



Динамика формирования структуры и взаимосвязи основных показателей лесных культур сосны (*Pinus sylvestris* L.) на вырубке сосняка ягодникового Среднего Урала

Мария В. Ермакова, M58_07E@mail.ru✉,  0000-0002-9894-6587

*ФГБУН Ботанический сад Уральского отделения Российской Академии Наук, ул. 8 Марта, 202а,
Екатеринбург, 620144, Российская Федерация*

Объект исследования - производственные лесные культуры сосны в возрасте 6-12 лет, созданные на свежей вырубке в типе леса сосняк ягодниковый Среднего Урала. Цель исследования - оценить динамику изменения структуры и биометрических показателей и параметров кроны деревьев в производственных лесных культурах сосны обыкновенной. Исследования проводились в 2018-2024 гг. на постоянной пробной площади. При проведении полевых исследований установлено количество сохранившихся деревьев: в 6-летних культурах сохранилось 66,5%, в 9-летних 60,0 %, а в 12-летних -55,4 % от общего количества высаженных. У всех сохранившихся деревьев на постоянной пробной площади измерялись диаметр на середине высоты ствола, высота ствола, размеры кроны вдоль и поперек ряда, а также измерялась длина всех годичных побегов. Данные, полученные при полевых исследованиях, в лабораторных условиях, обрабатывались методами математической статистики. Установлено динамичное увеличение во времени средних таксационных параметров деревьев и их кроны, определенное снижение величины коэффициента вариации и амплитуды ранговых коэффициентов. Относительная стабилизация структуры по толщине ствола наблюдается только в 12-летних культурах сосны. Структура по высоте ствола значительно стабилизируется к 12-летнему возрасту лесных культур, а также окончательно определяются лидеры и наиболее отстающие по высоте деревья. Коэффициент детерминации между высотой деревьев их толщиной ствола заметно снижается с 0,653 до 0,428 увеличением возраста лесных культур сосны. Множественный коэффициент корреляции между высотой деревьев, их толщиной ствола стола и площадью проективного проекции кроны стабильно снижается с 0,897 до 0,522 с увеличением возраста лесных культур сосны.

Ключевые слова: *лесные культуры, сосна обыкновенная, структура древостоя*

Финансирование: Работа выполнена в рамках Государственного задания ФГБУН Ботанический сад УрО РАН (регистрационный номер 1022040300042-6-1.6.19;1.6.14;4.1.2)

Благодарности: автор благодарит рецензентов за вклад в экспертную оценку статьи.

Конфликт интересов: автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Ермакова, М. В. Динамика формирования структуры и взаимосвязи основных показателей лесных культур сосны (*Pinus sylvestris* L.) на вырубке сосняка ягодникового Среднего Урала / М. В. Ермакова // Лесотехнический журнал. – 2026. – Т. 16. – № 2 (62). – С. 33–49. – *Библиогр.: с. 46–48 (27 назв.)*. – DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2026.2/3>.

Поступила 16.02.2026. Пересмотрена 15.04.2026. Принята 15.05.2026. Опубликовано онлайн 26.06.2026

Dynamics of the formation of the structure and the relationship of the main indicators of pine (*Pinus sylvestris* L.) forest crops in the felling of a berry pine forest in the Middle Urals

Maria V. Ermakova, M58_07E@mail.ru,  0000-0002-9894-6587

Russian Academy of Sciences, Ural Branch: Institute Botanic Garden, 8-March street, Ekaterinburg, 620144, Russian Federation

Abstract

The object of the study is industrial forest plantations of pine aged 6-12 years, created on freshly cleared land in the berry pine forest type of the Middle Urals. The aim of the study is to assess the dynamics of changes in the structure and biometric indicators and parameters of tree crowns in industrial forest plantations of Scots pine. The research was conducted in 2018-2024 on a permanent test plot. During field studies, the number of surviving trees was determined: 66.5% of the total number of planted trees survived in 6-year-old crops, 60.0% in 9-year-old crops, and 55.4% in 12-year-old crops. For all surviving trees in the permanent trial plot, the diameter at mid-trunk height, trunk height, crown dimensions along and across the row were measured, and the length of all annual shoots was also measured. The data obtained during field studies, in laboratory conditions, were processed using mathematical statistics methods. A dynamic increase over time in the average taxation parameters of trees and their crowns, a certain decrease in the value of the variation coefficient and the amplitude of rank coefficients were established. Relative stabilization of the structure along the trunk thickness is observed only in 12-year-old pine crops. The structure of the trunk height significantly stabilizes by the age of 12 years of forest plantations, and the leaders and the most lagging trees in height are finally determined. The coefficient of determination between the height of trees and their trunk thickness significantly decreases from 0.653 to 0.428 with increasing age of pine forest plantations. The multiple correlation coefficient between tree height, tree trunk thickness and crown projection area steadily decreases from 0.897 to 0.522 with increasing age of pine forest plantations.

Keywords: *forest crops, Scots pine, stand structure*

Funding: The work was carried out within the framework of the State task of the FGBUN Botanical Garden of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (registration number 1022040300042-6-1.6.19;1.6.14;4.1.2).

Acknowledgments: author thanks the reviewers for their contribution to the peer review.

Conflict of interest: the author declares no conflict of interest.

For citation: Ermakova M. V. (2026). Dynamics of the formation of the structure and the relationship of the main indicators of pine (*Pinus sylvestris* L.) forest crops in the felling of a berry pine forest in the Middle Urals. Forestry Engineering journal, Vol. 16, No. 2 (62), pp. 33-49 (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2026.2/3>.

Received 16.02.2026. **Revised** 15.04.2026. **Accepted** 15.05.2026. **Published online** 26.06.2026

Введение

Одной из наиболее актуальных проблем современного лесоведения и лесоводства является повышение устойчивости и продуктивности лесных насаждений хозяйственно-ценных древесных видов, в т.ч. сосны обыкновенной, создаваемых в настоящее время естественным и искусственным путем [1-3]. Для решения этой задачи, необходимо изучение особенностей формирования структурно-функциональной организации дендроценозов созданных, в частности, искусственным путем. Следует отметить, однако, что вопросам, касающимся вопросам формирования на ранних этапах структурно-функциональной организации молодых древостоев, до настоящего времени, на

наш взгляд, уделяется недостаточное внимание. Прежде всего, рассматриваются отдельные вопросы, касающиеся, например, показателей густоты молодняков, их биометрических показателей, ход роста по высоте и диаметру и т.д. [4-10]. Значительно реже рассматриваются вопросы, касающиеся формирования основного фотосинтезирующего органа - кроны деревьев [11-13]. К тому же, исследования, как правило, почти не затрагивают начальный этап развития дендроценозов – до середины I класса возраста. Этому этапу, в определенном смысле, оказывается недостаточное внимание, хотя он важен, поскольку, во многом определяет, дальнейшие процессы формирования структурно-функциональной организации древостоев [14-16].

В то же время, недостаточно изучен процесс дифференциации деревьев по росту и развитию в молодых дендроценозах и его влияние на динамику формирования их структурно-функциональной организации. При этом, при изучении динамики изменения биометрических параметров деревьев и, крайне редко, параметров кроны, за небольшим исключением, берутся значительные временные интервалы – 10, 15 и более лет [17, 18]. В тоже время на данный момент, только в отдельных исследованиях, оценивается сама структура молодых древостоев, особенно на ранних этапах формирования [19-21], при этом, практически не затрагивается, характер взаимосвязи основных биометрических показателей и параметров кроны деревьев.

На наш взгляд, сложившаяся на данный момент ситуация, требует проведения более углубленных исследований характера формирования структурно-функциональной организации молодых древостоев на самых ранних этапах его развития.

Цель нашей работы – оценить динамику изменения структуры и биометрических показателей и параметров кроны деревьев в 6-12-летних производственных лесных культурах сосны обыкновенной.

Материалы и методы

Исследования, на одной и той же пробной площади лесных культур (ППЛК), проводились в 2018-2024 гг. в центральной части общей лесокультурной площади, в соответствии с общепринятыми методиками [23]. Возраст культур при проведении исследований: 6, 9 и 12 лет. лет.

При проведении полевых исследований, в всех случаях на ППЛК, устанавливалось количество сохранившихся деревьев. У всех сохранившихся деревьев измерялись диаметр на середине высоты ствола ($D_{0,5H}$), высота ствола (H), размеры кроны вдоль ряда и поперек ряда. Кроме того, при проведении исследований, у деревьев, сохранившихся на момент проведения исследований на ППЛК, измерялась длина всех годовичных побегов.

Для измерения диаметра использовался электронный штангенциркуль ADA Mechanic 150 Pro [A00380]. Для измерения высоты ствола использовалась электронная рулетка рулетки Карго 510-8М, а для измерения приростов по высоте и размеров кроны – металлические и деревянные линейки. Протяженность кроны измерялась в двух направлениях – вдоль и поперек ряда у каждого дерева.

Объект и предмет исследований

Объект исследований – производственные лесные культуры сосны, созданные на свежей вырубке в типе леса сосняк ягодниковый (С яг.). Объект расположен на территории Зауральской

холмисто-предгорной провинции южнотаежного округа Средне-Уральского лесного района [22]. Площадь вырубки около 20 га. Лесные культуры сосны на пробной площади лесных культур (ППЛК | SPFP) были созданы 2-летними сеянцами сосны ручной посадкой с использованием меча Колесова по бороздам плуга ПЛ-1. Средняя ширина междурядий – 3,2 м при шаге посадки – 0,6 м. Согласно сведениям, полученным от работников лесничества, на лесокультурной площади количество высаженных сеянцев составило 5 тыс. шт. Для уточнения данных, был проведен сплошной пересчет деревьев и посадочных мест на своей лесокультурной площади. Всего, согласно проведенного нами сплошного пересчета, установлено, что первоначально высажено 5,2 тыс. штук на 1 га. С момента посадки и до окончания исследований на пробной площади не осуществлялось дополнительных лесохозяйственных мероприятий и не отмечено огневого воздействия в виде пожаров.

Сбор данных

При проведении полевых исследований, в всех случаях на ППЛК, устанавливалось количество сохранившихся деревьев. У всех сохранившихся деревьев измерялись диаметр на середине высоты ствола ($D_{0,5H}$), высота ствола (H), размеры кроны вдоль ряда и поперек ряда. Кроме того, при проведении исследований, у деревьев, сохранившихся на момент проведения исследований на ППЛК, измерялась длина всех годовичных побегов.

Для измерения диаметра использовался электронный штангенциркуль ADA Mechanic 150 Pro [A00380]. Для измерения высоты ствола использовалась электронная рулетка рулетки Карго 510-8М, а для измерения приростов по высоте и размеров кроны – металлические и деревянные линейки. Протяженность кроны измерялась в двух направлениях – вдоль и поперек ряда у каждого дерева.

Анализ данных (Data analysis)

Данные полученные при полевых исследованиях, в лабораторных условиях, методами математической статистики [24] с помощью программ Excel и Statistica 10.0.

Поскольку, в немногочисленной научной литературе площадь проекции кроны у молодых деревьев сосны, на ранних этапах формирования, чаще всего рассматривается как эллипс (правильного овал), мы посчитали возможным определение этого параметра по формуле эллипса:

$$\text{Площадь поверхности кроны} = a \cdot b \cdot \pi$$

где: a – $\frac{1}{2}$ длины кроны вдоль ряда,

b – $\frac{1}{2}$ длины кроны поперек ряда

π – число пи (3,14)

Определение ранговых коэффициентов проводилось по соответствующей методике [25]. Определялось соотношение биометрического показателя каждого дерева со средним показателем для всего искусственного древостоя. В дальнейшем, определялась амплитуда ранговых коэффициентов APK (The magnitude of the amplitude of the rank coefficients - MARC). После этого, все деревья распределялись по 5-ти ранговым классам (I - лидеры; II - сублидеры; III - средние; IV - отстающие и V – наиболее отстающие) соответствующего биометрического показателя (диаметра на середине высоты ствола и высоты ствола). Уровень изменчивости устанавливался по общепринятой методике Мамаева по величине коэффициента вариации (V) [26]

Результаты

Исследования показали, что на протяжении всего периода исследований на ППЛК наблюдался довольно заметный динамичный отпад деревьев. От общего количества высаженных деревьев сохранилось к 6-летнему возрасту - 66,5 % (3,4 тыс. шт. на 1 га), к 9-летнему – 60,0 % (3,1 тыс. шт. на 1 га), а к 12-летнему этот показатель снизился до 55,4 % (2,9 тыс. шт. на 1 га). Тем не менее, по показателю

численности деревьев сосны на площади, как и по величине средней высоты деревьев (табл. 1) лесные культуры полностью соответствовали требованиям для перевода в категорию земель, на которых расположены леса [27].

Результаты изучения средних таксационных параметров деревьев и их кроны на ППЛК, показали, что, естественно, наблюдается динамичное, существенное (при $p \leq 0,05$) увеличение этих характеристик во времени. В свою очередь, за весь период исследований, почти по всем биометрическим показателям и параметрам кроны наблюдалось определенное снижение величины коэффициента вариации (рис. 1). Исключение составил только Д0,5Н, для которого наибольшая величина коэффициента вариации наблюдалась в 9-летнем возрасте, хотя и в этом случае уровень изменчивости остался прежним по сравнению с уровнем изменчивости в 6-летнем возрасте (табл. 2). В целом, значительное снижение уровня изменчивости от повышенного к среднему и от высокого к среднему 12-летнему возрасту культур наблюдалось только по высоте деревьев и размерам кроны поперек ряда.

Таблица 1

Средние биометрические показатели и параметры кроны деревьев на ППЛК

Table 1

Возраст лесных культур, лет Age of forest plantations, years	Average biometric indicators and parameters of tree crowns on SPFP Биометрические параметры и характеристики кроны, см (M ± m) Biometric parameters and characteristics of the crown, cm (M ± m)				
	Д0,5Н, см D0.5, H	Н, см H, cm	Крона, см Crown, cm		Площадь проекции кроны, м² Crown projection area, m²
			вдоль along	поперек across	
6	1,6 ± 0,04	112 ± 2,8	67 ± 1,9	65 ± 2,1	0,38 ± 0,021
9	3,2 ± 0,07	233 ± 3,9	111 ± 2,1	125 ± 2,4	1,15 ± 0,039
12	4,5 ± 0,10	376 ± 4,8	150 ± 2,3	174 ± 2,4	2,12 ± 0,060

Примечание: М – среднее; m – ошибка среднего

Note: M – mean; m – error of the mean

Источник: собственные вычисления автора

Source: author's own calculations

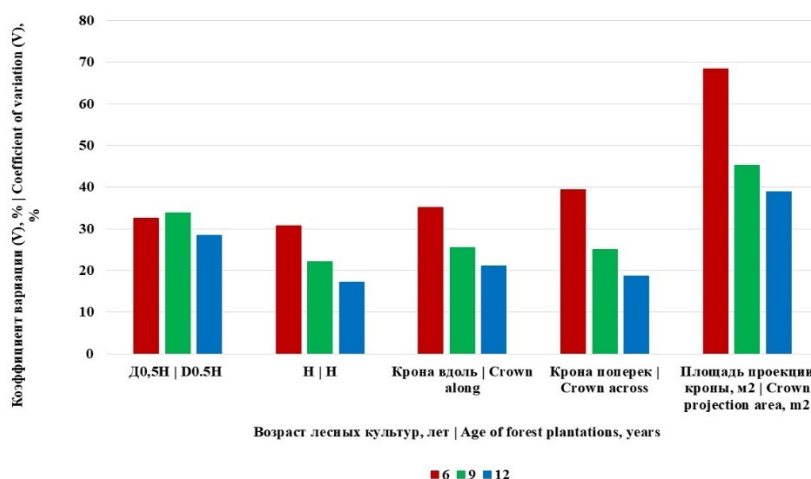


Рис. 1 Динамика величины коэффициента вариации биометрических показателей и параметров кроны (6, 9, 12 – возраст лесных культур)

Fig. 1 Dynamics of the value of the coefficient of variation of biometric indicators and crown parameters (6, 9, 12 – age of forest plantations)

Источник: собственная композиция автора
Source: author's own composition

Таблица 2

Динамика уровня изменчивости биометрических показателей и параметров кроны деревьев сосны на ППЛК

Table 2

Dynamics of the level of variability of biometric indicators and parameters of the crown of pine trees on SPFP

Возраст лесных культур, лет Age of forest plantations, years	Параметры, см Parameters, cm				
	D0.5H, см D0.5, H	H, см H, cm	Крона, см Crown, cm		Площадь проекции кроны, м² Crown projection area, m2
			вдоль along	поперек across	
6	высокий	повышенный	высокий	высокий	очень -высокий
9	высокий	повышенный	повышенный	повышенный	очень высокий
12	повышенный	средний	повышенный	средний	высокий

Источник: собственные вычисления автора
Source: author's own calculations

Характер динамики уровня изменчивости по D0.5H и H деревьев также подтверждается динамикой изменения АРК (рис. 2) и распределением деревьев по ранговым классам D0.5H и H (рис. 3-4).

Как видно, из результатов анализа динамика изменения величины АРК по D0.5H и H значительно различается. По D0.5H величина АРК несколько увеличилась в 9-летних культурах по сравнению с 6-летними. К 12-летнему возрасту величина АРК несколько снизилась по сравнению с 9-летними культурами и заметно снизилась по сравнению с 6-летними. Это также свидетельствует о том, что к 12-летнему возрасту у деревьев в культурах сосны, как и было показано в табл. 2, наблюдается

определенное снижение уровня изменчивости по величине D0.5H по сравнению с 6- и 9-летними культурами, в которых наблюдался высокий уровень изменчивости по D0.5H. Снижение уровня изменчивости и величины АРК в 12-летних культурах сосны показывает, что в некоторой степени, наблюдается некоторая стабилизация структуры по толщине ствола.

В свою очередь, по величине H наблюдается планомерное снижение величины АРК с увеличением возраста культур. Наиболее заметно, снижение величины АРК по высоте ствола у 9-летних культур сосны по сравнению с 6-летними, хотя уровень изменчивости в том и другом случае характеризуется как повышенный. В 12-летних

культурах сосны, где наблюдалась наименьшая величина АРК также отмечалось снижение уровня изменчивости до среднего по высоте ствола. В данном случае, в отличие от Д0,5Н, уже можно отметить определенную стабилизацию структуры древостоя по высоте ствола.

Как видно из рис. 3, в 6-9-летнем возрасте распределение деревьев по ранговым классам Д0,5Н можно оценить, как более-менее близкое к нормальному. Однако, в 12-летнем возрасте лесных культур распределение деревьев по ранговым классам Д0,5Н определенно отличается от нормального. По всей видимости, это связано с

усиленным отпадом, преимущественно, наиболее тонких (III-V ранговый класс), вытянутых в высоту деревьев [17]. Подобные деревья являются, прежде всего, результатом конкуренции за световые условия.

Характер распределения деревьев по ранговым классам высоты у лесных культур сосны в 6-летнем возрасте заметно отличается от нормального. В 9-12-летнем возрасте, напротив, распределение деревьев по ранговым классам Н уже можно охарактеризовать практически, как нормальное

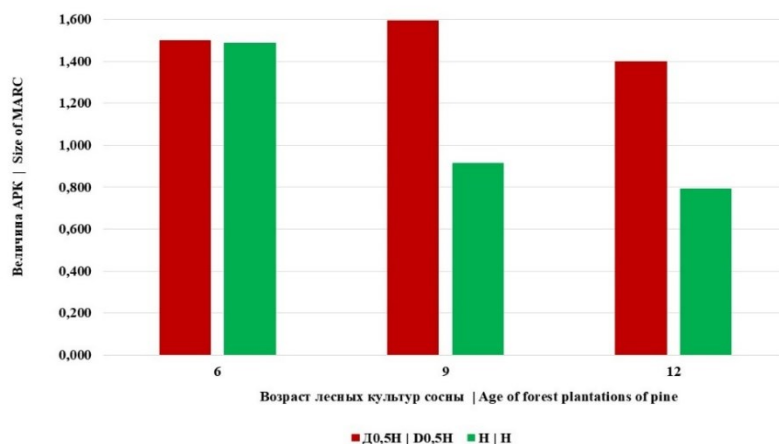


Рис. 2 Динамика изменения с возрастом амплитуды ранговых коэффициентов у деревьев сосны на ППЛК

Fig. 2 Dynamics of changes with age in the amplitude of rank coefficients in pine trees on SPFP

Источник: собственная композиция автора

Source: author's own composition

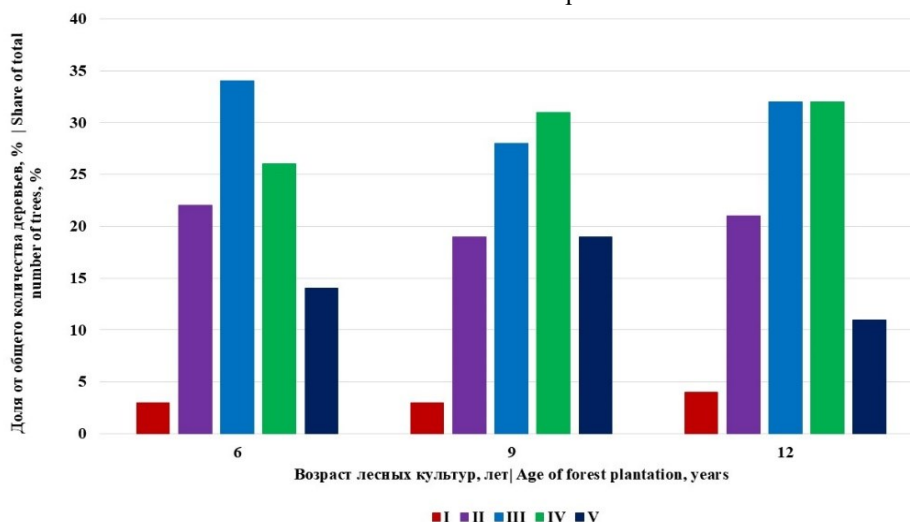


Рис.3 Динамика распределения деревьев сосны на ППЛК по ранговым классам Д0,5Н (I, II...V-ранговые классы)

Fig. 3 Dynamics of distribution of pine trees on the SPFP by rank classes Д0,5Н (I, II...V - rank classes)

Источник: собственная композиция автора

Source: author's own composition

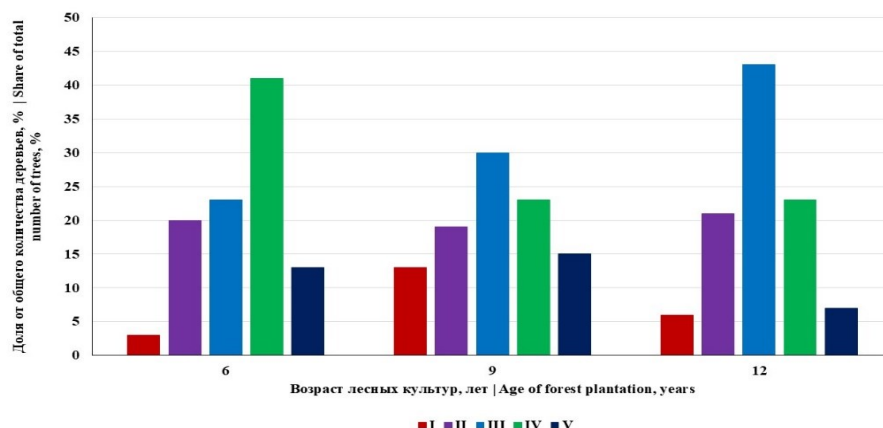


Рис.4 Динамика распределения деревьев сосны на ППЛК по ранговым классам Н (I, II...V - ранговые классы)
Fig. 4 Dynamics of distribution of pine trees on the SPFP by rank classes H (I, II...V - rank classes)

Источник: собственная композиция автора

Source: author's own composition

В то же время, обращает на себя внимание заметно изменение доли деревьев, особенно, III-IV ранговых классов по высоте в общей вертикальной структуре формирующегося древостоя. Для выяснения этого был применен метод дискриминантного анализа, где в качестве переменных использовались все приросты по высоте (рис. 5). Как известно, высота ствола представляет собой сумму годовых приростов по высоте соответственно за 6, 9 и 12 лет. Использование приростов по высоте позволит, в определенной степени, установить влияние текущих годовых приростов на общую высоту каждого дерева и, соответственно, влияние на отнесение дерева к той или иной ранговой группе по Н. Как видно из рис. 5 деревья сосны на ППЛК недостаточно четко дискриминируются по всем классам роста Н по величинам приростов по высоте. Особенно это касается 6-летних лесных культур. К возрасту 9-лет ситуация несколько улучшается и начинают более четко выделяться деревья I и V-й ранговых классов по высоте, т.е. в данном случае уже установились определенные генотипические параметры приростов в высоту. В свою очередь,

деревья II и III-й и III и IV-й ранговых групп, во всех случаях, имеют явные области пересечения.

К 12-летнему возрасту культур разделение на ранговые классы становится заметно четче. Явно выделяются деревья I и V классов по высоте. Тем не менее, сохраняются определенные области пересечения соседствующих II и III-й и III и IV-й ранговых групп. В данном случае, пока преждевременно говорить об установлении определенных генотипических параметров приростов в высоту для деревьев этих групп.

Объяснить подобную ситуацию вероятно можно тем, что динамика роста в высоту, т.е. размеры приростов по высоте, определяющие в целом высоту деревьев и их принадлежность к тому или иному ранговому классу Н, еще недостаточно, стабилизировалась. Это особенно заметно в лесных культурах в 6-9-летнем возрасте. Поэтому процессы дифференциации деревьев по высоте на ранних этапах роста протекают довольно активно. К 12-летнему возрасту лесных культур процессы дифференциации по высоте протекают уже менее активно и наблюдается их определенная стабилизация.

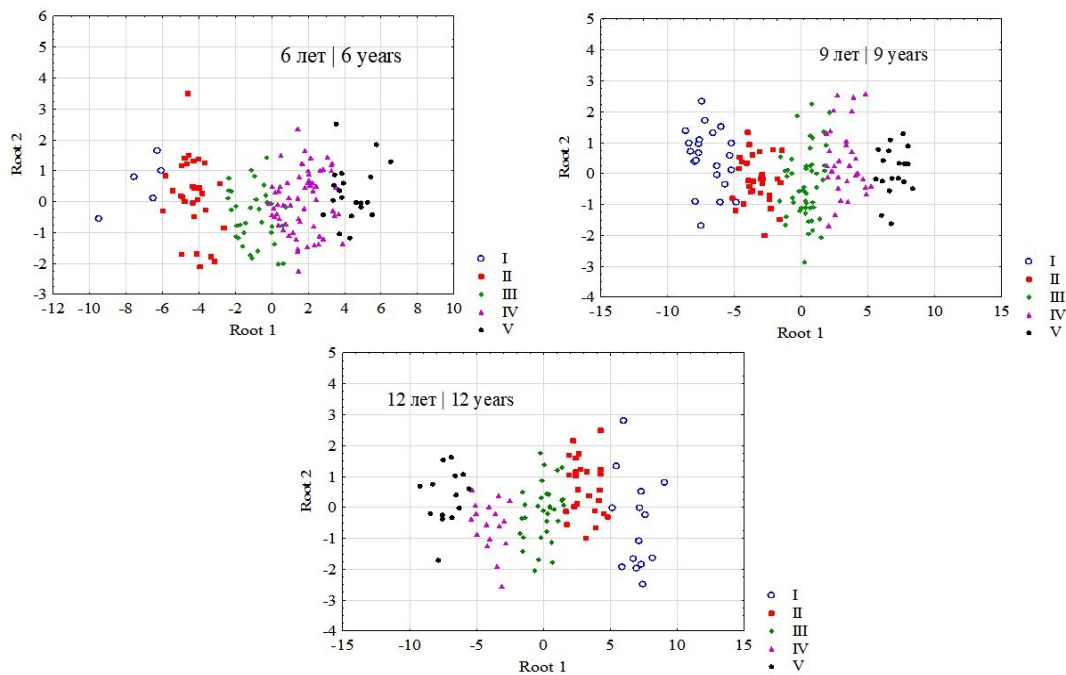


Рис. 5 Результаты дискриминации деревьев сосны на ППЛК с использованием приростов по высоте ствола по ранговым классам Н (I, II...V- ранговые классы)
Fig. 5 Results of discrimination of pine trees on the SPFP using height increment of trees by rank groups H (I, II...V- rank groups)

Источник: собственная композиция автора
Source: author's own composition

Несомненно, что подобная нестабильность, связанная с текущими приростами в радиальном направлении ствола, имеет место и при дискриминации по классам Д0,5Н, хотя на данном возрастном этапе ее технически значительно труднее оценить.

Кроме того, было установлено, деревья в лесных культурах на ППЛК могут иметь как соответствие, так и не соответствие при сопряженном распределении по ранговым классам Д0,5Н и Н. Деревья сосны, относящиеся к одному ранговому классу по Д0,5Н могут относиться как к такому же, так и более высокому или более низкому ранговому классу по Н (табл. 3). Например, наиболее крупные по толщине ствола деревья (I рангового класса по Д0,5Н) могут по высоте ствола относиться и ко II- и к III-му ранговому классу Н и т.д. Только небольшая часть наиболее крупных по толщине ствола деревьев отличалась и наиболее высокими показателями по высоте ствола. В то же время, такая сопряженность не является стабильной

и довольно лабильно изменяется по мере формирования древостоя. Об этом же свидетельствуют показатели связи между диаметром на середине высоты и высотой ствола (рис. 6, табл. 4-5). По мере формирования структурно-функциональной организации древостоя сосны, искусственного происхождения, заметно снижается, согласно величине коэффициента детерминации, и уровень взаимосвязи между диаметром на середине высоты (Д0,5Н) и высотой дерева (Н). Это свидетельствует, о продолжающихся, достаточно интенсивных процессах в дифференциации деревьев как в генотипическом, так и в ценотических аспектах, которые связаны, прежде всего, как с внутривидовой конкуренцией деревьев сосны, так и с конкуренцией за лучшие условия освещения, что крайне важно для такой светолюбивой породы как сосна обыкновенная.

Таблица 3

Динамика сопряженности деревьев сосны по ранговым классам Д0,5Н и Н

Table 3

Dynamics of conjugacy of pine trees by rank classes D0.5N and H	
Ранговый класс по	Ранговый класс по высоте ствола (Н) Rank class by the height of the trunk (H)

Д0,5Н Rank class by the D0,5Н	Возраст лесных культур, лет The age of forest plantations, years														
	6					9					12				
	Доля от общего количества деревьев, % Share of the total number of trees, %														
	I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V
I	1	2	1	0	0	2	1	1	0	0	2	2	1	0	0
II	3	11	7	1	0	6	8	3	1	1	2	9	9	1	0
III	0	9	14	26	3	4	8	12	4	0	3	7	17	5	0
IV	0	1	9	25	5	0	1	14	12	5	0	2	14	12	4
V	0	0	0	12	12	0	1	2	6	10	0	1	2	5	3

Источник: собственные вычисления автора

Source: author's own calculations

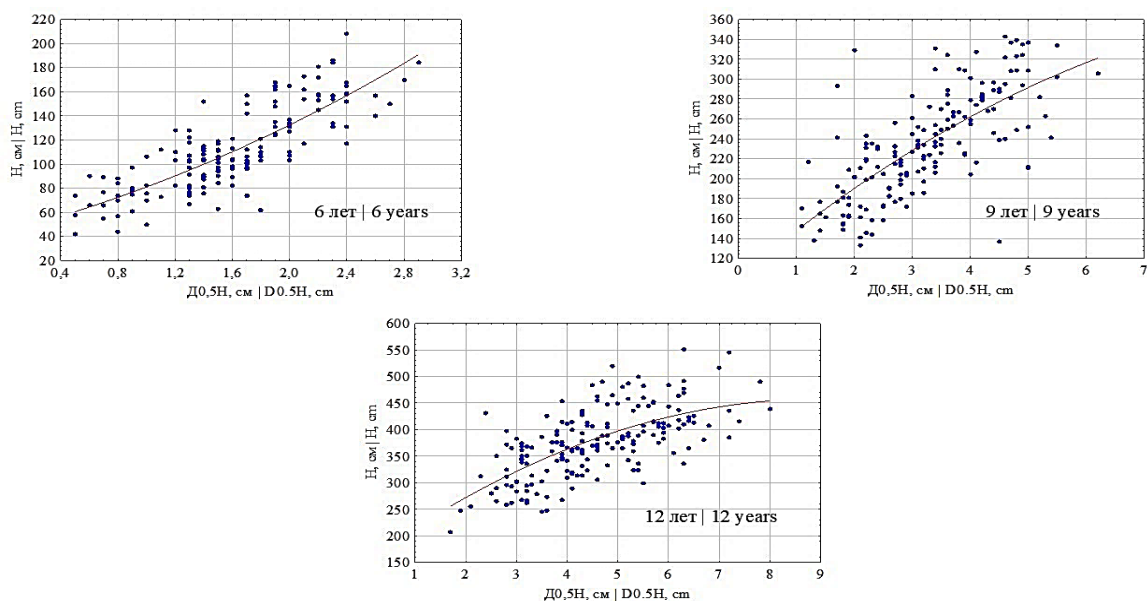


Рис. 6 Связь диаметра на середине высоты и высоты ствола у деревьев сосны на ППЛК

Fig. 6 Relationship between the diameter at mid-height and the height of the trunk of pine trees on the SPFP

Источник: собственная композиция автора

Source: author's own composition

Таблица 4

Показатели связи между диаметром на середине высоты и высотой ствола у деревьев сосны на ППЛК
(при $p \leq 0,05$)

Table 4

Relationships between mid-height diameter and trunk height in pine trees on the SPFP (at $p \leq 0,05$)

Возраст лесных культур, лет The age of forest plantations, years	Уравнение связи Equation of connection	R^2
6	$y = 43,4628 + 30,641x + 6,9335x^2$	0,653
9	$y = 101,1995 + 48,9233x - 2,1725x^2$	0,527
12	$y = 150,6515 + 68,2416x - 3,7904x^2$	0,428

Примечание. y – высота ствола; x – диаметр на середине высоты; R^2 коэффициент детерминации

Источник: собственные вычисления автора

Source: author's own calculations

Таблица 5

Уровни значимости коэффициентов показателей связи между диаметром на середине и высотой ствола на ППЖК (при $p \leq 0,05$)

Table 5

Significance levels of the coefficients of the relationship between the diameter at the middle and the height of the trunk on the SPFP (at $p \leq 0,05$)

Возраст лесных культур, лет The age of forest plantations, years	Уровень значимости коэффициентов, (p) Significance levels of the coefficients, (p)	
	x	x ²
6	0,008	0,011
9	0,010	0,015
12	0,022	0,027

Источник: собственные вычисления автора

Source: author's own calculations

Ранее было показано (табл. 1), что формирование кроны деревьев сосны по классам Н, динамично изменяется по времени, при этом значительно снижается уровень изменчивости. Распределение по ранговым классам высоты (рис. 7) проводилось, поскольку показатели высоты деревьев демонстрировали наименьшую изменчивость из всех остальных параметров.

Как установлено, в 6-летнем возрасте лесных культур, деревья сосны разных классов высоты значительно различались по размерам кроны, как вдоль, так и поперек ряда. В то же время, деревья сосны в пределах каждого класса Н практически не различались по размерам кроны вдоль и поперек ряда. Размеры крон вдоль ряда деревьев всех классов роста вполне обеспечивали смыкание и перекрытие крон внутри ряда культур.

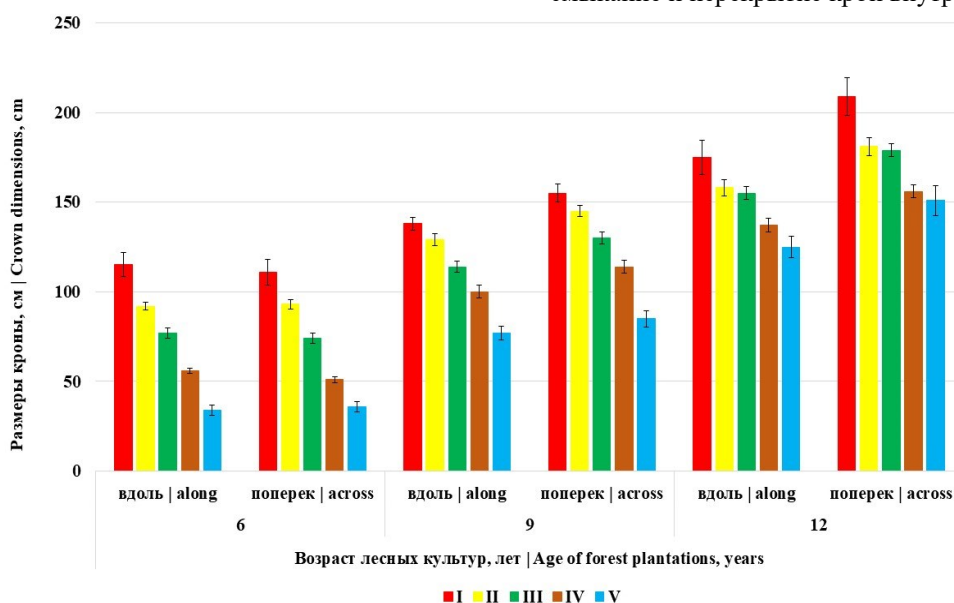


Рис. 7 Динамика изменения размеров кроны у деревьев сосны по классам Н (I...V – классы роста в высоту за соответствующий год)

Fig. 7 Dynamics of changes in crown size of pine trees by class H (I...V – height growth classes for the corresponding year)

Источник: собственная композиция автора

Source: author's own composition

К 9-летнему возрасту культур, деревья сосны разных классов высоты также значительно различались между собой по размерам кроны как

вдоль, так и поперек ряда. В то же время, в 9-летних культурах наблюдались значительно большие размеры кроны поперек ряда по сравнению с их

размерами вдоль ряда. Можно сказать, что примерно с этого возраста, начинается этап активного развития крон между рядами.

К 12-летнему возрасту культур различие между размерами крон вдоль и поперек ряда еще больше увеличилось, т.е. процесс развития крон между рядами значительно усилился.

Деревья сосны I класса роста в высоту в 12-летних культурах, во всех случаях, имели достоверно более развитую крону как вдоль, так и поперек ряда по сравнению с деревьями остальных классов.

В то же время, если у 6- и 9-летних культур наблюдалось достоверное различие в размерах кроны как вдоль, так и поперек ряда по классам высоты, то у 12-летних культур наблюдалась иная картина. У деревьев сосны II-го и III-го класса высоты размеры кроны как вдоль, так и поперек ряда различались несущественно, хотя значительно превосходили по этим параметрам деревья IV-го и V-го классов.

В свою очередь, деревья сосны IV-го класса достоверно превосходили деревья V-го класса по размерам кроны вдоль ряда, но практически не различались по размерам кроны поперек ряда.

Такие особенности формирования крон деревьев к 12-летнему возрасту объясняются, скорее всего тем, что несмотря на значительный отпад деревьев, развитие крон внутри ряда ограничивает их развитие и тем самым способствует интенсификации роста крон в свободном пространстве, т.е. в междурядьях. Этими же причинами, скорее всего, объясняются и отсутствие различий в размерах крон поперек ряда как между деревьями II-го и III-го класса высоты, так и у деревьев IV-го и V-го классов.

Установленные особенности формирования протяженности кроны вдоль и поперек ряда отразились в показателях площади проекции кроны (рис. 8).

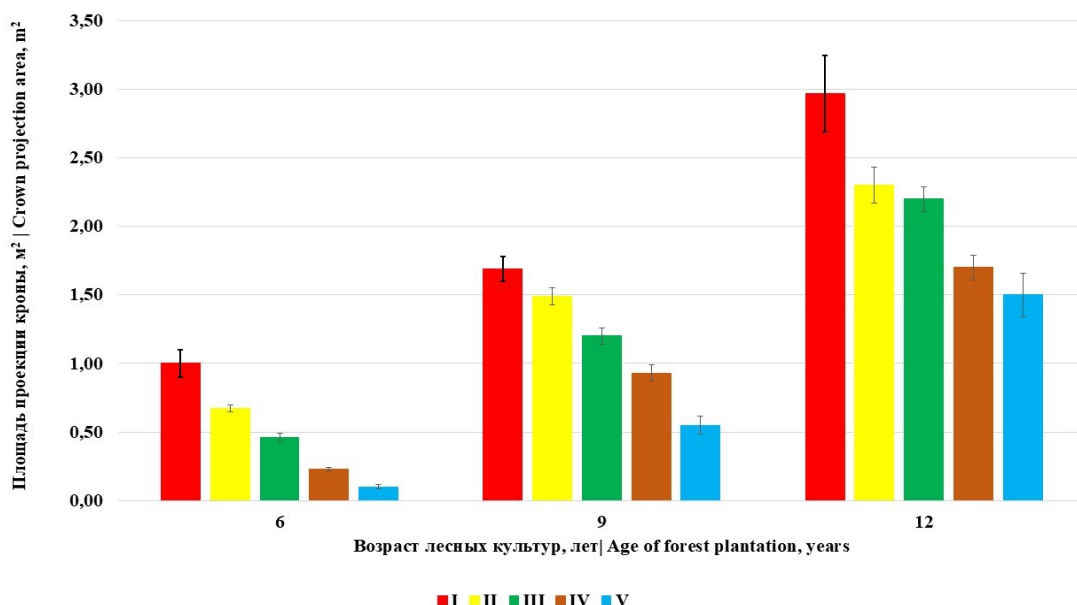


Рис. 8 Динамика изменения площади проекции кроны у деревьев сосны по классам Н (I...V – классы роста в высоту за соответствующий год)

Fig. 8 Dynamics of changes in the crown projection area of pine trees by class H (I...V – height growth classes for the corresponding year)

Источник: собственная композиция автора

Source: author's own composition

По этому показателю у 6- и 9-летних культур наблюдалось достоверное различие по классам высоты. В свою очередь, у 12-летних культур сосны деревья I класса высоты имели достоверно большую площадь проекции кроны по сравнению с деревьями других классов. Между деревьями II-го и III-го класса различия в этом показателе были несущественными, но хотя

достоверно превосходили по этому параметру деревья IV-го и V-го классов.

В свою очередь, между деревьями IV-го и V-го классов высоты не наблюдалось достоверного различия по величине площади проекции кроны. Было установлено, что в динамике, изменяется взаимосвязь основных биометрических показателей – толщины ствола и его высоты с площадью проекции кроны (рис. 9, табл. 6). На начальном

этапе, в 6-летнем возрасте лесных культур взаимосвязь между параметрами ствола деревьев сосны и площади проекции кроны была очень высокой. К 9-летнему возрасту лесных культур эта взаимосвязь оставалась довольно сильной, хотя и слабее, чем в 6-летнем возрасте. К 12-летнему возрасту взаимосвязь между биометрическими

характеристиками ствола и площадью проекции кроны стала значительно слабее

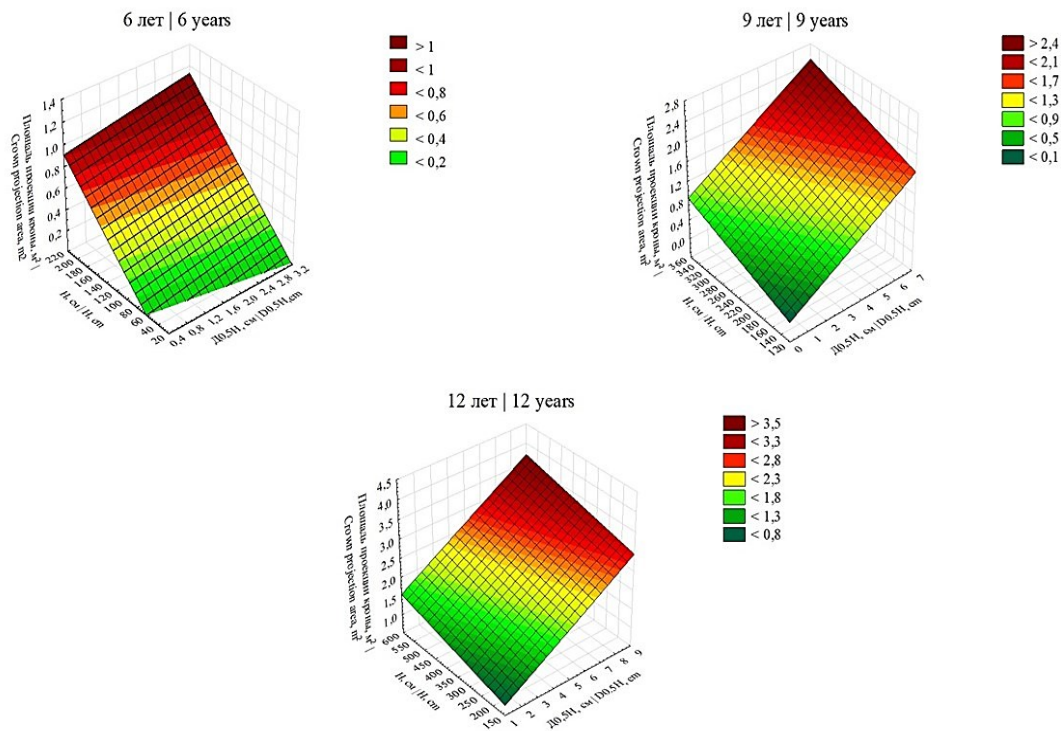


Рис. 9 Взаимосвязь диаметра на середине высоты и высоты ствола с площадью проекции кроны в лесных культурах сосны на ППЛК

Fig. 9 The relationship between the diameter at mid-height and the height of the trunk with the crown projection area in pine forest plantations on the SPFP

Источник: собственная композиция автора
Source: author's own composition

Таблица 6

Уравнения связи и мера тесноты линейной связи диаметра на середине высоты и высоты ствола с площадью проекции кроны в лесных культурах сосны на ППЛК (при $p \leq 0,05$)

Table 6

Equations of connection and measure of tightness of the linear connection between the diameter at mid-height and the height of the trunk with the crown projection area in pine forest plantations on the SPFP (at $p \leq 0,05$)

Возраст лесных культур, лет The age of forest plantations, years	Уравнение связи Equation of connection	Rz/xy
6	$z = -0,3918 + 0,0872x + 0,0058y$	0,897
9	$z = -0,422 + 0,2347x + 0,0035y$	0,719
12	$z = 0,2434 + 0,2702x + 0,0017y$	0,522

Примечание. Y – высота ствола; x – диаметр на середине высоты; $R^2_{z/xy}$ - множественный коэффициент корреляции.

Обсуждение

Таким образом, как показали наши исследования на ранних этапах, в течение довольно короткого временного промежутка, параметры структурно-функциональной организации, искусственного дендроценоза в условиях С.яг. Среднего Урала, демонстрируют значительную лабильность процессов формирования. Полученные нами результаты исследований, показывают, что при изучении динамики, как отдельных биометрических параметров, так и характеристик формирования кроны деревьев на ранних этапах формирования искусственных древостоев сосны необходимо более взвешенно подходить к выбору временных интервалов. Изучение динамики изменений формирования структурно-функциональной организации дендроценозов сосны I-го и, скорее всего II-го класса возраста, с временными промежутками в 10-15 лет, на наш взгляд не могут обеспечить объективность в оценке параметров изменений, в том числе не совсем верных их интерпретаций.

Кроме того, наши исследования, подтверждают ранее полученные данные другими исследователями о дрейфе рангового положения деревьев в искусственных насаждениях, как по высоте, так и по диаметру. Но, наш взгляд, остается еще малоизученным вопрос о сопряженной динамике рангового дрейфа по диаметру ствола и его высоте, особенно для молодых насаждений хвойных пород, хотя есть определенные подвижки в этом вопросе. Тем не менее, остаются еще, не до конца, разработанными вопросы методологии проведения изучения особенностей формирования структурно-функциональной организации молодых дендроценозов на ранних этапах.

Развитие и углубление научных исследований процессов формирования хвойных молодняков, несомненно будет способствовать оптимизации и совершенствованию в дальнейшем, проведении лесохозяйственных мероприятий

Выводы)

1. Доля сохранившихся деревьев сосны от общего количества высаженных на площади лесных культур за 6 лет сократилась с 66,5 до 55,4%. По показателям численности деревьев сосны на площади и средней высоты деревьев исследованные лесные культуры полностью соответствовали требованиям для перевода в категорию земель, на которых расположены леса. Средних таксационные параметры деревьев и их кроны демонстрировали устойчивое существенное увеличение по времени. При этом, наблюдалось определенное снижение величины коэффициента вариации хотя, в основном, уровень изменчивости оставался довольно высоким. Снижение уровня изменчивости демонстрировали только параметры высоты ствола и линейных размеров кроны в направлении междурядий, а

наиболее высокий уровень изменчивости был характерен для площади проективного покрытия кроны. Величина амплитуды ранговых коэффициентов по высоте ствола заметно и стабильно снижалась на протяжении всего периода исследований. Изменение величины амплитуды ранговых коэффициентов по толщине ствола было незначительным и носило волнообразный характер.

2. В возрасте лесных культур 6 и 9 распределение деревьев сосны по ранговым классам толщины в определенной степени близко к нормальному. В возрасте 12 лет распределение деревьев по классам толщины заметно отличается от нормального. На протяжении всего периода исследований изменение доли сублидеров, средних и наиболее отстающих по толщине деревьев носило волнообразный характер. Только в 12-летних культурах сосны наблюдается относительная стабилизация структуры по толщине ствола.

Распределение деревьев сосны по классам высоты в лесных культурах в возрасте 6 лет заметно отличается от нормального, однако, к возрасту лесных культур 9 и 12 лет соответствует параметрам нормального распределения. В исследованных лесных культурах сосны с возрастом стабильно увеличивается доля средних по высоте деревьев, но снижалась доля наиболее отстающих. Доля лидеров, сублидеров и наиболее отстающих по высоте деревьев изменялась волнообразно, с разной степенью направленности.

3. На раннем этапе, в 6-летнем возрасте лесных культур, деревья сосны на пробной площади лесных культур недостаточно дискриминируются по всем классам роста высоты по величинам приростов по высоте. Лидеры и наиболее отстающие по высоте деревья сосны начинают более четко выделяться к 9-летнему и окончательно определяются к 12-летнему возрасту лесных культур. Для сублидеров и средних по высоте деревьев, а также для средних и отстающих по высоте деревьев недостаточно четкая дискриминация сохраняется даже у лесных культур в возрасте 12-ти лет.

Сопряженное распределение по классам толщины и классам высоты на данном этапе формирования искусственного молодняка не стабильно, а взаимосвязь между толщиной и высотой деревьев сосны в лесных культурах ослабевает с возрастом по мере формирования древостоя. Взаимосвязь между высотой деревьев их толщиной ствола заметно снижается с увеличением возраста лесных культур сосны.

4. В 6-летнем возрасте лесных культур параметры кроны вдоль и поперек ряда по ранговым классам высоты практически одинаковы, а в 9-летних и 12-летних культурах наблюдается существенно большее развитие кроны между рядами.

На начальных этапах в 6-ти и 9-ти летнем возрасте лесных культур деревья разных ранговых групп высоту значительно различались по параметрам кроны как вдоль, так и поперек ряда. К 12-летнему возрасту лесных культур такое различие сохранялось только у лидеров, отстающих и наиболее отстающих по высоте деревьев. Между сублидерами и средними по высоте деревьями различие в параметрах кроны как вдоль, так и поперек ряда не наблюдалось. Различия в величине площади проективного покрытия кроны деревьев разных классов высоты оставались достоверными за весь период исследований. Взаимосвязь между высотой деревьев, их толщиной ствола стола и

площадью проективного проекции кроны стабильно снижается с увеличением возраста лесных культур сосны.

5. Процесс формирования структурно-функциональной организации молодого древостоя сосны I класса возраста на вырубке сосняка ягодникового Среднего Урала представляет собой сложный, процесс с существенными изменениями в течение довольно короткого времени, что требует более глубокого многофакторного изучения, включая исследование возрастной динамики взаимосвязей основных биометрических показателей и параметров кроны с учетом изменения сохранности высаженных деревьев.

Список литературы

1. Danneyrolles V., Boucher Y., Fournier R., Valeria O. Positive effects of projected climate change on post-disturbance forest regrowth rates in northeastern North American boreal forests. *Environ Res Lett*, 2023; 18(2):024041. doi: 10.1088/1748-9326/acb72a.
2. Donald F., Purse B.V., Green S. Investigated the role of reforestation plantings in introducing disease – A case study using phytophthora. *Forest*, 2021; 12:764. doi: 10.3390/f12060764.
3. Thiffault N., Fera J., Hoepting M.K., Jones T., Wotherspoon A. Adaptive silviculture for climate change in the Great Lakes-St. Lawrence Forest region of Canada: background and design of a long-term experiment. *For Chron*, 2024; 100(2):155-164. doi: 10.5558/tfc2024-016.
4. Собачкин Д.С., Собачкин Р.С., Петренко А.Е. Особенности роста и продуктивности сосновых молодняков, сформированных из деревьев разного ценотического статуса. *Сибирский лесной журнал*, 2022; № 3: 34-39. doi: 10.15372/2/SJFS202203045.
5. Пшеничникова Л.С., Онучин А.А., Собачкин Р.С., Петренко А.Е. Особенности роста сосновых культур разной густоты в условиях южной тайги Сибири. *Сибирский лесной журнал*, 2022; № 3: 24-33. doi: 10.15372/SJF20220303.
6. Корчагин И.Е., Залесов С.В., Осипенко Р.А. Динамика таксационных показателей искусственных сосновых древостоев на рекультивированном золотоотвале. *Природообустройство*, 2024; № 3: 106-111. doi: <https://doi.org/10/26897/1997-6011-2024-3-106-111>.
7. Häggström B., Domevscik M., Öhlund J., Nordin A. Survival and growth of Scots pine (*Pinus sylvestris*) seedlings in north Sweden: effect of planting position and arginine addition. *Scand J For Res*, 2021; 36(6):423-433. doi: 10.1080/028227581.2021.1957999.
8. Häggström B., Hajek J., Nordin A., Öhlund J. Effects of planting position, seedling size, and organic nitrogen fertilization on the establishment of Scots pine (*Pinus Sylvestris* L.) and Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst) seedlings. *Forests*, 2024; 15(4):703. doi: 10.3390/f15040703.
9. Nordin P., Olofsson E., Hjelm K. Within-site adaptation: Growth and mortality of Norway spruce, Scots pine and Silver birch seedlings in different planting positions across a soil moisture gradient. *Silva Fenn*, 2023; 57(3):23004. doi: 10.14214/sf.23004.
10. Luoranen J., Salminen T., Gratz R., Saksa T. Arginine phosphate (ArGrow©) treatment on Norway spruce and Scots pine seedlings at different planting times and under varying planting site conditions in boreal forests. *For Ecol Manag*, 2024; 563:122012. doi: 10.1016/j.foreco.2024.122012.
11. Петрищев Е.П. Исследование взаимосвязи биометрических параметров ювенильных сеянцев сосны обыкновенной из кондиционных семян при оценке результатов лесовосстановления. *Лесотехнический журнал*, 2021; Т.11, № 4(44): 161-169. doi: <https://doi.org/10/34220/issn.2222-7962/2021.4/14>.
12. Крекова Я.А., Чеботько Н.К. Исследование потомства плюсовых деревьев *Pinus sylvestris* L. в испытательных культурах первой генерации. *Природообустройство*, 2023; № 3: 130-136. doi: 10.26897/1997-6011-2023-3-130-136.
13. Осипенко А.Е., Залесов С.В. Формирование морфологии деревьев культивируемых сосновых древостоев. *Известия вузов. Лесной журнал*, 2024; № 2: 105-117. doi: <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2024-2-105-117>.
14. Ilintsev A., Soldatova D., Bogdanov A., Koptev S., Tretyakov S. Growth and structure of pre-mature stands of Scots pine created by direct seeding in the boreal zone. *Journal of Forest Science*, 2021; 67(1):21-35. doi: <https://doi.org/10.17221/70/2020-JFS>.

15. Сунгурова Д.Р., Дрочкова А.А. Биометрические характеристики посадочного материала как тест-показатель успешности культур *Pinus sylvestris* L. Известия вузов. Лесной журнал, 2021; № 4: 107-116. doi: 10.374482/05636-1036-2021-4-107-116.
16. Ермакова М.В. Структурно-функциональная организация естественных молодняков сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) на 9-летней вырубке сосняка брусничникового Среднего Урала. Лесотехнический журнал, 2024; Т.14, № 2(54): 36-53. doi: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2023.2/3>.
17. Мерзленко М.Д. Обоснование теории волнообразного роста хвойных лесных культур. Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2021; Т.25, № 2: 5-9. doi: 10.18698/2542-1468-2021-2-5-9.
18. Сальникова И.С., Фадеева Е.А. Оценка хода роста сосновых насаждений естественного и искусственного происхождения. Леса России и хозяйство в них, 2023; № 1: 41-47. doi: 10.51318/FRET.2023.73.98.004.
19. Georgi L., Kz M., Fichtner A., Reich K.F., Bienert A., Maas H.G. et al. Effects of local neighbourhood diversity on crown structure and productivity of individual tree in mature mixed-species forests. For Ecosyst, 2021; 8:26. doi: 10.1186/s40663-021-00306-y.
20. Hildebrand M., Perles-Garcia M., Kunz D., Härdtle W., von Oheimb G., Fichtner A. Tree-tree interactions and crown complementarity: the role of functional diversity and branch traits for canopy packing. Basic Appl Ecol, 2021; 50:217-227. doi: <https://doi.org/10.1016/j.baae.2020.12.003>.
21. Saarinen N., Kankar V., Huuskonen S. et al. Effect of stem density on crown architecture of Scots pine trees. Front Plant Sci, 2022; Vol. 13. doi: <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.817792>.
22. Fomin V., Mikhailovich A., Zalesov S., Terehov G. Development of ideas within the framework of the genetic approach to the classification of forest types. Baltic Forestry, 2021; Vol. 27, Iss. 1: 466. doi: 10.46490/BF466.
23. Методика полевых работ по таксации леса на постоянных пробных площадях в рамках реализации инновационного проекта государственного значения «Углерод в экосистемах: мониторинг». Консорциум № 4. Версия 1.0. М., 2023; 32 с.
24. Chandra G., Nautiyal R., Chandra H. (Eds.) Statistical Methods and Application in Forestry and Environmental Sciences. Springer Singapore, 2020. doi: <https://doi.org/10.1007/978-981-15-1476-0>.
25. Ермакова М.В. Формирование структурно-функциональной организации молодняков сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) смешанного естественно-искусственного происхождения в условиях сосняков ягодникового Среднего Урала. Лесотехнический журнал, 2023; Т.13, № 2(50): 43-58. doi: 10.34220/issn.2222-7962/2023.2/3.
26. Карасева М.А., Мухортов Д.И., Лежнин К.Т. Изменчивость показателей роста семенного потомства сосны кедровой сибирской местной репродукции в Марийском Заволжье. Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия «Лес. Экология. Природопользование», 2023; № 1(57): 73-87. doi: 10.25686/2306-2827.2023.1.73.
27. Правила лесовосстановления... от 29 декабря 2021 г. № 1024. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/74983471/> (дата обращения: 18.12.2022).

References

1. Danneyrolles V., Boucher Y., Fournier R., Valeria O. Positive effects of projected climate change on post-disturbance forest regrowth rates in northeastern North American boreal forests. Environ Res Lett, 2023; 18(2):024041. doi: 10.1088/1748-9326/acb72a.
2. Donald F., Purse B.V., Green S. Investigated the role of reforestation plantings in introducing disease – A case study using phytophthora. Forest, 2021; 12:764. doi: 10.3390/fl2060764.
3. Thiffault N., Fera J., Hoepting M.K., Jones T., Wotherspoon A. Adaptive silviculture for climate change in the Great Lakes-St. Lawrence Forest region of Canada: background and design of a long-term experiment. For Chron, 2024; 100(2):155-164. doi: 10.5558/tfc2024-016.
4. Sobachkin D.S., Sobachkin R.S., Petrenko A.E. Growth and productivity features of pine young stands formed from trees of different cenotic status. Sibirskiy lesnoy zhurnal = Siberian Journal of Forest Science, 2022; 3:34-39. doi: 10.15372/SJFS202203045 (in Russ.).
5. Pshenichnikova L.S., Onuchin A.A., Sobachkin R.S., Petrenko A.E. Growth features of pine plantations of different density in the southern taiga of Siberia. Sibirskiy lesnoy zhurnal = Siberian Journal of Forest Science, 2022; 3:24-33. doi: 10.15372/SJF20220303 (in Russ.).
6. Korchagin I.E., Zalesov S.V., Osipenko R.A. Dynamics of taxation indicators of artificial pine stands on reclaimed gold dump. Prirodoobustroystvo = Environmental Engineering, 2024; 3:106-111. doi: <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-3-106-111> (in Russ.).
7. Häggström B., Domevscik M., Öhlund J., Nordin A. Survival and growth of Scots pine (*Pinus sylvestris*) seedlings in north Sweden: effect of planting position and arginine addition. Scand J For Res, 2021; 36(6):423-433. doi: 10.1080/028227581.2021.1957999.

8. Häggström B., Hajek J., Nordin A., Öhlund J. Effects of planting position, seedling size, and organic nitrogen fertilization on the establishment of Scots pine (*Pinus Sylvestris* L.) and Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst) seedlings. *Forests*, 2024; 15(4):703. doi: 10.3390/f15040703.
9. Nordin P., Olofsson E., Hjelm K. Within-site adaptation: Growth and mortality of Norway spruce, Scots pine and Silver birch seedlings in different planting positions across a soil moisture gradient. *Silva Fenn*, 2023; 57(3):23004. doi: 10.14214/sf.23004.
10. Luoranan J., Salminen T., Gratz R., Saksa T. Arginine phosphate (ArGrow©) treatment on Norway spruce and Scots pine seedlings at different planting times and under varying planting site conditions in boreal forests. *For Ecol Manag*, 2024; 563:122012. doi: 10.1016/j.foreco.2024.122012.
11. Petrishchev E.P. Study of the relationship between biometric parameters of juvenile Scots pine seedlings from conditioned seeds when assessing reforestation results. *Lesotekhnicheskii zhurnal = Forestry Engineering Journal*, 2021; Vol.11, 4(44):161-169. doi: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2021.4/14> (in Russ.).
12. Krekova Ya.A., Chebotko N.K. Study of progeny of plus trees of *Pinus sylvestris* L. in first generation trial plantations. *Prirodoobustroystvo = Environmental Engineering*, 2023; 3:130-136. doi: 10.26897/1997-6011-2023-3-130-136 (in Russ.).
13. Osipenko A.E., Zalesov S.V. Formation of tree morphology in cultivated pine stands. *Izvestiya vuzov. Lesnoy zhurnal = University Proceedings. Forestry Journal*, 2024; 2:105-117. doi: <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2024-2-105-117> (in Russ.).
14. Ilintsev A., Soldatova D., Bogdanov A., Koptev S., Tretyakov S. Growth and structure of pre-mature stands of Scots pine created by direct seeding in the boreal zone. *Journal of Forest Science*, 2021; 67(1):21-35. doi: <https://doi.org/10.17221/70/2020-JFS>.
15. Sungurova D.R., Drochkova A.A. Biometric characteristics of planting material as a test indicator of success of *Pinus sylvestris* L. plantations. *Izvestiya vuzov. Lesnoy zhurnal = University Proceedings. Forestry Journal*, 2021; 4:107-116. doi: 10.374482/05636-1036-2021-4-107-116 (in Russ.).
16. Ermakova M.V. Structural and functional organization of natural Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) young stands on a 9-year-old clearcut of lingonberry pine forest in the Middle Urals. *Lesotekhnicheskii zhurnal = Forestry Engineering Journal*, 2024; Vol.14, 2(54):36-53. doi: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2023.2/3> (in Russ.).
17. Merzlenko M.D. Justification of the theory of wave-like growth of coniferous forest plantations. *Lesnoy vestnik = Forestry Bulletin*, 2021; Vol.25, 2:5-9. doi: 10.18698/2542-1468-2021-2-5-9 (in Russ.).
18. Salnikova I.S., Fadeeva E.A. Assessment of the growth course of pine stands of natural and artificial origin. *Lesa Rossii i khozyaystvo v nikh = Forests of Russia and Economy in Them*, 2023; 1:41-47. doi: 10.51318/FRET.2023.73.98.004 (in Russ.).
19. Georgi L., Kz M., Fichtner A., Reich K.F., Bienert A., Maas H.G. et al. Effects of local neighbourhood diversity on crown structure and productivity of individual tree in mature mixed-species forests. *For Ecosyst*, 2021; 8:26. doi: 10.1186/s40663-021-00306-y.
20. Hildebrand M., Perles-Garcia M., Kunz D., Härdtle W., von Oheimb G., Fichtner A. Tree-tree interactions and crown complementarity: the role of functional diversity and branch traits for canopy packing. *Basic Appl Ecol*, 2021; 50:217-227. doi: <https://doi.org/10.1016/j.baae.2020.12.003>.
21. Saarinen N., Kankar V., Huuskonen S. et al. Effect of stem density on crown architecture of Scots pine trees. *Front Plant Sci*, 2022; Vol.13. doi: <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.817792>.
22. Fomin V., Mikhailovich A., Zalesov S., Terehov G. Development of ideas within the framework of the genetic approach to the classification of forest types. *Baltic Forestry*, 2021; Vol.27, Iss.1:466. doi: 10.46490/BF466.
23. Metodika polevykh rabot po taksatsii lesa na postoyannykh probnykh ploshchadyakh v ramkakh realizatsii innovatsionnogo proekta gosudarstvennogo znacheniya «Uglerod v ekosistemakh: monitoring». Konsortsium № 4. Versiya 1.0. [Field work methodology for forest inventory on permanent sample plots within the framework of the innovative project of state importance "Carbon in ecosystems: monitoring". Consortium No. 4. Version 1.0]. Moscow, 2023; 32 p. (in Russ.).
24. Chandra G., Nautiyal R., Chandra H. (Eds.) *Statistical Methods and Application in Forestry and Environmental Sciences*. Springer Singapore, 2020. doi: <https://doi.org/10.1007/978-981-15-1476-0>.
25. Ermakova M.V. Formation of structural and functional organization of mixed natural-artificial young stands of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in conditions of berry pine forests of the Middle Urals. *Lesotekhnicheskii zhurnal = Forestry Engineering Journal*, 2023; Vol.13, 2(50):43-58. doi: 10.34220/issn.2222-7962/2023.2/3 (in Russ.).
26. Karaseva M.A., Mukhortov D.I., Lezhnin K.T. Variability of growth indicators of seed progeny of Siberian stone pine of local reproduction in the Mari Volga region. *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Seriya «Les. Ekologiya. Prirodopolzovanie» = Bulletin of the Volga State Technological University. Series "Forest. Ecology. Nature Management"*, 2023; 1(57):73-87. doi: 10.25686/2306-2827.2023.1.73 (in Russ.).
27. Pravila lesovosstanovleniya... ot 29 dekabrya 2021 g. № 1024 [Reforestation rules... dated December 29, 2021 No. 1024]. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/74983471/> (accessed: 18.12.2022) (in Russ.).

Сведения об авторах

✉ *Ермакова Мария Викторовна* – доктор с.-х. наук, вед. научный сотрудник, ФГБУН «Ботанический сад УрО РАН», ул. 8 Марта, 202а г. Екатеринбург, Российская Федерация, 620144, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9894-6587>, e-mail: M58_07E@mail.ru.

Information about the authors

✉ *Mariya V. Ermakova* – Dr. Sci. (Agric.), Leading researcher of Russian Academy of Sciences, Ural Branch: Institute Botanic Garden, Ekaterinburg, Russian Federation, 394087, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9894-6587>, e-mail: M58_07E@mail.ru.