

РОСТ СЕЯНЦЕВ СОСНЫ КЕДРОВОЙ СИБИРСКОЙ С ЗАКРЫТОЙ КОРНЕВОЙ СИСТЕМОЙ НА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ СУБСТРАТАХ

Д.А. Коновалова[✉], Н.П. Братилова, А.В. Мантулина, А.А. Коротков

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева», Россия, 660037, г. Красноярск, проспект имени газеты «Красноярский рабочий», д. 31

konovalova_da@sibsau.ru

Проанализирован рост и развитие однолетних сеянцев сосны кедровой сибирской (*Pinus sibirica* Du Tour), выращиваемых на смесях с использованием торфа или кокосового волокна с добавлением вермикулита, перлита в разных пропорциях. Установлено, что к концу первого вегетационного периода (2021) средняя масса надземной части сеянцев в среднем составила $1,1 \pm 0,03$ мг, корней — $0,4 \pm 0,02$ мг в абсолютно сухом состоянии. Указано влияние состава субстрата на рост сеянцев сосны кедровой сибирской с закрытой корневой системой. Выявлено, что сеянцы, выращиваемые на торфяных субстратах, отличаются более быстрым ростом надземной части, но отстают по формированию корневой системы в сравнении с сеянцами на кокосовых смесях. Проанализировано влияние размера кома на рост сеянцев. Рекомендуется выращивать сеянцы сосны кедровой сибирской в субстратах объемом не менее 85 см^3 , отдавая предпочтение более вместительным емкостям.

Ключевые слова: сосна кедровая сибирская, сеянцы с закрытой корневой системой, субстраты, торф, кокосовое волокно, объем кома

Ссылка для цитирования: Коновалова Д.А., Братилова Н.П., Мантулина А.В., Коротков А.А. Рост сеянцев сосны кедровой сибирской с закрытой корневой системой на экспериментальных субстратах // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2024. Т. 28. № 5. С. 55–67. DOI: 10.18698/2542-1468-2024-5-55-67

Отечественная практика искусственного лесовосстановления насчитывает более 300 лет [1]. С середины XX в. посадочный материал с закрытой корневой системой (ЗКС) стал использоваться более активно [2]. Считается, что история зарождения такого вида посадочного материала зародилась в 1950-х годах в Германии. Однако в начале проведения лесовосстановительных работ с использованием посадочного материала с ЗКС оказалось недостаточно рентабельным и излишне трудоемким [3].

В России посадочный материал с ЗКС начали использовать в 1970-х годах, хотя сначала это не получило широкого распространения. В настоящее время в лесокультурном производстве России возобновлено применение данного посадочного материала [4–8]. Ученые и инженеры в сфере лесного хозяйства тщательно изучают опыт лесовосстановления с использованием посадочного материала с ЗКС [9–15].

Неоспоримым достоинством применения посадочного материала с ЗКС является возможность значительного продлевания сроков посадки культур, а также освоения труднодоступных мест, где использование традиционного посадочного материала практически невозможно [16]. Для засушливых лесорастительных условий при облесении песчаных дюн и в степной зоне некоторые ученые рекомендуют использовать посадочный материал

с ЗКС, поскольку он более жизнеспособен по сравнению с традиционным посадочным материалом, что позволяет получить лучшие результаты [17, 18]. В некоторых регионах возможна зимняя посадка сеянцев с ЗКС. Так, на Дальнем Востоке в зимний период проводилась посадка ели аянской (*Picea jezoensis*), сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris*) и лиственницы даурской (*Larix dahurica*), а на Северо-Западе России — ели обыкновенной (*Picea abies*) [16].

По мнению В.П. Бессчетнова и соавторов [9], сеянцы сосны обыкновенной с ЗКС отставали в развитии от сеянцев с открытой корневой системой (ОКС), что связано с ограниченным объемом кома и дисбалансом в развитии надземной и подземной частей растений. Е.В. Жигунов и др., сравнивая рост сеянцев с ЗКС сосны обыкновенной, лиственницы Сукачева (*Larix Sukaczewii*) и ели сибирской (*Picea obovata*) в близких условиях в зимний период (конец февраля) в теплице с дополнительной досветкой, установили, что лиственница Сукачева отличалась лучшим ростом и за один вегетационный сезон достигала или даже превосходила стандартные размеры. А сосна обыкновенная и ель сибирская не способны достигнуть стандартных размеров, вследствие чего необходимо их доращивать на открытых площадках. При выращивании посадочного материала в кассетах вследствие не всегда правильного размера ячеек наблюдается загибание стержневого корня, что является причиной задержки его развития

и роста системы горизонтальных корней при высаживании на лесокультурную площадь. Такие сеянцы на песчаных почвах не успевают достичь стержневым корнем уровня капиллярной влаги и могут погибнуть из-за ее нехватки [19].

Еще одной проблемой в некоторых районах при создании лесных культур с использованием посадочного материала с ЗКС является их приживаемость на первоначальном этапе. В первые месяцы после посадки корни сеянцев с ЗКС продолжают использовать питательные вещества из торфяного брикета, не осваивая прилегающих слоев почвы, что приводит к пересыханию верхних горизонтов почвы и возможной гибели растений [20]. Е.М. Ананьев [20] на основании результатов проведенных исследований считает, что в некоторых случаях причиной низкой приживаемости сеянцев с ЗКС является нарушение технологии посадки, в частности механизированная посадка и посадка под меч Колесова.

Причиной невысокой приживаемости сеянцев могут стать и жесткие климатические условия. Так, в Алтайском крае при создании лесных культур сеянцами с ЗКС на гаях по причине высокой температуры поверхностный слой почвы пересыхает, что также вызывает завядание и отпад [21].

Исследований, посвященных выращиванию сосны кедровой сибирской сеянцами с ЗКС, в настоящее время недостаточно [22–26], что, видимо, связано с преимущественным использованием в современном лесовосстановительном процессе других хвойных пород — ели и сосны. Е.В. Титов [27] указал, что для выращивания посадочного материала с ЗКС кедр сибирского следует использовать контейнеры объемом не менее 200...300 см³, а субстрат готовить из смеси торфа и суглинка (1:1) с добавлением в качестве удобрений суперфосфата гранулированного, калийной соли и доломитовой извести.

У сеянцев сосны кедровой сибирской с ЗКС формируются мелкие корни, нежели при ОКС [28]. Высказано мнение о целесообразности внесения гетероауксина для интенсификации развития корней и предотвращения вытягивания и последующего полегания кедровых сеянцев с ЗКС [29]. Отмечается положительное влияние обработки крезацином на прирост фитомассы сеянцев [30].

Для успешного выращивания посадочного материала с ЗКС следует учесть множество факторов, в частности, состав субстрата и размер кома как один из существенных.

И.И. Бородин [31] указал на небольшое количество органических материалов, которые используются в мировой практике для изготовления субстратов. По его мнению, такими материалами являются торф, кокосовая пальма, древесина и

компостные материалы. В настоящее время в качестве субстрата чаще всего используется торф.

Считается, что более предпочтителен для сеянцев хвойных пород верховой торф [32]. По мнению некоторых авторов, для выращивания кедровых сеянцев можно использовать также низинный торф или его смесь с лесной почвой [33]. Однако массовое применение торфяных субстратов для выращивания посадочного материала с ЗКС может постепенно привести к дефициту и удорожанию данного вида продукции, истощению торфяных запасов [34].

Большое внимание в качестве замещающего субстрата уделяется кокосовому волокну. Некоторые исследователи рекомендуют добавлять к субстрату микоризу, отмечая ее положительное влияние ко 2–3-му году после посадки [35].

Микориза обеспечивает сеянцы водой и питательными веществами, способствует увеличению приживаемости и интенсивности роста [35]. Экспериментальным путем J.M. Тгарре [36] было установлено, что при посадке растений в почву с микоризными грибами сеянцы приживаются и растут лучше, чем в немикоризированном грунте. Мицелий микоризы улучшает питание и рост растений, усиливает поглощение воды и минеральных элементов [37]. Добавление в торфяной субстрат органики снижает рост сеянцев, но увеличивает интенсивность микоризации, и, как следствие, повышаются показатели роста культур [35, 38]. Значительное влияние на развитие корневой системы сеянцев оказывает внесение микоризной земли и гидрогелей в субстрат [39]. Отмечается, что сосущие корни с микоризой дольше живут, лучше функционируют и интенсивнее дышат [40].

Е.О. Графова и соавторы [41] сравнивали заводские торфяные смеси для выращивания сеянцев с почвенными субстратами, полученными компостированием опилок или коры сосны с добавлением (в качестве азотной составляющей) осадка сточных вод близлежащих предприятий жилищно-коммунального хозяйства (ЖКХ). По их мнению, данные субстраты целесообразно использовать при рекультивации нарушенных территорий.

Д.И. Мухортов и соавторы [42] считают, что агрофизические свойства субстрата оказывают более сильное влияние на рост и развитие посадочного материала с ЗКС, чем агрохимические. От плотности субстрата зависит накопление фитомассы сеянцев. С увеличением доли агроперлита в субстрате, его плотность сложения увеличивается более чем на 50 %.

При выращивании растений по малообъемной технологии (в кассетах) повышаются требования к качеству питательного субстрата и его

физико-химическим характеристикам (аэрируемости, влагоемкости, плотности и т. д.). Такой субстрат в течение 2–3 лет не должен поддаваться существенному микробиологическому разложению. Подобными свойствами обладает верховой сфагновый торф [43].

Смешивая субстраты на основе верхового сфагнового торфа, необходимо учитывать его физико-химические свойства и при этом не ухудшить полученную смесь. Субстрат должен обеспечивать необходимый водно-воздушный и питательный режимы корневой системы сеянцев [44].

Одним из возможных недорогих способов утилизации древесных отходов является их компостирование для приготовления субстратов [45].

Использование компостов древесных отходов в лесных питомниках повышает почвенное плодородие, увеличивает выход стандартного посадочного материала и повышает его качество, что доказано многочисленными исследованиями [45, 46].

И.Г. Сабирзянов и соавторы [47] выращивали сеянцы сосны обыкновенной на торфяных субстратах малой плотности с добавлением агроперлита, минеральных, органических компонентов и почвенной микоризы. По их мнению, такие субстраты положительно влияют на рост сеянцев, что позволяет ускорить получение стандартного посадочного материала.

По мнению А.В. Жигунова [48], применение кассет «ПЛАНТЕК-Ф» с небольшим объемом, с одной стороны, повышает выход посадочного материала, с другой — нежелательно для условий, где основным конкурентом лесным культурам является травянистая растительность. Н.П. Чернобровкина и соавторы [49] отметили зависимость качества создаваемых лесных культур от вида и объема кассет, которые использовались при выращивании сеянцев.

Цель работы

Цель работы — изучение влияния состава субстрата на рост сеянцев сосны кедровой сибирской с ЗКС.

Материалы и методы

Исследования по выращиванию посадочного материала сосны кедровой сибирской проводились в течение трех вегетационных периодов (2021–2023 гг.). Объектом исследований служили всходы и сеянцы сосны кедровой сибирской (*Pinus sibirica*) с ЗКС первого года выращивания. Семена для посева были собраны в лесничествах Красноярского края (табл. 1), где они подвергались стратификации в условиях зимних непромерзающих траншей.

Для выращивания посадочного материала использовались разные варианты субстратов. В настоящей работе проанализированы развитие и рост сеянцев, выращиваемых на смесях с использованием торфа или кокосового волокна с добавлением вермикулита, перлита в разных пропорциях.

В качестве контрольного субстрата использовался торф. В процессе исследований авторы пытались подобрать торф, наиболее подходящий по характеристикам для сеянцев сосны кедровой сибирской. В 2021 г. применяли торф нейтральный «Агробалт-садовый» (обозначение варианта Т-21) с рН = 7,0. В 2022 г. — торфосмесь по рецепту № 19с/1 производства компании ООО «ВЕЛ-ТОРФ» с добавлением агроперлита (обозначение варианта Т₈Ап₂-22). В 2023 г. использовался торф нейтральный — «Агробалт-Н» (обозначение варианта Т-23) с рН = 5,5...6,0.

Для оптимизации характеристик смесей были исследованы субстраты, содержащие перлит, вермикулит, кокосовое волокно в разных пропорциях. В 2021 г. также были исследованы субстраты с добавлением почвы зараженной микоризой, которая была накопана на кедровых плантациях, расположенных в пригородной зоне г. Красноярска (табл. 2).

В эксперименте 2021 г. посев семян проводился в пластиковые стаканчики объемом 200 см³ с нанесением отверстий на нижнюю часть. В 2022–2023 гг. использовались специальные кассеты Plantek-81F с объемом ячейки 85 см³ (рис. 1).

Т а б л и ц а 1

Происхождение, место и способ выращивания сеянцев кедра сибирского с закрытой корневой системой

Origin, place and method of cultivation of Siberian stone seedlings with root-balled tree system

Место происхождения семян	Срок сбора семян	Срок посева	Срок измерений	Место и способ выращивания
Емельяновское	Сентябрь 2020	Июнь 2021	Август 2021	Оранжерея СибГУ им. М.Ф. Решетнева, стаканчики с субстратом
Северо-Енисейское	Сентябрь 2021	Июнь 2022	Август 2022	ООО «Красноярский лесопитомник» кассеты с субстратом
Тюхтетское	Сентябрь 2022	Июнь 2023	Август 2023	ООО «Красноярский лесопитомник» кассеты с субстратом

Т а б л и ц а 2

Экспериментальные варианты субстратов

Experimental variants of substrates

Обозначение варианта	Субстрат	Пропорции смеси, %
2021 г.		
К-21	Кокосовый субстрат	100
К ₈₈ П ₁₂ -21	Кокосовый субстрат с добавлением перлита	88/12
К ₈₈ В ₁₂ -21	Кокосовый субстрат с добавлением вермикулита	88/12
КТ-21	Кокосовый субстрат с торфом	50/50
К ₉₀ П ₅ В ₅ -21	Кокосовый субстрат с перлитом и вермикулитом	90/5/5
Т-21	Торф (контроль)	100
Т ₈₈ П ₁₂ -21	Торф с добавлением перлита	88/12
Т ₈₈ В ₁₂ -21	Торф с добавлением вермикулита	88/12
Т ₉₀ П ₅ В ₅ -21	Торф с перлитом 5 % и вермикулитом	90/5/5
КМ-21	Кокосовый субстрат с добавлением почвы смикоризой	50/50
2022 г.		
Т ₈ Ап ₂ -22	Торфо-смесь (контроль)	80/20
К-22	Кокосовый субстрат	100
КП-22	Кокосовый субстрат с перлитом	50/50
КВ-22	Кокосовый субстрат с вермикулитом	50/50
2023 г.		
Т-23	Торф (контроль)	100
К-23	Кокосовый субстрат	100
Т ₃ К ₁ -23	Торф с кокосовым волокном	75/25
Т ₃ П ₁ -23	Торф с добавлением перлита	75/25



Рис. 1. Сеянцы сосны кедровой сибирской с закрытой корневой системой в опытах 2021–2022 гг.
 Fig. 1. Seedlings of Siberian stone pine with root-balled system in the experiments of 2021–2022

Замеры высоты и диаметра у шейки корня сеянцев проводили с помощью цифрового штангенциркуля TOPEX 150 мм 31С628. Модельные сеянцы 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 в программе Microsoft Excel, уровень изменчивости признаков определяли по шкале С.А. Мамаева [50].

Результаты и обсуждение

Сеянцы сосны кедровой сибирской, выращенные из семян Емельяновского лесничества в пластиковых стаканчиках, в условиях оранжереи сформировали от 8 до 15 семядолей средней длиной $3,4 \pm 0,04$ см и первичную хвою, которая имела длину $1,2 \pm 0,02$ см. Средняя высота сеянцев (расстояние от корневой шейки до семядолей) составила $3,0 \pm 0,06$ см при диаметре у шейки корня $1,7 \pm 0,04$ мм. Масса надземной

Т а б л и ц а 3

Показатели однолетних сеянцев (опыт 2021 г.)

Indicators of annual seedlings (2021 experiment)

Показатель	Среднее значение X_{cp}	Ошибка, $\pm m$	Среднее стандартное отклонение, $\pm \sigma$	Точность опыта P , %	Коэффициент варибельности V , %
Высота, см	3,0	0,06	0,86	2,1	28,6
Диаметр, мм	1,7	0,04	0,49	2,0	28,5
Длина семядолей, см	3,4	0,04	0,61	1,3	17,9
Длина первичной хвои, см	1,2	0,02	0,34	2,1	29,6
Длина корня, см	9,5	0,56	3,73	5,8	39,2
Масса корня в абсолютно сухом состоянии, мг	0,4	0,02	0,16	5,4	35,9
Масса надземной части в абсолютно сухом состоянии, мг	1,1	0,03	0,23	3,1	20,9

Т а б л и ц а 4

Размеры однолетних сеянцев (опыт 2021 г.), выращенных на субстратах разного состава

Dimensions of annual seedlings (experiment 2021) grown on substrates of different composition

Обозначение варианта	Среднее значение X_{cp}	Ошибка, $\pm m$	Точность опыта P , %	Коэффициент варибельности V , %	Критерий Стьюдента t_{ϕ} при $t_{0,5} = 2,04$ $t_{10} = 1,70$
Высота, см					
T-21	3,8	0,20	5,4	23,7	–
T ₈₈ П ₁₂ -21	2,5	0,25	10,0	35,7	4,06
T ₈₈ B ₁₂ -21	3,1	0,17	5,5	22,8	2,67
T ₉₀ П ₅ B ₅ -21	3,4	0,20	5,9	25,1	1,41
K-21	2,4	0,15	6,1	24,3	5,60
K ₈₈ П ₁₂ -21	2,8	0,17	5,9	26,6	3,81
K ₈₈ B ₁₂ -21	3,4	0,16	4,7	20,9	1,56
KT-21	2,9	0,22	7,6	28,3	3,03
K ₉₀ П ₅ B ₅ -21	3,3	0,14	4,4	22,4	2,05
KM-21	2,7	0,21	7,9	20,8	3,79
Диаметр, мм					
T-21	1,7	0,10	6,3	27,4	–
T ₈₈ П ₁₂ -21	1,3	0,06	5,0	17,3	3,43
T ₈₈ B ₁₂ -21	1,9	0,06	3,2	13,4	1,71
T ₉₀ П ₅ B ₅ -21	1,6	0,06	3,9	16,7	0,86
K-21	1,4	0,06	4,4	17,5	2,57
K ₈₈ П ₁₂ -21	1,5	0,05	3,3	14,6	1,79
K ₈₈ B ₁₂ -21	1,9	0,04	1,9	8,4	1,86
KT-21	1,9	0,09	4,6	17,1	1,49
K ₉₀ П ₅ B ₅ -21	1,6	0,04	2,3	11,9	0,93
KM-21	2,0	0,08	3,8	10,1	2,34

части сеянцев в среднем составила $1,1 \pm 0,03$ мг в абсолютно сухом состоянии. К концу первого вегетационного периода сеянцы имели корни средней длиной $9,1 \pm 0,62$ см, массой $0,4 \pm 0,02$ мг в абсолютно сухом состоянии. Отмечен средний уровень изменчивости показателя длины семядолей, повышенный — остальных линейных размеров сеянцев и их надземной массы. Высокий уровень изменчивости отмечался по показателям корневой системы, ее длины и массы (табл. 3).

В зависимости от состава субстратов, в которых выращивались сеянцы, их высота составляла от 2,4 до 3,8 см, диаметр у шейки корня — от 1,3 до 2,0 мм (табл. 4).

Из табл. 4 видно, что сеянцы, выросшие на чистом торфе, к концу первого вегетационного периода обгоняют по высоте сеянцы большинства остальных вариантов. Различия не являются достоверными лишь в смеси торфа с добавлением перлита и вермикулита (T₉₀П₅B₅-21) и смеси

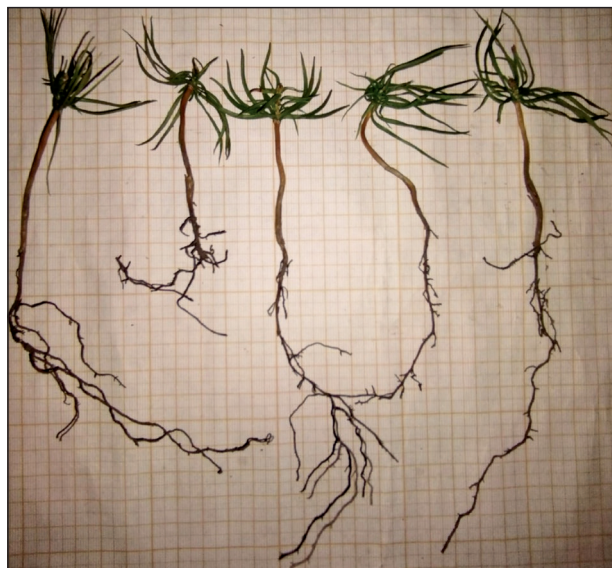


Рис. 2. Модельные сеянцы сосны кедровой сибирской
Fig. 2. Model seedlings of Siberian stone pine



a



b

Рис. 3. Сеянцы сосны кедровой сибирской, выращенные на субстратах разного состава: *a* — с кокосовым волокном; *b* — с торфом

Fig. 3. Siberian stone seedlings grown on substrates of different composition: *a* — with coconut fibre; *b* — with peat

кокоса и вермикулита ($K_{88}B_{12-21}$) ($t_{\phi} < t_{05}$). Однако диаметр у шейки корня сеянцев отличается большими размерами в вариантах субстратов с добавлением микоризы (K_{m-21} , $t_{\phi} > t_{05}$), кокоса с добавлением вермикулита ($K_{88}B_{12-21}$) и торфа с вермикулитом ($T_{88}B_{12-21}$). Различия по двум последним вариантам подтверждаются при 90%-м уровне вероятности ($t_{\phi} > t_{10}$). Использование в качестве субстрата 100%-го кокосового волокна отрицательно сказывается на линейных размерах сеянцев. Также негативное воздействие на рост однолетних кедровых сеянцев оказывает добавление перлита. Сеянцы, выросшие на субстратах, где к торфу или кокосу добавлен перлит, характеризовались меньшими размерами по сравнению с контрольными образцами.

В конце вегетационного сезона большая часть сеянцев была отправлена на доращивание, часть сеянцев взята в качестве модельных для определения размеров их корней и формируемой фитомассы (рис. 2).

Выявлено, что сеянцы, выращиваемые на субстратах, где основным компонентом был торф, формируют корни достоверно меньшей длины и массы (табл. 5, рис. 3).

Наименьшие размеры корней были отмечены на субстрате из торфа в сочетании с перлитом ($T_{88}P_{12-21}$). Их средняя длина составляла $5,7 \pm 0,56$ см. При этом длина корней на чистом торфе (вариант Т-21) составила $8,3 \pm 0,48$ см, а на чистом кокосовом субстрате (К-21) — $11,4 \pm 0,76$ см.

В опытах 2022–2023 гг. на основе полученных ранее результатов было проведено дополнительное исследование по влиянию субстратов на рост сеянцев сосны кедровой сибирской.

Установлено, что в варианте с кокосовым субстратом, смешанным поровну с вермикулитом (вариант KB-22), размеры однолетних сеянцев к концу вегетационного периода отличались достоверно большими размерами надземной части по сравнению с торфосмесью компании ООО «ВЕЛ-ТОРФ» с добавлением агроперлита (вариант T_8Ap_2-22) (табл. 6).

Внесение перлита в состав смеси (опыт 2023 г.) оказывало негативное воздействие на рост однолетних сеянцев (табл. 7).

Выводы

1. При посеве семян после траншейной стратификации в июне сеянцы сосны кедровой сибирской без внесения удобрений и стимуляторов роста к концу вегетационного сезона не успевают достичь стандартных размеров для лесокультурного производства и нуждаются в доращивании.

2. Корневая система однолетних сеянцев отличается лучшими характеристиками роста и

Т а б л и ц а 5

**Показатели модельных однолетних сеянцев опыта 2021 г.,
выращенных на субстратах разного состава**

Indices of model annual seedlings of the 2021 experiment grown on substrates of different composition

Основной компонент субстрата	Среднее значение X_{cp}	Ошибка, $\pm m$	Среднее стандартное отклонение, $\pm \sigma$	Точность опыта P , %	Коэффициент вариальности V , %	Критерий Стьюдента t_{ϕ} при $t_{05} = 2,06$
Длина корня, см						
Торф	7,2	0,50	2,22	6,9	30,8	4,79
Кокос	11,4	0,72	3,69	6,4	32,4	
Масса корня в абсолютно сухом состоянии, мг						
Торф	0,3	0,02	0,11	7,2	32,2	5,55
Кокос	0,5	0,03	0,15	5,7	28,4	
Масса надземной части в абсолютно сухом состоянии, мг						
Торф	1,1	0,09	0,41	8,3	38,8	1,01
Кокос	1,0	0,04	0,20	3,9	19,5	

Т а б л и ц а 6

Размеры однолетних сеянцев (опыт 2022 г.), выращенных на субстратах разного состава

Dimensions of annual seedlings (experiment 2022) grown on substrates of different composition

Обозначение варианта	Среднее значение X_{cp}	Ошибка, $\pm m$	Точность опыта P , %	Коэффициент вариальности V , %	Критерий Стьюдента t_{ϕ} при $t_{05} = 2,04$
Высота, см					
Т ₈ Ап ₂ -22	2,7	0,07	2,7	14,9	–
К-22	2,8	0,09	3,1	19,2	0,88
КП-22	2,8	0,06	2,2	14,1	1,08
КВ-22	3,4	0,07	2,0	15,4	7,07
Диаметр, мм					
Т ₈ Ап ₂ -22	1,7	0,06	3,4	18,1	–
К-22	1,6	0,07	4,1	22,4	1,08
КП-22	1,6	0,04	2,7	16,3	1,39
КВ-22	2,0	0,06	2,9	20,1	3,54

Т а б л и ц а 7

Высота однолетних сеянцев (опыт 2023 г.), выращенных на субстратах разного состава, см

Height of annual seedlings (experiment 2023) grown on substrates of different compositions, cm

Обозначение варианта	Среднее значение X_{cp}	Ошибка, $\pm m$	Точность опыта P , %	Коэффициент вариальности V , %	Критерий Стьюдента t_{ϕ} при $t_{05} = 2,04$
Т-23	3,3	0,12	3,5	14,1	–
К-23	3,0	0,11	3,6	15,3	1,84
Т ₃ К ₁ -23	3,0	0,11	3,5	14,9	1,84
Т ₃ П ₁ -23	2,7	0,14	5,3	20,6	3,25

фитомассы при использовании субстратов на кокосовом волокне, что, возможно, окажет существенное влияние на их дальнейшие ростовые характеристики.

3. Для составления субстратов можно использовать как традиционную составляющую — торф, так и кокосовое волокно, при условии добавления к последнему вермикулита или кедровой микоризы. Исходя из полученных нами данных, сеянцы отличаются лучшим ростом при добавле-

нии вермикулита или микоризы в равных долях с кокосовым волокном. Однако для подбора оптимального соотношения указанных элементов субстрата необходимо продолжать исследования в этом направлении.

4. Добавление перлита к торфяным смесям не оказывает положительного влияния на рост сеянцев. В ряде экспериментов, наоборот, прослеживается замедленный рост надземной части сеянцев и их корней.

Проведенные трехлетние наблюдения позволяют отметить влияние на рост сеянцев сосны кедровой сибирской не только состава субстрата, но и размера кома. Так, в опыте с использованием стаканчиков размером 200 см³ сеянцы, выращенные на контрольном торфяном субстрате, к концу вегетационного периода имели наибольшие размеры (высоту 3,8 ± 0,20 см против 2,7 ± 0,07 см и 3,3 ± 0,12 см при использовании кассет с объемом кома 85 см³ в опытах 2022–2023 гг.). Результаты исследований показывают перспективность продолжения исследований по влиянию размера кома на рост сеянцев с ЗКС.

Исследование выполнено в рамках государственного задания №FEFE-2024-0013 по заказу Министерства науки и высшего образования РФ коллективом научной лаборатории «Селекция древесных растений» по теме «Селекционно-генетические основы формирования целевых насаждений и рационального использования древесных ресурсов Красноярского края (Енисейской Сибири)»

Список литературы

- [1] Мерзленко М.Д. Актуальные аспекты искусственно-лесовосстановления // Лесной журнал, 2017. № 3. С. 22–30.
- [2] Жигунов А.В. Теория и практика выращивания посадочного материала с закрытой корневой системой для лесовосстановления. СПб.: Изд-во СПбНИИЛХ, 2000. 293 с.
- [3] Зоткина Т.А., Костырко А.Н. Выращивание посадочного материала с закрытой корневой системой: проблемы и перспективы // Лесные экосистемы: состояние, проблемы и пути их решения в современных условиях: Материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвященной 65-летию Института лесного и лесопаркового хозяйства, Усурийск, 29 сентября 2023 г. Усурийск: Изд-во Приморского ГАТУ, 2023. С. 22–25.
- [4] Авдеева Е.А., Ровных Н.Л., Иванов Д.В., Сухенко Н.В., Кухар И.В., Калинин М.Д. Российский и мировой опыт выращивания посадочного материала с закрытой корневой системой // Хвойные boreальной зоны, 2022. Т. 40. № 4. С. 205–258.
- [5] Васильев О.И. Технологические и экономические аспекты производства посадочного материала с закрытой корневой системой // Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства, 2018. № 2. С. 53–63
- [6] Гуль Л.П. О перспективности посадочного материала с закрытыми корнями на Дальнем Востоке // Использование и воспроизводство лесных ресурсов на Дальнем Востоке. Хабаровск: Изд-во ФБУ «ДальНИИЛХ», 2016. Вып. 39. С. 215–219.
- [7] Мочалов Б.А., Чирухина Н.А. Опыт содействия естественному возобновлению лиственницы на севере европейской части России // Наука — лесному хозяйству севера. Архангельск: Изд-во СевНИИЛХ, 2019. С. 55–61.
- [8] Морковина С.С., Драпалюк М.В., Баранова Е.В. Инновационные технологии в лесокультурном деле: реальность и перспективы // Лесотехнический журнал, 2015. Т. 5. № 3 (19). С. 327–338.
- [9] Бессчетнов В.П. Морфометрические параметры сеянцев сосны с открытой и закрытой корневой системой // Вестник Нижегородской государственной сельскохозяйственной академии, 2014. Т. 4. С. 52–67.
- [10] Ананьев Е.М., Залесов С.В., Луганский Н.А., Шубин Д.А., Осипенко А.Е. Опыт выращивания посадочного материала с закрытой корневой системой в Алтайском крае // Аграрный вестник Урала, 2017. № 8. (162). С. 4–9.
- [11] Хабибуллина Г.Р., Байтурина Р.Р. Практика выращивания посадочного материала с закрытой корневой системой как перспективная технология лесовосстановления // Эффективный ответ на современные вызовы с учетом взаимодействия человека и природы, человека и технологий: социально-экономические и экологические проблемы лесного комплекса. Екатеринбург: Изд-во УГЛТУ, 2023. С. 257–261.
- [12] Пастухова А.М., Войткевич А.Е. Выращивание сеянцев ЗКС лиственницы сибирской на опытных субстратах в ООО «Красноярский лесопитомник» // Леса России: политика, промышленность, наука, образование. СПб.: Изд-во СПбГЛТУ, 2023. С. 322–325.
- [13] Чичкарев А.С., Маленко А.А., Романико А.В., Леонов Е.А. Формирование лесных культур сосны на навеянных дерново-карбонатных почвах в засушливой степи // Аграрная наука — сельскому хозяйству. В 2-х кн. Барнаул: Изд-во Алтайского ГАУ, 2023. С. 48–50.
- [14] Решетникова О.В., Заречнев А.В. Особенности выращивания хвойных растений для лесовосстановления // Научные труды по агрономии, 2019. №2 (2). С. 29–37.
- [15] Белова А.И., Отрядных Т.А., Хамитов Р.С. Влияние сроков посадки на рост пятилетних культур ели европейской из сеянцев с закрытой корневой системой в южно-таежном районе Вологодской области: Практические аспекты ведения хозяйства и использования лесов. Вологда: Изд-во Вологодской ГМХА им. Н.В. Верещагина, 2023. С. 46–50.
- [16] Костин М.В. Использование посадочного материала с ЗКС при лесовосстановлении и перспектива его применения в Нижнем Поволжье // Вестник Института комплексных исследований аридных территорий, 2019. № 1(38). С. 16–20. DOI 10.24411/2071-7830-2019-10005
- [17] Жигулин Е.В. Совершенствование агротехники выращивания посадочного материала с закрытой корневой системой в теплицах с регулируемым микроклиматом: дис. ... канд. с.-х. наук, 2022. 146 с.
- [18] Диалло С.Л., Чмыр А.Ф. Перспективы выращивания сеянцев с закрытой корневой системой для аридных зон // Лесоводство, лесные культуры и почвоведение: Рациональное использование и воспроизводство лесных ресурсов. Л.: Изд-во ЛТА, 1988. С. 32–36.
- [19] Жигунов Е.В., Оплетаев А.С., Гоф А.А. Рост сеянцев при их выращивании с закрытой корневой системой // Актуальные проблемы лесного комплекса, 2019. № 55. С. 93–96.
- [20] Ананьев Е.М. Причины низкой приживаемости лесных культур, создаваемых сеянцами с закрытой корневой системой // Актуальные проблемы лесного комплекса, 2017. № 49. С. 58–62.
- [21] Гоф А.А., Жигулин Е.В., Залесов С.В., Оплетаев А.С. Опыт создания лесных культур сеянцами с закрытой корневой системой на гаях Алтайского края // Международный научно-исследовательский журнал, 2019. № 12–2(90). С. 125–130. DOI 10.23670/IRJ.2019.90.12.073
- [22] Кузьмин Э.А. Использование сеянцев и саженцев с открытой и закрытой корневой системой при создании культур кедров корейского // Лесовосстановление на Дальнем Востоке. Хабаровск: Изд-во ДальНИИЛХ, 1980. С. 49–53.

- [23] Гуль Л.П., Лубенская В.Ф. Приживаемость и рост различных видов посадочного материала кедр и ели в опытных посадках // Лесное хозяйство в горных лесах Дальнего Востока. Хабаровск: Изд-во ДальНИИЛХ, 1982. С. 123–130.
- [24] Храмова О.Ю., Молодцов С.В. Выращивание сеянцев сосны кедровой сибирской с закрытой корневой системой в закрытом грунте Семеновского спецселекционного // Лесоводство Нижегородской области на рубеже веков. Нижний Новгород: Изд-во Нижегородской ГСХА, 2004. С. 192–197.
- [25] Братилова Н.П., Матвеева Р.Н., Буторова О.Ф., Карпухина И.В., Щерба Ю.Е. Изменчивость сосны кедровой сибирской по урожайности и содержанию в семенах аминокислот // Хвойные бореальной зоны, 2016. Т. 34. № 1–2. С. 69–71.
- [26] Коновалова Д.А., Братилова Н.П., Коротков А.А. Рост и развитие сеянцев сосны кедровой сибирской с закрытой корневой системой на субстратах с разным составом // Плодоводство, семеноводство, интродукция древесных растений, 2022. Т. 25. С. 55–57.
- [27] Титов Е.В. Кедр. М.: Колос, 2007. 152 с.
- [28] 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. Новосибирск, 20 декабря 2023 г. Новосибирск: Золотой колос, 2023. С. 85–88.
- [29] 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.
- [30] 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 г. Калининград: Изд-во Калининградского ГТУ, 2023. С. 19–22.
- [31] Бородин И.И. Наиболее используемые материалы, применяемые в качестве субстратов // Агропромышленный комплекс: проблемы и перспективы развития: Материалы Всерос. науч.-практ. конф., Благовещенск, 21 апреля 2021 г. Благовещенск: Изд-во ДальГАУ, 2021. С. 18–24.
- [32] Соколовский И.В., Домасевич А.А. Изменение реакции среды сепарированного верхового торфа // Труды БГТУ, 2016. № 1. С. 144–147.
- [33] Звягинцев В.Ю., Пряничникова А.В., Никончук А.В. Перспективы использования саженцев с закрытой корневой системой // Лесозащита и комплексное использование древесины. Красноярск: Изд-во СибГУ им. М.Ф. Решетнева, 2020. С. 80–83.
- [34] Робонен Е.В., Зайцева М.И., Чернобровкина Н.П., Чернышенко О.В., Васильев С.Б. Опыт разработки и использования контейнерных субстратов для лесных питомников. Альтернативы торфу // Resources and Technology, 2015. Т. 12. № 1. С. 47–76.
- [35] Бурцев Д.С. Зарубежный опыт искусственной микоризации сеянцев лесных древесных пород с закрытой корневой системой // Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства, 2014. № 1. С. 47–61.
- [36] Trappe J.M. Selection of fungi for ectomycorrhizal inoculation in nurseries // Annual Review of Phytopathology, 1977, no. 15, pp. 203–222.
- [37] Bowen G.D. Mineral nutrition of ectomycorrhizae // Ectomycorrhizae, their ecology and physiology. New York: Academic Press, 1973, pp. 151–205.
- [38] Vaario L.M., Tervonen A., Haukioja K. The effect of nursery substrate and fertilization on the growth and ectomycorrhizal status of containerized and outplanted seedlings of Picea abies // Canadian J. of Forest Research, 2009, no. 39, pp. 64–75.
- [39] Крючков С.Н., Вдовенко А.В., Зарубина А.В., Егоров С.А. Эффективность использования микоризы и полимерных материалов при выращивании сеянцев сосны в засушливых условиях // Научно-агрономический журнал, 2021. № 2 (113). С. 34–38. DOI 10.34736/FNC.2021.113.2.005.
- [40] Лобанов Н.В. Микотрофность древесных растений. М.: Лесная пром-сть, 1971. 216 с.
- [41] Графова Е.О., Гаврилова О.И., Горбач В.В. Исследование почвенных субстратов на основе отходов деревообработки для выращивания лесных сеянцев // Resources and Technology, 2023. Т. 20. № 2. С. 82–98.
- [42] Мухортов Д.И., Антропова А.В. Рост и развитие сеянцев сосны обыкновенной в контейнерах при использовании субстратов различной плотности сложения // Лесные экосистемы в условиях изменения климата, биологическая продуктивность и дистанционный мониторинг: Междунар. сб. науч. статей, 9 ноября 2019 г., Йошкар-Ола. Йошкар-Ола: Изд-во ПГТУ, 2019. С. 42–53.
- [43] Кузнецова Л.М., Яковлева Л.Н. Изменение физико-химических свойств торфяного тепличного грунта в процессе его использования // Труды ВНИИТП. Вып. 51. Л.: Изд-во ВНИИТП, 1983. С. 68–73.
- [44] Чернобровкина Н.П., Егорова А.В., Робонен Е.В., Нелаева К.Г. Биопрепараты из древесной зелени для выращивания сеянцев хвойных пород // X съезд общества физиологов растений России «Биология растений в эпоху глобальных изменений климата»: Всерос. науч. конф. с междунар. участием. Уфа: Изд-во Уфимского ФИЦ РАН, 2023. С. 385.
- [45] Степень Р.А., Репях С.М. Альтернативные пути рациональной переработки древесных отходов // Инвестиционный потенциал лесопромышленного комплекса Красноярского края. Красноярск: Изд-во СибГТУ, 2001. С. 239–240.
- [46] Зайцева М.И. Особенности применения порубочных остатков березы при выращивании сеянцев сосны обыкновенной // Труды лесоинженерного факультета ПетрГУ, 2010. № 8. С. 53–56.
- [47] Sabirzyanov I.G., Ishbirdina L.M., Muftakhova S.I., Achmadullina A.A. Intensification of cultivation of seedlings of siberian spruce (*Picea obovata* deb.) in the Southern Urals // E3S WEB of conferences. Int. Sci. Conf. «Fundamental and Applied Scientific Research in the Development of Agriculture in the Far East» (AFE-2023). EDP Sciences, 2023, p. 02048.
- [48] Жигунов А.В., Бондаренко А.С. Комплексная оценка генотипов ели европейской для создания лесосеменных плантаций повышенной генетической ценности // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Лес. Экология. Природопользование, 2016. № 1 (29). С. 20–29.
- [49] Нелаева К.Г., Чернобровкина Н.П., Робонен Е.В., Егорова А.В. Приживаемость контейнерных сеянцев *Pinus sylvestris* L. двухротационного выращивания в Карелии // Леса России: политика, промышленность, наука, образование: Материалы VIII Всерос. науч.-техн. конф. СПб.: Изд-во СПбГЛТУ, 2023. С. 304–306.
- [50] Мамаев С.А. Формы внутривидовой изменчивости древесных растений (на примере семейства *Pinaceae*). М.: Наука, 1973. 284 с.

Сведения об авторах

Коновалова Дарья Александровна — аспирант кафедры селекции и озеленения института лесных технологий, ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева», konovalova_da@sibsau.ru

Братилова Наталья Петровна — д-р с.-х. наук, профессор, заведующий кафедрой селекции и озеленения института лесных технологий, ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева», bratilovanp@sibsau.ru

Мантулина Алина Валерьевна — аспирант кафедры селекции и озеленения института лесных технологий, ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева», mantulina_av@sibsau.ru

Коротков Александр Анатольевич — канд. с.-х. наук, доцент кафедры селекции и озеленения института лесных технологий, ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева», korotkov_aa@sibsau.ru

Поступила в редакцию 27.03.2024.

Одобрено после рецензирования 14.06.2024.

Принята к публикации 26.08.2024.

SIBERIAN STONE PINE SEEDLINGS GROWTH WITH ROOT-BALLED TREE SYSTEM ON EXPERIMENTAL SUBSTRATES

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

Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, 31, av. named after newspaper «Krasnoyarskiy rabochiy», 660037, Krasnoyarsk, Russia

konovalova_da@sibsau.ru

Growth and development of annual seedlings of Siberian cedar pine (*Pinus sibirica* Du Tour) grown on mixtures using peat or coconut fiber with the addition of vermiculite, perlite in different proportions were analyzed. By the end of the first growing season (2021 year), the average weight of the above-ground part of seedlings averaged $1,1 \pm 0,03$ mg, and of roots was $0,4 \pm 0,02$ mg in the absolutely dry state. The influence of substrate composition on the growth of Siberian cedar pine seedlings with closed root system was established. Seedlings grown on pure peat overtook the seedlings of most of the used variants of mixtures in height. However, the plants grown on substrates where peat was the main component formed roots of significantly lower length and weight than on substrates based on coconut fiber. The sizes of annual seedlings in the variant with coconut fiber substrate mixed equally with vermiculite were characterized by significantly larger sizes of the above-ground parts by the end of the vegetation period compared to the peat mixture with the addition of agropelrite. Three-year observations (2021–2023 years) allow us to note the influence not only of the substrate composition, but also of the root ball size on the growth of Siberian pine seedlings. In the experiment with the use of 200 cm³ cups, seedlings grown on control peat substrate had the largest size in height by the end of the growing season than when using cassettes with a root ball volume of 85 cm³.

Keywords: Siberian stone pine (*Pinus sibirica*), seedlings with root-balled tree system, substrates, peat, coconut fiber, root ball volume

Suggested citation: Konovalova D.A., Bratilova N.P., Mantulina A.V., Korotkov A.A. *Rost seyantsev sosny kedrovoy sibirskoy s zakrytoy kornevoy sistemoy na eksperimental'nykh substratakh* [Siberian stone pine seedlings growth with root-balled tree system on experimental substrates]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2024, vol. 28, no. 5, pp. 55–67. DOI: 10.18698/2542-1468-2024-5-55-67

References

- [1] Merzlenko M.D. *Aktual'nye aspekty iskusstvennogo lesvosstanovleniya* [Actual aspects of artificial reforestation]. *Lesnoy zhurnal* [Forestry magazine], 2017, no. 3, pp. 22–30.
- [2] Zhigunov A.V. *Teoriya i praktika vyrashchivaniya posadochnogo materiala s zakrytoy kornevoy sistemoy dlya lesvosstanovleniya* [Theory and practice of growing planting material with a closed root system for reforestation]. St. Petersburg: St. Petersburg Research Institute of Forestry, 2000, 293 p.
- [3] Zotkina T.A., Kostyrko A.N. *Vyrashchivanie posadochnogo materiala s zakrytoy kornevoy sistemoy: problemy i perspektivy* [Growing planting material with a closed root system: problems and prospects]. *Lesnye ekosistemy: sostoyanie, problemy i puti ikh resheniya v sovremennykh usloviyakh: Mater. Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy 65-letiyu Instituta lesnogo i lesoparkovogo khozyaystva* [Forest ecosystems: state, problems and ways of their solution in modern conditions: Proc. of the International scientific and practical conference dedicated to the 65th anniversary of the Institute of Forestry and Forest Park Management], Ussuriysk, September 29, 2023. Ussuriysk: Primorsky State Agrarian and Technological University, 2023, pp. 22–25.

- [4] Avdeeva E.A., Rovnykh N.L., Ivanov D.V., Sukhenko N.V., Kukhar I.V., Kalinin M.D. *Rossiyskiy i mirovoy opyt vyrashchivaniya posadochnogo materiala s zakrytoy kornevoy sistemoy* [Russian and world experience in growing planting material with a closed root system]. *Khvoynnye boreal'noy zony* [Conifers of the boreal zone], 2022, v. 40, no. 4, pp. 205–258.
- [5] Vasil'ev O.I. *Tekhnologicheskie i ekonomicheskie aspekty proizvodstva posadochnogo materiala s zakrytoy kornevoy sistemoy* [Technological and economic aspects of producing planting material with a closed root system]. *Trudy Sankt-Peterburgskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta lesnogo khozyaystva* [Transactions of the St. Petersburg Forestry Research Institute], 2018, no. 2, pp. 53–63.
- [6] Gul' L.P. *O perspektivnosti posadochnogo materiala s zakrytymi kornyami na Dal'nem Vostoke* [On the prospects of planting material with closed roots in the Far East]. *Ispol'zovanie i vosproizvodstvo lesnykh resursov na Dal'nem Vostoke* [Use and reproduction of forest resources in the Far East]. Khabarovsk: Publishing house of the Federal State Budgetary Institution «Far Research Forestry Institute», 2016, iss. 39, pp. 215–219.
- [7] Mochalov B.A., Chirukhina N.A. *Opyt sodeystviya estestvennomu vozobnovleniyu listvennitsy na severe evropeyskoy chasti Rossii* [Experience of promoting natural regeneration of larch in the north of the European part of Russia]. *Nauka — lesnomu khozyaystvu severa* [Science for northern forestry]. Arkhangel'sk: SevNIILH, 2019, pp. 55–61.
- [8] Morkovina S.S., Drapalyuk M.V., Baranova E.V. *Innovatsionnye tekhnologii v lesokul'turnom dele: real'nost' i perspektivy* [Innovative technologies in forest culture: reality and prospects]. *Lesotekhnicheskii zhurnal* [Forestry Engineering J.], 2015, v. 5, no. 3 (19), pp. 327–338.
- [9] Besschetnov V.P. *Morfometricheskie parametry seyantsev sosny s otkrytoy i zakrytoy kornevoy sistemoy* [Morphometric parameters of pine seedlings with open and closed root systems]. *Vestnik Nizhegorodskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* [Bulletin of the Nizhny Novgorod State Agricultural Academy], 2014, v. 4, pp. 52–67.
- [10] Anan'ev E.M., Zalesov S.V., Luganskiy N.A., Shubin D.A., Osipenko A.E. *Opyt vyrashchivaniya posadochnogo materiala s zakrytoy kornevoy sistemoy v Altayskom krae* [Experience of growing planting material with a closed root system in the Altai Territory]. *Agrarnyy vestnik Urala* [Agrarian Bulletin of the Urals], 2017, no. 8 (162), pp. 4–9.
- [11] Khabibullina G.R., Bayturina R.R. *Praktika vyrashchivaniya posadochnogo materiala s zakrytoy kornevoy sistemoy kak perspektivnaya tekhnologiya lesovosstanovleniya* [The practice of growing planting material with a closed root system as a promising technology for reforestation]. *Effektivnyy otvet na sovremennyye vyzovy s uchetoм vzaimodeystviya cheloveka i prirody, cheloveka i tekhnologii: sotsial'no-ekonomicheskie i ekologicheskie problemy lesnogo kompleksa* [An effective response to modern challenges taking into account the interaction of man and nature, man and technology: socio-economic and environmental problems of the forest complex]. Ekaterinburg: USLTU, 2023, pp. 257–261.
- [12] Pastukhova A.M., Voytkovich A.E. *Yrashchivanie seyantsev ZKS listvennitsy sibirskoy na opytnykh substratakh v OOO «Krasnoyarskiy lesopitomnik»* [Growing seedlings of Siberian larch in closed root systems on experimental substrates in Krasnoyarsk Forest Nursery LLC]. *Lesa Rossii: politika, promyshlennost', nauka, obrazovanie* [Russian Forests: Policy, Industry, Science, Education]. St. Petersburg: SPbGLTU, 2023, pp. 322–325.
- [13] Chichkarev A.S., Malenko A.A., Romaniko A.V., Leonov E.A. *Formirovaniye lesnykh kul'tur sosny na naveyannykh dernovo-karbonatnykh pochvakh v zasushlivoй stepi* [Formation of pine forest crops on induced sod-carbonate soils in arid steppe]. *Agrarnaya nauka — sel'skomu khozyaystvu* [Agrarian science for agriculture], in 2 books. Barnaul: Altai State Agrarian University, 2023, pp. 48–50.
- [14] Reshetnikova O.V., Zarechnev A.V. *Osobennosti vyrashchivaniya khvoynnykh rasteniy dlya lesovosstanovleniya* [Features of growing conifers for reforestation]. *Nauchnye trudy po agronomii* [Scientific works on agronomy], 2019, no. 2 (2), pp. 29–37.
- [15] Belova A.I., Otradnykh T.A., Khamitov R.S. *Vliyaniye srokov posadki na rost pyatiletnikh kul'tur eli evropeyskoy iz seyantsev s zakrytoy kornevoy sistemoy v yuzhno-taеzhnom rayone Vologodskoy oblasti: Prakticheskie aspekty vedeniya khozyaystva i ispol'zovaniya lesov* [Effect of planting timing on the growth of five-year-old European spruce crops from closed root system seedlings in the southern taiga region of the Vologda Oblast: Practical aspects of forest management and use]. Vologda: Vologda State Dairy Farming Academy named after N.V. Vereshchagin, 2023, pp. 46–50.
- [16] Kostin M.V. *Ispol'zovanie posadochnogo materiala s ZKS pri lesovosstanovlenii i perspektiva ego primeneniya v Nizhnem Povolzh'e* [Use of closed root system planting material in forest restoration and the prospects for its application in the Lower Volga region]. *Vestnik Instituta kompleksnykh issledovaniy aridnykh territoriy* [Bulletin of the Institute for Comprehensive Research of Arid Territories], 2019, no. 1(38), pp. 16–20. DOI 10.24411/2071-7830-2019-10005
- [17] Zhigulin E.V. *Sovershenstvovaniye agrotekhniki vyrashchivaniya posadochnogo materiala s zakrytoy kornevoy sistemoy v teplitsakh s reguliruемym mikroklimatом* [Improving the agricultural technology of growing planting material with a closed root system in greenhouses with a controlled microclimate]. *Diss. Cand. Sci. (Agric.)*, 2022, 146 p.
- [18] Diallo S.L., Chmyr A.F. *Perspektivy vyrashchivaniya seyantsev s zakrytoy kornevoy sistemoy dlya aridnykh zon* [Prospects for growing seedlings with a closed root system for arid zones]. *Lesovodstvo, lesnye kul'tury i pochvovedeniye: Ratsional'noe ispol'zovanie i vosproizvodstvo lesnykh resursov* [Forestry, forest crops and soil science: Rational use and reproduction of forest resources]. Leningrad: LTA, 1988, pp. 32–36.
- [19] Zhigunov E.V., Opletaev A.S., Gof A.A. *Rost seyantsev pri ikh vyrashchivanii s zakrytoy kornevoy sistemoy* [Growth of seedlings when growing them with a closed root system]. *Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa* [Actual problems of the forest complex], 2019, no. 55, pp. 93–96.
- [20] Anan'ev E.M. *Prichiny nizkoy prizhivaemosti lesnykh kul'tur, sozdavaemykh seyantsami s zakrytoy kornevoy sistemoy* [Reasons for the low survival rate of forest crops created by seedlings with a closed root system]. *Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa* [Actual problems of the forest complex], 2017, no. 49, pp. 58–62.
- [21] Gof A.A., Zhigulin E.V., Zalesov S.V., Opletaev A.S. *Opyt sozdaniya lesnykh kul'tur seyantsami s zakrytoy kornevoy sistemoy na garyakh Altayskogo kraya* [Experience of creating forest crops by seedlings with a closed root system on burnt-out areas of the Altai Territory]. *Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal* [International Research Journal], 2019, no. 12–2(90), pp. 125–130. DOI 10.23670/IRJ.2019.90.12.073
- [22] Kuz'min E.A. *Ispol'zovanie seyantsev i sazhenitsev s otkrytoy i zakrytoy kornevoy sistemoy pri sozdanii kul'tur kedra koreyskogo* [Use of seedlings and saplings with open and closed root systems in creating Korean cedar crops]. *Lesovosstanovleniye na Dal'nem Vostoke* [Reforestation in the Far East]. Khabarovsk: DalNIILH, 1980, pp. 49–53.

- [23] Gul' L.P., Lubenskaya V.F. *Prizhivaemost' i rost razlichnykh vidov posadochnogo materiala kedra i eli v opytnykh posadkakh* [Survival and growth of various types of cedar and spruce planting material in experimental plantings]. *Lesnoe khozyaystvo v gornykh lesakh Dal'nego Vostoka* [Forestry in the mountain forests of the Far East]. Khabarovsk: DalNIILH, 1982, pp. 123–130.
- [24] Khranova O. Yu., Molodtsov S.V. *Vyrashchivanie seyantsev sosny kedrovoy sibirskoy s zakrytoy kornevoy sistemoy v zakrytom grunte Semenovskogo spetssemleskhoza* [Growing Siberian cedar pine seedlings with a closed root system in closed ground of the Semenovsky special forestry enterprise]. *Lesovodstvo Nizhegorodskoy oblasti na rubezhe vekov* [Forestry of the Nizhny Novgorod region at the turn of the century]. Nizhny Novgorod: Nizhny Novgorod State Agricultural Academy, 2004, pp. 192–197.
- [25] Bratilova N.P., Matveeva R.N., Butorova O.F., Karpukhina I.V., Shcherba Yu.E. *Izmenchivost' sosny kedrovoy sibirskoy po urozhaynosti i sodержaniyu v semenakh aminokislot* [Variability of Siberian cedar pine in yield and amino acid content in seeds]. *Khvoynye boreal'noy zony* [Conifers of the boreal zone], 2016, v. 34, no. 1–2, pp. 69–71.
- [26] Konovalova D.A., Bratilova N.P., Korotkov A.A. *Rost i razvitie seyantsev sosny kedrovoy sibirskoy s zakrytoy kornevoy sistemoy na substratakh s raznym sostavom* [Growth and development of Siberian cedar pine seedlings with a closed root system on substrates with different compositions]. *Plodovodstvo, semenovodstvo, introduktsiya drevesnykh rasteniy* [Fruit growing, seed production, introduction of woody plants], 2022, v. 25, pp. 55–57.
- [27] Titov E.V. *Kedr* [Cedar]. Moscow: Kolos, 2007, 152 p.
- [28] Matveychuk O.S., Tret'yakova R.A., Parkina O.V. *Dinamika razvitiya sazhentsev sosny kedrovoy sibirskoy s raznym tipom kornevoy sistemy* [Dynamics of development of Siberian cedar pine seedlings with different types of root system]. *Rol' agrarnoy nauki v ustoychivom razvitii sel'skikh territoriy: Mater. VIII Vseros. (natsional'noy) nauch. konf. s mezhdunar. uchastiem* [The role of agricultural science in sustainable development of rural areas: Proc. VIII All-Russian (national) scientific conf. with international. participation]. Novosibirsk, December 20, 2023. Novosibirsk: Golden Ear, 2023, pp. 85–88.
- [29] Runova E.M., Denisenko A.V. *Nekotorye osobennosti rosta i razvitiya seyantsev sosny sibirskoy (Pinus sibirica Du Tour) v usloviyakh teplitsy* [Some features of growth and development of Siberian pine seedlings (*Pinus sibirica* Du Tour) in greenhouse conditions]. *Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa* [Actual problems of the forest complex], 2022, no. 62, pp. 204–207.
- [30] Belykh O.A., Lukiyanchuk L.P. *Vliyaniye sinteticheskogo stimulyatora rosta na razvitie sazhentsev sosny kedrovoy* [Effect of synthetic growth stimulator on development of Siberian pine seedlings]. *Baltiyskiy morskoy forum: Mater. XI Mezhdunar. Baltiyskogo morskogo foruma* [Baltic Marine Forum: Proc. of the XI International Baltic Marine Forum], Kaliningrad, September 25–30, 2023. Kaliningrad: Kaliningrad State Technical University, 2023, pp. 19–22.
- [31] Borodin I.I. *Naibolee ispol'zuemye materialy, primenyaemye v kachestve substratov* [The most commonly used materials used as substrates]. *Agropromyshlenny kompleks: problemy i perspektivy razvitiya: Mater. Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Agro-industrial complex: problems and development prospects: Proc. of the All-Russian scientific and practical conference], Blagoveshchensk, April 21, 2021. Blagoveshchensk: Far Eastern State Agrarian University, 2021, pp. 18–24.
- [32] Sokolovskiy I.V., Domasevich A.A. *Izmenenie reaktivnosti sredy separirovannogo verkhovogo torfa* [Changing the reaction of the separated high-moor peat environment]. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2016, no. 1, pp. 144–147.
- [33] Zvyagintsev V.Yu., Pryanichnikov A.V., Nikonchuk A.V. *Perspektivy ispol'zovaniya sazhentsev s zakrytoy kornevoy sistemoy* [Prospects for using seedlings with a closed root system]. *Lesoekspluatatsiya i kompleksnoe ispol'zovanie drevesiny* [Forest exploitation and complex use of wood]. Krasnoyarsk: Siberian State University named after M.F. Reshetnev, 2020, pp. 80–83.
- [34] Robonen E.V., Zaytseva M.I., Chernobrovkina N.P., Chernyshenko O.V., Vasil'ev S.B. *Opyt razrabotki i ispol'zovaniya konteynernykh substratov dlya lesnykh pitomnikov. Al'ternativy torfu* [Experience in the development and use of container substrates for forest nurseries. Alternatives to peat]. *Resources and Technology* [Resources and Technology], 2015, v. 12, no. 1, pp. 47–76.
- [35] Burtsev D.S. *Zarubezhnyy opyt iskusstvennoy mikorizatsii seyantsev lesnykh drevesnykh porod s zakrytoy kornevoy sistemoy* [Foreign experience of artificial mycorrhization of seedlings of forest tree species with a closed root system]. *Trudy Sankt-Peterburgskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta lesnogo khozyaystva* [Transactions of the St. Petersburg Research Institute of Forestry], 2014, no. 1, pp. 47–61.
- [36] Trappe J.M. Selection of fungi for ectomycorrhizal inoculation in nurseries. *Annual Review of Phytopathology*, 1977, no. 15, pp. 203–222.
- [37] Bowen G.D. Mineral nutrition of ectomycorrhizae. *Ectomycorrhizae, their ecology and physiology*. New York: Academic Press, 1973, pp. 151–205.
- [38] Vaario L.M., Tervonen A., Haukioja K. The effect of nursery substrate and fertilization on the growth and ectomycorrhizal status of containerized and outplanted seedlings of Picea abies. *Canadian J. of Forest Research*, 2009, no. 39, pp. 64–75.
- [39] Kryuchkov S.N., Vdovenko A.V., Zarubina A.V., Egorov S.A. *Effektivnost' ispol'zovaniya mikorizy i polimernykh materialov pri vyrashchivaniy seyantsev sosny v zasushlivykh usloviyakh* [Efficiency of using mycorrhiza and polymeric materials in growing pine seedlings in dry conditions]. *Nauchno-agronomicheskii zhurnal* [Scientific and Agronomic J.], 2021, no. 2 (113), pp. 34–38. DOI 10.34736/FNC.2021.113.2.005
- [40] Lobanov N.V. *Mikotrofnost' drevesnykh rasteniy* [Mycotrophy of woody plants]. Moscow: Lesnaya Promyshlennost, 1971, 216 p.
- [41] Grafova E.O., Gavrilo O.I., Gorbach V.V. *Issledovanie pochvennykh substratov na osnove otkhodov derevoobrabotki dlya vyrashchivaniya lesnykh seyantsev* [Study of soil substrates based on wood processing waste for growing forest seedlings]. *Resources and Technology* [Resources and Technology], 2023, v. 20, no. 2, pp. 82–98.
- [42] Mukhortov D.I., Antropova A.V. *Rost i razvitie seyantsev sosny obyknovnoy v konteynerakh pri ispol'zovanii substratov razlichnoy plotnosti slozheniya* [Growth and development of Scots pine seedlings in containers using substrates of different bulk densities]. *Lesnye ekosistemy v usloviyakh izmeneniya klimata, biologicheskaya produktivnost' i distantsionnyy monitoring: Mezhdunarodnyy sbornik nauchnykh statey* [Forest ecosystems in the context of climate change, biological productivity and remote monitoring: International collection of scientific articles], November 9, 2019, Yoshkar-Ola. Yoshkar-Ola: PSTU, 2019, pp. 42–53.

- [43] Kuznetsova L.M., Yakovleva L.N. *Izmenenie fiziko-khimicheskikh svoystv torfyanogo teplichnogo grunta v protsesse ego ispol'zovaniya* [Changes in the physicochemical properties of peat greenhouse soil during its use]. Trudy VNIITP [Proceedings of VNIITP], iss. 51. Leningrad: VNIITP, 1983, pp. 68–73.
- [44] Chernobrovkina N.P., Egorova A.V., Robonen E.V., Nelaeva K.G. *Biopreparaty iz drevesnoy zeleni dlya vyrashchivaniya seyantsev khvoynykh porod* [Biopreparations from wood greenery for growing coniferous seedlings]. X S'ezd obshchestva fiziologov rasteniy Rossii «Biologiya rasteniy v epokhu global'nykh izmeneniy klimata»: Vserossiyskaya nauchnaya konferentsiya s mezhdunarodnym uchastiem [X Congress of the Society of Plant Physiologists of Russia «Plant Biology in the Era of Global Climate Change»: All-Russian scientific conference with international participation]. Ufa: Ufa Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, 2023, p. 385.
- [45] Stepen' R.A., Repyakh S.M. *Alternativnye puti ratsional'noy pererabotki drevesnykh otkhodov* [Alternative ways of rational processing of wood waste]. Investitsionnyy potentsial lesopromyshlennogo kompleksa Krasnoyarskogo kraia [Investment potential of the forestry complex of Krasnoyarsk Krai]. Krasnoyarsk: SibSTU, 2001, pp. 239–240.
- [46] Zaytseva M.I. *Osobennosti primeneniya porubochnykh ostatkov berezy pri vyrashchivanii seyantsev sosny obyknovennoy* [Features of the use of birch logging residues in growing Scots pine seedlings]. Trudy lesoinzhenernogo fakul'teta PetrGU [Proceedings of the Forest Engineering Faculty of PetrSU], 2010, no. 8, pp. 53–56.
- [47] Sabirzyanov I.G., Ishbirdina L.M., Muftakhova S.I., Achmadullina A.A. Intensification of cultivation of seedlings of Siberian spruce (*Picea obovata* ledeb.) in the Southern Urals. E3S WEB of conferences. International Scientific Conference «Fundamental and Applied Scientific Research in the Development of Agriculture in the Far East» (AFE–2023). EDP Sciences, 2023, p. 02048.
- [48] Zhigunov A.V., Bondarenko A.S. *Kompleksnaya otsenka genotipov eli evropeyskoy dlya sozdaniya lesesemennykh plantatsiy povyshennoy geneticheskoy tsennosti* [Comprehensive assessment of Norway spruce genotypes for the creation of forest seed plantations of increased genetic value]. Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Seriya: Les. Ekologiya. Prirodopol'zovanie [Bulletin of the Volga State Technological University. Series: Forest. Ecology. Nature Management], 2016, no. 1 (29), pp. 20–29.
- [49] Nelaeva K.G., Chernobrovkina N.P., Robonen E.V., Egorova A.V. *Prizhivaemost' konteynernykh seyantsev Pinus sylvestris L. dvukhrotatsionnogo vyrashchivaniya v Karelii* [Survival of container seedlings of *Pinus sylvestris* L. grown in two rotations in Karelia]. Lesa Rossii: politika, promyshlennost', nauka, obrazovanie: Mater. VIII Vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii [Forests of Russia: policy, industry, science, education: Proc. of the VIII All-Russian scientific and technical conference]. St. Petersburg: SPbGLTU, 2023, pp. 304–306.
- [50] Mamaev S.A. *Formy vnutrividovoy izmenchivosti drevesnykh rasteniy (na primere semeystva Pinaceae)* [Forms of intraspecific variability of woody plants (using the Pinaceae family as an example)]. Moscow: Nauka, 1973, 284 p.

The research was carried out within the framework of the state assignment №FEFE-2024-0013 by the order of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation by the team of the scientific laboratory «Selection of woody plants» on the theme «Selection and genetic bases of formation of target plantations and rational use of woody resources of the Krasnoyarsk region (Yenisei Siberia)»

Authors' information

Konovalova Dar'ya Aleksandrovna [✉] — pg. of the Department of Breeding and Landscaping of the Institute of Forest Technologies, Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, konovalova_da@sibsau.ru

Bratilova Natal'ya Petrovna — Dr. Sci. (Agriculture), Professor, Head of the Department of Breeding and Landscaping at the Institute of Forest Technologies, Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, bratilovanp@sibsau.ru

Mantulina Alina Valer'evna — pg. of the Department of Breeding and Landscaping of the Institute of Forest Technologies, Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, mantulina_av@sibsau.ru

Korotkov Aleksandr Anatol'evich — Cand. Sci. (Agriculture), Associate Professor of the Department of Breeding and Landscaping of the Institute of Forest Technologies, Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, korotkov_aa@sibsau.ru

Received 27.03.2024.

Approved after review 14.06.2024.

Accepted for publication 26.08.2024.

Вклад авторов: все авторы в равной доле участвовали в написании статьи
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов
Authors' Contribution: All authors contributed equally to the writing of the article
The authors declare that there is no conflict of interest