

ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ОПЫТ СОЗДАНИЯ КУЛЬТУР СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ (*PINUS SYLVESTRIS* L.) СЕЯНЦАМИ С ЗАКРЫТОЙ КОРНЕВОЙ СИСТЕМОЙ В УСЛОВИЯХ СТЕПНОЙ ЗОНЫ АЛТАЙСКОГО КРАЯ

А.Е. Осипенко[✉], Р.А. Осипенко, С.В. Залесов

ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет» (УГЛТУ), Россия, 620110, г. Екатеринбург, ул. Сибирский тракт, д. 37

osipenkoae@m.usfeu.ru

Представлены результаты изучения приживаемости и роста несомкнувшихся культур сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), созданных посадочным материалом с закрытой и открытой корневыми системами. Установлено, что в условиях типа леса сухой бор пологих всхолмлений приживаемость лесных культур, созданных различным посадочным материалом, статистически не различается. Зафиксировано, что в условиях района исследований лесные культуры многократно дополняются, а это приводит к переносу сроков отнесения несомкнувшихся лесных культур к землям, на которых расположены леса. Построены графики хода роста деревьев искусственного и естественного происхождения, произрастающих на исследуемых участках. Указано, что до восьмилетнего возраста лесные культуры отстают по высоте от деревьев естественного происхождения, однако в более старшем возрасте опережают их по данному показателю. Выявлено, что на семи из одиннадцати участков несомкнувшихся лесных культур самосев сосны отсутствует, на трех участках его количество не превышает 45 шт./га, и только на участке, примыкающем к стенам леса, количество самосева составляет 1,5 тыс. шт./га. Определены средние диаметры крон и текущие приросты по высоте деревьев сосны различного происхождения. Рекомендуется увеличить густоту посадки лесных культур до 5–6 тыс. шт./га, так как густота посадки от 2,0 до 4,4 тыс. шт./га не позволяет обеспечить через шесть лет после посадки густоту деревьев сосны обыкновенной более 2,5 тыс. шт./га, а также отказаться от использования сеянцев с закрытой корневой системой в степной зоне Алтайского края в пользу сеянцев с открытой корневой системой.

Ключевые слова: лесные культуры, *Pinus sylvestris*, сеянец с закрытой корневой системой, приживаемость, рост, ленточный бор, степная зона

Ссылка для цитирования: Осипенко А.Е., Осипенко Р.А., Залесов С.В. Производственный опыт создания культур сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) сеянцами с закрытой корневой системой в условиях степной зоны Алтайского края // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2025. Т. 29. № 4. С. 5–18. DOI: 10.18698/2542-1468-2025-4-5-18

Лесные культуры с закрытой корневой системой (ЗКС) для лесопользователей Алтайского края все еще остаются относительно новым явлением. Первые производственные посадки сеянцев, выращенных в кассетах, в степной зоне региона начали осуществляться в 2013 г в Озеро-Кузнецовском лесничестве. С 2017 г. данная практика распространилась на Ключевское лесничество, а с 2019 г. — на Раки-товское. В настоящее время лесные культуры, созданные сеянцами с ЗКС, достигли или приближаются к возрасту отнесения их к землям, на которых расположены леса, поэтому необходим анализ производственного опыта создания таких лесных культур. Объективная

оценка полученных результатов позволит усовершенствовать технологию создания лесных культур и скорректировать подходы к искусственному лесовосстановлению в условиях степной зоны Алтайского края [1–3].

Проблема применения посадочного материала с ЗКС в условиях степи и лесостепи пока не решена до конца, поэтому многие научные работы посвящены этой теме [4–7]. Актуальность ее обеспечивают также изменения климата, происходящие в сторону увеличения частоты и интенсивности длительных засух, аномальной жары и других экстремальных погодных явлений [8–12].

Результаты проведенных нами и других аналогичных исследований могут использоваться при разработке региональных рекомендаций в сфере воспроизводства лесов, которые, на наш



Рис. 1. Несомкнувшиеся культуры сосны, созданные сеянцами с закрытой корневой системой (участок 2)

Fig. 1. Open forest plantations created by containerized root-balled seedling (plot 2)

взгляд, необходимы для организации рационального и устойчивого лесного хозяйства, особенно, если речь идет про такой уникальный природный объект, как ленточные боры, отличающиеся от других лесных массивов весьма специфическими природно-климатическими и зонально-типологическими условиями, а также особенностями лесовосстановительных процессов [13–17].

Цель работы

Цель работы — оценка приживаемости и роста культур сосны обыкновенной, созданных посадочным материалом с открытой и закрытой корневыми системами в условиях степной зоны Алтайского края.

Материалы и методы

Сбор полевых данных осуществлялся в июле 2024 г. на территории Шелковниковского, Чекуновского и Озеро-Кузнецовского участков лесничеств Ракизовского лесничества Алтайского края (Рубцовский и Угловский муниципальные районы). В соответствии с приказом Минприроды России от 18.08.2014 г. № 367 (ред. от 02.08.2023) «Об утверждении Перечня лесорастительных зон Российской Федерации и Перечня лесных районов Российской Федерации», район исследований относится к Алтае-Новосибирскому району лесостепей и ленточных боров лесостепной зоны. Однако

с научной точки зрения юго-западная часть Алтайского края расположена в степной зоне [12, 18–20].

Объектом исследования послужили культуры сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), созданные на гари 1997 г. Всего было обследовано 11 участков. До пожара на исследуемых участках произрастали сосновые насаждения III–IV классов бонитета. Тип леса исследуемых участков — сухой бор пологих всхолмлений. Почва участков — дерново-подзолистая, песчаная [20, 21]. Мезорельеф района исследований представлен пологими холмами, буграми и гривами, чередующимися с ложбинами и западинами.

Исследуемые лесные культуры были созданы в период с 2019 по 2022 гг., однако на участках 1, 2, 5, 6 попытки создания лесных культур предпринимались и ранее, но оказались неудачными (участки не были отнесены к землям, на которых расположены леса). По этой причине на указанных участках имеются деревья искусственного происхождения более старшего возраста. На рис. 1 представлены несомкнувшиеся культуры сосны, созданные посадочным материалом с ЗКС, на участке 2, где уже дважды (в 2007 и 2016 гг.) создавались культуры сеянцами с открытой корневой системой (ОКС).

Несомкнувшиеся культуры сосны, созданные посадочным материалом с открытой корневой системой, показаны на рис. 2.



Рис. 2. Несомкнувшиеся культуры сосны, созданные сеянцами с открытой корневой системой (участок 9)

Fig. 2. Open forest plantations created by planting material with a bare root system (plot 9)

На участках 1–7 были посажены сеянцы с ЗКС, а на участках 8–11 — с ОКС. На участке 6 высадили однолетние сеянцы, на остальных — двухлетние. Сеянцы с ЗКС выращены в Алтайском лесном селекционно-семеноводческом центре, сеянцы с ОКС — в алтайских питомниках ООО «Лебяжье Лес» (участок 8), ООО «Лесное» (участок 10) и ООО «Лес Сервис» (участки 9, 11). Культуры, создававшиеся до 2016 г. (на участках 1, 2, 5, 6), были созданы двухлетними сеянцами, выращенными на питомнике в с. Ракиты, который не функционирует с 2017 г. Технологии выращивания сеянцев с ОКС и ЗКС описаны в монографии [16]. В данном исследовании посадочный материал был выращен из семян, собранных в Алтайском крае (12 лесосеменной район), селекционная категория «нормальные».

Участки культур, созданных сеянцами с ЗКС и ОКС, подбирались максимально похожими по времени и технологии создания. Удалось найти четыре группы таких участков: 1, 2 и 8; 3 и 9; 4, 5, 6 и 10; 7 и 11. Участки культур, созданные сеянцами с ОКС (8–11), выступают как контрольная группа, поскольку данный вид посадочного материала использовался в районе исследований на протяжении более 100 лет и технологии создания культур таким посадочным материалом уже отработаны [22].

Информация о местонахождении, сезоне и годе посадки, расстоянии между растениями и

густоте посадки исследуемых лесных культур приведена в табл. 1. Все исследуемые лесные культуры создавались рядовым способом. Ряды на большинстве участков (№ 1–6, 8, 9) имеют направление с северо-запада на юго-восток, на участке 7 ряды направлены с запада на восток, на участке 10 — с юго-запада на северо-восток, на участке 11 — с севера на юг. Деревья высаживали в дно борозд глубиной до 35 см, созданных плугом ПКЛ-70, агрегированным с трактором МТЗ-82. Для посадки сеянцев с ЗКС использовалась лесопосадочная труба Pottiputki, а для посадки сеянцев с ОКС — меч Колесова.

В соответствии с проектами лесовосстановления на участках 1–6 создавались лесные культуры густотой 2,5 тыс. шт./га (шаг посадки 1,0 м, ширина междурядья 4,0 м), на участке 7 проектная густота лесных культур составляла 2,0 тыс. шт./га (1,25×3,25 м), на участках 8 и 9 лесные культуры имели проектную густоту 4,1 тыс. шт./га (0,74×3,44 м), на участках 10 и 11 — 4,5 тыс. шт./га (0,75×2,96 м). Не на всех участках проектные показатели были выдержаны. Отклонения от проектных значений густоты лесных культур наблюдаются как в большую, так и в меньшую сторону.

Сеянцы с ЗКС в Ракитовском лесничестве высаживаются преимущественно осенью, а с ОКС — весной, поэтому не всегда есть возможность найти участки одинакового года и сезона

Т а б л и ц а 1

Местонахождение и описание исследуемых участков

Location and description of the trial plots

Номер участка	Координаты GPS, с.ш./в.д.	Участковое лесничество	Номер квартала	Номер выдела	Сезон и год посадки	Средний шаг посадки, м	Междурядья, м	Густота посадки, тыс. шт./га
Несомкнувшиеся лесные культуры, созданные сеянцами с закрытой корневой системой								
1	51°24.551' 80°22.040'	Озеро-Кузнецовское	181	3 (ч)	Осень 2019 г.	0,83	5,4	2,2
					Весна 2005 г.	0,86	7,6	1,5
2	51°22.644' 80°20.329'		178	3 (ч)	Осень 2019 г.	0,91	5,4	2,0
					Весна 2016 г.	0,91	9,17	1,2
					Весна 2007 г.	1,09	9,8	0,9
3	51°24.649' 80°22.133'		182	5	Весна 2020 г.	0,84	3,6	3,3
4	51°23.101' 80°19.045'		94	6 (ч)	Осень 2021 г.	0,94	4,4	2,4
5	51°24.074' 80°18.610'		53	6 (ч)	Осень 2021 г.	0,90	3,8	2,9
					Весна 2015 г.	0,90	3,8	2,9
6	51°22.253' 80°23.020'	Чекуновское	18	8 (ч)	Осень 2021 г.	0,90	5,1	2,2
					Весна 2008 г.	0,87	5,7	2,0
7	51°25.862' 80°26.770'	Шелковниковское	17	6 (ч)	Весна 2022 г.	1,54	2,3	2,8
Несомкнувшиеся лесные культуры, созданные сеянцами с открытой корневой системой (контрольные участки)								
8	51°26.242' 80°23.176'	Озеро-Кузнецовское	143	17 (ч)	Осень 2019 г.	0,96	3,4	3,0
9	51°26.431' 80°23.187'		143	17 (ч)	Весна 2020 г.	0,74	3,1	4,4
10	51°22.150' 080°23.256'	Чекуновское	18	17	Весна 2021 г.	0,73	4,4	3,1
11	51°25.825' 80°26.804'	Шелковниковское	17	6 (ч)	Весна 2022 г.	0,95	3,9	2,7
Примечание: (ч) — часть выдела; выделены культуры, ранее созданные на исследуемых участках сеянцами с открытой корневой системой, но не переведенные в земли, на которых расположены леса.								

посадки, но с различным видом посадочного материала.

Агротехнические уходы за лесными культурами осуществлялись культиватором КЛБ-1,7. На всех обследованных участках выполнялось дополнение лесных культур, причем на многих участках неоднократно. В связи с этим возраст деревьев, отнесенных к одному элементу несомкнувшихся лесных культур, на участках мог варьировать в пределах до 5 лет. Под термином «элемент несомкнувшихся лесных культур» мы понимаем совокупность деревьев одной

породы, имеющих одинаковое происхождение, одинаково развивающихся в однородных условиях местопроизрастания.

Основным методом исследования являлся метод пробных площадей (ПП). Пробные площади имели прямоугольную форму и охватывали участок не менее 0,25 га. Длинные стороны ПП проходили по центру междурядий, по углам ПП устанавливались вешки (колья высотой 1,5 м). На ПП осуществлялся учет всех живых деревьев сосны обыкновенной с делением их на элементы несомкнувшихся лесных культур по

происхождению (искусственное, естественное), виду посадочного материала (сеянцы с ОКС или ЗКС) и году посадки. Породный состав несомкнувшихся лесных культур устанавливался пропорционально густоте их элементов. У элементов несомкнувшихся лесных культур с минимальной высотой деревьев более 1,3 м измерялся диаметр ствола на высоте 1,3 м от основания ствола, у элементов с минимальной высотой деревьев менее 1,3 м измерялся диаметр у основания ствола и на высоте 1,3 м (при условии, если обмеряемое дерево было выше данной высоты). Диаметры измерялись электронным штангенциркулем Electronic Digital Caliper с точностью измерений $\pm 0,2$ мм. Высота растения, диаметр его кроны (в двух направлениях) и величина текущих приростов по высоте измерялись не менее чем у 30 деревьев каждого элемента несомкнувшихся лесных культур рулеткой измерительной с точностью $\pm 0,4$ мм на 1 м длины. Учет деревьев других пород не осуществлялся в связи с тем, что в условиях исследуемого типа леса только подрост сосны обыкновенной способен сформировать древостой [14, 15].

Оценка различий между выборками по уровню приживаемости культур осуществлялась с помощью *U*-критерия Манна — Уитни. Для сравнения дисперсий приживаемости культур сосны, созданных различным посадочным материалом, применялся критерий Фишера (*F*-тест). Анализ данных и все расчеты осуществлялись в программе MS Excel 2013.

Под приживаемостью лесных культур в рамках настоящей работы мы понимаем выраженное в процентах отношение числа посадочных мест с сохранившимися растениями к общему числу посадочных мест, учтенных на ПП. Данное определение соответствует актуальным Правилам лесовосстановления (приказ Минприроды России от 29.12.2021 № 1024).

Результаты и обсуждение

За период с 2019 по 2022 гг. на территории Ракитовского лесничества сеянцами с ЗКС было создано 282 га лесных культур (24 выдела). Сеянцы с ОКС были высажены на площади 273 га (51 выдел). Большая часть (97,2 %) культур, созданных сеянцами с ЗКС, была посажена в рамках государственного задания.

В соответствии с актуальными Правилами лесовосстановления, утвержденными приказом Минприроды России от 29.12.2021 № 1024, для отнесения к землям, на которых расположены леса, исследуемые лесные культуры должны иметь густоту не менее 2,5 тыс. шт./га,

среднюю высоту — не менее 0,9 м, возраст — не менее 6 лет. Основные результаты исследования приведены в табл. 2.

Средний биологический возраст деревьев в пределах одного элемента несомкнувшихся лесных культур на 1–2 года меньше, чем максимальный возраст соответствующего элемента, поскольку на всех исследуемых участках выполнялось дополнение лесных культур посадочным материалом меньшего возраста, чем возраст прижившихся растений. По нашей оценке, на долю дополненных сеянцев в различных элементах несомкнувшихся лесных культур приходится от 27 до 93 % количества живых растений. Данное обстоятельство повлияло на среднюю высоту деревьев, их диаметр ствола и крон, так как дополненные сеянцы помимо меньшего возраста имеют меньшие размеры, чем деревья, высаженные первоначально.

Средняя высота культур 2019–2022 гг. значительно ниже, чем требуют Правила лесовосстановления, что объясняется малой давностью их создания — всего 3–5 лет, тогда как требуется 6 лет, а также значительной долей дополненных сеянцев. Если бы исследуемые лесные культуры не требовали дополнения или оно осуществлялось бы в меньших объемах, или посадочным материалом того же возраста, что и культивируемые растения, то средняя высота деревьев была бы выше.

Средняя густота обследованных культур с учетом деревьев естественного происхождения и списанных культур старшего возраста варьирует в пределах от 0,3 до 3,4 тыс. шт./га, при среднем значении 1,5 тыс. шт./га. Средняя текущая густота культур, созданных сеянцами с ЗКС, составляет 1,2 тыс. шт./га, с ОКС — 2,1 тыс. шт./га. Максимальное из зафиксированных значений густоты культур сосны обыкновенной наблюдается на участке 10, однако обусловлено оно исключительно самосевом, густота которого нетипично высока (1,5 тыс. шт./га) вследствие близости к стенам леса и наличия на участке деревьев 51-летнего возраста. Данный факт свидетельствует о том, что в условиях района исследований в период с 2019 по 2022 гг. густота посадки 2,0...4,4 тыс. шт./га не обеспечила требуемое количество растений на 1 га.

На семи из одиннадцати участков самосев сосны отсутствовал, еще на трех участках его количество не превышало 45 шт./га. Таким образом, можно заключить, что без искусственного лесовосстановления облесение данных участков не произошло бы, несмотря на то, что с момента пожара прошло 27 лет.

В соответствии с полученными данными для отнесения участков 1–6, 8, 9, 11 к землям,

Т а б л и ц а 2

Таксационная характеристика несомкнувшихся лесных культур

Taxation characteristics of open forest plantations

Номер участка	Состав несомкнувшихся лесных культур	Давность создания, лет	Элемент	Средние значения				Текущая густота, шт./га	Приживаемость, %	Доля дополненных семян, %
				Возраст биологический, лет	Высота, м	Диаметр ствола таксационный, см	Диаметр основания ствола, см			
Несомкнувшиеся лесные культуры, созданные сеянцами с закрытой корневой системой										
1	8С2С	5	8С	6	0,41	–	1,09	736	33,5	30
		20	2С	22	4,04	6,4	–	132	8,8	–
2	5С4С1С	5	5С	6	0,34	–	0,91	800	40,0	60
		9	4С	10	1,22	1,2	3,47	659	54,9	70
		18	1С	20	3,81	5,5	–	243	25,9	–
3	10С	5	10С	5	0,37	–	1,10	1709	51,8	27
4	10С	3	10С	4	0,17	–	0,44	1707	71,1	66
5	10С+С	3	10С	4	0,18	–	0,50	1370	47,2	58
		10	+С	10	1,34	1,1	4,94	42	1,4	59
6	6С4С+С	4	6С	4	0,20	–	0,47	572	26,0	50
		17	4С	19	3,54	4,9	–	462	23,1	63
		–	+С	9	1,10	–	3,17	45	–	–
7	9С1С	3	9С	3	0,13	–	0,35	247	8,8	93
		–	1С	14	2,86	4,4	8,33	16	–	–
Несомкнувшиеся лесные культуры, созданные сеянцами с открытой корневой системой										
8	10С	5	10С	5	0,29	–	0,82	1133	37,0	85
9	10С	5	10С	6	0,59	–	1,70	2324	52,8	72
10	5С5Сед. С	4	5С	5	0,28	–	0,68	1825	58,9	80
		–	5С	10	1,32	0,8	3,29	1524	–	–
		–	ед. С	51	16,2	25,0	–	73	–	–
11	10С+С	3	10С	4	0,35	–	1,09	1444	53,5	70
		–	+С	20	6,75	13,0	–	7	–	–
Примечание. Диаметр таксационный определялся только у деревьев, достигших высоты 1,3 м.										

Примечание. Диаметр таксационный определялся только у деревьев, достигших высоты 1,3 м.

на которых расположены леса, необходимо выполнить очередное дополнение лесных культур. Лесные культуры на участке 7 придется списать и создать здесь новые лесные культуры. Достаточная для отнесения к землям, на которых расположены леса, густота деревьев сосны наблюдается только на участке 10.

В связи с изложенным выше на участках, где не ожидается появление самосева сосны, в частности на крупноплощадных гарях, можно рекомендовать увеличить густоту посадки лесных культур до 5–6 тыс. шт./га. При такой густоте посадки и приживаемости лесных культур 42...50 % деревьев основной древесной породы будет достаточно для отнесения несомкнувшихся лесных культур к землям, на которых расположены леса. Реализация данного предложения позволит сократить количество мероприятий по дополнению лесных культур.

Средняя приживаемость культур сосны, созданных сеянцами с ЗКС, по нашим данным, составляет 39,8 %, а с ОКС — 50,6 %. Расчетное значение U -критерия Манна — Уитни составило 21. Критическое значение $U = 4$ при $\alpha = 0,05$ [23]. Расчетное значение F -критерия для тех же выборок составило 4,44 при критическом значении $F = 8,94$ ($\alpha = 0,05$, односторонний тест) и $p = 0,12$. Нулевая гипотеза не была отклонена в обоих тестах, что указывает на отсутствие статистически значимых различий в средней приживаемости культур, созданных с использованием сеянцев с ЗКС и ОКС в период с 2019 по 2022 гг., а также в дисперсиях исследуемых выборок. Однако данный вывод следует считать предварительным, поскольку объемы выборок довольно малы. Вероятно, при увеличении объема данных результаты могут измениться. Похожие результаты были получены и в других

Т а б л и ц а 3

Текущие приросты по высоте деревьев сосны, см

Current height increments of pine trees, cm

Номер участка	Возраст биологический, лет										
	1+2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Деревья искусственного происхождения, выращенные из семян с закрытой корневой системой											
1	4,8	6,2	6,2	8,7	14,8	24,8	—	—	—	—	—
2	5,7	4,7	5,0	6,5	8,0	14,0	—	—	—	—	—
3	5,9	5,9	10,1	14,8	16,4	22,5	—	—	—	—	—
4	8,2	5,0	5,3	8,3	—	—	—	—	—	—	—
5	8,7	5,2	5,4	9,9	—	—	—	—	—	—	—
6	6,7	5,1	6,1	7,5	—	—	—	—	—	—	—
7	7,8	11,1	14,5	—	—	—	—	—	—	—	—
Среднее значение	6,8	6,2	7,5	9,3	13,1	20,4	—	—	—	—	—
Деревья искусственного происхождения, выращенные из семян с открытой корневой системой											
8	4,7	6,2	8,7	13,5	17,4	25,4	—	—	—	—	—
9	5,3	9,8	11,0	16,7	22,7	33,0	—	—	—	—	—
10	5,9	7,4	9,0	9,3	16,2	—	—	—	—	—	—
11	4,4	8,5	15,3	23,7	—	—	—	—	—	—	—
2	4,5	5,1	7,1	13,1	12,0	13,6	16,0	18,8	23,3	36,8	—
5	7,9	9,5	11,0	14,4	10,3	12,8	17,0	33,4	40,3	34,0	30,1
Среднее значение	5,5	7,8	10,4	15,1	15,7	21,2	16,5	26,1	31,8	35,4	30,1
Деревья естественного происхождения											
7	9,4	13,4	11,6	9,8	14,8	15,4	18,4	26,2	30,0	29,2	27,0
10	6,1	7,4	9,3	11,0	13,3	15,2	16,3	18,1	19,5	20,8	24,6
Среднее значение	7,8	10,4	10,5	10,4	14,1	15,3	17,4	22,2	24,8	25,0	25,8

исследованиях [24–26]. Возможные причины низкой приживаемости семян с ЗКС описаны в работах, посвященных данной теме [27–33].

Сравнить приживаемость семян, посаженных весной и осенью, по нашим данным, нельзя, поскольку приживаемость на момент учета в значительной мере зависела от мероприятий по дополнению, которые могли проводиться не в тот же сезон года, в который изначально создавались лесные культуры.

Помимо наших полевых данных мы проанализировали ведомственные материалы (книга лесных культур) о приживаемости в первый год роста лесных культур, созданных в Ракитовском лесничестве за период с 2019 по 2022 гг. Средняя приживаемость семян с ЗКС составила 50,6 %, с ОКС — 58,4 %. Для оценки различий использовались *U*-критерий Манна — Уитни и *F*-критерий. Расчетное значение *U*-критерия составило 474,5 при критическом значении $U = 466$ ($\alpha = 0,05$). Расчетное значение *F*-критерия — 1,14, критическое значение для одностороннего теста — $F = 1,75$, $p = 0,337$.

Таким образом, оба критерия не выявили статистически значимых различий в приживаемости лесных культур, созданных с использованием различного посадочного материала, в первый год роста лесных культур, созданных различным посадочным материалом.

Табл. 3 охватывает приросты по высоте за период до 12 лет, поскольку именно для этого возрастного интервала имеются сопоставимые данные по деревьям различного происхождения. Несмотря на то, что деревья естественного происхождения имеют больший возраст, в табл. 3 представлены приросты только за первые 12 лет их роста. Данные табл. 3 свидетельствуют о том, что текущие приросты по высоте деревьев, выросших из семян с ЗКС и ОКС, достаточно близки по значениям приростам деревьев естественного происхождения. Наибольшая разница в приросте по высоте между сеянцами с ОКС и ЗКС (в пользу семян с ОКС) зафиксирована в возрасте деревьев 5 лет — 5,8 см. Наибольшая разница приростов по высоте искусственных деревьев по сравнению

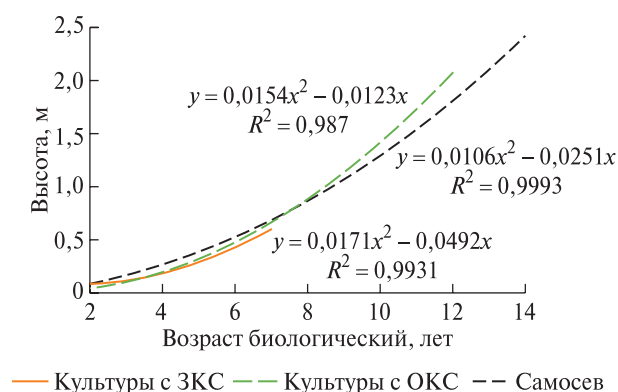


Рис. 3. Ход роста по высоте культур и самосева сосны обыкновенной

Fig. 3. Scots pine crops height growth and self-seeding

с естественными наблюдается в 7-летнем возрасте — 5,1 и 5,9 см для ЗКС и ОКС соответственно.

Текущие приросты за 1-й и 2-й год нельзя рассматривать как величину посадочного материала, так как сеянцы в районе исследований высаживаются обычно с заглублением корневой шейки на 2–5 см. К тому же борозды, в которые посажены деревья, постепенно заносятся песком. В связи с этим определить величину текущих приростов за первые 2 года спустя несколько лет после посадки довольно затруднительно.

Динамика роста по высоте исследуемых элементов несомкнувшихся лесных культур представлена на рис. 3. В первые 2–3 года после посадки наблюдается отставание в росте культивируемых растений от деревьев сосны естественного происхождения. Последнее можно объяснить послепосадочным стрессом растений, высаживаемых на лесокультурную площадь [34]. Культуры сосны, созданные посадочным материалом с ОКС, догоняют и начинают опережать в росте самосев сосны в возрасте 8 лет. Лесные культуры, созданные сеянцами с ЗКС, на момент исследований отстают в росте по высоте, однако не исключено, что в дальнейшем данная тенденция изменится.

На основании данных, представленных на рис. 3, можно утверждать, что в условиях исследуемого типа леса и района исследований культуры сосны достигают высоты, требуемой для отнесения к землям, на которых расположены леса, при среднем биологическом возрасте растений 8 лет. Таким образом, двухлетние сеянцы сосны с ОКС достигают данной высоты через 6 лет после посадки. Однако в случае осуществления повсеместных и регулярных дополнений лесных культур посадочным материалом более младшего возраста, по срав-

нению с сеянцами, посаженными первоначально, сроки перевода несомкнувшихся лесных культур в покрытые лесом земли будут неизбежно сдвигаться. Медленный рост деревьев сосны обусловлен засушливыми условиями района исследований [20, 35].

Средний размер кроны на обследованных участках несомкнувшихся лесных культур варьирует в пределах от 10,2 до 47,8 см (табл. 4). Наименьший диаметр кроны (3...8 см) имеют сеянцы одно- и двухлетнего возраста, посаженные в 2024 и 2023 гг. в рамках мероприятий по дополнению лесных культур. Такие сеянцы на момент исследований еще не успели сформировать первую мутовку. Зачастую они, переживая послепосадочный стресс, сбрасывали длинную хвою, сформированную на питомнике, и на очередном годичном побеге отращивали короткую хвою, длиной 1,5...4,0 см. Наибольший средний диаметр крон, как и следовало ожидать, имеют деревья более старшего возраста.

Замеры диаметров крон осуществлялись в двух направлениях. Это было сделано в целях фиксации, в каком возрасте кроны в рядах культур начинают смыкаться и менять соотношение диаметра кроны вдоль и поперек рядов. Однако исследуемые лесные культуры еще не достигли данного этапа роста. Как видно из данных табл. 4, кроны всех культивируемых деревьев равномерно развиты в двух перпендикулярных направлениях. Единственный элемент несомкнувшихся лесных культур, в котором средние значения диаметра крон в двух перпендикулярных направлениях не равны — это деревья возрастом 14 лет естественного происхождения на участке 7. Кроны этих деревьев вытянуты с севера на юг и перпендикулярно направлению рядов. Однако в связи с их редкой густотой и размещением вне рядов направление рядов на форму крон повлиять не могло. Таким образом, можно сделать вывод о том, что к возрасту 14 лет крона одиноко растущих деревьев сосны в районе исследований вытягивается в направлении с севера на юг для лучшей инсоляции.

На основании данных о среднем диаметре крон деревьев сосны на исследуемых участках было определено проективное покрытие крон. Наибольшее значение данного показателя наблюдается на участке 9 (4,00 %), наименьшее — на участке 7 (0,02 %). Можно констатировать, что проективное покрытие крон на всех исследуемых участках пока мало и этот фактор не имеет большого влияния на окружающую растительность. Однако в дальнейшем следует ожидать, что в более густых лесных культурах, созданных сеянцами с ОКС, лесная среда будет сформирована быстрее.

Т а б л и ц а 4

Диаметр крон деревьев сосны на участках лесных культур

Diameter of pine tree crowns on forest plantation plots

Номер участка	Средний биологический возраст, лет	Диаметр кроны, см				Проективное покрытие крон, %
		Минимальный	Максимальный	Средний		
				вдоль ряда	поперек ряда	
Деревья искусственного происхождения, выращенные из семян с закрытой корневой системой						
1	6	19	63	37,8 ± 2,3	36,2 ± 2,3	0,79
2	6	14	53	29,5 ± 1,7	30,5 ± 1,6	0,57
3	5	4	73	33,6 ± 3,0	34,7 ± 3,0	1,56
4	4	6	41	15,3 ± 0,9	15,4 ± 0,9	0,32
5	4	5	43	16,6 ± 1,2	16,2 ± 1,1	0,29
6	4	7	33	17,4 ± 1,0	17,5 ± 1,2	0,14
7	3	3	33	10,9 ± 1,3	10,2 ± 1,1	0,02
Деревья искусственного происхождения, выращенные из семян с открытой корневой системой						
8	5	3	77	25,5 ± 2,5	25,1 ± 2,4	0,57
9	6	20	76	47,8 ± 2,5	45,9 ± 2,5	4,00
10	5	3	59	20,7 ± 2,1	21,6 ± 2,5	0,64
11	4	8	46	26,2 ± 1,9	25,7 ± 1,8	0,76
2	10	29	159	72,3 ± 5,4	73,9 ± 5,7	2,76
5	10	52	162	89,7 ± 9,7	86,2 ± 8,6	0,25
Деревья естественного происхождения						
7	14	96	220	142,6 ± 6,8	181,4 ± 18,3	0,33
10	10	15	173	73,3 ± 7,5	73,0 ± 7,5	6,40

Кроме того, на участке 3 было зафиксировано значительное количество растений с аномальной морфологией — 41 % всех живых растений. Аномалиями мы считали многовершинность, форму кроны в виде перевернутого зонтика, наличие пучков чрезмерно крупной хвои (ширина 2,7 мм, длина 10,1 см). Для сравнения: на участках 4, 5, 8 доля растений с аномалиями составила 26, 24 и 15 % соответственно. Также на многих участках отмечалось наличие двух приростов за один вегетационный период. Проблема аномальной морфологии деревьев сосны в лесных культурах, созданных сеянцами с ОКС и ЗКС, может быть предметом дальнейшого изучения.

Для крупноплощадных гарей района исследований предпочтительным способом лесовосстановления должен оставаться искусственный, поскольку самосев сосны не накапливается в достаточном количестве вдали от стен леса и деревьев-обсеменителей, обеспечивающих налет семян и подходящий микроклимат.

С учетом отсутствия выявленных преимуществ у лесных культур, созданных с использованием сеянцев с закрытой корневой системой (по показателям приживаемости, густоты, хода роста и длительности лесокультурного периода), в условиях степной зоны Алтайского края

более целесообразным представляется применение посадочного материала с открытой корневой системой, обладающего при этом и меньшей себестоимостью.

Выводы

1. В условиях степной зоны Алтайского края приживаемость культур сосны обыкновенной, созданных с применением сеянцев с ЗКС и ОКС, статистически не различается при уровне значимости 0,05, несмотря на различие в средних значениях (39,8 и 50,6 % соответственно).

2. Установлено, что многократное дополнение несомкнувшихся лесных культур более молодыми растениями снижает средние значения таксационных показателей и откладывает отнесение таких участков к землям, на которых расположены леса.

3. На большинстве участков выявлена недостаточная густота лесных культур (менее 2,5 тыс. шт./га), что обосновывает необходимость увеличения проектной густоты посадки до 5–6 тыс. шт./га на крупноплощадных гарях.

4. К восьмилетнему возрасту культуры, созданные сеянцами с ОКС, начинают опережать в росте самосев сосны. На ранних этапах роста зафиксировано их отставание, обусловленное послепосадочным стрессом.

5. Средние размеры крон деревьев искусственного происхождения в возрасте 3–6 лет варьируют от 10,2 до 47,8 см, при этом смыкание крон в рядах культур не отмечено.

6. На основании совокупной оценки приживаемости, роста и густоты лесных культур в условиях степной зоны Алтайского края более перспективным признано использование сеянцев с ОКС вместо ЗКС.

7. Подтверждено, что естественное возобновление сосны в условиях ленточных боров эффективно лишь вблизи к источникам обсеменения. На крупноплощадных гарях района исследований предпочтительным остается искусственный способ лесовосстановления.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-76-00009, <https://rscf.ru/project/24-76-00009/>

Список литературы

- [1] Campo A.D., Segura-Orenga G., Bautista I., Ceacero C.J., González-Sanchis M., Molina A.J., Hermoso J. Assessing reforestation failure at the project scale: The margin for technical improvement under harsh conditions. A case study in a Mediterranean Dryland // *Science of The Total Environment*, 2021, v. 796, p. 148952. DOI 10.1016/j.scitotenv.2021.148952
- [2] Perez-Silos I., Alvarez-Martinez J.M., Barquin J. Large-scale afforestation for ecosystem service provisioning: learning from the past to improve the future // *Landscape Ecology*, 2021, v. 36, pp. 3329–3343. DOI 10.1007/s10980-021-01306-7
- [3] Preece N.D., Oosterzee P., Lawes M.J. Reforestation success can be enhanced by improving tree planting methods // *J. of Environmental Management*, 2023, v. 336, p. 117645. DOI 10.1016/j.jenvman.2023.117645
- [4] Montagnoli A., Lasserre B., Terzaghi M., Byambadorj S.-O., Nyam-Osor B., Scippa G.S., Chiatante D. Fertilization reduces root architecture plasticity in *Ulmus pumila* used for afforesting Mongolian semi-arid steppe // *Frontiers in Plant Science*, 2022, v. 13, p. 878299. DOI 10.3389/fpls.2022.878299
- [5] Казаков В.И., Проказин Н.Е., Мартынюк А.А., Лобанова Е.Н., Казаков И.В., Дручинин Д.Ю. Создание культур сосны сеянцами с открытой и закрытой корневой системой на горельнике в лесостепной зоне // *Лесохозяйственная информация*, 2023. № 4. С. 53–60.
- [6] Трегубов О.В., Лактионов А.П., Мизин Ю.А., Цепляев А.Н., Корнеев А.Б., Похваленко В.А., Вариводина И.Н., Трегубова А.О. Приживаемость и сохранность лесных культур сосны обыкновенной, высаженной с закрытой корневой системой в условиях лесостепной зоны европейской части Российской Федерации // *Астраханский вестник экологического образования*, 2023. № 3 (75). С. 152–161.
- [7] Dimitrova A., Balzano A., Tsedensodnom E., Byambadorj S.-O., Nyam-Osor B., Scippa G.S., Merela M., Chiatante D., Montagnoli A. The adaptability of *Ulmus pumila* and the sensitivity of *Populus sibirica* to semi-arid steppe is reflected in the stem and root vascular cambium and anatomical wood traits // *Frontiers in Plant Science*, 2024, v. 15, p. 1393245. DOI 10.3389/fpls.2024.1393245
- [8] Campo A.D., Segura-Orenga G., Ceacero C.J., González-Sanchis M., Molina A.J., Reyna S., Hermoso J. Reforesting drylands under novel climates with extreme drought filters: The importance of trait-based species selection // *Forest Ecology and Management*, 2020, v. 467, p. 118156. DOI 10.1016/j.foreco.2020.118156
- [9] Beck H.E., McVicar T.R., Vergopolan N., Berg A., Lutsko N.J., Dufour A., Zeng Z., Jiang X., Dijk A.I.J.M., Miralles D.G. High-resolution (1 km) Köppen-Geiger maps for 1901–2099 based on constrained CMIP6 projections // *Scientific Data*, 2023, v. 10, p. 724. DOI: 10.1038/s41597-023-02549-6
- [10] Vacek Z., Vacek S., Cukor J. European forests under global climate change: Review of tree growth processes, crises and management strategies // *J. of Environmental Management*, 2023, v. 332, p. 117353. DOI 10.1016/j.jenvman.2023.117353
- [11] Manaenkov A. Basic principles and technologies for planted forests and nature-oriented forests in arid conditions // *BIO Web of Conferences*, 2024, v. 145, p. 01006. DOI 10.1051/bioconf/202414501006
- [12] Винокуров Ю.И., Краснорова Б.А., Харламова Н.Ф., Плуталова Т.Г., Шарабарина С.Н. Районирование территории Алтайского края по степени проявления климатических рисков // *Вестник Забайкальского государственного университета*, 2024. Т. 30. № 2. С. 8–20.
- [13] Мартынюк А.А., Сидоренков В.М., Желдак В.И., Лямцев Н.И., Рябцев О.В., Жафяров А.В. Ленточные боры Алтайского края — состояние и совершенствование хозяйства в них // *Лесохозяйственная информация*, 2019. № 1. С. 33–48. DOI 10.24419/LHI.2304-3083.2019.1.03
- [14] Малиновских А.А., Савин М.А. Естественное лесовосстановление на гарях в ленточных борах Западной Сибири // *Хвойные бореальной зоны*, 2019. Т. 37. № 3–4. С. 223–228.
- [15] Башегуров К.А., Малиновских А.А., Савин М.А., Годовалов Г.А. Специфика накопления подроста на гарях в различных лесорастительных подзонах ленточных боров Алтая // *Леса России и хозяйство в них*, 2020. № 1 (72). С. 4–14.
- [16] Залесов С.В., Осипенко А.Е., Толстиков А.Ю., Усов М.В., Гоф А.А., Савин В.В. Воспроизводство и омоложение ленточных боров Алтайского края. Екатеринбург: Изд-во УГЛТУ, 2023. 357 с.
- [17] Осипенко А.Е., Залесов С.В. Обеспеченность подростом сосновых насаждений Алтае-Новосибирского района лесостепей и ленточных боров // *Лесной вестник / Forestry Bulletin*, 2024. Т. 28. № 3. С. 15–25. DOI 10.18698/2542-1468-2024-3-15-25
- [18] Майсснер Р., Рупп Х., Шмидт Г., Бондарович А.А., Щербинин В.В., Понькина Е.В., Мащора А.В., Рудев Н.В., Кожанов Н.А., Пузанов А.В., Балыкин Д.Н. Агроклиматический мониторинг сухой степи Алтайского края // *География и природопользование Сибири*, 2017. № 23. С. 121–139.
- [19] Малиновских А.А. Степень развития растительного покрова в разных типах лесорастительных усло-

- вий на гарях в ленточных борах Алтайского края // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2020. Т. 24. № 4. С. 43–51. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-4-43-51
- [20] Беховых Ю.В., Беховых Л.А. Параметры компенсации почвенного влагодефицита при посадке сеянцев *Pinus sylvestris* L. с закрытой корневой системой на гарях ленточных боров // Природообустройство, 2023. № 1. С. 122–128.
- [21] Беховых Ю.В., Беховых Л.А., Олешко В.П. Почвенные запасы влаги на гарях соснового бора в сухостепной климатической зоне Алтайского края и параметры орошения для искусственного лесовосстановления // Вестник Алтайского государственного аграрного университета, 2022. № 2 (208). С. 33–41.
- [22] Osipenko A.E., Zalesov S.V. Evaluation of artificial reforestation efforts in the ribbon forest zone of Altai krai // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2019, v. 316, no. 1, p. 012047. DOI: 10.1088/1755-1315/316/1/012047
- [23] Сидоренко Е.В. Методы математической обработки в психологии. Санкт-Петербург: Речь, 2007. 349 с.
- [24] Гоф А.А., Жигулин Е.В., Залесов С.В., Оплетав А.С. Опыт создания лесных культур сеянцами с закрытой корневой системой на гарях Алтайского края // Международный научно-исследовательский журнал, 2019. № 12–2 (90). С. 125–130. DOI 10.23670/IRJ.2019.90.12.073
- [25] Socha J., Orzel S., Ochal W., Pietrzykowski M. Effect of seedling production method on the growth of *Pinus sylvestris* L. on reclaimed post-industrial sites in Poland // Dendrobiology, 2022, v. 88, pp. 124–137. DOI 10.12657/denbio.088.009
- [26] Гаврилова О.И., Грязькин А.В., Пак К.А., Го Л., Чэн Т. Особенности структуры молодняков, сформировавшихся на участках лесных культур // Хвойные бореальной зоны, 2023. Т. XLI. №. 2. С. 133–138.
- [27] Гоф А.А., Жигулин Е. В., Залесов С.В. Причины низкой приживаемости сеянцев сосны обыкновенной с закрытой корневой системой в ленточных борах Алтая // Успехи современного естествознания, 2019. № 12. С. 9–13.
- [28] Дебков Н.М. Опыт создания лесных культур посадочным материалом с закрытой корневой системой // Изв. вузов Лесной журнал, 2021. № 5. С. 192–200.
- [29] Маленко А.А., Чичкарев А.С., Завалишин С.И., Малиновских А.А., Курсикова Е.С. Выращивание лесных культур сосны с закрытой корневой системой в условиях степи на юге Западной Сибири // Лесохозяйственная информация, 2023. № 3. С. 103–116.
- [30] Данчева А.В., Залесов С.В., Половникова Д.А. Влияние субстрата на биометрические показатели сеянцев сосны обыкновенной с закрытой корневой системой // Леса России и хозяйство в них, 2023. № 4 (87). С. 94–104.
- [31] South D.B., Starkey T.E., Lyons A. Why healthy pine seedlings die after they leave the nursery // Forests, 2023, v. 14, no. 3, pp. 645. DOI 10.3390/f14030645
- [32] Ильинцев А.С., Наквасина Е.Н. Приживаемость и рост лесных культур, созданных сеянцами с закрытой корневой системой механизированным и ручным способами в Двинско-Вычегодском лесном районе // Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства, 2024. № 2. С. 79–88.
- [33] Collet C., Agro C., Akroume E., Bello J., Berthelot A., Boulanger V., Calas A., Dumas N., Pitaud J., Puyal M., Vast F. Mechanical site preparation severity mediates one-year-survival response to summer drought in planted tree seedlings // New Forests, 2024, v. 55, pp. 1581–1594. DOI 10.1007/s11056-024-10050-0
- [34] Pikkarainen L., Luoranen J., Peltola H. Early field performance of small-sized silver birch and scots pine container seedlings at different planting depths // Forests, 2021, v. 12, no. 5, p. 519. DOI 10.3390/f12050519
- [35] Zlobin I.E. Linking the growth patterns of coniferous species with their performance under climate aridization // Science of The Total Environment, 2022, v. 831, p. 154971. DOI 10.1016/j.scitotenv.2022.154971

Сведения об авторах

Осипенко Алексей Евгеньевич  — канд. с.-х. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет» (УГЛТУ), osipenkoae@m.usfeu.ru

Осипенко Регина Александровна — канд. с.-х. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет» (УГЛТУ), osipenkora@m.usfeu.ru

Залесов Сергей Вениаминович — д-р с.-х. наук, профессор, зав. кафедрой лесоводства, ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет», zalesovsv@m.usfeu.ru

Поступила в редакцию 10.02.2025.

Одобрено после рецензирования 25.03.2025.

Принята к публикации 21.05.2025.

EXPERIENCE IN PLANTING SCOTS PINE (*PINUS SYLVESTRIS* L.) USING CONTAINERIZED ROOT-BALLED SEEDLINGS IN ALTAI REGION STEPPE ZONE

A.E. Osipenko✉, R.A. Osipenko, S.V. Zalesov

Ural State Forestry University, 37, Sibirskiy trakt st., 620110, Yekaterinburg, Russia

osipenkoae@m.usfeu.ru

The article presents results of studying the survival ability and growth of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) open communities created with planting material with root-balled and bare-root tree systems. The study establishes that, in conditions of the dry forest on gentle slopes, the survival rate of forest plantations created by various planting materials does not differ statistically. The study shows that in the conditions of the trial plot forest plantations are repeatedly supplemented. This leads to a postponement of the assignment of open forest plantations to the plots on which forests are located. It is recommended to increase the density of forest crop planting to 5–6 thousand pcs/ha, since the density of planting from 2,0 to 4,4 thousand pcs/ha does not allow the density of the Scots pine to exceed 2,5 thousand pcs/ha six years after planting. The growth progress graphs of artificial and natural trees growing in the trial plots were drawn. It is indicated that up to the age of eight years artificial forest plantations lag behind the trees of natural origin considering their height, but at older ages they are ahead of them in this indicator. It was revealed that there is no natural seeding of pine in seven of the eleven plots of open forest plantations; its number does not exceed 45 pcs/ha in three plots, and only in the plot adjacent to the forest edge, the number of self-seeding is 1,5 thousand pcs/ha. The average crown diameters and basic wood increment of pine trees of various origins have been determined. It is recommended not to use containerized root-balled seedlings in the Altai Region steppe zone in favor of bare root seedlings.

Keywords: forest plantations, *Pinus sylvestris*, containerized root-balled seedling, survival rate, growth, ribbon forest, steppe zone

Suggested citation: Osipenko A.E., Osipenko R.A., Zalesov S.V. *Proizvodstvennyy opyt sozdaniya kul'tur sosny obyknovennoy (Pinus sylvestris L.) seyantsami s zakrytoy kornevoy sistemoy v usloviyakh stepnoy zony Altayskogo kraya* [Experience in planting Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) using containerized root-balled seedlings in Altai region steppe zone]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2025, vol. 29, no. 4, pp. 5–18.

DOI: 10.18698/2542-1468-2025-4-5-18

References

- [1] Campo A.D., Segura-Orenga G., Bautista I., Ceacero C.J., González-Sanchis M., Molina A.J., Hermoso J. Assessing reforestation failure at the project scale: The margin for technical improvement under harsh conditions. A case study in a Mediterranean Dryland. *Science of The Total Environment*, 2021, v. 796, p. 148952. DOI 10.1016/j.scitotenv.2021.148952
- [2] Perez-Silos I., Alvarez-Martinez J.M., Barquin, J. Large-scale afforestation for ecosystem service provisioning: learning from the past to improve the future. *Landscape Ecology*, 2021, v. 36, pp. 3329–3343. DOI 10.1007/s10980-021-01306-7
- [3] Preece N.D., Oosterzee P., Lawes M.J., Reforestation success can be enhanced by improving tree planting methods. *J. of Environmental Management*, 2023, v. 336, p. 117645. DOI 10.1016/j.jenvman.2023.117645
- [4] Montagnoli A., Lasserre B., Terzaghi M., Byambadorj S-O., Nyam-Osor B., Scippa G.S., Chiatante D. Fertilization reduces root architecture plasticity in *Ulmus pumila* used for afforesting Mongolian semi-arid steppe. *Frontiers in Plant Science*, 2022, v. 13, p. 878299. DOI 10.3389/fpls.2022.878299
- [5] Kazakov V. I., Prokazin N. E., Martynyuk A. A., Lobanova E.N., Kazakov I.V., Druchinin D.Yu. *Sozdanie kul'tur sosny seyantsami s otkrytoy i zakrytoy kornevoy sistemoy na gorel'nike v lesostepnoy zone* [Creation of Common Pine Crops by Seedlings with Open and Closed Root Systems on the Mountain Range in the Forest-Steppe Zone]. *Lesokhozyaystvennaya informatsiya* [Forestry information], 2023, no. 4, pp. 53–60.
- [6] Tregubov O.V., Laktionov A.P., Mizin Yu.A., Tseplyaev A.N., Korneev A.B., Pokhvalenko V.A., Varivodina I.N., Tregubova A.O. *Prizhivaemost' i sokhrannost' lesnykh kul'tur sosny obyknovennoy, vysazhennoy s zakrytoy kornevoy sistemoy v usloviyakh lesostepnoy zony evropeyskoy chasti Rossiyskoy Federatsii* [Survival and safety of forest crops of scott pine, planted with a closed root system in the conditions of the forest-steppe zone of the european part of the Russian Federation]. *Astrakhanskiy vestnik ekologicheskogo obrazovaniya* [Astrakhan Bulletin for Environmental Education], 2023, no. 3 (75), pp. 152–161. DOI 10.36698/2304-5957-2023-3-152-161
- [7] Dimitrova A., Balzano A., Tsedensodnom E., Byambadorj S-O., Nyam-Osor B., Scippa G.S., Merela M., Chiatante D., Montagnoli A. The adaptability of *Ulmus pumila* and the sensitivity of *Populus sibirica* to semi-arid steppe is reflected in the stem and root vascular cambium and anatomical wood traits. *Frontiers in Plant Science*, 2024, v. 15, p. 1393245. DOI 10.3389/fpls.2024.1393245
- [8] Campo A.D., Segura-Orenga G., Ceacero C.J., González-Sanchis M., Molina A.J., Reyna S., Hermoso J. Reforesting drylands under novel climates with extreme drought filters: The importance of trait-based species selection. *Forest Ecology and Management*, 2020, v. 467, p. 118156. DOI 10.1016/j.foreco.2020.118156

- [9] Beck H.E., McVicar T.R., Vergopolan N., Berg A., Lutsko N.J., Dufour A., Zeng Z., Jiang X., Dijk A.I.J.M., Miralles D.G. High-resolution (1 km) Köppen-Geiger maps for 1901–2099 based on constrained CMIP6 projections. *Scientific Data*, 2023, v. 10, p. 724. DOI: 10.1038/s41597-023-02549-6
- [10] Vacek Z., Vacek S., Cukor J. European forests under global climate change: Review of tree growth processes, crises and management strategies. *J. of Environmental Management*, 2023, v. 332, p. 117353. DOI 10.1016/j.jenvman.2023.117353
- [11] Manaenkov A. Basic principles and technologies for planted forests and nature-oriented forests in arid conditions. *BIO Web of Conferences*, 2024, v. 145, p. 01006. DOI 10.1051/bioconf/202414501006
- [12] Vinokurov Yu.I., Krasnoyarova B.A., Kharlamova N.F., Plutalova T.G., Sharabarina S.N. *Rayonirovanie territorii Altayskogo kraya po stepeni proyavleniya klimaticheskikh riskov* [Zoning of the Altai Region territory according to the degree of climate risks]. *Vestnik Zabaykal'skogo gosudarstvennogo universiteta* [Transbaikalian State University Journal], 2024, v. 30, no. 2, pp. 8–20.
- [13] Martynyuk A.A., Sidorenkov V.M., Zheldak V.I., Lyamtsev N.I., Ryabtsev O.V., Zhafyarov A.V. *Lentochnye bory Altayskogo kraya — sostoyanie i sovershenstvovanie khozyaystva v nikh* [Ribbon relict pine forests in the Altai Territory — current forest management and its improvement]. *Lesokhozyaystvennaya informatsiya* [Forestry information], 2019, no. 1, pp. 33–48. DOI 10.24419/LHI.2304-3083.2019.1.03
- [14] Malinovskikh A.A., Savin M.A. *Estestvennoe lesovosstanovlenie na garyakh v lentochnykh borakh Zapadnoy Sibiri* [Natural reforestation of burned areas in pine forests of Western Siberia]. *Khvoynye boreal'noy zony* [Conifers of the boreal area], 2019, v. 37, no. 3–4, pp. 223–228.
- [15] Bashegurov K.A., Malinovskikh A.A., Savin M.A., Godovalov G.A. *Spetsifika nakopleniya podrosta na garyakh v razlichnykh lesorastitel'nykh podzonakh lentochnykh borov Altaya* [Specificity of undergrowth with accumulation on learned areal in different forest growing subzones of Altai belt boron]. *Lesa Rossii i khozyaystvo v nikh* [Forests of Russia and the economy in them], 2020, no. 1 (72), pp. 4–14.
- [16] Zalesov S.V., Osipenko A.E., Tolstikov A.Yu., Usov M.V., Gof A.A., Savin V.V. *Vosproizvodstvo i omolozhenie lentochnykh borov Altayskogo kraya* [Reproduction and Rejuvenation of Ribbon Pine Forests in the Altai Territory]. *Yekaterinburg, USFEU Publ.*, 2023, 357 p.
- [17] Osipenko A.E., Zalesov S.V. *Obespechennost' podrostom sosnovykh nasazhdeniy Altae-Novosibirskogo rayona le-sostepey i lentochnykh borov* [Young pine plantations availability in Altai-Novosibirsk region of forest-steppes and ribbon forests]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2024, vol. 28, no. 3, pp. 15–25. DOI: 10.18698/2542-1468-2024-3-15-25
- [18] Mayssner R., Rupp Kh., Shmidt G., Bondarovich A.A., Shcherbinin V.V., Pon'kina E.V., Matsyura A.V., Rudev N.V., Kozhanov N.A., Puzanov A.V., Balykin D.N. *Agroklimaticheskii monitoring sukhoy stepi Altayskogo kraya* [Agroclimatic monitoring in the dry steppe area of Altai krai]. *Geografiya i prirodopol'zovanie Sibiri* [Geography and nature management in Siberia], 2017, no. 23, pp. 121–139.
- [19] Malinovskikh A.A. *Stepen' razvitiya rastitel'nogo pokrova v raznykh tipakh lesorastitel'nykh usloviy na garyakh v lentochnykh borakh Altayskogo kraya* [Plant cover development degree under different types of forest growth conditions on burnt areas in the belt pine forests of the Altai region]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2020, vol. 24, no. 4, pp. 43–51. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-4-43-51
- [20] Bekhovyykh Yu.V., Bekhovyykh L.A. *Parametry kompensatsii pochvennogo vlagodefitsita pri vysadke seyantsev Pinus sylvestris L. s zakrytoy kornevoy sistemoy na garyakh lentochnykh borov* [Parameters of compensation of soil moisture deficiency when planting *Pinus sylvestris* L. seedlings with a closed root system on the burns of ribbon hogs]. *Prirodoobustroystvo* [Environmental Engineering], 2023, no. 1, pp. 122–128.
- [21] Bekhovyykh Yu.V., Bekhovyykh L.A., Oleshko V.P. *Pochvennyye zapasy vlagi na gari sosnovogo bora v sukhostepnoy klimaticheskoy zone Altayskogo kraya i parametry orosheniya dlya iskusstvennogo lesovosstanovleniya* [Soil moisture holding of a burnt pine forest in the drysteppe climatic zone of the Altai region and irrigation parameters for artificial reforestation]. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Bulletin of Altai State Agricultural University], 2022, no. 2 (208), pp. 33–41.
- [22] Osipenko A.E., Zalesov S.V. Evaluation of artificial reforestation efforts in the ribbon forest zone of Altai krai. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2019, v. 316, no. 1, p. 012047. DOI: 10.1088/1755-1315/316/1/012047
- [23] Sidorenko E.V. *Metody matematicheskoy obrabotki v psikhologii* [Mathematical methods in psychology]. S.-Peterburg: Rech Publ., 2007, 349 p.
- [24] 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 in forest crops creation by seedlings with closed roots on burnt spot of Altai krai]. *Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal* [International research journal], 2019, no. 12–2 (90), pp. 125–130. DOI 10.23670/IRJ.2019.90.12.073
- [25] Socha J., Orzel S., Ochal W., Pietrzykowski M. Effect of seedling production method on the growth of *Pinus sylvestris* L. on reclaimed post-industrial sites in Poland. *Dendrobiology*, 2022, v. 88, pp. 124–137. DOI 10.12657/denbio.088.009
- [26] Gavrilova O.I., Gryaz'kin A.V., Pak K.A., Go L., Chen T. *Osobennosti struktury molodnyakov, sformirovavshikhsya na uchastkakh lesnykh kul'tur* [Peculiarities of the structure of young stands formed on forest plantation plots]. *Khvoynye boreal'noy zony* [Conifers of the boreal area], 2023, v. XLI, no. 2, pp. 133–138.
- [27] Gof A.A., Zhigulin E. V., Zalesov S.V. *Prichiny nizkoy prizhivaemosti seyantsev sosny obyknovennoy s zakrytoy kornevoy sistemoy v lentochnykh borakh Altaya* [Reasons of low survival rate of common pine seedlings with a closed root system in Altay strip-pine forests]. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya* [Advances in current natural sciences], 2019, no. 12, pp. 9–13.

- [28] Debkov N.M. Opyt sozdaniya lesnykh kul'tur posadochnym materialom s zakrytoy kornevoy sistemoy [Experience in the creation of forest plantations using container seedlings]. Russian forestry journal, 2021, no. 5, pp. 192–200.
- [29] Malenko A.A., Chichkarev A.S., Zavalishin S.I., Malinovskikh A.A., Kursikova E.S. *Vyrashchivanie lesnykh kul'tur sosny s zakrytoy kornevoy sistemoy v usloviyakh stepi na yuge Zapadnoy Sibiri* [Growing forest crops of pine with a closed root system in the steppe in the south of Western Siberia]. Lesokhozyaystvennaya informatsiya [Forestry information], 2023, no. 3, pp. 103–116.
- [30] Dancheva A.V., Zalesov S.V., Polovnikova D.A. *Vliyaniye substrata na biometricheskie pokazateli seyantssev sosny obyknovennoy s zakrytoy kornevoy sistemoy* [The effect of the substrate on the biometric parameters of seedlings of scots pine with a closed root system]. Lesa Rossii i khozyaystvo v nikh [Forests of Russia and the economy in them], 2023, no. 4 (87), pp. 94–104.
- [31] South D.B., Starkey T.E., Lyons A. Why healthy pine seedlings die after they leave the nursery. Forests, 2023, v. 14, no. 3, pp. 645. DOI 10.3390/f14030645
- [32] Il'intsev A.S., Nakvasina E.N. *Prizhivaemost' i rost lesnykh kul'tur, sozdannykh seyantsami s zakrytoy kornevoy sistemoy mekhanizirovannym i ruchnym sposobami v Dvinsko-Vychegodskom lesnom rayone* [Survival and growth of forest crops planted with containerized seedlings by mechanized and manual methods in the Dvinsko-Vychegodsky forest district]. Trudy Sankt-Peterburgskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta lesnogo khozyaystva [Proceedings of the Saint Petersburg forestry research institute], 2024, no. 2, pp. 79–88.
- [33] Collet C., Agro C., Akroume E., Bello J., Berthelot A., Boulanger V., Calas A., Dumas N., Pitaud J., Puyal M., Vast F. Mechanical site preparation severity mediates one-year-survival response to summer drought in planted tree seedlings. New Forests, 2024, v. 55, pp. 1581–1594. DOI 10.1007/s11056-024-10050-0
- [34] Pikkarainen L., Luoranen J., Peltola H. Early field performance of small-sized silver birch and scots pine container seedlings at different planting depths. Forests, 2021, v. 12, no. 5, p. 519. DOI 10.3390/f12050519
- [35] Zlobin I.E. Linking the growth patterns of coniferous species with their performance under climate aridization. Science of The Total Environment, 2022, v. 831, p. 154971. DOI 10.1016/j.scitotenv.2022.154971

The research was supported by the Russian Science Foundation grant No. 24-76-00009, <https://rscf.ru/project/24-76-00009/>

Authors' information

Osipenko Aleksey Evgen'evich  — Cand. Sci. (Agriculture), Associate Professor of the Ural State Forestry University, osipenkoae@m.usfe.ru

Osipenko Regina Aleksandrovna — Cand. Sci. (Agriculture), Associate Professor of the Ural State Forestry University, osipenkoae@m.usfe.ru

Zalesov Sergey Veniaminovich — Dr. Sci. (Agriculture), Professor, Head of the Department of Forestry of the Ural State Forestry University, zalesovsv@m.usfeu.ru

Received 10.02.2025.

Approved after review 25.03.2025.

Accepted for publication 21.05.2025.

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