

Научная статья

УДК 630\*242:630\*243

DOI: 10.37482/0536-1036-2024-2-105-117

## Формирование морфологии деревьев культивируемых сосновых древостоев

**А.Е. Осипенко**, канд. с.-х. наук; *ResearcherID*: [AAG-1421-2021](https://orcid.org/0000-0002-6148-1747),

*ORCID*: <https://orcid.org/0000-0002-6148-1747>

**С.В. Залесов**<sup>✉</sup>, д-р с.-х. наук, проф.; *ResearcherID*: [H-2605-2019](https://orcid.org/0000-0003-3779-410X),

*ORCID*: <https://orcid.org/0000-0003-3779-410X>

Уральский государственный лесотехнический университет, Сибирский тракт, д. 37, г. Екатеринбург, Россия, 620100; [osipenkoae@m.usfeu.ru](mailto:osipenkoae@m.usfeu.ru), [zalesovsv@m.usfeu.ru](mailto:zalesovsv@m.usfeu.ru)<sup>✉</sup>

Поступила в редакцию 02.08.22 / Одобрена после рецензирования 03.11.22 / Принята к печати 05.11.22

**Аннотация.** Цель исследования – оценка качественных характеристик крон, стволов и роста деревьев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в искусственных древостоях сухого бора пологих всхолмлений, пройденных прореживаниями регулярно-равномерным способом, а также разработка на основании полученных данных предложений производству. Изучаемые древостои произрастают в юго-западной части ленточных боров Алтайского края на территории Ключевского лесничества. Рубки прореживания были проведены в 2016 г. в рамках плановых мероприятий по уходу за лесами. Полевой этап исследования выполнен в 2022 г. Заложенные пробные площади имели прямоугольную форму и размер не менее 0,25 га. Оценка качественных признаков деревьев производилась в соответствии с классификацией, предложенной Г.А. Чибисовым с соавторами. Достоверность различий (или их отсутствие) в распределении деревьев по категориям качества на участках устанавливалась при помощи критерия  $\chi^2$  для сопоставления 2 распределений. Приведены таксационная характеристика основного элемента леса исследуемых древостоев; индексы качества для оцениваемых показателей деревьев; графики распределения деревьев по ступеням толщины и категориям качества. Установлено, что большая доля деревьев имеет плохие кроны (27–45 %) и рост (14–41 %). Такие показатели являются следствием чрезмерно высокой густоты древостоев и отсутствия своевременных рубок ухода. Прореживания регулярно-равномерным способом умеренной и умеренно-высокой интенсивности способствовали повышению категории качества деревьев. Воздействие рубок высокой и очень высокой интенсивности на древостои было негативным. На основании проведенного исследования рекомендовано осуществлять прореживание в более раннем возрасте древостоя; отказаться от регулярно-равномерного способа рубки в пользу селективных рубок по низовому методу (при наличии такой возможности); в изучаемых древостоях и подобных им осуществлять рубки прореживания по наибольшему отпускному диаметру 10 см. Продолжить исследование можно в следующих направлениях: установление оптимального отпускного диаметра в более молодых культурах и в условиях других типов леса; определение интервалов оптимальной густоты сосновых древостоев различного возраста и различных типов леса. Полученные результаты могут быть полезны при проектировании хозяйственных мероприятий в районе исследования.

**Ключевые слова:** лесные культуры, древостои, прореживание, сосна обыкновенная, классификация деревьев, сухой бор пологих всхолмлений, Алтайский край

**Благодарности:** Работа выполнена в рамках гранта Президента РФ для государственной поддержки молодых российских ученых – кандидатов наук № МК-293.2022.5.

**Для цитирования:** Осипенко А.Е., Залесов С.В. Формирование морфологии деревьев культивируемых сосновых древостоев // Изв. вузов. Лесн. журн. 2024. № 2. С. 105–117. <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2024-2-105-117>

Original article

## Formation of Tree Morphology in Cultivated Pine Stands

**Aleksey E. Osipenko**, Candidate of Agriculture; ResearcherID: [AAG-1421-2021](https://orcid.org/0000-0002-6148-1747),  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6148-1747>

**Sergey V. Zalesov**<sup>✉</sup>, Doctor of Agriculture, Prof.; ResearcherID: [H-2605-2019](https://orcid.org/0000-0003-3779-410X),  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3779-410X>

Ural State Forest Engineering University, Sibirskiy trakt, 37, Yekaterinburg, 620100, Russian Federation; osipenkoae@m.usfeu.ru, zalesovsv@m.usfeu.ru<sup>✉</sup>

Received on August 2, 2022 / Approved after reviewing on November 3, 2022 / Accepted on November 5, 2022

**Abstract.** The aim of this study is to assess the qualitative characteristics of the crowns, stems and growth of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) trees in cultivated stands of a dry forest on gently sloping hills thinned in a regular-uniform manner, as well as to develop proposals for production based on the data obtained. The stands under study grow in the southwestern part of the ribbon forests of the Altai Territory in the territory of the Klyuchevskoye forestry. The thinning was carried out in 2016 as part of the planned forest maintenance activities. The field stage of the research was completed in 2022. The sample plots laid had a rectangular shape and a square of at least 0.25 ha. The assessment of the qualitative characteristics of the trees has been carried out in accordance with the classification proposed by G.A. Chibisov et al. The significance of differences (or their absence) in the tree distribution by quality categories in the plots has been established using the  $\chi^2$  test for comparing two distributions. The article presents the taxation characteristics of the main forest element of the stands under study, the quality indices for the assessed tree indicators, and the graphs of tree distribution by diameter and quality classes. It has been found that most of the trees have poor crowns (27–45 %) and growth (14–41 %). Such indicators are a consequence of an excessively high density of the stands and the lack of timely thinning. Regular-uniform thinning of moderate and moderately high intensity has contributed to an increase in the quality class of the trees. The impact of high and very high intensity thinning on the stands has been negative. Based on the conducted research, it is recommended to carry out thinning at an earlier age of the stand, abandon the regular-uniform thinning in favor of selective thinning using the grassroots method (if possible) and carry out thinning along the largest exploitable diameter of 10 cm in the studied forest stands and similar ones. The study can be continued by establishing the optimal exploitable diameter in younger plantations and in other types of forests, as well as determining the intervals of optimal density of pine stands of different ages and different types of forest. The results obtained can be useful in designing economic activities in the study area.

**Keywords:** forest plantations, stand, thinning, Scots pine (*Pinus sylvestris* L.), classification of trees, dry forest on gently sloping hills, the Altai Territory



**Acknowledgements:** This study was carried out as part of the grant from the President of the Russian Federation for state support of young Russian scientists – candidates of science no. MK-293.2022.5.

**For citation:** Osipenko A.E., Zalesov S.V. Formation of Tree Morphology in Cultivated Pine Stands. *Lesnoy Zhurnal* = Russian Forestry Journal, 2024, no. 2, pp. 105–117. (In Russ.). <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2024-2105-117>

### *Введение*

В ленточных борах Алтайского края последние 2 десятилетия при прореживании лесных культур, в т. ч. и ленточных (полосных), активно применяется регулярно-равномерный способ рубки. Хотя в «Технических указаниях по проведению рубок ухода в культурах светлохвойных пород в ленточных борах» данный способ рекомендуется к применению только в сплошных культурах [6]. В искусственных сосняках полосного типа под технологические коридоры лучше использовать межполосные пространства или ряды с кустарниками. Во втором случае при необходимости кустарник следует измельчать фрезами ФЛУ-0,8 или МЛФ-0,9. Однако на практике соблюдение данных рекомендаций не всегда возможно. Причины могут быть следующие: большое количество рядов в полосных культурах (12 и более) не позволяет производить валку из центральных рядов без зависания деревьев (даже в 5-рядных культурах валка из центрального ряда затруднена из-за высокой густоты культур в пределах ленты); межленточные пространства или ряды, в которые высаживались кустарники, зачастую зарастают крупным жизнеспособным подростом, уничтожать который с лесоводственной точки зрения нецелесообразно; финансирование рубок ухода и материальная база (отсутствие фрез и мощной техники) при выполнении работ по уходу за лесами являются недостаточными. Таким образом, из-за указанных сложностей в районе исследования накоплен значительный опыт применения регулярно-равномерных рубок ухода в ленточных культурах сосны, который до настоящего времени мало изучен. В работе предпринята попытка оценить результаты данной практики.

Для правильной лесоводственной оценки рубки прореживания, основная цель которой – уход за формой ствола и кроны лучших деревьев, необходимо различать деревья в соответствии с их качественными характеристиками. В соответствии с приказом Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 30 июля 2020 г. № 534 «Об утверждении Правил ухода за лесами», в России при осуществлении ухода за лесными насаждениями применяется классификация деревьев, согласно которой все они по их лесоводственно-биологическим признакам распределяются на 3 категории: лучшие, вспомогательные и нежелательные. Однако критерии отнесения деревьев к указанным категориям качества, по нашему мнению, расплывчатые и требуют конкретизации. Уточнение данной классификации может существенно повысить лесоводственную эффективность рубок ухода. В этом направлении работали и другие ученые [4, 8].

Для наших исследований использована классификация, предложенная Г.А. Чибисовым с соавторами [13]. Несмотря на то, что данная классификация разрабатывалась для отбора деревьев будущего при рубках ухода за лесом на

Европейском Севере, она вполне успешно зарекомендовала себя при классификации деревьев в лесных культурах свежего бора [10].

Цель исследования – оценка качественных характеристик деревьев сосны обыкновенной в ленточных культурах, произрастающих в условиях сухого бора пологих всхолмлений, пройденных регулярно-равномерными прореживаниями, а также разработка на основании полученных данных предложений производству.

#### *Объекты и методы исследования*

Полевой этап исследования осуществлялся в мае 2022 г. на территории Бастанского участкового лесничества Ключевского лесничества Алтайского края (Михайловский административный район).

Объектом исследования являлись средневозрастные искусственные сосновые древостои, произрастающие в условиях сухого бора пологих всхолмлений (тип лесорастительных условий – А<sub>1</sub>). На момент проведения работ древостои характеризовались IV классом бонитета. Исследуемые ленточные лесные культуры были созданы ручной посадкой 2-летних семян сосны в дно плужных борозд. Ленты состоят из 6–12 сближенных рядов и разделены межленточными пространствами шириной 6–17,5 м. Густота посадки – 3,7–5,6 тыс. шт./га. В 2016 г. в 5 исследуемых сосняках – на пробных площадях (ПП) К1, К2, К5, К6, К10 (табл. 1) – были выполнены рубки прореживания различной интенсивности. Они осуществлялись арендующей лесной участок организацией в качестве планового мероприятия. Способ проведения работ – регулярно-равномерный (линейно-селективный): полностью вырубался каждый 3–5-й ряд и выборочно удалялись отдельные деревья в оставшихся рядах. Рубки ухода выполнялись по стандартной для района исследования беспасечной технологии: клеймение деревьев; валка деревьев бензопилами; очистка стволов от сучьев и раскряжевка на месте валки; трелевка сортиментов колесным трактором МТЗ-82 с навесным оборудованием «Муравей». Движение трактора осуществлялось по вырубленным рядам и межленточным пространствам лесных культур.

ПП К3 и К4 были выбраны в качестве контрольных, на них рубки не проводились. ПП К3 представляет собой древостой, развивавшийся при сравнительно невысокой густоте, а ПП К4 – напротив, наиболее густой из изучаемых древостоев.

Основным методом исследования являлся метод ПП [2]. Они имели прямоугольную форму, размер – не менее 0,25 га. Их границы в длину проходили по центру межленточных пространств. Производился сплошной пересчет деревьев с замером их диаметров на высоте 1,3 м.

Качественные признаки деревьев оценены в соответствии с классификацией Г.А. Чибисова с соавторами [4, 13]. Согласно данной классификации, деревья, оставляемые для дорастивания, отбираются с учетом показателей качества кроны, ствола и характера роста. В основе характеристики деревьев лежат следующие показатели: отношение диаметра дерева на высоте 1,3 м к высоте ствола, отношение длины кроны к высоте ствола, отношение диаметра кроны к ее длине. Качество кроны оценивалось по 3-балльной шкале с присвоением индексов 100, 200, 300; качество ствола – также по 3-балльной шкале с присвоением индексов 10, 20, 30; характеристика роста (положение в пологе) – по 4-бал-

льной шкале с присвоением индексов 1, 2, 3, 4 [4]. После проведения оценки по каждому признаку, результаты складывались в 3-значный комплексный индекс. Затем производилась сортировка деревьев на 3 категории качества: «хорошие» – деревья с комплексными индексами 111, 112, 121, 211; «средние» – деревья с индексами 122, 212, 221, 222; «плохие» – деревья с другими комбинациями индексов.

Таблица 1

**Таксационная характеристика элементов леса  
искусственных сосновых древостоев  
Taxation characteristics of forest elements of the cultivated pine stands**

ПП	Интенсивность рубки по запасу/густоте, %	Элемент леса	Средние			Текущая густота, шт./га	Сумма площадей сечений, м <sup>2</sup> /га	Относительная полнота	Запас, м <sup>3</sup> /га
			возраст, лет	высота, м	диаметр, см				
К3	–	10С	66	14,3	15,8	1165	23,2	0,76	172
К4	–	9С	66	12,4	12,2	2411	28,1	0,97	183
		1С	60	12,4	12,8	192	2,5	0,09	17
К5	27,3 39,3	10С	66	13,7	15,9	1034	20,5	0,67	142
		+С	50	10,6	10,0	19	0,1	0,01	1
К6	38,0 47,9	10С	66	13,6	13,2	1392	19,2	0,63	133
К1	46,2 52,3	9С	66	11,3	12,0	1004	11,3	0,40	69
		1С	60	12,4	14,6	52	0,9	0,03	6
К2	48,1 49,8	10С	66	13,3	15,4	806	14,9	0,50	106
К10	56,4 52,4	9С	68	12,9	12,9	838	10,9	0,36	78
		1С	80	19,2	24,2	24	1,1	0,04	11

На каждой ПП высотомером Suunto РМ-5/1520 РС замерялись высоты 20–25 деревьев, относящихся к разным ступеням толщины (пропорционально их представленности). В камеральных условиях по графику высот определялась средняя высота каждого элемента леса.

Для установления достоверности различий распределения деревьев по классам качества в исследуемых древостоях применялся критерий  $\chi^2$  для сопоставления 2 распределений [14].

Более подробно объект и методы исследований описаны в нашей работе [9].

*Результаты исследования и их обсуждение*

В исследуемых искусственных древостоях зафиксирована довольно низкая доля деревьев с хорошо развитой симметричной кроной – от 3 до 19 %, что объясняется высокой густотой стояния деревьев и их неравномерным размещением по площади. Первое обусловлено ленточным способом посадки культур, второе – запоздалым проведением рубки прореживания (в 58–60-летнем возрасте). При этом доля прямоствольных деревьев довольно высока – от 67 до 80 %, что, вероятно, также является следствием названных причин. Доля господствующих и согосподствующих деревьев (деревья I и II классов Крафта, или с индексом «100»

по используемой классификации) в исследуемых древостоях – 31–55 %. Наиболее частыми причинами отнесения деревьев к категории «плохие» являлось неудовлетворительное состояние кроны и расположение в подчиненной части полога. Доля деревьев с плохими кронами в исследуемых древостоях варьирует от 27 до 45 %, с плохим ростом – от 14 до 41 %. Распределение оцениваемых показателей деревьев по индексам качества и средневзвешенное значение по каждому показателю приведены в табл. 2.

Распределение деревьев по категориям качества и ступеням толщины показано на рисунке. Размах вариации деревьев по диаметру в исследуемых древостоях составляет от 22 до 32 см. Наиболее толстые деревья зафиксированы на ПП К2 и К3. Насаждения данных ПП имели на момент рубки (2016 г.) наименьшую густоту – 1,6 и 1,2 тыс. шт./га соответственно [9].

Наибольшее количество хороших деревьев зафиксировано на ПП К4 (818 шт./га), К5 (477 шт./га) и К6 (619 шт./га), наименьшее – на ПП К1 (313 шт./га) и К10 (223 шт./га). На ПП К2, К3, К5, К6 по доле участия преобладают деревья из категории «хорошие» (39,6; 40,4; 46,2; 44,5 % соответственно), что объясняется правильным отбором деревьев в рубку на ПП К2, К5 и К6 и относительно невысокой густотой древостоя ПП К3. На ПП К1, К4, К10 преобладают деревья из категории «плохие». Для ПП К4 (48,9 % плохих деревьев) это связано с чрезмерно высокой густотой древостоя, обусловленной отсутствием рубок ухода; для ПП К1 и К10 (50,2 и 46,2 % плохих деревьев соответственно) – с нарушением лесоводственного принципа отбора деревьев для рубок и их чрезмерно высокой интенсивностью.

На основании приведенных данных можно заключить, что на ПП К5 и К6, где проводилось прореживание умеренной и умеренно-высокой интенсивности, рубки оказали положительный эффект на древостой. На ПП К1 и К10, где рубки характеризовались высокой и очень высокой интенсивностью, воздействие проводимых мероприятий на древостой было негативным. На ПП К2, несмотря на то, что рубка имела высокую интенсивность, прореживание оказало неоднозначный эффект: относительная полнота снизилась слишком сильно, но при этом отбор деревьев в рубку производился корректно.

Если сравнивать контрольные участки, то более выигрышно смотрится древостой на ПП К3, характеризующийся более низкой густотой по сравнению с древостоем ПП К4. При более чем в 2 раза меньшей густоте первый имеет меньший (на 6,0 %) запас и превосходящую долю (на 6,5 %) хороших деревьев, при этом средний объем одного дерева в 2 раза выше, чем на ПП К4. Кроме того, количество деревьев на ПП К3 больше их количества, требуемого для формирования к возрасту спелости древостоя с оптимальной густотой [1, 5]. Данный факт свидетельствует о необходимости раньше проводить рубки ухода и согласуется с научными данными [15, 16, 22, 23].

По сведениям ряда авторов [7, 11], спелые древостои формируются из 800 лучших деревьев, произрастающих на 1 га. В исследуемых древостоях количество лучших деревьев после регулярно-равномерной рубки значительно снижено, а оставленные на доращивание деревья далеко не все являются лучшими. Последнее наталкивает на мысль о нецелесообразности прореживания регулярно-равномерным способом, особенно – высокой и очень высокой интенсивности.

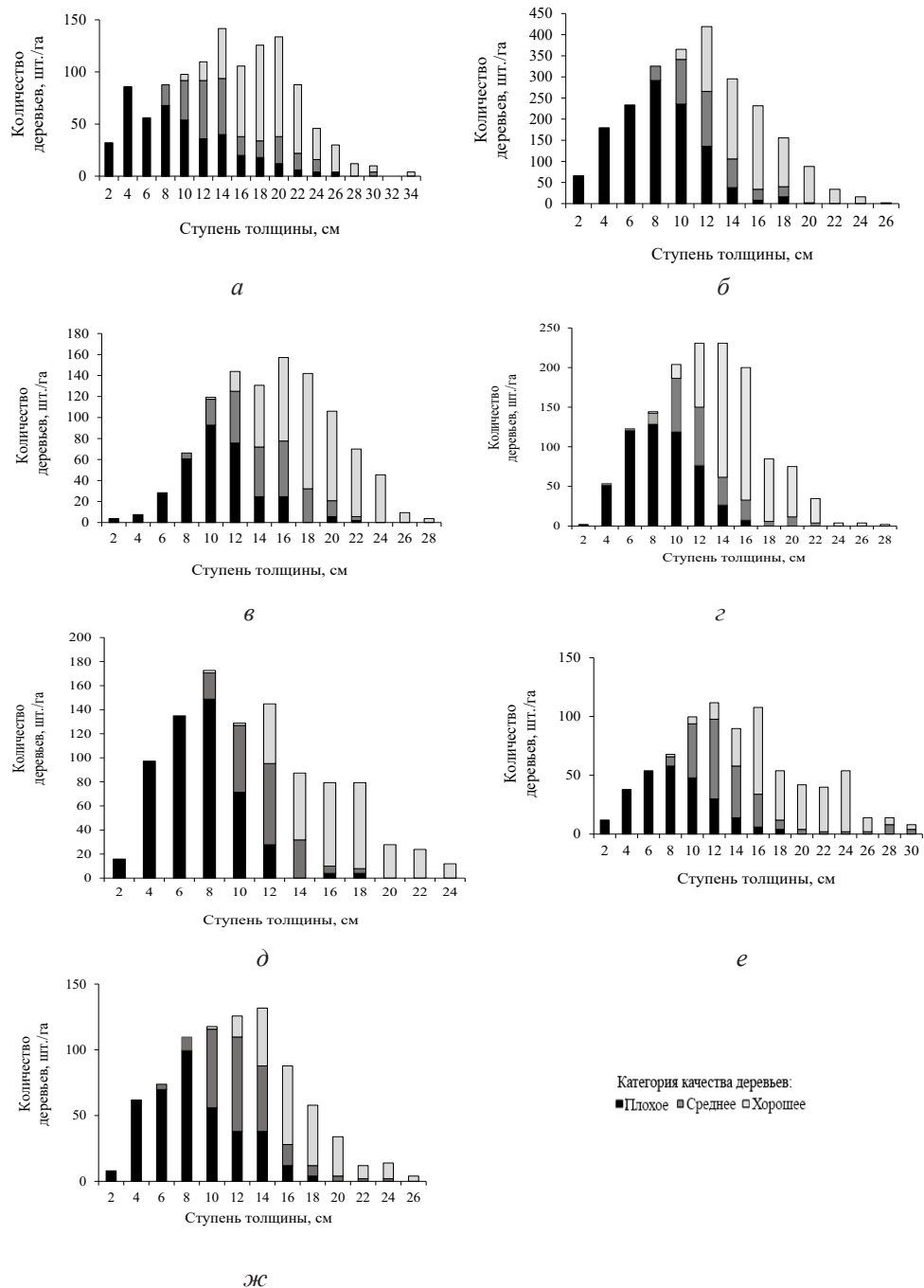


Таблица 2

**Распределение оцениваемых показателей деревьев  
искусственных сосновых древостоев по индексам качества**  
**Distribution of the assessed indicators of trees in the cultivated pine stands  
by quality indices**

ПП	Показатель	Индексы качества				Всего
		100, 10, 1	200, 20, 2	300, 30, 3, 4	Средневзвешенное значение	
К3	Крона	$\frac{152}{13}$	$\frac{690}{59}$	$\frac{323}{28}$	2,1	$\frac{1165}{100}$
	Ствол	$\frac{798}{68}$	$\frac{287}{25}$	$\frac{80}{7}$	1,4	
	Рост	$\frac{610}{52}$	$\frac{251}{22}$	$\frac{303}{26}$	1,7	
К4	Крона	$\frac{176}{7}$	$\frac{1142}{48}$	$\frac{1094}{45}$	2,4	$\frac{2411}{100}$
	Ствол	$\frac{1784}{74}$	$\frac{579}{24}$	$\frac{48}{2}$	1,3	
	Рост	$\frac{998}{41}$	$\frac{579}{24}$	$\frac{834}{35}$	1,9	
К5	Крона	$\frac{159}{15}$	$\frac{564}{55}$	$\frac{310}{30}$	2,1	$\frac{1034}{100}$
	Ствол	$\frac{689}{67}$	$\frac{307}{30}$	$\frac{38}{3}$	1,4	
	Рост	$\frac{564}{55}$	$\frac{326}{31}$	$\frac{144}{14}$	1,6	
К6	Крона	$\frac{142}{10}$	$\frac{738}{53}$	$\frac{512}{37}$	2,3	$\frac{1392}{100}$
	Ствол	$\frac{1115}{80}$	$\frac{265}{19}$	$\frac{12}{1}$	1,2	
	Рост	$\frac{719}{52}$	$\frac{431}{31}$	$\frac{242}{17}$	1,7	
К1	Крона	$\frac{190}{19}$	$\frac{437}{43}$	$\frac{377}{38}$	2,2	$\frac{1004}{100}$
	Ствол	$\frac{726}{72}$	$\frac{242}{24}$	$\frac{36}{4}$	1,3	
	Рост	$\frac{329}{33}$	$\frac{258}{26}$	$\frac{417}{41}$	2,1	
К2	Крона	$\frac{152}{19}$	$\frac{435}{54}$	$\frac{219}{27}$	2,1	$\frac{806}{100}$
	Ствол	$\frac{582}{72}$	$\frac{207}{26}$	$\frac{16}{2}$	1,3	
	Рост	$\frac{351}{44}$	$\frac{267}{33}$	$\frac{187}{23}$	1,8	
К10	Крона	$\frac{28}{3}$	$\frac{531}{64}$	$\frac{279}{33}$	2,3	$\frac{838}{100}$
	Ствол	$\frac{654}{78}$	$\frac{148}{18}$	$\frac{36}{4}$	1,3	
	Рост	$\frac{259}{31}$	$\frac{303}{36}$	$\frac{275}{33}$	2,0	

Примечание: В числителе – количество деревьев, принадлежащих к определенному индексу; в последнем столбце – густота древостоя (шт./га); в знаменателе – доля деревьев от всего их количества (%).



Распределение деревьев по ступеням толщины и категориям качества в искусственных сосняках ПП: *a* – К3; *б* – К4; *в* – К5; *г* – К6; *д* – К1; *е* – К2; *ж* – К10

Distribution of the trees by diameter and quality classes in the cultivated pine stands on the SPs: *a* – K3; *б* – K4; *в* – K5; *г* – K6; *д* – K1; *е* – K2; *ж* – K10

Данные рисунка свидетельствуют, что наибольшая доля плохих деревьев – в среднем  $74 \pm 6$  % (от 48 до 90 %) – имеет ступени толщины 2–10 см. В связи с этим считаем возможным рекомендовать проведение в искусственных



сосновых древостоях 50–60-летнего возраста, произрастающих в условиях сухого бора пологих всхолмлений, прореживание по наибольшему отпускному диаметру 10 см (вырубаются деревья данного диаметра и тоньше). Для подтверждения данного предложения в табл. 3 приведена таксационная характеристика частей исследуемых древостоев, состоящих из деревьев с диаметрами до 10 см и более.

Данные табл. 3 показывают, что в случае рубки по наибольшему отпускному диаметру удаляться будут деревья со средним диаметром  $7,6 \pm 0,4$  см и высотой  $8,8 \pm 1,0$  м. При этом относительная полнота снизится не более чем на 0,1–0,2. Интенсивность рубок по запасу не превысит нормативных значений (15–30 %), при этом рубки ухода в районе исследования перейдут на качественно иной уровень: интенсивность можно будет контролировать не снижением полноты древостоя, а прежде всего количеством и запасом вырубаемых деревьев [12]. Кроме того, низовой метод отбора деревьев в рубку как более подходящий для чистых сосновых древостоев [3], вероятно, увеличит лесоводственную эффективность рубок ухода в районе исследования. В противовес данному утверждению существуют рекомендации и научные исследования, предписывающие проведение рубок ухода по комбинированному методу [6, 17, 21], а также исследования, ставящие под сомнение целесообразность рубок ухода в сосняках в связи с тем, что сосновые древостои без рубок ухода способны давать такой же объем товарной древесины, как и сосняки, пройденные рубками ухода, причем независимо от метода отбора деревьев в рубку и сроков начала прореживаний [20]. Однако вопрос о том, компенсируются ли затраты на прореживание доходом от более ранних прореживаний и большей долей крупномерной древесины, многие авторы оставляют предметом дальнейшего изучения [18, 19].

Следует отметить, что при предлагаемом способе рубки будет отсутствовать возможность передвижения трактора по вырубленным рядам культур, однако наличие межленточных пространств в исследуемых лесных культурах в значительной степени нивелирует данное неудобство.

Применение критерия  $\chi^2$  позволило выявить достоверные различия или их отсутствие в распределении деревьев по категориям качества на опытных участках по сравнению с ПП К3 и К4 (табл. 4). При уровне статистической значимости  $p \leq 0,05$  и числе степеней свободы, равном 2, критическое значение  $\chi^2$  составляет 5,99. Следовательно, эмпирические значения  $\chi^2$ , превышающие это значение, свидетельствуют о достоверности различий в распределении деревьев по классам качества между 2 сравниваемыми выборками.

Данные табл. 4 для всех деревьев, оставленных на доращивание, показывают отсутствие достоверных отличий соотношения хороших, средних и плохих деревьев на ПП К3 от соотношений для ПП К2, К5 и К6, что, вероятно, является подтверждением правильного отбора деревьев в рубку. Достоверные различия выявлены для ПП: К3 и К1, К4 и К10. Это объясняется тем, что на ПП К4 древостой очень загущен, а на ПП К1 и К10 был нарушен лесоводственный принцип отбора деревьев в рубку [9].

Таблица 3

Таксационная характеристика частей искусственных сосняков, состоящих из деревьев диаметром до 10 см (включительно) и более 10 см  
Taxation characteristics of parts of the cultivated pine stands consisting of the trees with a diameter of up to 10 cm (inclusive) and more than 10 cm

ПП	Количество деревьев, шт./га		Средние		Сумма площадей сечений, м <sup>2</sup> /га	Относительная полнота	Запас, м <sup>3</sup> /га	Доля, %, от текущих	
	всего	в т. ч. плохие	диаметр, см	высота, м				запаса	густоты
<i>Диаметр – 10 см и менее</i>									
К3	343	287	7,1	7,4	1,3	0,04	6	3,6	29,4
К4	1090	974	7,4	7,9	4,7	0,16	23	12,5	45,2
К5	174	155	8,3	9,4	1,0	0,03	5	3,5	16,8
К6	465	392	7,8	10,8	2,2	0,07	13	9,8	32,8
К1	524	456	7,3	9,0	2,2	0,08	11	15,9	52,2
К2	239	196	7,5	8,9	1,1	0,04	5	4,7	30,0
К10	343	287	7,5	8,5	1,5	0,05	7	9,6	40,9
<i>Диаметр – более 10 см</i>									
К3	822	148	18,4	15,6	21,9	0,72	166	96,4	70,6
К4	1321	228	15,0	14,0	23,4	0,81	160	87,5	54,8
К5	860	170	17,0	14,2	19,5	0,64	137	96,5	83,2
К6	927	142	15,3	14,3	17,0	0,56	120	90,2	67,2
К1	480	48	15,5	12,7	9,1	0,32	58	84,1	47,8
К2	567	68	17,6	14,5	13,8	0,46	101	95,3	70,0
К10	495	100	15,5	14,8	9,4	0,31	71	90,4	59,1

Таблица 4

Эмпирические значения критерия  $\chi^2$  при сравнении опытных ПП с контрольными  
Empirical values of the  $\chi^2$  test when comparing the experimental SPs with the control ones

Контрольная ПП	ПП						
	К3	К4	К5	К6	К1	К2	К10
<i>Все деревья, оставленные на доращивание</i>							
К3	–	6,86	1,73	1,62	7,13	1,94	7,85
К4	6,62	–	13,45	5,94	0,56	15,00	9,17
<i>Деревья с диаметром более 10 см</i>							
К3	–	0,82	0,21	3,58	4,57	4,63	6,34
К4	0,87	–	1,24	1,06	3,94	8,31	12,48

Древостой на ПП К4 имеет достоверные различия в распределении деревьев по качеству с древостоями на ПП К2, К3, К5, К10, что подтверждает достоверно большее количество плохих деревьев в загущенном древостое. Хотя в случае ПП К10 это не совсем так: для данного участка достоверные различия накоплены за счет уменьшения доли лучших деревьев, а не худших. Эмпирическое значение  $\chi^2$  ПП К6 вплотную приблизилось к критическому, но не превысило его. Однако следует отметить, что на ПП К6 соотношение плохих и

хороших деревьев довольно сильно смещено в пользу хороших. Единственный участок, на котором соотношение хороших, средних и плохих деревьев практически идентично распределению на ПП К4, – это ПП К1, что также может объясняться нарушением лесоводственного принципа отбора деревьев в рубку.

Альтернативный вариант интерпретации данных об отсутствии различий в распределениях деревьев на ПП К4 с ПП К6 и К1 может заключаться в следующем: густота на этих участках до рубки была наибольшей среди исследуемых древостоев (2,4, 2,7 и 2,2 тыс. шт./га соответственно); вероятно, из-за высокой густоты древостоев в полностью вырубленных рядах была удалена значительно бóльшая доля деревьев, чем в других, редких по сравнению с указанным, древостоях. По этой причине селективный отбор деревьев в оставшихся рядах существенно не повлиял на соотношение деревьев различного качества.

Интересная закономерность наблюдается в соотношении деревьев различного качества с диаметрами более 10 см: с увеличением интенсивности рубки различия между контрольными и опытными участками (как и эмпирические значения  $\chi^2$ ) возрастают. Коэффициенты корреляции между показателями составляют 0,98 для К3 и 0,88 для К4. Также примечательно, что при достоверных различиях в распределении по качеству всех оставленных на доразращивание деревьев на контрольных участках отличий в распределении деревьев с диаметром более 10 см не наблюдается.

#### *Выводы*

1. Рубки прореживания регулярно-равномерным способом умеренной и умеренно-высокой интенсивности могут оказывать положительное влияние на распределение деревьев по категориям качества в искусственных сосновых древостоях. Однако при проведении рубок высокой и очень высокой интенсивности данный способ рубки негативно влияет на такие древостои.

2. Режим выращивания большей части исследуемых древостоев нельзя назвать оптимальным. Рубки прореживания необходимо проводить в более раннем возрасте – в начале или середине 2-го класса возраста.

3. В случаях, когда ленты культур состоят менее чем из 7 рядов и если межленточные пространства в таких культурах не заняты крупным подростом (или деревьями естественного происхождения), рекомендуется отказываться от регулярно-равномерного способа рубки в пользу селективных рубок по низовому методу.

4. В 50- и 60-летних культурах сосны, произрастающих в условиях сухого бора пологих всхолмлений, рекомендуется осуществлять селективные рубки прореживания по наибольшему отпускному диаметру 10 см. Применение данного принципа позволит удалить из древостоев бóльшую часть отставших в росте угнетенных деревьев, минимизировать естественный отпад и снизить трудозатраты при отборе деревьев в рубку.

5. Для установления оптимального отпускного диаметра в более молодых культурах и в условиях других типов леса необходимо провести подобные изыскания. Также для района исследования необходимо установить интервалы оптимальной густоты сосновых древостоев различного возраста, дифференцированные по типам леса.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Борисов А.Н., Иванов В.В., Петренко А.Е. Формирование пространственной структуры сосновых древостоев при рубках ухода // Лесоведение. 2019. № 1. С. 7–18.

Borisov A.N., Ivanov V.V., Petrenko A.E. Formation of Spatial Structure of Pine Stands Formed by Improvement Cuttings. *Lesovedenie* = Russian Journal of Forest Science, 2019, no. 1, pp. 7–18. (In Russ.). <https://doi.org/10.1134/S0024114819010042>

2. Бунькова Н.П., Залесов С.В., Залесова Е.С., Магасумова А.Г., Осипенко Р.А. Основы фитомониторинга. 3-е изд., доп. и перераб. Екатеринбург: УГЛТУ, 2020. 90 с.

Bun'kova N.P., Zalesov S.V., Zalesova E.S., Magasumova A.G., Osipenko R.A. *Fundamentals of Phytomonitoring*. 3rd ed., revised and enlarged. Yekaterinburg, USFEU Publ., 2020. 90 p. (In Russ.).

3. Залесов С.В. Лесоводство. Екатеринбург: УГЛТУ, 2020. 295 с.

Zalesov S.V. *Forestry*. Yekaterinburg, USFEU Publ., 2020. 295 p. (In Russ.).

4. Захаров А.Ю., Чибисов Г.А. Классификация деревьев при рубках ухода // Лесн. вестн. / Forestry bulletin. 2013. № 3(95). С. 76–80.

Zakharov A.Yu., Chibisov G.A. Classification of Trees During Thinning. *Lesnoy vestnik* = Forestry bulletin, 2013, no. 3(95), pp. 76–80. (In Russ.).

5. Иванов В.В., Борисов А.Н., Петренко А.Е., Семенякин Д.А., Собачкин Д.С., Собачкин Р.С. Густота сосновых древостоев при интенсивном лесовыращивании // Сиб. лесн. журн. 2017. № 6. С. 102–109.

Ivanov V.V., Borisov A.N., Petrenko A.E., Semenyakin D.A., Sobachkin D.S., Sobachkin R.S. The Density of Pine Stands under Intensive Forest Growing. *Sibirskiy lesnoy zhurnal* = Siberian Journal of Forest Science, 2017, no. 6, pp. 102–109. (In Russ.).

6. Маленко А.А., Парамонов Е.Г., Ключников М.В., Ртищев С.Я. Технические указания по проведению рубок ухода в культурах светлохвойных пород в ленточных борах. Барнаул: АГАУ, 2009. 22 с.

Malenko A.A., Paramonov E.G., Klyuchnikov M.V., Rtishchev S.Ya. *Technical Guidance for Carrying out Improvement Felling in Light Coniferous Crops in Ribbon Forests*. Barnaul, ASAU Publ., 2009. 22 p. (In Russ.).

7. Минин Н.С. Динамика роста лучших деревьев в сосняках искусственного происхождения под влиянием рубок ухода // Изв. вузов. Лесн. журн. 2003. № 4. С. 26–30.

Minin N.S. Growth Dynamics of Best Trees in Pine Stands of Artificial Origin under Thinning Influence. *Lesnoy Zhurnal* = Russian Forestry Journal, 2003, no. 4, pp. 26–30. (In Russ.).

8. Николаева И.О., Соловьев В.М. Классификация особей в хвойных насаждениях естественного происхождения для оценки их изменчивости // Успехи соврем. естествознания. 2019. № 12. С. 14–19.

Nikolaeva I.O., Solov'ev V.M. Classifying Specimen within Coniferous Plantations of Natural Origin in Order to Assess their Variability. *Uspekhi sovremenogo estestvoznaniya* = Advances in Current Natural Sciences, 2019, no. 12, pp. 14–19. (In Russ.).

9. Осипенко А.Е., Башегуров К.А., Клинов А.С., Осипенко Р.А. Влияние прореживания линейно-селективным способом на ленточные культуры сосны обыкновенной // Леса России и хоз-во в них. 2022. № 3(82). С. 4–16.

Osipenko A.E., Bashegurov K.A., Klinov A.S., Osipenko R.A. The Impact of Line-Selective Thinning on Ribbon Plantations of Scots Pine. *Lesa Rossii i khozyajstvo v nikh* = Forests of Russia and Economy in Them, 2022, no. 3(82), pp. 4–16. (In Russ.). <https://doi.org/10.51318/FRET.2022.56.44.001>

10. Осипенко А.Е., Клинов А.С. Качественные характеристики деревьев сосны в искусственных древостоях после рубок ухода // Леса России и хоз-во в них. 2022. № 3(82). С. 56–64.

Osipenko A.E., Klinov A.S. Qualitative Characteristics of Pine Trees in Artificial Stands after Improvement Thinning. *Lesa Rossii i khozyajstvo v nikh* = Forests of Russia and Economy in Them, 2022, no. 3(82), pp. 56–64. (In Russ.). <https://doi.org/10.51318/FRET.2022.99.30.007>

11. Рубцов В.И., Новосельцева А.И., Попов В.К., Рубцов В.В. Биологическая продуктивность в лесостепной зоне. М.: Наука, 1976. 224 с.

Rubtsov V.I., Novoseltseva A.I., Popov V.K., Rubtsov V.V. *Biological Productivity of Scots Pine in Forest Steppe Zone*. Moscow, Nauka Publ., 1976. 224 p. (In Russ.).

12. Соловьев В.М., Соловьев М.В., Санникова О.Н. Естественнаучные основы рубок ухода по типам строения и формирования древостоев // Вестн. МГУЛ – Лесн. вестн. 2007. № 8. С. 62–67.

Solovyov V.M., Solovyov M.V., Sannikova O.N. Natural Causes of Thinning Operations by the Characters of Stands Morphology and Formation. *Lesnoy vestnik = Forestry Bulletin*, 2007, no. 8, pp. 62–67. (In Russ.).

13. Чибисов Г.А., Вялых Н.И., Минин Н.С. Рубки ухода за лесом на Европейском Севере: практ. пособие. Архангельск, 2004. 128 с.

Chibisov G.A., Vyalykh N.I., Minin N.S. *Logging of Forest Care in the European North: a Practical Guide*. Arkhangelsk, 2004. 128 p. (In Russ.).

14. Янцев А.В. Выбор статистических критериев. Симферополь: ТНУ, 2012. 138 с.  
Yantsev A.V. *The Choice of Statistical Criteria*. Simferopol, TNU Publ., 2012. 138 p. (In Russ.).

15. Ebel A.V., Ebel Y.I., Zalesov S.V., Ayan S. The Effects of Different Intensity of Thinning on the Development in Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) Stands in Kazakh Uplands. *Alinteri Journal of Agriculture Science*, 2019, vol. 34, no. 2, pp. 182–187. <https://doi.org/10.28955/alinterizbd.639014>

16. Ganbaatar B., Jamsran T., Gradel A., Sukhbaatar G. Assessment of the Effects of Thinnings in Scots Pine Plantations in Mongolia: a Comparative Analysis of Tree Growth and Crown Development Based on Dominant Trees. *Forest Science and Technology*, 2021, vol. 17, iss. 3, pp. 135–143. <https://doi.org/10.1080/21580103.2021.1963326>

17. Hyttiäinen K., Tahvonen O., Valsta L. Optimum Juvenile Density, Harvesting, and Stand Structure in Even-Aged Scots Pine Stands. *Forest Science*, 2005, vol. 51, iss. 2, pp. 120–133. <https://doi.org/10.1093/forestscience/51.2.120>

18. Hyttiäinen K., Tahvonen O. Economics of Forest Thinnings and Rotation Period for Finnish Conifer Cultures. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 2002, vol. 17, iss. 3, pp. 274–288. <https://doi.org/10.1080/028275802753742945>

19. Mäkinen H., Isomäki A. Thinning Intensity and Growth of Scots Pine Stands in Finland. *Forest Ecology and Management*, 2004, vol. 201, iss. 2–3, pp. 311–325. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2004.07.016>

20. Nilsson U., Agestam E., Ekö P.-M., Elfving B., Fahlvik N., Johansson U., Karlsson K., Lundmark T., Wallentin C. Thinning of Scots Pine and Norway Spruce Monocultures in Sweden – Effects of Different Thinning Programmes on Stand Level Gross- and Net Stem Volume Production. *Studia Forestalia Suecia*, 2010, no. 219. 46 p.

21. Tahvonen O., Pihlainen S., Niinimäki S. On the Economics of Optimal Timber Production in Boreal Scots Pine Stands. *Canadian Journal of Forest Research*, 2013, vol. 43, no. 8, pp. 719–730. <https://doi.org/10.1139/cjfr-2012-0494>

22. Varmola M., Salminen H. Timing and Intensity of Precommercial Thinning in *Pinus sylvestris* Stands. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 2004, vol. 19, iss. 2, pp. 142–151. <https://doi.org/10.1080/02827580310019545>

23. Zalesov S., Dancheva A.V., Ayan S., Suyundikov Z.O., Rachimzhanov A.N., Razhanov M.R., Opletaev A.S. Silvicultural Efficiency of the Thinning Efficiency of *Pinus sylvestris* L. Plantation in the Dry Subzone of Northern Kazakhstan Steppes. *Kastamonu University Journal of Forestry Faculty*, 2020, vol. 20, no. 3, pp. 220–228. <https://doi.org/10.17475/kastorman.849517>

**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