

Обзорная статья

УДК 582.47:630*32:630*411:630*164

DOI: 10.37482/0536-1036-2023-5-42-57

Морфометрические критерии оценки качества контейнерных семян хвойных пород

Е.В. Робонен¹, науч. сотр.; ResearcherID: [AAD-1958-2019](https://orcid.org/0000-0001-7926-8672),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7926-8672>

Н.П. Чернобровкина¹✉, д-р биол. наук, доц.; ResearcherID: [K-6120-2018](https://orcid.org/0000-0002-9716-003X),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9716-003X>

А.В. Егорова¹, канд. с.-х. наук; ResearcherID: [K-6095-2018](https://orcid.org/0000-0002-1691-1269),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1691-1269>

М.И. Зайцева², канд. техн. наук; ResearcherID: [P-2238-2015](https://orcid.org/0000-0003-4209-2815),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4209-2815>

К.Г. Нелаева¹, аспирант; ResearcherID: [GYJ-7223-2022](https://orcid.org/0000-0002-3283-4451),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3283-4451>

¹Институт леса Карельского научного центра РАН, ул. Пушкинская, д. 11, г. Петрозаводск, Россия, 185910; er51@bk.ru, chernobrovkina50@bk.ru✉, egorova.anast@mail.ru, nelaevakg@krc.karelia.ru

²Петрозаводский государственный университет, просп. Ленина, д. 33, г. Петрозаводск, Россия, 185910; 2003bk@bk.ru

Поступила в редакцию 28.04.22 / Одобрена после рецензирования 03.08.22 / Принята к печати 12.08.22

Аннотация. Качество создаваемых посадкой лесных культур существенно зависит от характеристик посадочного материала. Проведены многочисленные исследования по поиску четких критериев качества семян и разработке методов их количественной оценки для оптимизации режима выращивания. Необходимы показатели посадочного материала, доступные к измерению в условиях питомника, позволяющие прогнозировать успешность создания лесных культур. Цель – обзор исследований, использующих различные морфологические критерии качества посадочного материала хвойных растений, методы определения данных критериев. Пригодность критериев качества посадочного материала определяется эффективностью прогнозирования с их помощью уровня приживаемости (%) и роста после пересадки. Важнейшими морфометрическими характеристиками посадочного материала являются линейные размеры и биомасса всего семянца и его отдельных органов: диаметр у корневой шейки, высота семянца, масса сухого вещества хвои, стебля, корня, надземной части семянца, общее сухое вещество семянца, количество хвои. Эффективными индикаторами качества семян служат морфометрические показатели корней: общая длина, объем, масса, количество боковых корней 1-го, 2-го и 3-го порядка, площадь поверхности корня. Общая длина является достаточно надежным показателем мочковатости, а значит – абсорбирующей поверхности. Для минимизации ошибок при использовании одного или двух признаков разработаны интегрированные индексы качества семян, основанные на двух или нескольких показателях. Широко применяются: коэффициент SQ, равный отношению высоты семянца (см) к его диаметру у корневой шейки (мм); отношение надземной части семянца к массе сухого вещества корня; индекс качества Диксона, рассчитываемый как отноше-

ние общего сухого вещества сеянца к сумме отношений высоты сеянца к диаметру у корневой шейки и массы сухого вещества надземной части хвои к массе сухого вещества корня. Для многих видов наилучшим показателем качества посадочного материала называют диаметр у корневой шейки, отмечается высокий уровень его корреляции с индексом качества Диксона. Высота сеянца оказалась эффективным показателем для анализа только при использовании вместе с диаметром у корневой шейки. При изучении формирования морозостойкости применяют ряд морфологических параметров: зарождение зачатков хвои, размер зародышевых побегов, объем клеток и митотический индекс терминальных зачатков. Несмотря на успехи в тестировании качества посадочного материала и прогнозировании полевых показателей, ни один тест не является универсальным для всех видов древесных растений и условий окружающей среды. В соответствии с концепцией целевых сеянцев применение морфометрических критериев оценки качества сеянцев в практике лесных питомников необходимо для прогнозирования успешности высадки посадочного материала и достижения максимальной предсказуемости результатов при создании высокопродуктивных лесных культур.

Ключевые слова: хвойные, *Pinus*, *Picea*, сеянцы, посадочный материал, морфометрические показатели, индекс качества Диксона

Благодарности: Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-26-00192, <https://rscf.ru/project/23-26-00192/>.

Для цитирования: Робонен Е.В., Чернобровкина Н.П., Егорова А.В., Зайцева М.И., Нелаева К.Г. Морфометрические критерии оценки качества контейнерных сеянцев хвойных пород // Изв. вузов. Лесн. журн. 2023. № 5. С. 42–57. <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2023-5-42-57>

Review article

Morphometric Criteria for Assessing the Containerized Conifers Seedlings Quality

*Elena V. Robonen*¹, Research Scientist; ResearcherID: [AAD-1958-2019](https://orcid.org/0000-0001-7926-8672),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7926-8672>

Nadezhda P. Chernobrovkina^{1✉}, Doctor of Biology, Assoc. Prof.; ResearcherID: [K-6120-2018](https://orcid.org/0000-0002-9716-003X),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9716-003X>

*Anastasiya V. Egorova*¹, Candidate of Agriculture; ResearcherID: [K-6095-2018](https://orcid.org/0000-0002-1691-1269),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1691-1269>

*Maria I. Zaitseva*², Candidate of Engineering; ResearcherID: [P-2238-2015](https://orcid.org/0000-0003-4209-2815),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4209-2815>

*Karina G. Nelaeva*¹, Postgraduate Student; ResearcherID: [GYJ-7223-2022](https://orcid.org/0000-0002-3283-4451),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3283-4451>

¹Forest Research Institute of the Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences, Pushkinskaya St., 11, Petrozavodsk, 185910, Russian Federation; er51@bk.ru, chernobrovkina50@bk.ru[✉], egorova.anast@mail.ru, nelaevakg@krc.karelia.ru

²Petrozavodsk State University, Lenin Ave., 33, Petrozavodsk, 185910, Russian Federation; 2003bk@bk.ru

Received on April 28, 2022 / Approved after reviewing on August 3, 2022 / Accepted on August 12, 2022

Abstract. The quality of planted forest crops depends significantly on the qualities of the planting stock. Numerous studies have been carried out to find clear seedling quality criteria and work out methods for their quantitative assessment to optimize the cultivation regime. Indicators of planting stock that are available for measurement under nursery conditions are needed to predict the success of forest crop establishment. This paper provides a review of the studies that applied different morphological criteria to evaluate coniferous planting stock quality and different determination methods. The suitability of planting stock quality indicators is determined by the effectiveness of predicting the outplanting survival rate (%) and growth. The key morphometric attributes of planting stock are the linear dimensions and biomass of whole seedlings and their individual organs: root collar diameter (RCD), seedling height (SH), dry mass of needles (NDM), stem (SBDM), roots (RDM), shoot/aboveground part of the seedling (SDM), seedling's total dry matter (TDM), number of needles (NN). Effective indicators of seedling quality are morphometric indicators of roots: total length (TRL), volume (TRV), dry mass (RDM), number of first- (FOLRN), second- (SOLRN), and third-order (TOLRN) lateral roots, root surface area (TRS). TRL is a fairly reliable indicator of absorbent surface area. To minimize errors in the use of one or two traits, integrated seedling quality indices based on two or more indices have been developed. Widely used indices include: $SQ = SH(\text{cm})/RCD(\text{mm})$; SDM/RDM ratio; Dickson quality index $DQI = TDM / ((SH / RCD) + (SDM / RDM))$. RCD was the most suitable parameter to indicate seedling quality for many species due to its higher correlation level with the Dickson quality index. The SH index proved to be an effective indicator for analysis only when used together with RCD. When studying the formation of frost resistance, a number of morphological parameters are used: initiation of needle primordia, size of primordial shoots, cell volume, mitotic index (MI) of terminal primordia. Despite advances in testing planting stock quality and predicting field performance, not a single test is universally applicable for all woody plant species and environmental conditions. According to the target seedling concept, the application of morphometric criteria for assessing seedling quality in forest nurseries is a prerequisite for predicting outplanting success and maximizing the predictability of the outcomes of high-productivity forest crop planting.

Keywords: conifers, *Pinus*, *Picea*, seedlings, planting stock, morphometric attributes, Dickson quality index

Acknowledgements: The study was funded by the Russian Science Foundation grant No. 23-26-00192, <https://rscf.ru/project/23-26-00192/>.

For citation: Robonen E.V., Chernobrovkina N.P., Egorova A.V., Zaitseva M.I., Nelaeva K.G. Morphometric Criteria for Assessing the Containerized Conifers Seedlings Quality. *Lesnoy Zhurnal* = Russian Forestry Journal, 2023, no. 5, pp. 42–57. (In Russ.). <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2023-5-42-57>

В связи с большими объемами рубок хвойных лесов на северо-западе России требуется значительное количество посадочного материала для их восстановления. Качество создаваемых посадкой лесных культур, особенно на первом этапе их роста, существенно зависит от характеристик посадочного материала [29, 42, 43, 49, 63, 67]. Сортировка по высоте и диаметру корневой шейки часто практикуется в питомниках для отделения некачественного посадочного материала в целях повышения эффективности работ по искусственному лесовосстановлению [81]. Использование качественных семян обеспечивает высокие приживаемость и сохранность лесных культур, позволяет снизить густоту посадки, уменьшить затраты на разреживание [17]. Активно внедряется технология выращивания посадочного материала с закрытой корневой системой (ЗКС) [4, 7, 18]. Морфологические показатели и физиологический статус

сеянцев формируются с помощью оптимизации условий выращивания, таких как удобрение, орошение, фотопериод, температура выращивания, вид субстрата, размер и форма контейнеров, обработка регуляторами роста и средствами защиты растений [2, 5, 6, 8, 13, 16, 19, 25, 26, 34, 48, 83].

Для оптимизации режима выращивания сеянцев необходимы четкие критерии оценки их качества [24]. Многочисленные исследования были посвящены поиску критериев качества сеянцев и разработке методов количественной оценки этих параметров [30, 34, 37, 40, 44, 52, 58, 68, 71, 79, 81].

Качественными считают сеянцы, соответствующие определенному уровню приживаемости (%), сохранности (%) и роста после пересадки [34, 37]. При оценке качества посадочного материала питомники нуждаются в объективном показателе, который позволит прогнозировать продуктивность посадочного материала в полевых условиях [36].

Поиски критериев, основанных на морфологических признаках, выявили необходимость подключения биохимических и экофизиологических оценок для корреляции показателей сеянцев, определяемых в условиях питомника, с полевыми характеристиками [34]. Несмотря на успехи в тестировании качества сеянцев и прогнозировании полевых показателей, ни один тест не является универсальным для всех видов и условий окружающей среды [34]. Определение наиболее значимых показателей качества сеянцев конкретного вида и выбор эффективных методов их оценки с учетом специфических условий выращивания является необходимым этапом работы.

Цель – обзор морфометрических критериев качества посадочного материала хвойных пород и методов определения этих критериев.

Критерии оценки качества сеянцев древесных растений. Для оценки качества контейнерных сеянцев древесных растений широко используются морфометрические показатели: линейные размеры и масса целого сеянца, его надземной части, корневой системы, а также отдельных органов. Важную информацию о состоянии посадочного материала позволяют получить экофизиологические и биохимические показатели. Пригодность критериев качества посадочного материала определяется эффективностью прогнозирования с их помощью уровня приживаемости (%), сохранности (%) и роста после пересадки растения [66, 85]. Однако трудности с использованием результатов реальных полевых испытаний для оценки качества посадочного материала обуславливают необходимость оценивать сеянцы, готовые к высадке на лесокультурную площадь, по показателям, доступным к измерению в условиях питомника [36].

Основные морфометрические показатели качества сеянцев. В ряде исследований обнаружена четкая положительная взаимосвязь между морфометрическими показателями и ростом, а также выживаемостью в полевых условиях [33, 66, 78, 82, 84]. К важнейшим морфометрическим показателям посадочного материала древесных растений относятся линейные размеры, биомасса всего сеянца и его отдельных органов: диаметр у корневой шейки, высота сеянца, масса сухого вещества хвои, стебля, корня, надземной части сеянца, общее сухое вещество сеянца, количество хвои. Для измерения биомассы сеянцы делили на побег (стебель + хвоя) и корневую систему [81]. В многочисленных источниках используются разные обозначения этих переменных, единая система аббревиатур пока не сложилась. В табл. 1 приводятся принятые в данной статье и некоторые наиболее используемые обозначения.

Таблица 1

Основные морфометрические показатели качества сеянцев
The main morphometric indicators of seedling quality

IQ*	Русское наименование	Английское наименование
SH	Высота сеянца (см)	Shoot height
RCD	Диаметр корневой шейки (мм)	Root collar diameter
TDM	Сухая масса сеянца (г)	Total dry matter
SDM	Сухая масса побега (г)	Shoot dry matter
RDM	Сухая масса корня (г)	Root dry matter
SBDM	Сухая масса стебля (г)	Stem base dry matter
NN	Количество хвои на побеге	Number of leaves
NDM	Сухая масса хвои (г)	Needle dry matter
SN	Площадь хвои (мм ²)	Needle surface area
RL	Длина корня (мм)	Root length
TRL	Общая длина корня (см)**	Total root length
TRS	Площадь поверхности корня (см ²)**	Root surface area
TRV	Общий объем корня (мм ³)**	Total root volume
BL	Длина почки (мм)	Length of bud
CRL	Длина центрального корня (см)	Length of central root
CRM	Масса центрального корня (г)	Mass of central root
FOLRN	Число боковых корней 1-го порядка	Number of I order lateral roots
FOLRL	Длина боковых корней 1-го порядка (см)	Length of I order lateral roots
FOLR DM	Масса боковых корней 1-го порядка (г)	Mass of I order lateral roots
SOLR N	Число боковых корней 2-го порядка	Number of II order lateral roots
SOLR L	Длина боковых корней 2-го порядка (см)	Length of II order lateral roots
SOLR DM	Масса боковых корней 2-го порядка (г)	Mass of II order lateral roots
TOLR N	Число боковых корней 3-го порядка	Number of III order lateral roots
TOLR L	Длина боковых корней 3-го порядка (см)	Length of III order lateral roots
TOLR DM	Масса боковых корней 3-го порядка (г)	Mass of III order lateral roots
MI	Митотический индекс	Mitotic index

* IQ – обозначение показателя (принято здесь). ** Определяют с использованием сканера и системы анализа изображений WinRHIZO [21].

Хотя морфометрические характеристики могут быть не самыми точными показателями качества сеянцев, они доступнее к использованию, чем физиологические [36]. В сфере лесоводства применяется множество стандартов, основанных на морфологических особенностях. Качество посадочного материала в лесокультурной практике определяют преимущественно по высоте надземной части [1, 3, 9, 12, 14, 15, 82]. Результаты показывают, что выживаемость сеянцев после пересадки для многих видов можно успешно предсказать по исходным морфометрическим характеристикам сеянцев, однако не все исходные характеристики являются хорошими предикторами.

С SH тесно связана как фотосинтетическая способность, так и транспирирующая площадь [23]. Это обуславливает хорошую корреляцию SH с последующим ростом, однако однозначная связь с выживаемостью, особенно

в засушливых местах, не всегда наблюдается [59, 64, 81]. Морфометрические показатели необходимо учитывать при выборе посадочного материала с учетом почвенных условий планируемого под посадку участка. Несмотря на широкое использование, морфометрические показатели не позволяют надежно предсказать выживаемость сеянцев в полевых условиях [45, 71, 76, 79, 81]. Так, высокие саженцы *Picea abies* имели меньшую выживаемость, чем те, которые были ниже, но, первые характеризовались более выраженным последующим ростом [76, 81]. Самые высокие сеянцы *Pseudotsuga menziesii* и *Pinus ponderosa* также показали худшую выживаемость [46, 53].

RCD, как и SH, не всегда связан однозначно с выживаемостью сеянцев на лесокультурной площади, но связан с последующим ростом. Так, RCD сеянцев *Pinus strobus* и *Picea glauca* хорошо коррелировал с высотой 6-летнего подроста [60]. RCD сеянцев *Pinus radiata* D. Don коррелировал с высотой саженцев через 3 года после высадки [22]. В условиях засушливого Средиземноморья выживание *Pinus halepensis* P. было положительно связано с исходным диаметром у корневой шейки сеянцев и общей сухой массой сеянца [82].

Выявление пригодных для прогнозирования результатов посадки морфометрических и физиологических признаков, количественно связанных с высокими показателями приживаемости и дальнейшего роста высаженных сеянцев, имеет большое значение для лесохозяйственной практики [37, 56, 65, 73]. Концепция целевых сеянцев была разработана для прогнозирования успешности высадки посадочного материала, достижения максимальной предсказуемости результатов создания лесных культур [73].

Укоренение во многом зависит от способности сеянцев быстро образовывать новые корни [41]. Показано, что морфология корня (длина, объем, масса, количество боковых корней 1-го, 2-го и 3-го порядка, индекс площади корня и архитектурные параметры) может служить эффективным индикатором качества сеянцев [50]. Большие объем и площадь поверхности корня сеянца обеспечивают лучшее поглощение воды и питательных веществ на ранних стадиях после высадки, особенно во время летней засухи [34, 63, 82]. Сеянцы, выращенные в разных типах контейнеров и на разных видах субстратов, часто значительно различаются по числу, длине и массе боковых корней, степени мочковатости, не имеющей, однако, четкого количественного определения [34]. Общая длина корня является хорошим показателем мочковатости, а значит, и абсорбирующей поверхности [81].

В качестве удобрений для увеличения роста и урожайности растений, пестицидов для борьбы с вредителями и болезнями в лесном хозяйстве используются наноматериалы. Наночастицы могут поглощаться растениями и транспортироваться в их ткани, стимулируя или ингибируя рост [21]. При изучении влияния наночастиц серебра и меди (AgNP и CuNP) на рост сеянцев сосны обыкновенной использовали прежде всего морфометрические показатели SH, RCD, SDM. TRL определяли с помощью сканера, интегрированного с программным обеспечением WinRhizo [21].

Минимальные размеры сеянцев для создания лесных культур в России регламентируются Правилами лесовосстановления (указано в [8] и в ОСТ 56-98-93 «Сеянцы и саженцы основных древесных и кустарниковых пород»). Так, для сеянцев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) с открытой корневой

системой в зоне средней тайги европейской части Российской Федерации установлены диаметр стволика у корневой шейки не менее 2 мм и высота не менее 8 см. Однако на практике в лесных питомниках сеянцы характеризуются значительным варьированием высоты. Показано, что в партиях стандартных сеянцев экземпляры, при посадке значительно отличавшиеся от средних значений как в меньшую, так и в большую сторону, имели в лесных культурах худшие значения текущих приростов в высоту [10, 11]. Предлагалось рассматривать в качестве критерия качества сеянцев не установленную минимальную высоту, а ее соответствие диапазону, принятому в качестве оптимального для данного региона и типа условий местопроизрастания [10, 11]. Определение верхней границы диапазона оптимума приобретает особую важность в связи с внедрением технологии выращивания посадочного материала с ЗКС, ограничивающей возможности роста корневой системы размерами ячеек [35].

Количественные показатели биомассы сеянца и его органов в конце вегетационного периода характеризуют ростовую активность растения в зависимости от условий или продолжительности выращивания. Сухая масса также тесно коррелирует с ростом после высадки, как и диаметр. Высокий уровень корреляции между сухой массой сеянца и диаметром у корневой шейки выявлен для многих видов (*Pinus taeda*, *Pseudotsuga menziesii*) [71, 80, 81].

Кроме основных, обычно измеряемых параметров изучают ряд других факторов. Важным показателем качества сеянцев является морозостойкость, обеспечивающая их способность выживать и активно вегетировать в полевых условиях. Уровень допустимого переохлаждения определен для растения на каждом этапе развития, морозостойкость считается главной стратегией выживания зимой [75]. Чтобы не погибнуть в зимних условиях в бореальном климате, деревья переходят в состояние прекращения роста, или в состояние покоя. Ответную реакцию растения на пониженные температуры изучают по различным физиолого-биохимическим показателям: рост листьев, биомасса растения, содержание хлорофилла, скорость фотосинтеза и транспирации, относительное содержание воды в тканях, относительный выход электролитов и интенсивность перекисного окисления липидов [20]. Однако и морфометрические показатели могут быть полезны. У многих видов хвойных покой сопровождается образованием терминальной почки и рядом сопутствующих ему морфологических изменений. При изучении процесса формирования морозостойкости сеянцев *Picea mariana* рассматривали ряд морфологических параметров, характеризующих уровень зимнего закалывания: зарождение зачатков хвои, размер зародышевых побегов и объем клеток, терминальную митотическую активность почек по митотическому индексу [31]. При оценке по морфологическим признакам также учитывают форму сеянца, наличие повреждений, размер почки, густоту и цвет хвои, который зависит от вида и времени сезона; ультраструктурные показатели хвои, листьев, побегов и корней [21].

Интегрированные индексы качества сеянцев. С целью минимизации ошибок, которые могут возникнуть при использовании только одного или двух признаков, разрабатывались интегрированные индексы качества сеянцев, основанные на двух или нескольких наиболее значимых морфометрических показателях [36, 38, 83] (табл. 2).

Таблица 2

Интегрированные индексы качества сеянцев хвойных
Integrated index of coniferous seedling quality

№	IQ*	Формула расчета индекса	Источники
1	SQ	SH/RCD	[24, 36, 38, 44, 48, 50, 54, 70, 72, 83]
2	S / R	SDM/RDM	[24, 32, 36, 38, 39, 44, 47, 48, 50, 54, 61, 83]
3	R / S	RDM/SDM	[51, 70]
4	–	SH·RCD / (SDM/RDM)	[36]
5	–	RCD ² / (SDM/RDM)	
6	–	TDM · RCD ² / (SDM/RDM)	
7	–	TDM · RCD ² / (SDM/RDM) ²	
8	–	TDM / (SDM/RDM)	
9	–	TDM / ((SH/RCD) · (SDM/RDM))	
10	DQI	TDM / (SH/RCD+SDM/RDM)	[24, 27, 32, 36, 39, 50, 54, 72, 82, 83]

*Обозначение индекса качества сеянцев (принято здесь).

Из предложенных А. Диксоном с соавторами индексов [36] активно используется № 10. Индексы № 4–9 не нашли широкого применения. Многими исследованиями показано, что соотношения показателей надземной части (длины или биомассы) к соответствующим показателям корневой системы (SDM/RDM или SH/RL) сильно коррелируют с выживаемостью и ростом сеянцев после пересадки [24, 34, 35, 48, 52, 56, 57]. Отношение показателей надземной части к показателям корневой системы было предложено как мера баланса между площадью транспирации (побег) и площадью впитывания воды (корень) для сеянца [69].

Сеянцы с низким значением отношения длины или массы надземной части к соответствующему показателю корневой системы, имеющие небольшую площадь транспирирующей поверхности относительно поглощающей, как правило, обладают повышенной выживаемостью при пересадке в условия дефицита влаги [41, 48, 52]. При высоком дефиците влаги отмечается снижение выживаемости и угнетение начального роста сеянцев хвойных растений после высадки на лесокультурные площади [28, 77]. Это соотношение у сеянцев хвойных обычно больше единицы. Для многих видов хвойных, выращиваемых в лесопитомниках, рекомендуются отношения «побег : корень» SH/RL, не превышающие 2,5 [52]. В условиях малообъемного выращивания ухудшение этой важной характеристики сеянца может стать следствием чрезмерного роста в высоту при ограниченных возможностях роста корневой системы. Периоды весенней засухи, вероятно, станут более частым явлением в связи с глобальным потеплением климата, что необходимо учитывать при совершенствовании методов культивирования посадочного материала, адаптированного к условиям водного дефицита [55, 74].

Сеянцы с хорошо развитой надземной частью, большой площадью фотосинтезирующей поверхности, напротив, имеют преимущество на влажных участках с жесткой вегетативной конкуренцией за свет. Их можно рекомендовать для создания лесных культур на вырубках ельников, сосняков черничных и

кисличных, а также производных древостоев, где основную угрозу культурам представляет интенсивно развивающаяся травянистая растительность [8]. Сеянцам, предназначенным для высадки на орошаемые участки при создании плантаций в условиях аридного климата, также не требуются характеристики, обеспечивающие выживание в условия дефицита влаги [62]. Тенденция в пользу низкого соотношения «побеги : корни», способствующего последующему быстрому росту корней, не является желательной для условий орошения [24]. Кроме отношения высоты или массы надземной части сеянца к соответствующему показателю корневой системы были испытаны различные комбинации общей массы сеянцев, массы побегов и корней, диаметра корневой шейки (мм) и высоты (см) [36] (табл. 2).

Широко используются для оценки качества сеянцев древесных растений разных видов: индекс выносливости SQ, выражающий отношение высоты сеянца (см) к диаметру ствола у корневой шейки (мм); отношение сухой массы надземной части к сухой массе корней SDM/RDM и индекс качества Диксона DQI [24, 36] (табл. 3).

Таблица 3

**Использование интегрированных индексов в исследованиях
по оценке качества сеянцев хвойных
The use of integrated indices in conifer seedling quality assessment studies**

Вид	IQ	Источники
<i>Araucaria angustifolia</i> (Bert.) O. Kuntze	SQ, S/R, DQI	[24, 32, 83]
<i>Picea abies</i> (L.) Karst.	SQ, S/R, R/S, DQI	[47, 51, 61, 70]
<i>Picea glauca</i> (Moench) Voss	SQ, DQI	[36, 72]
<i>Picea mariana</i> (Mill.) B.S.P.		[72]
<i>Picea rubens</i> Sarg.		
<i>Picea sitchensis</i> (Bong.) Carr.	S/R, DQI	[39]
<i>Pinus brutia</i>	S/R	[51]
<i>Pinus canariensis</i>	SQ, S/R, DQI	[54]
<i>Pinus elliottii</i> var. <i>elliottii</i>	DQI	[27]
<i>Pinus halepensis</i>		[82]
<i>Pinus nigra</i> (Am.)	SQ, S/R, R/S, DQI	[50, 51]
<i>Pinus occidentalis</i> Swartz	SQ, S/R	[48]
<i>Pinus pinaster</i> Aiton	SQ, S/R, DQI	[50]
<i>Pinus resinosa</i> Ait.	SQ, DQI	[72]
<i>Pinus strobus</i>	DQI	[36]
<i>Pinus sylvestris</i> L.	SQ, S/R, R/S, DQI	[47, 50, 61, 70]
<i>Pseudotsuga menziesii</i> (Mirb.)	SQ, S/R	[44]

Выживаемость *Pinus halepensis* положительно коррелировала с исходным диаметром корневой шейки сеянцев, общей сухой массой и индексом качества Диксона [82]. Исследование, направленное на выявление корреляций

между переменными роста (RCD, SH, NN, NDM, SDM, RDM, TDM, SDM/RDM) и SQ и индексом качества Диксона у семян *Pinus elliottii*, показало, что RCD и RDM имели наиболее сильную корреляцию с DQI [27]. RCD во многих исследованиях признается наиболее подходящим параметром для определения качества семян из-за его более высокого уровня корреляции с DQI. SH была эффективной для определения качества семян лишь при использовании вместе с RCD. Интегрированные индексы применяются для оценки качества не только семян, но и укорененных черенков. При исследовании сезонных изменений холодостойкости укорененных черенков ели ситхинской (*Picea sitchensis* (Bong.) Carr.) в качестве критериев качества посадочного материала использовали отношение SDM/RDM и коэффициент Диксона [39].

Заключение

Качество создаваемых посадкой лесных культур существенно зависит от характеристик посадочного материала. Для оценки качества семян древесных растений широко используются морфометрические показатели: диаметр у корневой шейки, высота семени, масса сухого вещества хвои, стебля, корня, надземной части семени, общее сухое вещество семени, количество хвои, длина, объем, масса и количество боковых корней 1-го, 2-го и 3-го порядка, общая площадь поверхности и объем корня.

Многими исследованиями диаметр у корневой шейки признается наиболее приемлемым показателем. Высота семени эффективна для определения качества семян только при использовании совместно с диаметром у корневой шейки. Предлагалось рассматривать как критерий качества семян не превышение установленной минимальной высоты, а соответствие диапазону, принятому в качестве оптимального для данного вида и условий местопрорастания.

Наиболее применяемыми из интегрированных индексов качества семян являются коэффициент SQ, выражающий отношение высоты семени (см) к диаметру ствола у корневой шейки (мм); отношение сухой массы надземной части к сухой массе корней и индекс качества Диксона.

Отношение показателей надземной части к показателям корневой системы было предложено как мера баланса между площадью транспирации и площадью впитывания воды семени. Для многих видов семян хвойных пород, выращиваемых в лесопитомниках, рекомендуются значения отношения длины надземной части к длине корня, не превышающие 2,5.

Наряду с физиологическими показателями для определения уровня морозостойкости семян могут использоваться морфологические: зарождение зачатков хвои, размер зародышевых побегов, объем клеток и терминальная митотическая активность почек.

Пригодность критериев качества посадочного материала определяют по эффективности прогнозирования с их помощью уровня приживаемости (%) и роста после высадки на лесокультурную площадь.

Несмотря на успехи в оценке качества семян и прогнозировании полевых показателей, ни один тест не является универсальным для всех видов и условий окружающей среды. В соответствии с концепцией целевых семян использование приведенных в данном обзоре морфометрических критериев

качества семян в практике лесных питомников необходимо для прогнозирования успешности высадки посадочного материала и достижения максимальной предсказуемости результатов при создании высокопродуктивных лесных культур.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Баранник А.Б. Лесоводственная эффективность создания культур ели укрупненными сеянцами в таежной зоне // Лесн. хоз-во. 1978. № 4. С. 47–53.
Barannik A.B. Forestry Efficiency of Creating Spruce Crops with Enlarged Seedlings in the Taiga Zone. *Lesnoe hozyajstvo* = Forestry, 1978, no. 4, pp. 47–53. (In Russ.).
2. Бобушкина С.В. Приемы повышения эффективности производства посадочного материала хвойных пород с закрытой корневой системой в Архангельской области // Лесн. вестн. 2021. Т. 25, № 6. С. 45–54.
Bobushkina S.V. Efficiency Production Methods of Conifers Ball-rooted Planting Stock in Arkhangelsk Region. *Lesnoy vestnik* = Forestry Bulletin, 2021, vol. 25, no. 6, pp. 45–54. (In Russ.). <https://doi.org/10.18698/2542-1468-2021-6-45-54>
3. Ган П.А. Влияние возраста и высоты посадочного материала на состояние культур ели тьяншанской // Лесоведение. 1982. № 4. С. 82–85.
Gan P.A. Influence of Age and Height of Planting Material on the Condition of Tianshan Spruce Crops. *Lesovedenie* = Russian Journal of Forest Science, 1982, no. 4. pp. 82–85. (In Russ.).
4. Гоф А.А. Эффективность создания лесных культур сосны обыкновенной сеянцами с закрытой корневой системой в ленточных борах Алтая: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Екатеринбург, 2020. 18 с.
Gof A.A. *Efficiency of Creation of Scots Pine Forest Plantations by Seedlings with a Closed Root System in Ribbon Forests of the Altai Mountains*: Cand. Agric. Sci. Diss. Abs. Yekaterinburg, 2020. 18 p. (In Russ.).
5. Егорова А.В., Чернобровкина Н.П., Робонен Е.В. Влияние хвойного препарата на рост и элементный состав сеянцев *Pinus sylvestris* L. в условиях лесного питомника // Химия раст. сырья. 2017. № 2. С. 171–180.
Egorova A.V., Chernobrovkina N.P., Robonen E.V. Effects of Application of a Conifer-derived Chemical on the Growth and Elemental Composition of *Pinus sylvestris* L. Seedlings under Forest Nursery Conditions. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya* = Chemistry of Plant Materials, 2017, no. 2, pp. 171–180. (In Russ.). <https://doi.org/10.14258/jcprm.2017021720>
6. Егорова А.В., Чернобровкина Н.П., Робонен Е.В., Зайцева М.И. Способ получения водных экстрактов из листьев ивы козьей с учетом суточной динамики их биологической активности для повышения всхожести семян сосны обыкновенной // Физиология растений. 2019. Т. 66, № 5. С. 394–400.
Egorova A.V., Chernobrovkina N.P., Robonen E.V., Zaytseva M.I. Method of Preparation of Aqueous Extracts from Goat Willow Leaves taking into account the Daily Dynamics of their Biological Activity to Increase the Germination of Common Pine Seeds. *Fiziologiya rastenij* = Russian Journal of Plant Physiology, 2019, vol. 66, no. 5, pp. 394–400. (In Russ.). <https://doi.org/10.1134/S0015330319040031>
7. Жигунов А.В. Теория и практика выращивания посадочного материала с закрытой корневой системой. СПб.: СПбНИИЛХ, 2000. 293 с.
Zhigunov A.V. *Theory and Practice of Growing Planting Material with a Closed Root System*. Saint-Petersburg, SPbSRIF Publ., 2000. 293 p. (In Russ.).
8. Жигунов А.В., Данилов Д.А., Шестакова Т.А., Неверовский В.Ю. Влияние вида посадочного материала на рост насаждений ели и сосны на постагrogenных землях северо-запада России // Вестн. ПГТУ. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2016. № 3(31). С. 30–39.

Zhigunov A.V., Danilov D.A., Shestakova T.A., Neverovsky V.J. Influence of the Type of Planting Material on the Growth of Spruce and Pine Plantations on Post-agrogenic Lands of the North-West of Russia. *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Les. Ekologiya. Prirodopol'zovanie* = Bulletin of the Volga State Technological University. Forest. Ecology. Nature management, 2016, no. 3(31), pp. 30–39. (In Russ.).

9. Маркова И.А. Агротехника и технология создания высокопродуктивных культур ели и сосны промышленными методами на Северо-Западе РСФСР: автореф. ... дис. д-ра с.-х. наук. Л., 1989. 40 с.

Markova I.A. *Agrotechnics and Technology of Creation of Highly Productive Spruce and Pine Crops by Industrial Methods in the North-West of the RSFSR*: Dr. Agric. Sci. Diss. Abs. Leningrad, 1989. 40 p. (In Russ.).

10. Мерзленко М.Д., Гуртяченко Ю.Г. Оптимальная высота трехлетних сеянцев ели // Лесохоз. информ. 1990. № 11. С. 30–31.

Merzlenko M.D., Gurtyachenko J.G. Optimal Height of Three-year-old Spruce Seedlings. *Lesohozyaistvennaya informatsiya* = Forestry Information, 1990, no. 11, pp. 30–31. (In Russ.).

11. Мерзленко М.Д., Захарова М.И. Влияние высоты сеянцев на рост сосны в лесных культурах // Изв. вузов. Лесн. журн. 2015. № 1. С. 158–162.

Merzlenko M.D., Zakharova M.I. Influence of Seedling Height on Pine Growth in Forest Crops. *Lesnoy Zhurnal* = Russian Forestry Journal, 2015, no. 1, pp. 158–162. (In Russ.). <https://doi.org/10.17238/issn0536-1036.2015.1.158>

12. Мойко М.Ф., Ковалев М.С. Рост лесных культур в зависимости от размеров сеянцев // Лесн. хоз-во. 1977. № 1. С. 52–55.

Moiko M.F., Kovalev M.S. Forest Crop Growth as a Function of Seedling Size. *Lesnoe hozyajstvo* = Forestry, 1977, no. 1, pp. 52–55. (In Russ.).

13. Мочалов Б.А., Бобушкина С.В. Влияние вида кассет на размеры сеянцев сосны с закрытыми корнями и их рост в культурах на Севере // Изв. вузов. Лесн. журн. 2013. № 5. С. 65–70.

Mochalov B.A., Bobushkina S.V. Effect of Cassette Type on the Size of Closed-root Pine Seedlings and their Growth in Crops in the North. *Lesnoy Zhurnal* = Russian Forestry Journal, 2013, no. 5, pp. 65–70. (In Russ.). <http://lesnoizhurnal.ru/upload/iblock/978/lkh6.pdf>

14. Мурманская Н.П. Значение сортировки сеянцев сосны в условиях Архангельской области // Защит. лесоразведение и лесн. культуры. 1977. Вып. 4. С. 106–111.

Murmanskaya N.P. Importance of Sorting Pine Seedlings in the Conditions of the Arkhangelsk Region. *Zashitnoe lesorazvedenie i lesnye kultury* = Protective Afforestation and Forest Cultures, 1977, no. 4, pp. 106–111. (In Russ.).

15. Пигарев Ф.Т., Беляев В.В., Сунгуров Р.В. Комплексная оценка качества посадочного материала и его применение на Европейском Севере: метод. указания. Архангельск: АИЛиЛХ, 1987. 14 с.

Pigarev F.T., Belyaev V.V., Sungurov R.V. *Integrated Assessment of Planting Material Quality and its Application in the European North: method. instructions*. Arkhangelsk, Arkhangelskiy institute lesa y lesokhimii Publ., 1987. 14 p. (In Russ.).

16. Робонен Е.В., Зайцева М.И., Чернобровкина Н.П., Чернышенко О.В., Васильев С.Б. Опыт разработки и использования контейнерных субстратов для лесных питомников. Альтернативы торфу // Resources and Technology. 2015. Т. 12, № 1. С. 47–76.

Robonen E.V., Zaitseva M.I., Chernobrovkina N.P., Chernyshenko O.V., Vasiljev S.B. Experience in the Development and Use of Containerized Substrates for Forest Nurseries. Peat Alternatives. *Resources and Technology* = Resources and Technology, 2015, vol. 12, no. 1, pp. 47–76. (In Russ.). <https://doi.org/10.15393/j2.art.2015.3081>

17. Соколов А.И., Харитонов В.А., Пеккоев А.Н., Кривенко Т.И. Сохранность и рост культур сосны, созданных посадочным материалом с закрытой корневой системой в условиях Карелии // Изв. вузов. Лесн. журн. 2015. № 6. С. 46–56.

Sokolov A.I., Kharitonov V.A., Pekkoiev A.N., Krivenko T.I. Preservation and Growth of Pine Crops Created by Planting Material with Closed Root System in Karelia Conditions. *Lesnoy Zhurnal* = Russian Forestry Journal, 2015, no. 6, pp. 46–56. (In Russ.).

18. Степанов С.А., Зайцева М.И. Выращивание и использование посадочного материала с закрытой корневой системой. Петрозаводск: ПетрГУ, 2016. 32 с.

Stepanov S.A., Zaitseva M.I. *Cultivation and Use of Planting Material with a Closed Root System: a Textbook for Bachelors, Masters and Graduate Students*. Petrozavodsk, Petrozavodsk State University Publ., 2016. 32 p. (In Russ.).

19. Чернобровкина Н.П., Чернышенко О.В., Егорова А.В., Зайцева М.И., Робонен Е.В. Современные технологии выращивания посадочного материала хвойных пород и пути их совершенствования // Вестн. МГУЛ – Лесн. вестн. 2016. Т. 20, № 6. С. 6–14.

Chernobrovkina N.P., Chhernyshenko O.V., Egorova A.V., Zaitseva M.I., Robonen E.V. Modern Technologies of Growing Planting Material of Coniferous Species and Ways of Improving Them. *Lesnoy vestnik* = Forestry Bulletin, 2016, vol. 20, no. 6, pp. 6–14. (In Russ.).

20. Шубаева Т.Г., Икконен Е.Н., Шерудило Е.Г., Тумов А.Ф. Влияние ежедневных кратковременных понижений температуры на теплолюбивые и холодостойкие растения // Физиология растений. 2019. Т. 66, № 4. С. 266–276.

Shibaeva T.G., Ikkonen E.N., Sherudilo E.G., Titov A.F. Influence of Daily Short-term Temperature Drops on Heat-loving and Cold-resistant Plants. *Fiziologiya rastenij* = Russian Journal of Plant Physiology, 2019, vol. 66, no. 4. pp. 266–276. (In Russ.). <https://doi.org/10.1134/S0015330319040122>

21. Aleksandrowicz-Trzcinska M., Bederska-Błaszczuk M., Szaniawski A., Olchowik J., Studnicki M. The Effects of Copper and Silver Nanoparticles on Container-Grown Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) and Pedunculate Oak (*Quercus robur* L.) Seedlings. *Forests*, 2019, vol. 10, iss. 269, pp. 1–13. <https://doi.org/10.3390/f10030269>

22. Anstey C. Survival and Growth of 1/0 Radiata Pine Seedlings. *New Zealand Journal of Forestry*, 1971, vol. 16, no. 1, pp. 77–81.

23. Armson K.A., Sadreika V. *Forest Tree Nursery Soil Management and Related Practices*. Ontario, Ministry of Natural Resources and Forestry Publ., 1974. 177 p.

24. Bayala J., Dianda M., Wilson J. Ouedraogo S.J., Sanon K. Predicting Field Performance of Five Irrigated Tree Species Using Seedling Quality Assessment in Burkina Faso, West Africa. *New Forests*, 2009, vol. 38, no. 3, pp. 309–322. <https://doi.org/10.1007/s11056-009-9149-4>

25. Bayley A.D., Kietzka J.W. Stock Quality and Field Performance of *Pinus patula* Seedlings Produced under Two Nursery Growing Regimes During Seven Different Nursery Production Periods. *New Forests*, 1996, no. 13, pp. 337–352.

26. Bigras F.J., D'Aoust A.L. Influence of Photoperiod on Shoot and Root Frost Tolerance and Bud Phenology of White Spruce Seedlings (*Picea glauca*). *Can. J. For. Res.*, 1993, vol. 23, no. 2, pp. 219–228.

27. Binotto A.F., Lúcio A.D., Lopes S.J. Correlations between Growth Variables and the Dickson Quality Index in Forest Seedlings. *Cerne*, 2010, vol. 16, no. 4, pp. 457–464.

28. Bumgarner M.L., Salifu K.F., Jacobs D.F. Subirrigation of *Quercus Rubra* Seedlings: Nursery Stock Quality, Media Chemistry, and Early Field Performance. *HortScience*, 2008, vol. 43, pp. 2179–2185.

29. Cain M.D., Barnett J.P. An 8-year Field Comparison of Naturally Seeded to Planted Container *Pinus Taeda*, With and Without Release. *Can. J. For. Res.*, 1996, vol. 26, no. 7, pp. 1237–1247.

30. Colombo S.J. The Thin Green Line: a Symposium on the State-of-the-art in Reforestation. *Forest Research Information Paper 160*. Canada, Sault Saint Marie, Ministry of Natural Resources and Forestry Publ., 2005. 175 p.

31. Colombo S.J., Glerum C., Webb D.P. Winter Hardening in First-year Black Spruce (*Picea Mariana*) Seedlings. *Physiol. Plant*, 1989, vol. 76, pp. 1–9.

32. Constantino V., Motta A.C.V., Barbosa J.Z., Dolinski M.A., Zanette F., Prior S.A. Initial Growth of Araucaria Angustifolia Rootstock in Response to Fertilization with Nitrogen, Phosphorus and Potassium. *Floresta*, 2019, vol. 49, no. 1, pp. 99–108. <http://doi.org/10.5380/rf.v49i1.57467>
33. Cossitt F.M., Rindt C.A., Gunning H.A. Production of Planting Stock. Trees: The Yearbook of Agriculture. *Washington D.C., Govt. Print. Office Publ.*, 1949. 944 p.
34. Davis A.S., Jacobs D.F. Quantifying Root System Quality of Nursery Seedlings and Relationship to Outplanting Performance. *New Forests*, 2005, vol. 30, pp. 295–311.
35. De La Fuente L.M., Ovalle J.F., Arellano E.C., Ginocchio R. Use of Alternative Containers for Promoting Deep Rooting of Native Forest Species Used for Dryland Restoration: The Case of Acacia Caven. *iForest*, 2017, vol. 10, pp. 776–782. <http://doi.org/10.3832/ifor2101-010>
36. Dickson A., Leaf A.L., Hosner J.F. Quality Appraisal of White Spruce and White Pine Seedling Stock in Nurseries. *For. Chron.*, 1960, no. 36, pp. 10–13.
37. Duryea M.L. *Evaluating Seedling Quality: Principles, Procedures and Predictive Abilities of Major Tests*. Corvallis, Oregon, Oregon State University, Forest Research Laboratory Publ., 1985. 143 p.
38. Dushimimana C., Magomere T., Mulatya J., Vandenabeele J., Olubayo F., Smaghe G., Werbrouck S.P.O. Variation of Morphological Traits and Quality Indices of Micropropagated Melia Volkensii Gurke Clones before Field Planting. *Forests*, 2022, vol. 13, iss. 337, pp. 1–13. <https://doi.org/10.3390/f13020337>
39. Fennessy J., O'Reilly C.O., Harper C.P., Thompson D. The Morphology and Seasonal Changes in Cold Hardiness, Dormancy Intensity and Root Growth Potential of Rooted Cuttings of Sitka Spruce. *Forestry: An International Journal of Forest Research*, 2000, vol. 73, iss. 5, pp. 489–497. <https://doi.org/10.1093/forestry/73.5.489>
40. Grossnickle S.C. *Ecophysiology of Northern Spruce Species: the Performance of Planted Seedlings*. Ottawa, Canada: NRC Research Press and National Research Council of Canada, 2000. 409 p.
41. Grossnickle S.C. Importance of Root Growth in Overcoming Planting Stress. *New Forests*, 2005, no. 30, pp. 273–294. <https://doi.org/10.1007/s11056-004-8303-2>
42. Grossnickle S.C. Why Seedlings Survive: Influence of Plant Attributes. *New Forests*, 2012, no. 43, pp. 711–738.
43. Grossnickle S.C., MacDonald J.E. Why Seedlings Grow: Influence of Plant Attributes. *New Forests*, 2018, no. 49, pp. 1–34.
44. Haase D.L. Understanding Forest Seedling Quality: Measurements and Interpretation. *Tree Planters' Notes*, 2008, vol. 52, no. 2, pp. 24–30.
45. Hallett R.D. *Reforestation in the Maritimes*. Moncton, New Brunswick, Canadian Forest Service Publ., 1984. 188 p.
46. Hermann R.K. Importance of Top-root Ratios for Survival of Douglas-fir Seedlings. *Tree Planters' Notes*, 1964, no. 64, pp. 7–11.
47. Hernandez Velasco M. *Year-round Production of Forest Seedlings under LED Lamps. Biological and Energetic Implications of Indoor Cultivation*. Digital Comprehensive Summaries of Uppsala Dissertations from the Faculty of Science and Technology. Uppsala: Acta Universitatis Upsaliensis, 2021. 108 p.
48. Hubbel K.L., Ross-Davis A.L., Pinto J.R., Burney O.T., Davis A.S. Toward Sustainable Cultivation of Pinus occidentalis Swartz in Haiti: Effects of Alternative Growing Media and Containers on Seedling Growth and Foliar Chemistry. *Forests*, 2018, vol. 9, iss. 422. <https://doi.org/10.3390/f9070422>
49. Ivetić V., Grossnickle S.C., Škoric M. Forecasting the Field Performance of Austrian Pine Seedlings Using Morphological Attributes. *iForest*, 2016, no. 10, pp. 99–107.
50. Kolevska D.D., Dimitrova A., Cokoski K., Basova M. Growth and Quality of Pinus nigra (Arn.), Pinus sylvestris (L.) and Pinus pinaster (Aiton) Seedlings in Two Container Types. *Reforesta*, 2020, no. 9, pp. 21–36. https://doi.org/10.21750/R_EFOR.9.04.78

51. Kostopoulou P., Radoglou K., Papanastasi O.D., Adamidou C. Effect of Mini-plug Container Depth on Root and Shoot Growth of Four Forest Tree Species During Early Developmental Stages. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 2011, vol. 35, no. 4, pp. 379–390. <https://doi.org/10.3906/tar-1104-11>
52. Landis T.D., Dumroese R.K., Haase D.L. *The Container Tree Nursery Manual. Vol. 7: Seedling Processing, Storage, and Outplanting*. Washington D.C., U.S. Department of Agriculture Forest Service Publ., 2010. 200 p.
53. Lopushinsky W., Beebe T. *Relationship of Shoot-root Ratio to Survival and Growth of Outplanted Douglas-fir and Ponderosa Pine Seedlings*. U.S.D.A. Forest Service, Pacific Northwest Forest and Range Experiment Station. Research Note PNW-274, 1976, 7 p.
54. Luis V.C., Peters J., Gonzalez-Rodriguez A.M., Jimenez M.S., Morales D. Testing Nursery Plant Quality of Canary Island Pine Seedlings Grown under Different Cultivation Methods. *Phyton*, 2004, vol. 44, no. 2, pp. 231–244.
55. Luoranen J., Pikkarainen L., Poteri M., Peltola H., Riikonen J. Duration Limits on Field Storage in Closed Cardboard Boxes before Planting of Norway Spruce and Scots Pine Container Seedlings in Different Planting Seasons. *Forests*, 2019, no. 10, pp. 1126–1146.
56. Mattsson A., Radoglou K., Kostopoulou P., Bellarosa R., Simeone M.C., Schirone B. Use of Innovative Technology for the Production of High-quality Forest Regeneration Materials. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 2010, vol. 25, no. 8, pp. 3–9. <http://dx.doi.org/10.1080/02827581.2010.485825>
57. Mexal J., Rangel R.C., Landis T. Reforestation Success in Central Mexico: Factors Determining Survival and Early Growth. *Tree Plant. Notes*, 2008, no. 53, pp. 16–22.
58. Mohammed G.H. The Status and Future of Stock Quality Testing. *New Forests*, 1997, no. 13, pp. 491–514.
59. Mullin R.E., Svaton J. A Grading Study with White Spruce Nursery Stock. *The Commonwealth Forestry Review*, 1972, vol. 51, no. 1, pp. 62–69.
60. Mullin R.E., Christl C. Morphological Grading of White Pine Nursery Stock. *The Forestry Chronicle*, 1982, vol. 58, no. 1, pp. 40–43.
61. Ohlund J., Nasholm T. Growth of Conifer Seedlings on Organic and Inorganic Nitrogen Sources. *Tree Physiology*, 2001, vol. 21, iss. 18, pp. 1319–1326.
62. Oliet J., Planelles R., Arias N.L., Artero F. Soil Water Content and Water Relations in Planted and Naturally Regenerated Pinus Halepensis Mill. Seedlings During the First Year in Semiarid Conditions. *New Forests*, 2002, no. 23, pp. 31–44.
63. Oliet J.A., Planelles R., Artero F., Valverde R., Jacobs D.F., Segura M.L. Field Performance of Pinus Halepensis Planted in Mediterranean Arid Conditions: Relative Influence of Seedling Morphology and Mineral Nutrition. *New Forests*, 2009, no. 37, pp. 313–331.
64. Pawsey C.K. Survival and Early Development of Pinus Radiata as Influenced by Size of Planting Stock. *Australian Forestry Research*, 1972, no. 5, pp. 13–24.
65. Pinto J.R., Marshall J.D., Dumroese R.K., Davis A.S., Cobos D.R. Photosynthetic Response, Carbon Isotopic Composition, Survival, and Growth of Three Stock Types under Water Stress Enhanced by Vegetative Competition. *Can. J. For. Res.*, 2012, vol. 42, no. 2, pp. 333–344.
66. Pomeroy K.B., Green F.K., Burkett L.B. Importance of Stock Quality in Survival and Growth of Planted Trees. *Jour. For.*, 1949, no. 47, pp. 706–707.
67. Puertolas J., Gil L., Pardos J.A. Effects of Nutritional Status and Seedling Size on Field Performance of Pinus Halepensis Planted on Former Arable Land in the Mediterranean Basin. *Forestry*, 2003, no. 76, pp. 159–168.
68. Puttonen P. Looking for the "Silver Bullet": Can One Test Do It All? *New Forests*, 1997, no. 13, pp. 9–27.
69. Racey G.D., Glerum C., Hutchison R.E. The Practicality of Top-root Ratio in Nursery Stock Characterization. *For. Chron.*, 1983, vol. 59, no. 5, pp. 240–243.

70. Riikonen J., Kettunen N., Gritsevich M., Hakala T., Särkkä L., Tahvonen R. Growth and Development of Norway Spruce and Scots Pine Seedlings under Different Light Spectra. *Environmental and Experimental Botany*, 2016, no. 121. pp. 112–120. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2015.06.006>
71. Ritchie G.A. Assessing Seedling Quality. In Duryea M.L., Landis T.D. (eds.). *Forest Nursery Manual: Production of Bareroot Seedlings*. Martinus Nijhoff. Dr. W. Junk. Publishers. Hague, Boston, Lancaster, 1984, pp. 243–259.
72. Roller K.J. *Suggested minimum standards for containerized seedlings in Nova Scotia*. Fredericton, NB, Information Report M-X-69, 1977, pp. 1–18.
73. Rose R., Carlson W.C., Morgan P. *The target seedling concept. General Technical Report RM-200. Roseburg, OR, USA, Proceedings of the Western Forest Nursery Association, 13–17, 1990*, 1990, 8 p.
74. Ruosteenoja K., Markkanen T., Venäläinen A., Räisänen P., Peltola H. Seasonal Soil Moisture and Drought Occurrence in Europe in CMIP5 Projections for the 21st Century. *Clim. Dyn.*, 2018, no. 50, pp. 1177–1192.
75. Ryyppö A., Repo T., Vapaavuori E. Development of Freezing Tolerance in Roots and Shoots of Scots Pine Seedlings at Nonfreezing Temperatures. *Can. J. For. Res.*, 1998, vol. 28, no. 4, pp. 557–565.
76. Schmidt-Vogt H. *Morphological and Physiological Characteristics of Planting Stock: Present State of Research and Research Tasks for the Future*. Proc., IUFRO XVII World Congress. Kyoto, Japan, 1981, pp. 433–446.
77. Shi W., Grossnickle S.C., Li G., Su S., Liu Y. Fertilization and Irrigation Regimes Influence on Seedling Attributes and Field Performance of Pinus Tabuliformis. *Carr. Forestry*, 2019, vol. 92, iss. 1, pp. 97–107. <https://doi.org/10.1093/forestry/cpy035>
78. Stoeckler J.A., Jones G.W. *Forest Nursery Practices in the Lake States*. Washington, U.S. Government Printing Office Publ., 1956. 124 p.
79. Sutton R.F. Planting Stock Quality and Grading. *Forest Ecology and Management*, 1979, no. 2, pp. 123–132.
80. Switzer G.L., Nelson L.E. Effects of Nursery Fertility and Density on Seedling Characteristics Yield, and Field Performance of Loblolly Pine (*Pinus taeda* L.). *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 1963, no. 27, pp. 461–464.
81. Thompson B.E. *Seedling morphological evaluation – what you can tell by looking. Proceedings: Evaluating seedlings quality: principles, procedures, and predictive abilities of major tests*. Proceedings of a workshop held October 16–18, 1984. Corvallis, Oregon, Oregon State University, Forest Research, 1985, pp. 59–71.
82. Tsakalidimi M., Ganatsas P., Jacobs D.F. Prediction of Planted Seedling Survival of Five Mediterranean Species Based on Initial Seedling Morphology. *New Forests*, 2013, no. 44, pp. 327–339. <https://doi.org/10.1007/s11056-012-9339-3>
83. Vieira L.M., Gomes E.N., Brown T.A., Constantino V., Zanette F. Growth and Quality of Brazilian Pine Tree Seedlings as Affected by Container Type and Volume. *Ornamental Horticulture*, 2019, vol. 25, no. 3, pp. 276–286.
84. Wahlenberg W.G. Experiments with Classes of Stock Suitable for Forest Planting in the Northern Rocky Mountains. *Jour. Agric. Res.*, 1928, no. 36, pp. 977–1000.
85. Wakeley P.C. Physiological Grades of Southern Pine Nursery Stock. *Washington, D.C., Proc. Society of American Foresters*, no. 31, 1948. Washington, 1948, pp. 311–322.

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