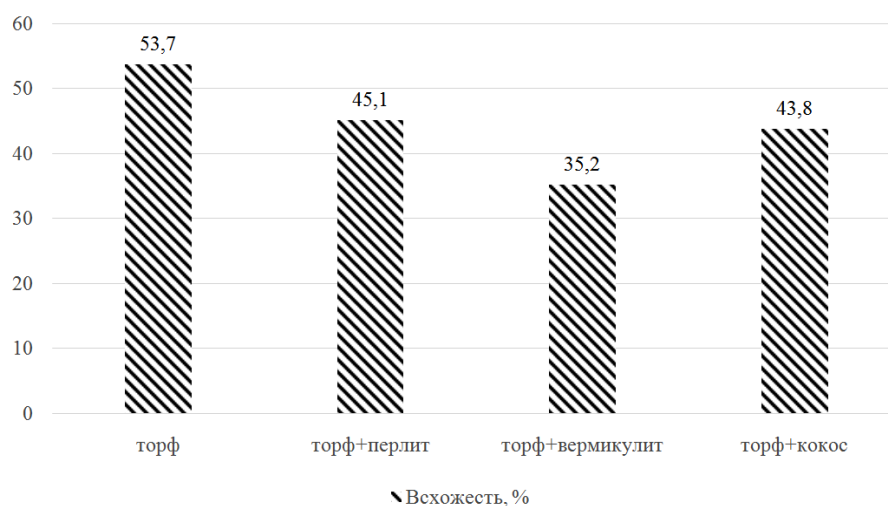


Рис. 1. Всхожесть семян на субстратах разного состава, %



Рис. 2. Появление всходов

Таблица 2
Показатели сеянцев с ЗКС

Показатель	$\bar{X}_{\text{ср.}}$	m	$\pm\sigma$	V, %	P, %	Уровень изменчивости
Длина гипокотиля, см	5,8	0,08	1,72	29,7	1,3	повышенный
Диаметр стволика, см	1,5	0,01	0,19	12,8	0,6	средний
Длина первичной хвои, см	0,9	0,02	0,34	37,2	1,7	высокий
Длина корня, см	11,8	0,95	5,59	47,5	8,0	очень высокий
Фитомасса корней, г в а.с.с.	0,06	0,003	0,020	30,9	5,2	высокий
Фитомасса надземной части, г в а.с.с.	0,11	0,007	0,044	38,0	6,0	высокий
Общая фитомасса, г в а.с.с.	0,17	0,010	0,063	36,5	5,8	высокий

Отмечается высокий уровень изменчивости всех фракций фитомассы, очень высокий – по длине корней сеянцев.

Установлено влияние состава субстрата на формирование фитомассы сеянцев (рис. 3).

Общая масса сеянцев в зависимости от субстрата варьировала от 0,15 до 0,21 г в абсолютно сухом состоянии. Масса надземной части сеянцев составила от 0,09 г (торф без добавок) до 0,14 г на субстрате из торфа с вермикулитом. Масса корней колебалась от 0,04 г (торф с перлитом в равных пропорциях) до 0,07 г на смеси торфа и вермикулита. Добавка к торфу кокосово-

го волокна в соотношении 1:1 не повлекла значительных изменений в формируемой фитомассе сеянцев.

Проведен анализ индексов качества сеянцев, выращиваемых с ЗКС. Выявлено, что индекс компактности сеянцев (CP) равнялся в среднем 0,023, а индекс здоровья (SHI) – 0,018. Индекс качества Диксона (DQI) в среднем составил 2,32, варьируя для разных субстратов от 2 до 2,8. Наименьшее значение DQI соответствовало субстрату из торфа с добавлением перлита ($T_{50P_{50}}$), наивысшее значение – при выращивании сеянцев на субстрате с примесью вермикулита ($T_{50B_{50}}$) (табл. 3).

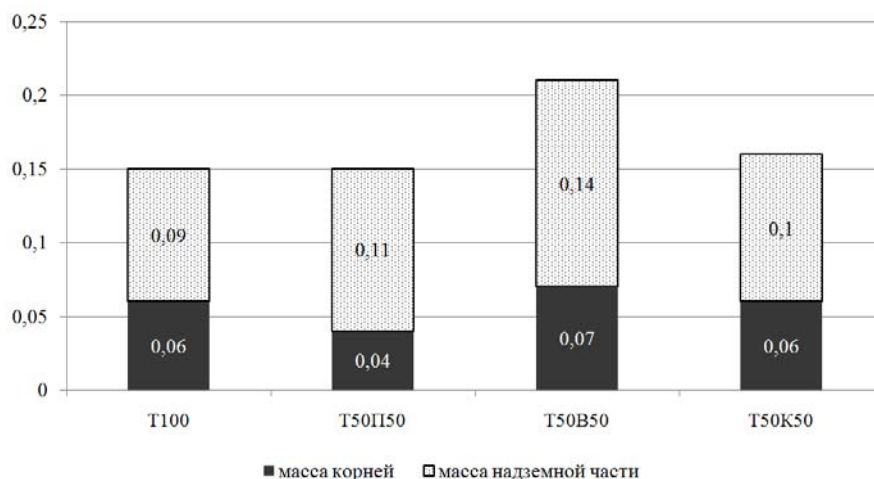


Рис. 3. Фракционный состав фитомассы сеянцев на субстратах разного состава, г в а.с.с.

Таблица 3
Индексы качества сеянцев с ЗКС

Обозначение субстрата	DQI	CP	SHI
T ₁₀₀	2,3	0,02	0,02
T ₅₀ П ₅₀	2,0	0,02	0,01
T ₅₀ В ₅₀	2,8	0,03	0,02
T ₅₀ К ₅₀	2,2	0,02	0,02
Среднее	2,32	0,023	0,018

Проведен регрессионный анализ накопления фитомассы сеянцами сосны кедровой сибирской, выращиваемых с закрытой корневой системой в кассетах.

Формирование фитомассы надземной части сеянцев в течение четырех месяцев выращивания в кассетах при зимнем посеве аппроксимируется уравнением:

$$Y = 0,0453 + 0,0018X - 0,1260/X^2,$$

где Y – фитомасса надземной части, г в а.с.с.; X – высота сеянца, см.

Накопление фитомассы подземной части сеянцев можно описать уравнением:

$$Y = 1 / (17,712 - 1,964X^{0,788}),$$

где Y – фитомасса подземной части, г в а.с.с.; X – длина корня, см.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований определена всхожесть семян сосны кедровой сибирской с закрытой корневой системой на экспериментальных субстратах с верховым торфом. Лучшая всхожесть семян при зимнем посеве в условиях оранжереи была отмечена на субстратах с чистым торфом (53,7 %).

Определены показатели надземной и подземной частей сеянцев после четырех месяцев выращивания. Выявлено, что в этом возрасте масса корневой системы составила около 35 % от общей массы сеянца. Корни меньшей длины и массы отмечены у растений, выращиваемых на смеси торфа и перлита в равных пропорциях. Большее накопление всех фракций фитомассы отмечено у сеянцев, выращиваемых на торфяном субстрате в равном сочетании с вермикулитом.

Анализируя показатели роста и формирования фитомассы сеянцев с закрытой корневой системой на разных составах субстратов, установлено изменение индекса качества Диксона сеянцев от 2 до 2,8. Меньший индекс качества отмечается у сеянцев на субстратах из торфа с перлитом. При выращивании сеянцев сосны кедровой сибирской на субстрате из торфа и вермикулита в равных долях индекс качества Диксона сеянцев повышается, что свидетельствует о перспективности подобной смеси.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Белых О. А., Лукиячук Л. П. Влияние синтетического стимулятора роста на развитие саженцев сосны кедровой // Балтийский морской форум : материалы XI Междунар. Балтийского морского форума. Калининград, 25–30 сентября 2023 года. 2023. С. 19–20.
2. Биометрические показатели саженцев хвойных пород с открытой и закрытой корневой системой / Р. А. Третьякова, О. В. Паркина, О. Е. Якубенко, А. А. Якубенко // Лесохозяйственная информация. 2023. № 2. С. 136–145.
3. Выращивание сосны кедровой сибирской с закрытой и открытой корневой системой : монография / Н. П. Братилова, Д. А. Коновалова, А. А. Коротков, А. В. Мантулина / СибГУ им. М. Ф. Решетнева, Красноярск, 2025. 176 с.
4. Братилова Н. П., Коротков А. А., Коновалова Д. А. Влияние субстрата на рост и развитие сеянцев сосны кедровой сибирской с закрытой корневой системой // Хвойные бореальной зоны, 2022. Т. 40, № 5. С. 347–352.
5. Зоткина Т. А., Усов В. Н. Применение ЭМ-препаратов для выращивания сеянцев кедр корейского

с закрытой корневой системой // Аграрный вестник Приморья. 2023. № 3(31). С. 23–26.

6. Индекс качества Диксона: связь с технологическим воздействием на лесные семена / А. И. Новиков, С. В. Ребко, Т. П. Новикова, Е. П. Петрищев // Лесотехнический журнал. 2023. Т. 13, № 1 (49). С. 23–36.

7. Рост сеянцев сосны кедровой сибирской с закрытой корневой системой на экспериментальных субстратах / Д. А. Коновалова, Н. П. Братилова, А. В. Мантулина, А. А. Коротков // Лесной вестник. Forestry Bulletin. 2024. Т. 28, № 5. С. 55–67.

8. Коновалова Д. А., Братилова Н. П., Мантулина А. В. Рост однолетних сеянцев сосны кедровой сибирской с открытой и закрытой корневой системой // Хвойные бореальной зоны. 2024. Т. 42, № 3. С. 41–50.

9. Коновалова Д. А., Братилова Н. П., Мантулина А. В., Щерба Ю. Е. Развитие сеянцев с закрытой корневой системой сосны кедровой сибирской зимнего срока посева // Хвойные бореальной зоны. 2024. Т. 42, № 5. С. 29–33.

10. Матвейчук О. С., Третьякова Р. А., Паркина О. В. Динамика развития саженцев сосны кедровой сибирской с разным типом корневой системы // Роль аграрной науки в устойчивом развитии сельских территорий : материалы VIII Всерос. (нац.) науч. конф. с междунар. участием. 20 декабря 2023 г. Новосибирск, 2023. С. 85–88.

11. Меньшиков А. В., Бессонова Н. В., Выводцев Н. В. Проект организации лесного питомника с целью выращивания сеянцев хвойных и лиственных пород с закрытой корневой системой // Хвойные бореальной зоны. 2025. Т. 43, № 1. С. 68–72.

12. Оплетев А. С., Жигулин Е. В., Залесов С. В. Опыт многоротационного выращивания контейнерного посадочного материала для искусственного лесовосстановления в теплицах с регулируемым микроклиматом // Хвойные бореальной зоны. 2023. Т. 41, № 2. С. 152–157.

13. Перевейтайло И. И. Первые итоги и перспективы применения технологии создания лесных культур с использованием ПМЗК // Лесные ресурсы Дальнего Востока и их использование, 2001. С. 117–119.

14. Приходько О. Ю. Выращивание сеянцев основных лесобразующих пород с закрытой корневой системой на различных субстратах в условиях Приморского края // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии имени В. Р. Филиппова, 2024. № 2 (75). С. 107–113.

15. Рунова Е. М., Денисенко А. В. Некоторые особенности роста и развития сеянцев сосны сибирской (*Pinus sibirica* Du Tour) в условиях теплицы // Актуальные проблемы лесного комплекса, 2022. № 62. С. 204–207.

16. Identification of Appropriate Light Intensity and Daytime Temperature for Cucumber (*Cucumis sativus* L.) Seedlings in a Plant Factory with Artificial Lighting for Use as Grafting Material / H.-C. Yang, Y.-H. Kim, H.-J. Byun et al. // Sustainability. 2023. Vol. 15, № 5. P. 4481.

17. Saha R., Ginwal H. S., Chandra G., Barthwal S. Integrated assessment of adventitious rhizogenesis in Eucalyptus: root quality index and rooting dynamics //

Journal of Forestry Research. 2020. Vol. 31, № 6. P. 2145–2161.

REFERENCES

1. Belyh O. A., Lukiyanchuk L. P. Vliyanie sinteticheskogo stimulyatora rosta na razvitie sazhencev sosny kedrovoj // Baltijskij morskoy forum : Mater. XI Mezhdunar. Baltijskogo morskogo foruma. Kalininograd, 25–30 sentyabrya 2023 goda. 2023. S. 19–20.

2. Biometricheskie pokazateli sazhencev hvojnyh porod s otkrytoj i zakrytoj kornevoj sistemoj / R. A. Tret'yakova, O. V. Parkina, O. E. Yakubenko, A. A. Yakubenko // Lesohozyajstvennaya informatsiya. 2023. № 2. S. 136–145.

3. Bratilova N. P., Konovalova D. A., Korotkov A. A., Mantulina A. V. Vyrashchivanie sosny kedrovoj sibirskoj s zakrytoj i otkrytoj kornevoj sistemoj : monografiya / SibGU im. M. F. Reshetneva Krasnoyarsk, 2025. 176 s.

4. Bratilova N. P., Korotkov A. A., Konovalova D. A. Vliyanie substrata na rost i razvitie seyancev sosny kedrovoj sibirskoj s zakrytoj kornevoj sistemoj // Hvojnye boreal'noj zony, 2022. Т. 40, № 5. S. 347–352.

5. Zotkina T. A., Usov V. N. Primenenie EM-preparatov dlya vyrashchivaniya seyancev kedra korejskogo s zakrytoj kornevoj sistemoj // Agrarnyj vestnik Primor'ya. 2023. № 3(31). S. 23–26.

6. Indeks kachestva Diksona: svyaz' s tekhnologicheskimi vozdeystviem na lesnye semena / A. I. Novikov, S. V. Rebko, T. P. Novikova, E. P. Petrishchev // Lesotekhnicheskij zhurnal. 2023. Т. 13. № 1 (49). S. 23–36.

7. Konovalova D. A., Bratilova N. P., Mantulina A. V., Korotkov A. A. Rost seyancev sosny kedrovoj sibirskoj s zakrytoj kornevoj sistemoj na eksperimental'nykh substratah // Lesnoj vestnik. Forestry Bulletin. 2024. Т. 28, № 5. S. 55–67.

8. Konovalova D. A., Bratilova N. P., Mantulina A. V. Rost odnoletnih seyancev sosny kedrovoj sibirskoj s otkrytoj i zakrytoj kornevoj sistemoj // Hvojnye boreal'noj zony. 2024. Т. 42, № 3. S. 41–50.

9. Konovalova D. A., Bratilova N. P., Mantulina A. V., Shcherba Yu. E. Razvitie seyancev s zakrytoj kornevoj sistemoj sosny kedrovoj sibirskoj zimnego poseva // Hvojnye boreal'noj zony. 2024. Т. 42, № 5. S. 29–33.

10. Matvejchuk O. S., Tret'yakova R. A., Parkina O. V. Dinamika razvitiya sazhencev sosny kedrovoj sibirskoj s raznym tipom kornevoj sistemy // Rol' agrarnoj nauki v ustojchivom razvitii sel'skih territorij : Mater. VIII Vseros. (nac.) nauch. konf. s mezhdunar. uchastiem. 20 dekabrya 2023 g. Novosibirsk, 2023. S. 85–88.

11. Men'shikov A. V., Bessonova N. V., Vyvodcev N. V. Projekt organizacii lesnogo pitomnika s cel'yu vyrashchivaniya seyancev hvojnyh i listvennyh porod s zakrytoj kornevoj sistemoj // Hvojnye boreal'noj zony. 2025. Т. 43, № 1. S. 68–72.

12. Opletaev A. S., Zhigulin E. V., Zalesov S. V. Opyt mnogorotacionnogo vyrashchivaniya kontejnernogo posadochnogo materiala dlya iskusstvennogo lesovosstanovleniya v teplicah s reguliruemym mikroklimatom // Hvojnye boreal'noj zony. 2023. Т. 41, № 2. S. 152–157.

13. Perevejtajlo I. I. Pervye itogi i perspektivy primeneniya tekhnologii sozdaniya lesnyh kul'tur

s ispol'zovaniem PMZK // Lesnye resursy Dal'nego Vostoka i ih ispol'zovanie, 2001. S. 117–119.

14. Prihod'ko O. Yu. Vyrashchivanie seyancev osnovnyh lesoobrazuyushchih porod s zakrytoj kornevoj sistemoy na razlichnyh substratah v usloviyah Primorskogo kraya // Vestnik Buryatskoj gosudarstvennoj sel'skohozyajstvennoj akademii imeni V. R. Filippova, 2024. № 2 (75). S. 107–113.

15. Runova E. M., Denisenko A. V. Nekotorye osobennosti rosta i razvitiya seyancev sosny sibirskoj (*Pinus sibirica* Du Tour) v usloviyah teplicy // Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa, 2022. № 62. S. 204–207.

16. Identification of Appropriate Light Intensity and Daytime Temperature for Cucumber (*Cucumis sativus* L.) Seedlings in a Plant Factory with Artificial Lighting for Use as Grafting Material / H.-C. Yang, Y.-H. Kim, H.-J. Byun et al. // Sustainability. 2023. Vol. 15, № 5. P. 4481.

17. Saha R., Ginwal H. S., Chandra G., Barthwal S. Integrated assessment of adventitious rhizogenesis in Eucalyptus: root quality index and rooting dynamics // Journal of Forestry Research. 2020. Vol. 31, № 6. P. 2145–2161.

© Мантулина А. В., Коновалова Д. А.,
Братилова Н. П., 2026

Поступила в редакцию 04.02.2026
Принята к печати 27.04.2026