

Научная статья

УДК 630*232.423:630*232.43

DOI: 10.37482/0536-1036-2023-4-76-92

Создание лесных культур сосны крымской (*Pinus pallasiana* D. Don) на бугристых песках в степной зоне России

Т.А. Турчина¹✉, д-р с.-х. наук, гл. науч. сотр.; ResearcherID: [AAT-8537-2020](https://orcid.org/0000-0001-9287-7544),
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9287-7544>

О.А. Банникова², канд. с.-х. наук; ResearcherID: [ABD-2525-2021](https://orcid.org/0000-0002-0490-8812),
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0490-8812>

¹Красноярский научный центр СО РАН – Научно-исследовательский институт сельского хозяйства и экологии Арктики, ул. Комсомольская, д. 1, г. Норильск, Красноярский край, Россия, 663302; tatturchina@mail.ru✉

²Всероссийский научно-исследовательский институт лесоводства и механизации лесного хозяйства – Южно-европейская научно-исследовательская лесная опытная станция, ул. Сосновая, д. 59 в, ст. Вешенская, Шолоховский р-н, Ростовская обл., Россия, 346270; olga_kowalewa@mail.ru

Поступила в редакцию 06.04.21 / Одобрена после рецензирования 22.07.21 / Принята к печати 06.08.21

Аннотация. На песках и песчаных почвах степной зоны европейской части России в период 2009–2020 гг. создавались лесные культуры сосны крымской (*Pinus pallasiana* D. Don). При анализе причин низкой эффективности лесовосстановления авторами предложена гипотеза о том, что правила посадки, рекомендуемые для сосны обыкновенной в части величины заглубления корневой шейки и обычно применяемые для сосны крымской, для последней могут быть неприемлемыми. Цель работы – на основе анализа динамики приживаемости и сохранности растений в лесных культурах на бугристых песках обосновать необходимость заглубления корневой шейки сеянцев и наиболее оптимальную величину заглубления. Экспериментальные лесные культуры созданы в 2017 г. Испытаны варианты глубины расположения корневой шейки растений относительно поверхности почвы 0, 2, 4, 6 см и до начала охвоенной части сеянца. Контролем служили лесные культуры, созданные механизированным способом, при котором глубина посадки растений составляла 6 см и более. При посадке вручную максимальная приживаемость (94,2–94,6 % в 1-й год) и сохранность растений (67,0–94,6 % на 4-й год), а также их наиболее равномерное распределение по лесокультурной площади (коэффициент вариации – 6,6–28,8 %) выявлены в вариантах с глубиной посадки 2 и 4 см. Отсутствие заглубления и глубокая посадка (на 6 см) приводят к уменьшению приживаемости и сохранности растений на 7,6–18,6 % и увеличению диапазона варьирования этих показателей (10,2–60,6 %). При механизированной посадке с заглублением корневой шейки на 6 см и более количество сохранившихся растений минимально (58,4 и 32,7 % – в 1-й и 4-й годы соответственно), а вариация показателя максимальная (30,5–70,1 %). Аналитическое выравнивание возрастной динамики густоты показало, что прогнозируемая густота не достигнет нормативной величины в вариантах при отсутствии заглубления и при глубокой посадке сеянцев. Установленные статистически значимые различия приживаемости лесных культур на протяжении всего периода наблюдений ($t_{\phi} = 2,12-4,38 > t_{05} = 2,12-2,45$) свидетельствуют о целесо-

образности заглубления корневой шейки при посадке растений. Оптимальной ее величиной следует считать 2–4 см, но не более чем до начала охвоенной части сеянца.

Ключевые слова: степная зона, бугристые пески, сосна обыкновенная, сосна крымская, сеянцы, величина заглубления корневой шейки, лесные культуры, приживаемость, сохранность растений

Для цитирования: Турчина Т.А., Банникова О.А. Создание лесных культур сосны крымской (*Pinus pallasiana* D. Don) на бугристых песках в степной зоне России // Изв. вузов. Лесн. журн. 2023. № 4. С. 76–92. <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2023-4-76-92>

Original article

Creation of Forest Cultures of Crimean Pine (*Pinus pallasiana* D. Don) on the Hilly Sands in the Steppe Zone of Russia

Tatiana A. Turchina¹✉, Doctor of Agriculture, Chief Research Scientist;
ResearcherID: [AAT-8537-2020](https://orcid.org/0000-0001-9287-7544), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9287-7544>
Olga A. Bannikova², Candidate of Agriculture; ResearcherID: [ABD-2525-2021](https://orcid.org/0000-0002-0490-8812),
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0490-8812>

¹Research Institute of Agriculture and Ecology of the Arctic within Krasnoyarsk Science Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, ul. Komsomolskaya, 1, Norilsk, Krasnoyarskiy krai, 663302, Russian Federation; tatturchina@mail.ru✉

²South European Forest Research Experimental Station that belongs to All-Russian Research Institute for Silviculture and Mechanization of Forestry, ul. Sosnovaya, 59v, stanitsa Veshenskaya, rayon Sholokhovskiy, Rostov region, 346270, Russian Federation; olga_kowalewa@mail.ru

Received on April 06, 2021 / Approved after reviewing on July 22, 2021 / Accepted on August 06, 2021

Abstract. Forest crop cultivation of Crimean pine (*Pinus pallasiana* D. Don) was implemented in 2009–2020 on sandy and sand included soils in the steppe zone of the European part of Russia. During the analysis of the reasons for the low efficiency of reforestation, the authors proposed the hypothesis that the rules of planting recommended for Scots pine relative to the depth of rooting may not be acceptable for Crimean pine. The purpose of the work is to substantiate the necessity and the most optimal value of deepening the root collar of Crimean pine seedlings on hilly sands. Experimental forest cultures were planted in 2017. The depth of the plant collar relative to the soil surface was tested at 0, 2, 4, 6 cm, and until the seedling's foliated part. The reference group was created by machine cultivation, which required a rooting depth of 6 cm or more. In the case of hand cultivation, the variants with planting depths of 2 and 4 cm had the highest rates of plant survival (94.2–94.6 % in the first year), plant safety (67.0–94.6 % in the fourth year), and their most even distribution over the silvicultural area (variation coefficient (v) at 6.6–28.8 %). The lack of deepening and very deep planting by 6 cm led to a decrease in plant survival and preservation by 7.6–18.6 % with an increase in the range of the variation coefficient (v , 10.2–60.6 %). The mechanized planting with a root collar depth over 6 cm gave the lowest number of preserved plants (58.4 % in the first year, 32.7 % in the fourth year), and the greatest range for the variation coefficient (v , 30.5–70.1 %). An analytical equalization of the density of age dynamics showed that the predicted density would

not reach the normative value with low and very deep planting. The established statistically significant differences in the survival rate of forest cultures throughout the observation period ($t_f = 2.12-4.38 > t_{05} = 2.12-2.45$) indicated the expediency of deepening the root collar. The optimal value is 2–4 cm, but until the seedling's foliated part.

Keywords: steppe zone, hilly sands, Scots pine, Crimean pine, seedlings, depth of root collar, forest cultures, survival rate, plant safety

For citation: Turchina T.A., Bannikova O.A. Creation of Forest Cultures of Crimean Pine (*Pinus pallasiana* D. Don) on the Hilly Sands in the Steppe Zone of Russia. *Lesnoy Zhurnal* = Russian Forestry Journal, 2023, no. 4, pp. 76–92. (In Russ.). <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2023-4-76-92>

Введение

Бугристые пески, по разным оценочным данным, занимают от 30 до 80 % общей площади песчаных массивов степной зоны России [2, 3, 12, 13]. В силу орографических особенностей, гранулометрического состава (преобладание средне- и крупнозернистых фракций песка при доле физической глины не более 10 %), низкого плодородия (гумусовый горизонт отсутствует или погребен, содержание гумуса не превышает 2–3 %), особых водно-физических свойств (низкая влагоемкость и высокая водопроницаемость) бугристые пески справедливо считаются наиболее сложным объектом для лесомелиоративного освоения [2, 3, 12]. Поэтому созданные на них лесные насаждения (преимущественно из хвойных пород) имеют исключительное мелиоративное значение, в некоторых случаях являются источником получения древесины для утилитарных целей и местной деревообрабатывающей промышленности [2, 5, 10].

Гибель лесных насаждений, происходящая преимущественно вследствие воздействия пирогенного фактора антропогенной природы, способствует «возврату площадей» в фонд лесовосстановления. Согласно данным, представленным в проектах лесовосстановления, в период 2009–2020 гг. на территории Ростовской области большая часть участков для создания лесных культур сосны крымской (97,1 %) предоставлялась именно в условиях мелко- и среднебугристого рельефа [6].

К сожалению, эффективность лесовосстановления в регионе низкая. В указанный выше период примерно половина площади созданных лесных культур из-за несоответствия нормативным параметрам приживаемости (приказ Минприроды России от 04.12.2020 № 1014 «Об утверждении Правил лесовосстановления, состава проекта лесовосстановления, порядка разработки проекта лесовосстановления и внесения в него изменений») была списана. Преобладающей причиной гибели называется климатический фактор – неблагоприятные погодные условия. Возможными причинами также являются недостаточное финансирование, использование машин и механизмов с высокой долей физического износа, игнорирование необходимости экологической дифференциации отдельных технологических операций и некоторые другие [4, 11, 12].

Особые экологические условия песков ограничивают перечень выращиваемых древесных пород. Чаще всего используются олиготрофные виды, из которых преимущественное распространение получила сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.) [2–4]. Многолетней практикой лесомелиорации выработаны основные правила посадки растений. Среди индикаторов ее качества выделим два:

1. корневая шейка растений должна находиться на уровне поверхности почвы или иметь незначительное заглубление;
2. корневая система растений должна иметь целостную структуру.

Если в отношении второго показателя экспертная оценка едина, то мнения относительно необходимости заглубления корневой шейки сеянцев и ее величины являются предметом дискуссии. На начальном этапе освоения бугристых песков (первая половина XX в.), когда преобладал ручной способ создания лесных культур, заглублять корневую шейку не рекомендовалось. При внедрении средств механизации начала действовать другая рекомендация: корневую шейку необходимо располагать ниже уровня поверхности почвы. При этом оптимальная величина заглубления, указываемая разными авторами, была различная [2, 3, 9, 10]. В 70-х гг. XX в. считалось, что корневая шейка растений на песчаных и супесчаных почвах должна заделываться на глубину 6–8 см ниже уровня поверхности [3]. В начале XXI в. рекомендованной величиной заглубления является 2–3 см [9]. Н.С. Зюзь [2] в качестве оптимальной предложил относительную величину заглубления – половину высоты стволика. Аналогичное мнение высказывал И.Г. Сурхаев [10], считающий, что заглубление растений в почву до 1/2–2/3 высоты стволика является одним из наиболее надежных средств повышения приживаемости культур на песках и песчаных почвах. Научного обоснования вышеуказанных рекомендаций авторы, к сожалению, не приводят.

С начала XXI в. на бугристых песках создаются преимущественно лесные культуры сосны крымской (*Pinus pallasiana* D. Don) и основным используемым посадочным материалом являются 2-летние сеянцы. Эта древесная порода, как сообщается в приказе Минприроды России № 1014 и в [9, 20], толерантна к степным условиям, лучшими для ее роста и развития являются почвы супесчаного и суглинистого гранулометрического состава [13, 22]. Мнения исследователей по поводу реакции сосны крымской на засуху расходятся: от устойчивости [10] до чувствительности [15, 17, 18]. Приоритетное использование сосны крымской обусловлено также более высоким в сравнении с сосной обыкновенной аэромелиоративным эффектом. Насаждения сосны крымской при условии выращивания на полиминеральных песках обладают большей углероддепонирующей и кислородпродуцирующей функцией [5].

В регионе отсутствует адаптированная для сосны крымской технология создания лесных культур. Используются перечень, последовательность и кратность технологических операций, предусмотренных для сосны обыкновенной. То же касается и правил посадки – величина заглубления корневой шейки составляет 6–8 см, как и для сосны обыкновенной.

Из-за орографических особенностей бугристых песков на их разных участках складываются различные условия для роста и развития растений. Дефляционные процессы, возникающие практически сразу после создания лесных культур, приводят к нивелированию профиля борозды, выветриванию илистых фракций и, как следствие, повреждению высаженных растений [13]. В межбугровых понижениях и на нижних частях склонов культивируемые растения засыпаются песком, а на вершинах и верхних частях склонов бугров, наоборот, наблюдается обнажение корневой системы сеянцев. С одной стороны, игнорирование особенностей мезо- и микрорельефа лесокультурных площадей

приводит к снижению приживаемости и оказывает отрицательное влияние на рост лесных культур, но с другой, лесопосадочные машины (СБН-1, СЛН-1, МЛУ-1) сконструированы таким образом, что сажальщики сидят спиной к направлению движения трактора и орографические различия замечают не сразу. «В зону риска» в первую очередь попадают сеянцы, имеющие значительную величину заглубления корневой шейки.

При видимом отсутствии или незначительном проявлении дефляции причиной гибели растений при глубокой посадке может быть нарушение физиологических процессов. При неглубокой посадке зона проведения корня практически всегда оказывается в сухом почвенном слое, тем самым нарушается водоснабжение растений, особенно в период засухи. При сильном заглублении и последующем засыпании заметно снижаются процессы фотосинтеза. Зеленая надземная часть растения находится под слоем песка именно в тот период (май, июнь), когда содержание хлорофилла в хвое обычно увеличивается [17].

Кроме того, в ксерофитных гигротопах в хвое сосны крымской наблюдается снижение концентрации общего хлорофилла в сравнении с более благоприятными по увлажнению условиями [15, 18]. При снижении концентрации хлорофилла замедляются процессы фотосинтеза, что приводит к уменьшению устойчивости растений. Следовательно, сеянцы с засыпанной землей (частично или полностью) фотосинтезирующим аппаратом в период адаптации к новым лесорастительным условиям не получают достаточного количества органических веществ для роста и развития.

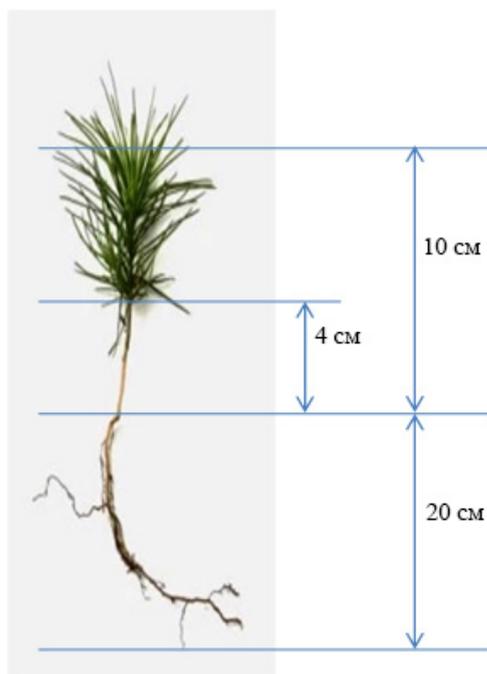
Как видно, биологическая значимость заглубления корневой шейки сеянцев сосны крымской на песках и песчаных почвах изучена мало. Поэтому исследование степени влияния заглубления корневой шейки сеянцев имеет большое теоретическое и практическое значение.

Рекомендации по заглублению корневой шейки растений при посадке имеют, возможно, и физическое обоснование. В соответствии с требованиями приказа Минприроды России № 1014, стандартные 2-летние сеянцы сосны крымской должны иметь следующие минимальные биометрические показатели: высоту надземной части – 10 см, диаметр корневой шейки – 3 мм (рис. 1). Требования к показателям массы предусмотрены не во всех странах, где культивируется эта древесная порода, хотя для сеянцев характерна диспропорция между массой надземной и подземной частей растений [7, 8, 14, 19, 21]. В зависимости от региона происхождения семян и выращивания сеянцев, лесорастительных условий в питомниках, применяемых технологий, наличия или отсутствия средств биостимулирующего воздействия превышение массовых показателей надземной части сеянцев над подземной может составлять от 1,2–2,2 [14, 19, 21] до 4,1–6,8 [7, 8] раза. Диспропорция показателей массы в случае мелкой посадки может привести к отсутствию физической устойчивости растений.

Так как рост корней начинается не сразу, при деструктуризации песчаных почв в процессе их высыхания сцепление корневой системы с грунтом ухудшается и возможно «падение» сеянцев под действием «собственной массы», особенно при скорости ветра от 5 м/с [13, 16]. Именно за счет заглубления части стволика в почву может быть достигнуто усиление физической устойчивости растения. Примеры отрицательных последствий глубокой посадки приведены выше.

Рис. 1. Биометрические показатели стандартных сеянцев сосны крымской (средние данные)

Fig. 1. Biometric indicators of the standard Crimean pine seedlings (average data)



Таким образом, правила посадки растений сосны обыкновенной в части величины заглубления корневой шейки и необходимости установления ее оптимальной величины не могут быть механически перенесены на сосну крымскую. Для этой древесной породы необходима разработка собственных рекомендаций.

Цель исследования – обосновать необходимость заглубления корневой шейки сеянцев сосны крымской и наиболее оптимальную величину заглубления при создании лесных культур на бугристых песках.

Задачи: проанализировать динамику приживаемости лесных культур; выявить влияние величины заглубления корневой шейки сеянцев на вариабельность приживаемости и сохранности растений.

Объекты и методы исследования

Для реализации цели и задач исследования весной 2017 г. в условиях среднебугристого рельефа на связнопесчаной мелкозернистой дерновой почве создан опытный объект – лесные культуры сосны крымской. Местоположение объекта: Шолоховское лесничество (Ростовская область), Колундаевское участковое лесничество, квартал 30, выдел 13 (49°43'16,8" с. ш. 41°44'40,3" в. д.). Использованные технологические приемы, перечень машин и механизмов, а также варианты опыта приведены в табл. 1.

Таблица 1

Технологические параметры вариантов опыта
Technological parameters of the experiment options

Технологические операции			Схема размещения растений, м	Заглубление корневой шейки сеянцев, см	Индекс опыта*
Обработка почвы	Посадка	Агротехнические уходы, год – количество			
Нарезка борозд (РН-60) осенью предшествующего года	Вручную (под лопату) – опытные варианты	Рыхление почвы (КЛБ-1,7): 2017 – 5; 2018 – 4; 2019 – 3	3×0,7	0	P0
				2	P2
				4	P4
				6	P6
				до начала охвоенной части сеянца	PX
	Механизированная (СЛЧ-1, МЛУ-1) – контроль		3×0,8	6 и более	M6

* Первая буква в аббревиатуре обозначает способ создания лесных культур, последующее цифровое и буквенное обозначение – величину заглубления корневой шейки при посадке.

Для создания лесных культур использовались 2-летние сеянцы, выращенные в Пигаревском лесном питомнике (базовый питомник территориального лесничества) и по биометрическим показателям соответствующие критериям и требованиям к посадочному материалу для лесовосстановления в районе степей европейской части Российской Федерации (приказ Минприроды России № 1014). Контрольным вариантом являлись лесные культуры, созданные механизированным способом по проекту лесовосстановления [6]. Предпосадочная подготовка сеянцев заключалась в подрезке корневых систем и обработке их почвенно-водной суспензией (болтушка) перед загрузкой в бункер лесопосадочной машины.

В опытных вариантах лесные культуры созданы вручную с шагом посадки 0,7 м с вариацией величины заглубления корневой шейки при посадке от 0 см (без заглубления) до 6 см или до начала охвоенной части сеянца (4–5 см). Повторность опыта – 5–9-кратная (по 100 растений в каждой). Перед посадкой растений проведена тренировка визуализации величины заглубления корневой шейки: сначала требуемую величину обозначали с помощью линейки, впоследствии она определялась в полевых условиях глазомерно.

Обследование лесных культур проводилось в 2017–2020 гг. дважды в год: в начале вегетационного периода и по его окончании. Состояние лесных культур оценивалось по динамике отпада растений и приживаемости. Первую (%) определяли с интервалом в полгода по разности данных приживаемости в конце периода (весенне-летнего или осенне-зимнего) и предыдущего значения. Вторую (%) вычисляли как отношение числа жизнеспособных растений к общему числу посадочных мест.

Статистическая обработка результатов исследований выполнялась в программе Microsoft Excel и системе Statistica [1]. По полученным данным строились диаграммы, где для отражения величины ошибки средней приживаемости использовали планку погрешности. Для определения степени влияния заглупления корневой шейки сеянцев использовали коэффициент Стьюдента (t) как критерий достоверности разности средних значений на 5%-м уровне значимости.

Результаты исследования и их обсуждение

Наиболее важным в развитии искусственно созданного насаждения является 1-й год. В этот период происходит адаптация высаженных растений к новым лесорастительным условиям. Плановая инвентаризация лесных культур, выполняемая по итогам 1-го вегетационного периода, позволяет установить эффективность проведенного мероприятия и принять решение о необходимости агротехнических уходов в виде дополнения лесных культур при приживаемости 25–85 % или об отнесении лесных культур к погибшим и их последующем списании при приживаемости менее 25 % (в соответствии с приказом Минприроды России № 1014).

В общей оценке эффективности лесовосстановления показатели приживаемости и гибели растений (отпад) являются взаимозависимыми и обратно сопряженными, т. е. чем меньше отпад, тем больше приживаемость и наоборот. Поэтому применительно к объекту исследования считаем целесообразным анализ обоих показателей.

Особенность климата степной зоны – наличие в разные периоды года комплекса неблагоприятных абиотических факторов. В весенне-летний период это высокие температуры, суховеи, отсутствие осадков; в осенне-зимний – ранние заморозки, длительное воздействие низких температур, отсутствие снежного покрова. Уже в самом начале вегетации происходит быстрое нарастание температуры воздуха, что в совокупности с отсутствием осадков приводит к иссушению верхнего почвенного горизонта. Следствием этого становится нарушение процессов водообмена у неадаптированных к новым экологическим условиям растений, приводящее к их гибели. Даже при условии, что вегетационные периоды 2017–2019 гг. имели лучшие в сравнении со среднемноголетними значениями показатели влагообеспеченности [13], закономерно, что во всех вариантах опыта наибольшее количество погибших растений фиксируется именно в 1-й год роста лесных культур (табл. 2). В последующие периоды этот показатель относительно стабилен и его максимальная величина не превышает 10 %.

Динамика отпада растений в зависимости от способа создания лесных культур и применявшихся вариантов посадки имеет некоторые закономерности (в каждом последующем периоде – весенне-летний и осенне-зимний – отпад меньше, чем в предшествующем) и особенности, связанные, в том числе, с биологическими свойствами сосны крымской. При механизированной посадке из 60,1 % погибших в 1-й год растений (максимальный из всех вариантов показатель) абсолютное большинство приходится на весенне-летний период. Меньшая по величине отпада, но идентичная тенденция наблюдается и в вариантах ручной посадки с максимальным заглуплением корневой шейки (на 6 см и до начала охвоенной части сеянца). Причиной гибели растений является частичное или полное уничтожение при посадке и агротехнических уходах фотосинтезирующего аппарата.

Таблица 2

Динамика отпада растений в лесных культурах сосны крымской
Dynamics of plant mortality in forest cultures of Crimean pine

Год роста лесных культур	Период роста лесных культур	Отпад растений при способе создания (%)					механизи- рованный
		вручную с заглублением корневой шейки на (см)					
		0	2	4	6	до начала охвоенной части сеянца	
1-й	Весенне-летний	12,3–13,6	5,0–5,8	3,7–8,3	11,7–19,3	12,8	41,6
	Осенне-зимний	9,4–21,6	8,4–17,2	8,0–12,5	1,3–15,0	9,3	18,5
2-й	Весенне-летний	7,4–10,0	2,4–6,2	4,5–13,4	11,1–28,7	4,0	1,5
	Осенне-зимний	0,4–0,5	0,4–10,0	0–0,8	0,5–5,8	0,1	0,3
3-й	Весенне-летний	0,6–4,7	0–1,7	0,3–1,6	1,6–3,2	4,5	0,8
	Осенне-зимний	0,2–2,5	2,7–5,0	2,5–5,4	0–0,1	1,3	4,6
4-й	Весенне-летний						

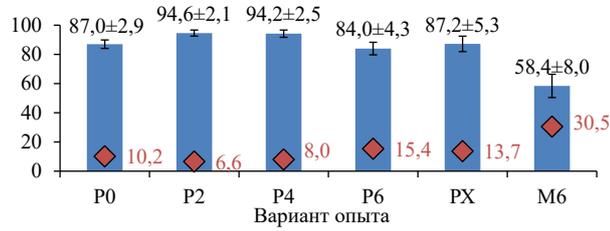
В вариантах посадки, когда охвоенная часть полностью находится на поверхности, больше всего растений погибает в осенне-зимний период, что связано с негативным воздействием низких температур (особенно в начале периода) на достаточно требовательную к теплу сосну крымскую. Дополнительным фактором, приводящим к гибели растений в варианте посадки без заглубления корневой шейки (вариант P0), является обнажение у них зоны проведения корней под действием дефляционных процессов в весенне-летний период и последующее их подмерзание в осенне-зимний.

На протяжении всего периода наблюдений изменение доли сохранившихся растений (приживаемость) и вариация этого показателя имеют особенности, связанные как со способом создания лесных культур, так и с вариантом посадки (рис. 2).

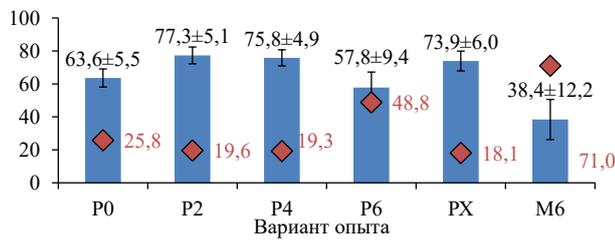
По результатам инвентаризации (1-й год), приживаемость лесных культур при механизированной посадке составила 58,4 % и при посадке вручную – 84,0–94,6 %. В случаях, когда фактическая приживаемость была меньше запроецированного показателя 65 % [6], весной 2018 г. проведено дополнение лесных культур до исходной густоты. Как показывают данные (рис. 2), выполненный агротехнический уход не повысил эффективность лесовосстановления. Приживаемость лесных культур в сравнении с вариантами посадки вручную меньше в 1,51–2,01 раза – на 2-й год, в 1,39–1,99 раза – на 3-й, в 1,58–2,15 раза – на 4-й.

При сравнении приживаемости лесных культур в вариантах ручного способа создания выявляются различия, связанные с величиной заглубления корневой шейки растений. При глубокой посадке (на 6 см), равно как и при отсутствии заглубления, начиная со 2-го года роста приживаемость растений минимальна: 57,8–63,6; 51,9–60,3 и 51,8–58,8 % на 2–4-й годы соответственно.

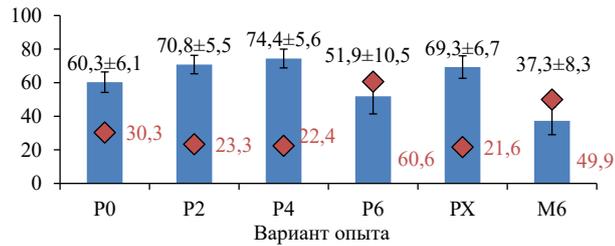
Бóльшие значения отмечены в вариантах с заглублением корневой шейки на 2, 4 см и до начала охвоенной части сеянца. Различия составили 10,3–19,5 % – на 2-й год, 9,0–22,5 % – на 3-й, 8,2–18,6 % – на 4-й.



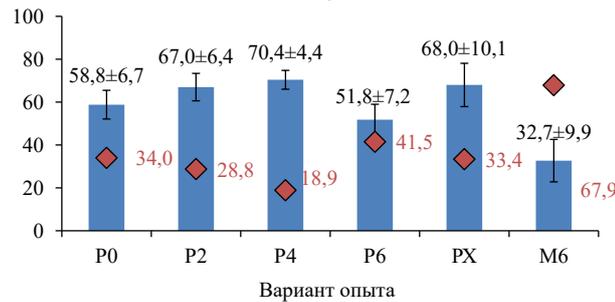
a



б



в



Вариант опыта

■ Средняя приживаемость, % ◆ Коэффициент вариации, %

г

Рис. 2. Приживаемость лесных культур сосны крымской по вариантам опыта: а – 2017; б – 2018; в – 2019; г – 2020 г. (на столбцах диаграммы указана средняя приживаемость на конец вегетационного периода и ошибка ее определения)

Fig. 2. Survival of Crimean pine forest cultures by the experience options: а – 2017; б – 2018; в – 2019; г – 2020 years (the diagram columns show the average rooting rate at the end of the vegetation period and the error in determining it)

Таким образом, существенное влияние на приживаемость лесных культур оказывают и способ их создания, и величина заглубления корневой шейки семян при посадке.

Кроме приживаемости в качестве показателя эффективности лесовосстановления выступает равномерность размещения сохранившихся растений по площади участка. Индикатором ее оценки является коэффициент вариации. При создании лесных культур вручную в 1-й год роста варьирование средней приживаемости (6,6–15,4 %) не превысило средний уровень изменчивости и лесные культуры соответствуют однородной совокупности (рис. 2). Гибель растений впоследствии приводит к увеличению изменчивости приживаемости. Минимальное варьирование признака, не выходящее за границы однородной совокупности (33 %), наблюдается в вариантах посадки семян с заглублением корневой шейки на 2, 4 см и до начала охвоенной части семянца. В случаях P0 и P6 вариация приживаемости составляет 25,8–48,8 % на 2-й год роста лесных культур, 30,3–60,6 % – на 3-й год, 34,0–41,5 % – на 4-й. Доля сохранившихся растений здесь минимальна, а вариация признака максимальна, что является следствием неравномерного размещения растений по лесокультурной площади. Еще более неравномерное распределение растений отмечается при механизированном способе создания лесных культур: варьирование приживаемости составляет 71,0; 49,9 и 67,9 % на 2–4-й годы роста соответственно.

Статистически значимые различия приживаемости лесных культур ($t_{\phi} > t_{05}$) выявлены для механизированного способа создания по всем вариантам ручной посадки при заглублении корневой шейки растений до 6 см и фиксируются в течение всего периода наблюдений (табл. 3).

Таблица 3

Существенность различий (по Стьуденту) приживаемости лесных культур сосны крымской с различным заглублением корневой шейки семян при посадке
Significance of differences (according to Student's test) in the survival rate of Crimean pine forest cultures with different depth of the plant collar of seedlings during planting

Сравниваемые варианты	Коэффициент существенности различий на момент окончания вегетационного периода для года			
	2017	2018	2019	2020
P0–P2	2,12	1,83	1,28	0,89
P0–P4	1,88	1,66	1,70	1,45
P0–P6	0,58	0,53	0,69	0,71
P0–PX	0,03	1,27	0,99	0,76
P0–M6	3,36	1,88	2,23	2,18
P2–P4	0,12	0,21	0,46	0,44
P2–P6	2,22	1,82	1,59	1,58
P2–PX	1,30	0,43	0,17	0,08
P2–M6	4,38	2,94	3,36	2,91
P4–P6	2,05	1,70	1,89	2,20
P4–PX	1,19	0,25	0,58	0,22
P4–M6	4,27	2,84	3,71	3,48
P6–PX	0,47	1,44	1,40	1,31
P6–M6	2,82	1,26	1,09	1,56
PX–M6	3,00	2,61	3,00	2,50

Примечание: Полужирным шрифтом выделены коэффициенты Стьюдента больше стандартного значения на 5%-м уровне ($t_{05} = 2,12–2,45$).

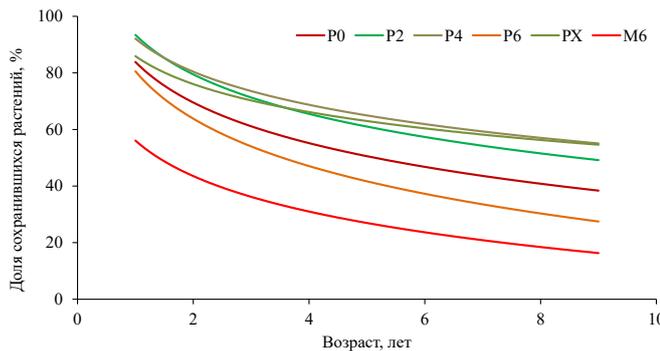
Максимальное фактическое значение коэффициента Стьюдента в этих вариантах наблюдается по окончании вегетационного периода 1-го года роста лесных культур ($t_{\phi} = 3,0-4,38 > t_{05} = 2,12-2,45$). С течением времени коэффициент уменьшается, тенденция характерна для всех сравниваемых вариантов, но статистически значимые различия сохраняются. Приближенным по эффективности к механизированному способу является ручная посадка с максимальным заглублением корневой шейки растений (вариант Р6). Здесь значимые различия приживаемости фиксируются только в 1-й год (табл. 3). Это означает, что независимо от способа создания лесных культур глубокая посадка растений (с погребением фотосинтезирующего аппарата) одинаково опасна. В вариантах ручного способа создания лесных культур значимость различий приживаемости в зависимости от величины заглубления корневой шейки сеянцев проявляется по-разному. При сравнении вариантов заглубления корневой шейки, которые по другим показателям были признаны оптимальными (Р2, Р4, РХ), статистически значимые различия приживаемости не установлены ($t_{\phi} = 0,12-1,30 < t_{05} = 2,12-2,45$). В вариантах с отсутствием заглубления (Р0) и с максимальной его величиной (Р6) статистически значимые различия фиксируются в 1-й ($t_{\phi} = 2,12 \geq t_{05} = 2,12$) и в 4-й годы роста лесных культур ($t_{\phi} = 2,20 > t_{05} = 2,12$) соответственно.

Независимо от происхождения насаждения (естественное или искусственное) в нем происходит закономерное уменьшение количества деревьев при увеличении возраста. То же самое можно сказать и о доле сохраняющихся к определенному возрасту растений в лесных культурах – она закономерно уменьшается. Применительно к объекту исследования этот процесс лучше всего аппроксимируется логарифмическим уравнением вида:

$$Y = a \ln(X) + b,$$

где Y – доля сохранившихся растений, %; a, b – коэффициенты уравнения; X – возраст лесных культур, лет.

Графическое изображение уравнений по вариантам опыта с указанием величин коэффициентов a, b и коэффициента детерминации (R^2) приведено на рис. 3.



Опыт	a	b	R^2	Опыт	a	b	R^2
P0	-20,7	83,869	0,313	P6	-24,16	80,562	0,222
P2	-20,14	93,432	0,349	PX	-14,25	85,921	0,204
P4	-16,86	92,101	0,314	M6	-18,09	56,069	0,186

Рис. 3. Динамика сохранности растений в лесных культурах сосны крымской

Fig. 3. Dynamics of plant safety of Crimean pine forest cultures

Высокие приживаемость и сохранность растений, низкий диапазон их варьирования, минимальный отпад растений, наблюдаемые в вариантах посадки с заглублением корневой шейки сеянцев на 2–4 см, а также близкие значения коэффициентов уравнений регрессии и максимальные коэффициенты детерминации позволяют считать заглубление корневой шейки растений *необходимым* аспектом создания лесных культур сосны крымской, а указанную величину – *оптимальной*. Во-первых, при нахождении стволика в почве ликвидируется диспропорция между массой надземной и подземной частей растения и тем самым обеспечивается его физическая устойчивость. Во-вторых, полностью находящийся на поверхности почвы фотосинтезирующий аппарат способствует быстрой адаптации растения к новым экологическим условиям и нормальному осуществлению физиологических процессов.

Близкие к этим вариантам показатели сохранности растений и динамики отпада выявлены и при посадке с заглублением стволика до начала охвоенной части. Однако высокая вариация признака, особенно на 4-й год роста, и минимальный среди вариантов ручной посадки коэффициент детерминации указывают на увеличение вероятности гибели растений вследствие засыпания слоем песка, больше всего при проведении последующих механизированных агротехнических уходов. Отрицательные последствия этого явления известны [11, 12, 15, 17, 18]. Поскольку при создании лесных культур механизированным способом невозможно с высокой точностью обеспечить посадку сеянцев с величиной заглубления корневой шейки, признанной оптимальной (2–4 см), считаем применимым к условиям указанного способа создания лесных культур вариант посадки «до начала охвоенной части сеянца».

Результатом лесовосстановления является отнесение площади молодняков к лесопокрытым землям (приказ Минприроды России № 1014). Нормированными для каждой главной древесной породы индикаторами являются возраст, количество деревьев и высота. То есть оценка соответствия созданного насаждения нормативным требованиям осуществляется не по относительным показателям эффективности (приживаемость, сохранность растений), а по абсолютной величине (густота). Для лесных культур сосны крымской, высаживаемых в лесном районе степей европейской части России, в возрасте 9 лет должно произрастать не менее 1800 растений на 1 га площади (приказ Минприроды России № 1014).

Аналитический расчет, выполненный на основе выявленных закономерностей сохранности растений (рис. 3) и с учетом их исходной густоты (4760 и 4166 шт./га – при ручной и механизированной посадке соответственно), показал, что нормативных параметров достигнутого насаждения, созданные вручную, и при обязательном соблюдении условия заглубления корневой шейки при посадке растений. Его минимальная величина – 2 см, максимальная – до начала охвоенной части сеянца, т. е. 4–5 см (табл. 4).

Применение правил посадки растений, разработанных для сосны обыкновенной, при создании лесных культур сосны крымской механизированным способом приводит к необходимости увеличения исходной густоты лесных культур. С учетом установленной тенденции изменения сохранности растений (рис. 3), исходная густота лесных культур должна быть не менее 11 тыс. шт./га.

Таблица 4

**Изменение густоты лесных культур сосны крымской при разных вариантах
заглубления корневой шейки растений**
**Changes in the density of Crimean pine forest cultures with different depth of the plant
collar**

Возраст лесных культур, лет	Густота растений, тыс. шт./га, по вариантам опыта					
	P0	P2	P4	P6	PX	M6
1	3,99	4,45	4,39	3,84	4,09	2,34
2	3,32	3,79	3,83	3,04	3,62	1,81
3	2,93	3,39	3,50	2,57	3,35	1,51
4	2,65	3,12	3,27	2,24	3,15	1,29
5	2,43	2,90	3,10	1,99	3,00	1,13
6	2,25	2,73	2,95	1,78	2,88	0,99
7	2,10	2,58	2,82	1,60	2,77	0,87
8	1,97	2,46	2,71	1,44	2,68	0,77
9	1,86	2,34	2,62	1,31	2,60	0,68

Примечание: Для возраста лесных культур 1–4 года приведены выровненные значения густоты; для возраста 5–9 лет – прогнозируемый показатель. Полужирным шрифтом выделены варианты опыта, в которых выровненная и прогнозируемая густота растений в лесных культурах не соответствуют нормативным данным (приказ Минприроды России № 1014).

Принимая во внимание положительный эффект, полученный в результате использования иных по сравнению с правилами для сосны обыкновенной правил посадки растений, считаем целесообразным их использование и при механизированном способе создания лесных культур. Аналитические расчеты показывают, что в случае осуществления механизированной посадки растений с заглублением корневой шейки на установленную оптимальную величину для обеспечения в будущем нормативной густоты созданного насаждения потребуется вдвое меньшее количество посадочного материала по сравнению со случаем несоблюдения требований к величине заглубления.

Таким образом, необходимым элементом технологии создания лесных культур сосны крымской на песках и песчаных почвах степной зоны должны быть специфические правила посадки растений, соответствующие биолого-экологическим особенностям породы и условиям выращивания.

Заключение

Выполненное исследование подтвердило авторскую гипотезу о неприемлемости использования при создании лесных культур сосны крымской некоторых элементов технологических операций, разработанных для сосны обыкновенной, и необходимости аутентификации правил посадки семян на почвах легкого гранулометрического состава.

Практика «глубокой посадки» (корневая шейка размещена ниже уровня поверхности почвы на 6 см и более) имеет отрицательные последствия. Сохранность растений в лесных культурах на 4-й год и при механизированном, и при ручном способе создания минимальна (32,7–51,8 %), вариация показате-

ля максимальна (41,5–67,9 %), прогнозируемая густота в 9-летнем возрасте не достигает нормативных показателей. Отсутствие заглубления корневой шейки также отрицательно сказывается на состоянии лесных культур. Сохранность растений на 4-й год составляет 58,8 % при неравномерном размещении по площади (34,0 %). Достижение нормативной густоты возможно только в случае увеличения ее исходного показателя минимум на 1 тыс. шт.

Среди причин гибели культивируемых растений выделим следующие:

- 1) посадка без заглубления корневой шейки и, как следствие, подмерзание обнаженных корней в зимний период и усыхание летом;
- 2) массовое засыпание песком до начала ростовых процессов надземной части при глубокой посадке (на 6 см и более).

Следует учесть, что при отнесении молодняков к лесопокрытым землям руководствуются прежде всего количеством деревьев главных пород. Достижение нормативной густоты лесных культур возможно при осуществлении посадки растений с заглублением корневой шейки на 2–4 см. Эта величина является оптимальной. Для механизированной посадки возможен ее адаптированный вариант – до начала охвоенной части сеянца.

Результаты исследований, проведенных на опытных объектах Ростовской области, и рекомендуемые на их основе правила посадки растений при создании лесных культур сосны крымской могут быть использованы и в других лесничествах степной зоны с аналогичными лесорастительными условиями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 6-е изд., стер., печ. по 5-му изд. 1985 г. М.: Альянс, 2011. 350 с. Dospekhov B.A. *Field Experience Methodology (with the Basics of Statistical Processing of Research Results): A Textbook for University Students on Agronomic Specialties. 6th edition.* Moscow, AlyanS Publ., 2011. 350 p. (In Russ.).
2. Зюзь Н.С. Культуры сосны на песках Юго-Востока. М.: Агропромиздат, 1990. 155 с. Zyuz N.S. *Pine Crops on the Sand Soils of the South-East.* Moscow, Agropromizdat Publ., 1990. 155 p. (In Russ.).
3. Кравченко В.И., Мельников А.И. Новое в освоении бугристых песков // Передовой опыт по технологии и комплексной механизации лесоразведения в Ростовской области. Ростов-на-Дону, 1974. С. 51–63. Kravchenko V.I., Melnikov A.I. Update in the Development of Hilly Sands. *Peredovoy opyt po tekhnologii i kompleksnoy mekhanizatsii lesorazvedeniya v Rostovskoy oblasti.* Rostov-on-Don, 1974. pp. 51–63. (In Russ.).
4. Манаенков А.С., Костин М.В. Опыт научных исследований по повышению эффективности лесоразведения в южных степях России // Лесхоз. информ. 2017. № 3. С. 92–102. Manaenkov A.S., Kostin M.V. Increase in Efficiency of Afforestation in the Southern Steppes of the Country. *Lesohozyaystvennaya informatsiya = Forestry Information*, 2017, no. 3, pp. 92–102. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.24419/LHI.2304-3083.2017.3.08>
5. Манаенков А.С., Сурхаев И.Г. Эколого-мелиоративное влияние культур сосны на пастбища Терско-Кумского междуречья // Изв. Нижневолж. агроунив. комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2015. № 1(37). С. 42–46.

Manaenkov A.S., Surkhaev I.G. Ecological and Meliorative Impact of Pine Crops on Grasslands of Tersko-Kumskoe Interfluve. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professionalnoe obrazovanie*, 2015, no. 1(37), pp. 42–46. (In Russ.).

6. Министерство природных ресурсов и экологии Ростовской области (минприроды РО): офиц. сайт. Режим доступа: <https://www.donland.ru/authority/8/> (дата обращения: 23.06.20).

Ministry of Natural Resources and Ecology of the Rostov Region. Online source. (In Russ.).

7. Пентелькина Н.В., Пентелькина Ю.С. Стимулирующее действие циркона на рост сеянцев хвойных интродуцентов // Лесн. вестн. 2002. № 2. С. 24–29.

Pentelkina N.V., Pentelkina Yu.S. Stimulating Effect of Zircon on the Growth of Seedlings of Coniferous Introducers. *Lesnoy vestnik = Forestry Bulletin*, 2002, no. 2, pp. 24–29. (In Russ.).

8. Проказин Н.Е., Лобанова Е.Н., Пентелькина Н.В., Казаков В.И., Иванюшева Г.И., Саханов В.В., Чукарина А.В., Багаев С.С. Влияние биостимуляторов и микроудобрений на рост сеянцев хвойных пород // Лесохоз. информ. 2013. № 2. С. 9–15.

Prokazin N.E., Lobanova E.N., Pentelkina N.V., Kazakov V.I., Ivanjusheva G.I., Sakanov V.V., Chukarina A.V., Bagaev S.S. Biostimulator and Microfertilizer Impacts on Coniferous Seedlings Growth. *Lesohozyaystvennaya informatsiya = Forestry Information*, 2013, no. 2, pp. 9–15. (In Russ.).

9. Родин С.А., Проказин Н.Е., Казаков В.И., Ерусалимский В.И., Миронов О.В., Багаев С.С., Краснобаева С.Ю., Чеплянский И.Я., Харлов И.Ю. Рекомендации по восстановлению искусственным и комбинированным способами хвойных и твердолиственных молодняков на землях лесного фонда (с базовыми технологическими картами на выполнение работ). Пушкино: ВНИИЛМ, 2015. 80 с.

Rodin S.A., Prokazin N.E., Kazakov V.I., Erusalimskiy V.I., Mironov O.V., Bagayev S.S., Krasnobayeva S.Yu., Cheplyanskiy I.Ya., Kharlov I.Yu. *Recommendations on the Restoration by Artificial and Combined Methods of Coniferous and Hard-Leaved Young Stocks on the Lands of the Forest Fund (with Basic Technological Maps for the Performance of Work)*. Pushkino, VNIILM Publ., 2015. 80 p. (In Russ.).

10. Сурхаев И.Г. Лесомелиорация песков Терско-Кумского междуречья культурами сосны: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Волгоград, 2015. 22 с.

Surkhaev I.G. *Forest Reclamation of Sands of the Tersko-Kum Interfluve with Pine Crops*: Cand. Agric. Sci. Diss. Abs. Volgograd, 2015. 22 p. (In Russ.).

11. Турчина Т.А. Технологические аспекты эффективности искусственного лесовосстановления на песках Среднего Дона // Агроекология, мелиорация и защитное лесоразведение: материалы Междунар. науч.-практ. конф., Волгоград, 18–20 окт. 2018 г. Волгоград: ФНЦ агроэкологии РАН, 2018. С. 204–208.

Turchina T.A. Technological Aspects of the Effectiveness of Artificial Reforestation on the Sands of the Middle Don. *Agroecology, Reclamation and Protective Afforestation: Proceedings of the International Scientific-Practical Conference, Volgograd, 18–20 October 2018*. Volgograd, FSC of Agroecology of RAS Publ., 2018, pp. 204–208. (In Russ.).

12. Турчина Т.А. Лесовосстановление на песках юго-востока России: современные проблемы и вызовы // Лесохоз. информ. 2019. № 3. С. 167–179.

Turchina T.A. Reforestation in the Sands of South-Eastern Russia: Modern Problems and Challenges. *Lesohozyaystvennaya informatsiya = Forestry Information*, 2019, no. 3, pp. 167–179. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.24419/LHL.2304-3083.2019.3.14>

13. Турчина Т.А., Банникова О.А. Приживаемость лесных культур сосны крымской на бугристых песках Среднего Дона при использовании биологически активных веществ // Тр. СПбНИИЛХ. 2019. № 2. С. 40–58.

Turchina T.A., Bannikova O.A. Survival of Crimean Pine Forest Cultures on Central Don Hilly Sands When Using Biologically Active Agents. *Trudy of SPbNILH*, 2019, no. 2, pp. 40–58. (In Russ.). <https://doi.org/10.21178/2079-6080.2019.2.40>

14. Avanoğlu B., Ayan S., Demircioğlu N., Sivacioğlu A. Kastamonu-Taşköprü Orman Fidanlığı'nda Üretilen Yaşlı Anadolu Karaçamı (*Pinus nigra* Arnold. subsp. *Pallasiana* (Lamb.) Holmboe.) Fidanlarının Tse Normlarına Göre Değerlendirilmesi. *Sigma Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 2005, no. 2, pp. 73–83. (In Turkish).

15. Bessonova V., Grytsay Z. Content of Plastid Pigments in the Needles of *Pinus pallasiana* D. Don in Different Forest Growth Conditions of Anti-Erosion Planting. *Ekologia*, 2018, vol. 37, no. 4, pp. 338–344. <https://doi.org/10.2478/eko-2018-0025>

16. Çalışkan S., Boydak M. Afforestation of Arid and Semiarid Ecosystems in Turkey. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 2017, no. 41, pp. 317–330. <https://doi.org/10.3906/tar-1702-39>

17. Deligöz A., Bayar E., Genç M., Karatepe Y., Kırdar E., Cankara F.G. Seasonal and Needle Age-Related Variations in the Biochemical Characteristics of *Pinus nigra* Subsp. *Pallasiana* (Lamb.) Holmboe. *Journal of Forest Science*, 2018, vol. 64, no. 9, pp. 379–386. <https://doi.org/10.17221/66/2018-JFS>

18. Deligöz A., Cankara F.G. Differences in Physiological and Biochemical Responses to Summer Drought of *Pinus nigra* Subsp. *Pallasiana* and *Pinus brutia* in a Natural Mixed Stand. *Journal of Forestry Research*, 2020, vol. 31, no. 5, pp. 1479–1487. <https://doi.org/10.1007/s11676-018-00876-8>

19. Eken O., Oner N. An Assessment of the Important Morphological Properties of Anatolian Black Pine Seedlings in Semiarid Forest Nursery. *Fresenius Environmental Bulletin*, 2017, vol. 26, no. 6, pp. 4158–4162. Available at: <https://www.researchgate.net/publication/318393622> (accessed 23.06.20)

20. Korshikov I.I., Ducci F., Terliga N.S., Bychkov S.A., Gorlova E.M. Allozyme Variation of *Pinus pallasiana* D. Don in Natural Crimean Populations and in Plantations in Technogenously-Polluted Areas of the Ukraine Steppes. *Annals of Forest Science*, 2004, vol. 61, no. 5, pp. 389–396. <https://doi.org/10.1051/forest:2004032>

21. Öner N., Eren F. The Comparisons Between Root Collar Diameter and Height Growth of Black Pine (*Pinus nigra* Arnold.) and Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) Seedlings in Bolu Forest Nursery. *Journal of Applied Biological Sciences*, 2008, no. 2(1), pp. 7–12. Available at: <https://www.researchgate.net/publication/312173177> (accessed 23.06.20)

22. Varelides C., Brofas G., Varelides Y. Provenance Variation in *Pinus nigra* at Three Sites in Northern Greece. *Annals of Forest Science*, 2001, vol. 58, no. 8, pp. 893–900. <https://doi.org/10.1051/forest:2001103>

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов
Conflict of interest: The authors declare that there is no conflict of interest

Вклад авторов: Все авторы в равной доле участвовали в написании статьи
Authors' Contribution: All authors contributed equally to the writing of the article