

Оригинальная статья

DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2024.2/3>

УДК 630*228.82:630*231:630*524



Структурно-функциональная организация естественных молодняков сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) на 9-летней вырубке сосняка брусничникового Среднего Урала

Мария В. Ермакова, M58_07E@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9894-6587>

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

Изучение особенностей формирования структурно-функциональной организации молодых древостоев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в настоящее время, является одной из самых актуальных задач. Исследована структура естественного возобновления сосны на вырубке 9-летней давности в типе леса сосняк брусничниковый Среднего Урала. Закладка пробной площади, отбор модельных деревьев, образцов для определения базисной плотности древесины, распределение деревьев по ранговым классам и оценка изменчивости биометрических показателей проводилось по соответствующим методикам. У модельных деревьев измерялись диаметры ствола в коре и без коры на 0,1, 0,2...0,9 относительных высотах ствола и высота ствола. Определение объема ствола в коре и без коры у модельных деревьев сосны проводилось по простой и сложной формулам Губера. Установлено, на 9-й год после окончания вырубки леса на участке в типе леса сосняк брусничниковый структура подроста, в основном, была схожей со структурой подроста сосны, ранее установленной для сосняка ягодникового и сосняка разнотравного. Процесс естественного возобновления сосны на вырубке сосняка брусничникового продолжался в течение нескольких лет. Деревья сосны на 9-летней вырубке сосняка брусничникового по биологическому возрасту находятся в диапазоне 3-8 лет. Установлен очень высокий уровень изменчивости биометрических показателей и объема ствола в коре у деревьев сосны подроста. Характер распределения биометрических показателей, в основном, значительно отличался от параметров нормального распределения. Распределение по классам высоты, кроме того, позволило значительно снизить уровень изменчивости диаметров, высоты объема ствола в коре. Анализ модельных деревьев, выявил, что расхождения между объемом ствола как в коре, так и без коры определенные по сложной формуле и формуле срединного сечения Губера практически, не превышает $\pm 5,0\%$. Однако процент расхождения, постепенно увеличивается с уменьшением густоты подроста. Анализ показал, что у деревьев подроста сосны, со снижением густоты значительно возрастает содержание коры. В очень густом подросте содержание коры составляет примерно 1/12 от общего объема ствола в коре. Там, где подрост встречается единично (классификация подроста - практически отсутствует) объем коры достигает порядка 1/3 от общего объема ствола в коре. Большая часть запасов древесины как в коре, так и без коры приходится на деревья очень густого подроста. Изучение базисной плотности древесины показало, что величина этого показателя плавно и постепенно уменьшается от основания к верхней части ствола дерева. Независимо от густоты подроста, величина базисной плотности и характер ее изменения по относительным высотам ствола, были практически одинаковыми во всех вариантах густоты подроста.

Ключевые слова: сосна обыкновенная, естественный молодняк, запас древесины, кора

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. 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). – С. 36–53. – Библиогр.: с. 50–53 (24 назв.). – DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2024.2/3>.

Поступила 19.03.2024. *Пересмотрена* 28.03.2024. *Принята* 30.03.2024. *Опубликована онлайн* 17.06.2024.

Article

Structural and functional organization in natural young stand of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in the 9-aged cuttings of *Pinetum vacciniosum* located on the Middle Ural

Maria V. Ermakova ✉, M58_07E@mail.ru,  <https://orcid.org/0000-0002-9894-6587>

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

Abstract

The study of structural and functional organization of young pine stands is one of the pressing problems of modern forestry. The spatial pattern of pine stands naturally recovering 9 years after clear-cutting in the lingonberry pine forest type at the Middle Urals was studied. The establishing a trial plot, selecting model trees, determination basic wood density, assessing trees ranking and analyzing the variability of biometric indicators were fulfilled using appropriate methods. For model trees, trunk height as well as diameter of trunk in bark and without bark were measured at 0.1, 0.2...0.9 of relative heights. Trunk volumes of model pine trees were calculated using the simple and complex Huber formula. It was established that 9 years after clear-cutting the structure of the pine young growth in the lingonberry pine forest was similar to the spatial pattern previously established for pine young growth in the berry pine forest and the mixed-grass pine forest. Natural regeneration of pine trees at the felled areas in lingonberry pine forests continued for several years. Pine trees at the felled areas were at the age of 3-8 years. A very high level of variability in biometric parameters and trunk volumes in the bark of young pine trees has been established. In general, the distribution of biometric indicators was significantly different from normal. Ranking trees according to height classes made it possible to significantly reduce the level of variability in the diameter, height, and volume of the trunk in the bark. Analysis of model trees revealed that the discrepancies between trunk volume values in the bark and without the bark, determined by the complex Huber formula and the Huber median section formula, did not exceed $\pm 5.0\%$. However, the percentage of discrepancy increases gradually with decreasing density of young growth. In young pine trees the bark content increases significantly with a decrease in density of young growth. In very dense young growth, the bark content is approximately 1/12 of the total trunk volume. In areas with practically no undergrowth, the volume of the bark reaches almost 1/3 of the total trunk volume. It has been established that most of the wood reserves, in tree trunks both with bark and without bark, are found in very dense young growth. Basic density of the wood gradually decreased from the base to the top of the tree trunk. The values of the basic density of the wood and the nature of its change according to the relative heights of the trunk were the practically same in all variants of young growth density.

Keywords: *Scots pine, natural forest growth, wood supply, bark*

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. (2024). Structural and functional organization in natural young stand of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in the 9-aged cuttings of *Pinetum vacciniosum* located on the Middle Ural. *Lesotekhnicheskii zhurnal* [Forestry Engineering journal], Vol. 14, No. 2 (54), pp. 36-53 (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2024.2/3>.

Received 19.03.2024. *Revised* 28.03.2024. *Accepted* 30.03.2024. *Published online* 17.06.2024.

Введение

Изучение воздействия разнообразных биотических и абиотических факторов, в том числе, связанное с изменениями климата, требует развития и совершенствования методологии изучения изменений лесной растительности.

Вследствие этого, вопросы, связанные с исследованием различных особенностей восстановления древесной растительности на обезлесенных территориях, могут рассматриваться как одни из наиболее актуальных.

Причины уничтожения лесной растительности могут быть самые разнообразные – пожары, вырубка и т.д. Это определяет необходимость проведения комплексных исследований динамики первоначальных этапов формирования структуры и фитомассы древесной растительности на территориях, лишившихся лесной растительности в силу разнообразных причин [1, 2].

Однако необходимо отметить, что изучение динамики формирования структурно-функциональной организации древесной растительности и динамики ее фитомассы на первоначальных этапах усложнено по ряду причин. Основным способом восстановления сосняков Среднего Урала к настоящему времени, с учетом лесорастительных условий, является естественное лесовосстановление. Так, количественные показатели естественного возобновления для различных лесорастительных условий изучены достаточно подробно [3-9]. Исследования по этому вопросу проводились на высоком уровне в течение нескольких десятилетий. В тоже время, необходимо сказать, что данные о количественных показателях, это только один параметров оценки эффективности лесовосстановления на обезлесенных территориях. В свою очередь, вопросы, связанные, со структурой и запасом фитомассы молодых древостоев на начальных этапах их формирования, исследованы значительно меньше, [1,2,10,11] поскольку,

ранее им, в силу определенных причин, практически не уделялось внимание.

Ранее, нами были исследованы и установлены особенности формирования структурно-функциональной организации естественных молодняков сосны в междурядьях лесных культур сосны в условиях сосняка ягодникового и сосняка разнотравного на вырубках Среднего Урала [10]. В продолжение этих исследований, было проведено, в том же районе, изучение основных направлений формирования структурно-функциональной организации естественных молодняков сосны на вырубке сосняка брусничникового с привлечением модельных деревьев. Выбор объекта обусловлен тем, что для условий Среднего Урала, сосняк брусничниковый является наиболее оптимальным типом леса для естественного возобновления сосны [12].

Изучение структурно-функциональной организации естественных молодняков и исследование модельных деревьев позволит более тщательно оценить возможности использования наиболее простого метода определения объема древесины в коре, установить объемы древесины без коры и определить содержание коры, полндревесности стволов и параметров базисной плотности древесины для маломерных деревьев. Это несомненно является актуальной задачей, которая позволит получить новые данные о параметрах и динамике естественного восстановления древесной растительности на обезлесенных территориях в условиях Среднего Урала.

Материалы и методы

Цель исследования – изучить особенности структурно-функциональной организации сосняка брусничникового, на основе анализа модельных деревьев определить объемы стволовой древесины в коре и без коры, установить долю коры в общем объеме ствола в коре, изучить показатели базисной плотности древесины ствола.

Объект исследований – естественный молодняк сосны обыкновенной на вырубке в типе леса сосняк брусничниковый (С бр.) Зауральской холмисто-предгорной провинции южнотаежного округа Средне-Уральского таежного лесорастительного района [12]. Вырубка леса на площади (площадь вырубки более 15 га) проводилась за 9 лет до проведения исследований.

Исследования на пробной площади (ПП) проводились на основании имеющихся требований [7, 8]. На ПП закладывались по трансекте участки размером 5х5 м (всего заложено 25 участков) на которых учитывались все имеющиеся деревья сосны. У каждого дерева измерялись диаметры на 0,1 и 0,5 высоты ствола ($D_{0,1H}$ и $D_{0,5H}$) и высота ($H_{ств.}$). Для установления возраста, у всех деревьев тщательно определялось число годичных побегов. Для уточнения возраста использовались также данные модельных деревьев [14].

Распределение деревьев по ранговым классам и оценка изменчивости биометрических показателей проводились по соответствующим методикам [15,16].

Для отбора модельных деревьев сосны на ПП были выделены отдельные участки (ОУ) с различной густотой подроста: 1. очень густой – больше 10 тыс. экз. на 1 га; 2. густой – 5-10 тыс. экз. на 1 га; 3. средней густоты – 3-5 тыс. экз. на 1га; 4. редкий – 1-3 тыс. экз. на 1 га и 5. - практически отсутствует – менее 1 тыс. экз. на 1га [13].

На каждом ОУ методом случайной выборки было отобрано по 50 экземпляров деревьев сосны. Сразу же после отбора у каждого деревца определялась высота ствола. Измерялись диаметры ствола в коре на 0,1, 0,2...0,9 относительных высотах ствола. После удаления коры снова измерялись диаметры на тех же отметках.

Для измерения диаметров использовался цифровой штангенциркуль ADA Mechanic 150 PRO A00380 с точностью измерения $\pm 0,03$ мм. Для измерения высоты и относительной высоты металлическая линейка с точностью измерения 0,1 мм.

Определение объема ствола в коре и без коры, проводилось по двум вариантам:

1) по сложной формуле Губера:

Объем ствола = $(\gamma_{0,1} + \gamma_{0,2} + \dots + \gamma_{0,9}) * L + V$ верш. (1),

где: $\gamma_{0,1}, \gamma_{0,2} \dots \gamma_{0,9}$ – площадь сечения ствола на середине каждого отрезка относительной высоты ствола; L – длина всех годичных побегов до вершинки; V верш. – объем вершинки.

2) по простой формуле Губера:

Объем ствола = $\gamma_{0,5H} * H$ ств. (2)

где: $\gamma_{0,5H}$ – площадь сечения ствола на середине высоты; H ств. – высота ствола.

Истинное видовое число – $\lambda_{0,1}$ для стволов в коре и без коры рассчитывалось по формуле Гогеналля.

Кроме того, у каждого дерева, отбирались образцы древесины на отметках 0,0; 0,1; 0,25; 0,5 и 0,75 высоты ствола. На образцах древесины проводилось определение базисной плотности древесины по методу максимальной влажности [17].

Сравнение средних проводилось с помощью t-критерия Стьюдента и LSD-теста. Полученные данные обрабатывались с помощью пакета программ Excel и STATISTICA 10 [18].

Результаты

Анализ полученных данных показал, что, среднее количество подроста на ПП вырубки сосняка брусничникового составило в среднем 13,8 тыс. экз. на 1 га. В целом, на 9-й год после вырубки леса, таксационные характеристики подроста сосны (табл. 1) демонстрировали очень высокий уровень изменчивости биометрических показателей. Характер распределения биометрических показателей, в большинстве случаев, значительно отличался от параметров нормального распределения (в соответствии с показателями асимметрии и эксцесса с учетом их ошибок), что свидетельствует об интенсивном процессе дифференциации деревьев в формирующемся молодом древостое. Соответственно, что результате этого наблюдается и крайне высокая изменчивость и по объему ствола.

Биометрические характеристики подроста сосны на вырубке сосняка брусничникового

Table 1

Biometric characteristics of pine undergrowth in the clearing of a cowberry pine forest

Статистики / Statistics	Показатель / Index			
	Д _{0,1Н} , см / D _{0,1Н} , cm	Д _{0,5Н} , см / D _{0,5Н} , cm	Н _{ств.} , см / H _{stem} , cm	Объем ств., см ³ / Trunk volume, cm ³
M ± m	0,6 ± 0,06	0,4 ± 0,04	0,6 ± 0,06	0,6 ± 0,06
min-max	0,3-1,6	0,1-1,00	6,0-81,0	0,04-63,9
V, %	61,42	58,04	61,80	150,68
As	1,177	0,873	0,658	1,849
Ex	0,513	-0,755	-0,722	2,554

Примечание. M ± m – среднее и ошибка среднего; min-max – минимальная и максимальная величина параметра; V, % - коэффициент вариации; As – асимметрия (m_{ax} – ошибка асимметрии = 0,3699); Ex -эксцесс (m_{ex} – ошибка эксцесса = 0,7244)

Источник: собственные вычисления автора

Source: own calculations

Такие уровни вариабельности по биометрическим характеристикам и объему ствола можно объяснить, в определенной степени, генотипическими и ценоотическими факторами формирования подроста.

Не менее важным фактором, на наш взгляд, является возрастная структура подроста (рис. 1), что подтверждается также и другими литературными данными [19-24].

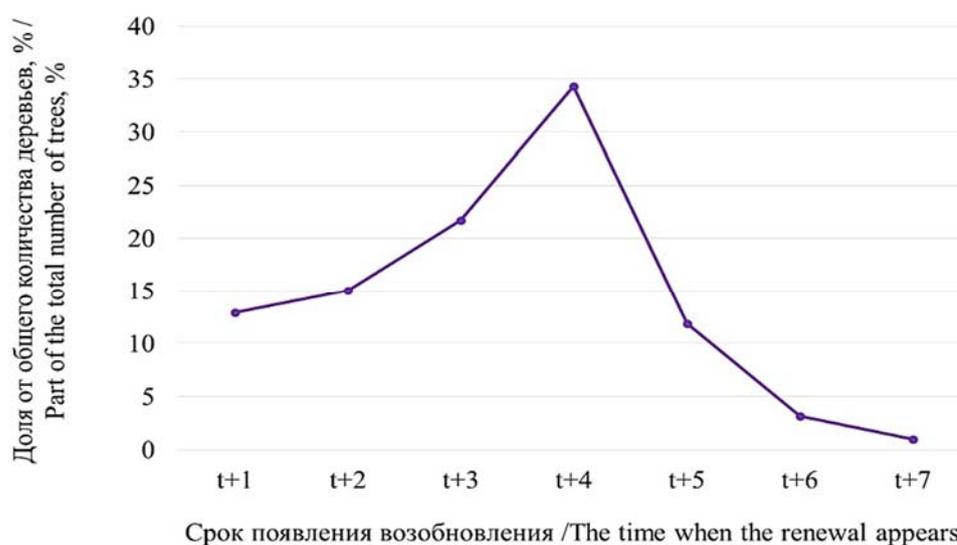


Рисунок 1. Возрастная структура подроста сосны на вырубке сосняка брусничникового (t – год прекращения рубки; t+1 – деревья подроста, из всходов, появившихся через 1 год после прекращения рубки и т.д.)

Figure 1. Age structure of pine undergrowth on cutting down of cowberry pine forest (t – year of cessation of felling; t+1 – trees of undergrowth, from sprouting appeared 1 year after cessation of felling etc.)

Источник: собственные вычисления автора

Source: own calculations

Появление всходов, из которых сформировались деревья подроста, наблюдалось с первого года после прекращения рубки и продолжалось в течение 7-и лет. Таким образом, разница в возрасте, между деревьями подроста из всходов, появившихся в первый год и деревьями, появившимися в конце процесса заселения, составляет 5-6 лет. Однако, следует заметить, что большая часть подроста сформировалась из всходов проявившихся на 3-й и, в особенности на 4-год, после прекращения рубки (разница в возрасте с деревьями, появившимися в первый год, после прекращения рубки составляет 2-3 года).

Именно, такая разница в возрасте между деревьями подроста и обуславливает очень высокую изменчивость биометрических показателей и объема стволов.

Вследствие возрастной составляющей, распределение деревьев по ранговым классам высоты, демонстрирует довольно высокую амплитуду редукционных чисел – 2,132. Соответственно, и распределение деревьев подроста по ранговым классам высоты, в целом, не соответствует характеру нормального распределения, которое, например, наблюдается в схожих по возрасту лесных культурах [10].

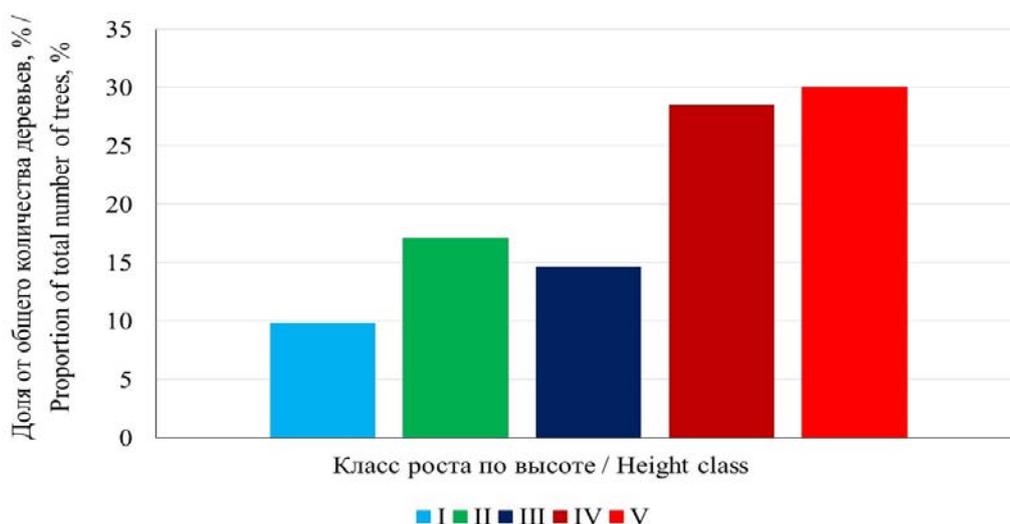


Рисунок 2. Распределение деревьев в молодняках сосны на вырубках (I...V – ранговые классы по высоте ствола)

Figure 2. Distribution of trees in young pine forests in clearings (I...V - rank classes according to the height of the trunk)

Источник: собственные вычисления автора
Source: own calculations

Как показал, анализ полученных данных (рис. 3), деревья сосны в разных ранговых классах значительно различаются (при $p \leq 0,05$) как по средней высоте ствола, так и по средней величине диаметров на 0,1 и 0,5 высоты ствола и объема ствола (рис. 3).

Распределение по классам высоты, кроме того, позволило значительно снизить уровень изменчивости диаметров и высоты – с очень высокого

до среднего и повышенного (рис. 4). По величине объема ствола также в некоторых классах (I и IV-м) отмечалось снижение уровня изменчивости с очень высокого до среднего и повышенного. В свою очередь, хотя в других классах высоты (II, III и V-м), уровень изменчивости оставался очень высоким, но все же, величина коэфф ициента вариации оказалась значительно ниже, чем в целом по подросту.

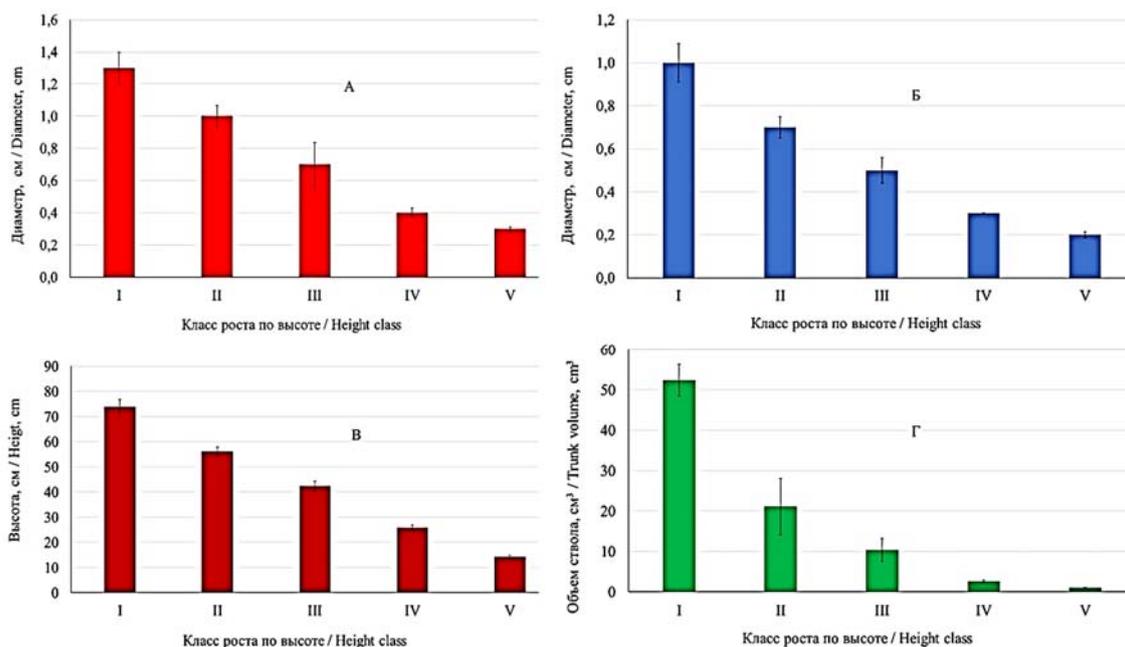


Рисунок 3. Биометрические характеристики деревьев сосны в молодняках на момент учета (А – $D_{0,1H}$; Б- $D_{0,5H}$; В – высота ствола; Г – объем ствола)

Figure 3. Biometric characteristics of pine trees in young stands at the time of registration (A – $D_{0,1H}$; Б - $D_{0,5H}$; В – height; Г - trunk volume)

Источник: собственные вычисления автора
Source: own calculations

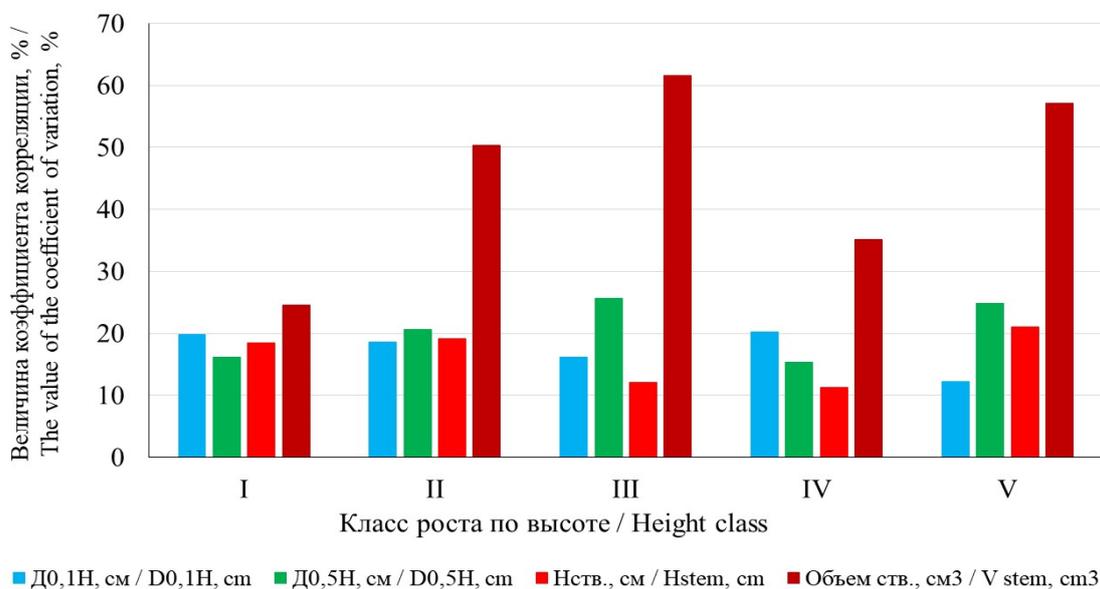


Рисунок 4. Величина коэффициента вариации по показателям (A – $D_{0,1H}$; Б- $D_{0,5H}$; В – высота ствола; Г – объем ствола)

Figure 4. The value of the coefficient of variation for indicators (A – $D_{0,1H}$; Б - $D_{0,5H}$; В – height; Г - trunk volume)

Источник: собственные вычисления автора
Source: own calculations

Полученные данные свидетельствуют о том, что процессы формирования подроста сосны на вырубке в типе леса сосняк брусничниковый имеют значительное сходство, с ранее рассмотренными, особенностями процесса формирования естественных молодняков в междурядьях лесных культур на

вырубках в типах леса сосняк ягодниковый и сосняк разнотравный, а также в других лесорастительных условиях [10, 23, 24].

Параметры отобранных модельных деревьев сосны представлены в табл. 2.

Таблица 2

Характеристики места отбора и параметры модельных деревьев

Table 2

Characteristics of the sampling site and parameters of model trees

Классификация подроста / Classification of forest undergrowth	Расстояние от стены леса, м / Distance from the forest wall, m	Густота подроста, экз. на 1 га / Density of undergrowth, copies on 1 hectare	Возраст деревьев, лет (мин.-макс.) / Age of trees, years (min.-max.)	Показатель, мин.-макс. / Index, min-max		
				Д _{0,1Н} , см / D _{0,1Н} , cm	Д _{0,5Н} , см / D _{0,5Н} , cm	Н _{ств.} , см / H _{stem} , cm
Очень густой / Very thick	5-55	18500	5-8	0,60-0,63	0,36-0,41	53-71
Густой / Thick	55-75	10055	5-7	0,35-0,58	0,23-0,43	39-56
Средней густоты / Medium thickness	75-110	7200	5-6	0,26+0,58	0,18-0,32	24-56
Редкий / Sparse stand	110-150	1780	4-5	0,22-0,38	0,14-0,23	19-36
Практически отсутствует / Practically absent	150-200	545	3-4	0,22-0,32	0,14-0,21	14-30

Источник: собственные вычисления автора
Source: own calculations

Следует отметить, что в очень густом подросте, недалеко от стены леса, встречались самые большие по высоте и возрасту деревья сосны. Напротив, в значительном отдалении от стены леса, в условиях практически полного отсутствия подроста отмечались наиболее молодые деревца небольшой высоты.

Результаты, полученные при анализе данных модельных деревьев, показали, что между объемом ствола как в коре, так и без коры, определенные по сложной формуле и формуле срединного сечения Губера характеризуются очень сильной корреляционной связью (табл. 3).

Различие в величинах объема ствола как в коре, так и без коры, определенных по сложной фор-

муле и по формуле срединного сечения Губера является незначительным и, практически, не превышает $\pm 5,0$ %. Однако, обращает на себя внимание, что процент расхождения, постепенно увеличивается с уменьшением густоты подроста (табл. 3). Также установлена сильная линейная связь между объемом ствола без коры и в коре как при определении объема по сложной формуле, так и по формуле срединного сечения (табл. 4).

Несмотря на сильную связь во всех случаях, необходимо отметить, что величина коэффициента корреляции, в данном случае, постепенно уменьшается при снижении густоты подроста.

Показатели связи между объемом ствола, определенным, по сложной и простой формуле Губера
(при $p \leq 0,05$)

Indicators of the relationship between trunk volume determined using the complex and simple Huber formula
(at $p \leq 0,05$)

Классификация подроста / Classification of forest undergrowth	Уравнение связи / The equation of connection	R (Коэффициент корреляции / Correlation co- efficient)	Расхождение по рассчитанным объемам ствола, % / Discrepancy in calculated volumes of trunk, %
Объем ствола в коре / Trunk volume in bark			
Очень густой / Very thick	$y = -0,0746 + 1,1204x$	0,998	$\pm 1,3$
Густой / Thick	$y = -0,0646 + 1,0235x$	0,998	$\pm 3,1$
Средней густоты / Medium thickness	$y = -0,0223 + 1,1022x$	0,996	$\pm 3,7$
Редкий / Sparse stand	$y = -0,0464 + 1,0477x$	0,995	$\pm 4,6$
Практически отсутствует / Practically absent	$y = 0,0146 + 0,9793x$	0,951	$\pm 5,1$
Объем ствола без коры / Trunk volume without bark			
Очень густой / Very thick	$y = -0,0443 + 1,0403x$	0,992	$\pm 0,4$
Густой / Thick	$y = -0,0407 + 1,0227x$	0,991	$\pm 4,6$
Средней густоты / Medium thickness	$y = 0,0228 + 0,9881x$	0,989	$\pm 4,7$
Редкий / Sparse stand	$y = -0,0054 + 0,9993x$	0,980	$\pm 5,1$
Практически отсутствует / Practically absent	$y = 0,0158 + 0,9791x$	0,976	$\pm 5,2$

Примечание: y – объем ствола, рассчитанный по формуле срединного сечения (простая формула Губера);
 x – объем ствола, рассчитанный по сложной формуле Губера.

Источник: собственные вычисления автора

Source: own calculations

Показатели связи между объемом ствола в коре и без коры (при $p \leq 0,05$)

Table 4

Indicators of the relationship between the volume of the trunk in the bark and without the bark (at $p \leq 0,05$)

Классификация подроста / Classification of forest undergrowth	Уравнение связи / The equation of connection	R (Коэффициент корреляции / Correlation coefficient)
По сложной формуле Губера / According to Huber's complex formula		
Очень густой / Very thick	$y = -0,0643 + 0,8703x$	0,980
Густой / Thick	$y = -0,0492 + 0,8524x$	0,978
Средней густоты / Medium thickness	$y = -0,0195 + 0,8056x$	0,976
Редкий / Sparse stand	$y = -0,0121 + 0,7712x$	0,960
Практически отсутствует / Practically absent	$y = -0,0103 + 0,7266x$	0,951
По формуле срединного сечения Губера / According to Huber's median section formula		
Очень густой / Very thick	$y = 0,0943 + 0,8703x$	0,972
Густой / Thick	$y = 0,0915 + 0,8719x$	0,968
Средней густоты / Medium thickness	$y = 0,0027 + 0,7964x$	0,963
Редкий / Sparse stand	$y = -0,0173 + 0,7703x$	0,956
Практически отсутствует / Practically absent	$y = 0,0074 + 0,7084x$	0,951

Примечание. y – объем ствола без коры; x – объем ствола в коре, см^3 ;

Источник: собственные вычисления автора

Source: own calculations

Анализ истинных видовых чисел – $\lambda_{0,1}$, которые можно рассматривать как, своего рода, показатель полндревесности ствола, показал (рис. 5), что в условиях очень густого подроста отмечаются достоверно самые низкие значения этого показателя. Таким образом, в условиях очень густого подроста наблюдается самая низкая полндревесность стволов деревьев по сравнению с деревьями других вариантов густоты. В условиях практически отсутствия подроста для стволов деревьев, как в коре, так и без коры, наблюдаются, напротив, достоверно самые высокие показатели $\lambda_{0,1}$ по сравнению со всеми остальными вариантами густоты подроста, т.е.

очень редко расположенные деревья подроста демонстрируют наибольшую полндревесность среди всех вариантов. Для густого, средней густоты и редкого подроста не выявлено значительных различий в величине $\lambda_{0,1}$ стволов деревьев как в коре, так и без коры, но четко просматривается тенденция возрастания этого показателя с уменьшением густоты подроста. Подобное изменение величины $\lambda_{0,1}$ стволов деревьев как в коре, так и без коры при очень высокой густоте подроста, вероятно, связано с усиленным ростом в высоту такой светолюбивой древесной породы, как сосна.

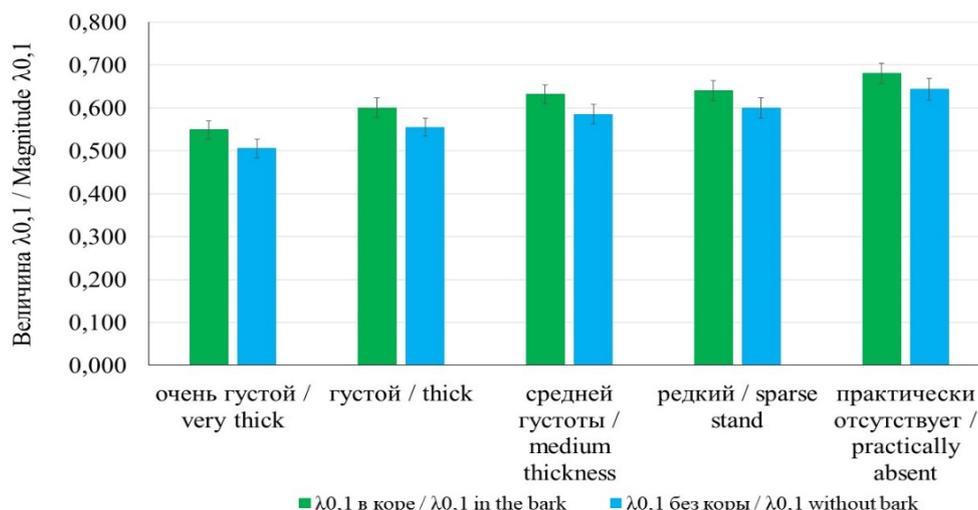


Рисунок 5. Показатели истинных видовых чисел у модельных деревьев при разной густоте подроста

Figure 5. Indicators of true species numbers in model trees at different densities of undergrowth

Источник: собственные вычисления автора

Source: own calculations

Установлено, что у деревьев подроста сосны со снижением густоты значительно (при $p \leq 0,05$) возрастает содержание коры (рис. 6). Это вполне объясняется, как дополнительное формирование защитного покрытия стволиков деревьев при ухудшении ценологических условий произрастания при снижении густоты подроста. У деревьев сосны в очень

густом подросте содержание коры составляет примерно 1/12 от общего объема ствола в коре. В свою очередь, у отдельно стоящих деревьев (категория – подрост практически отсутствует), объем коры достигает практически 1/3 от общего объема ствола в коре.

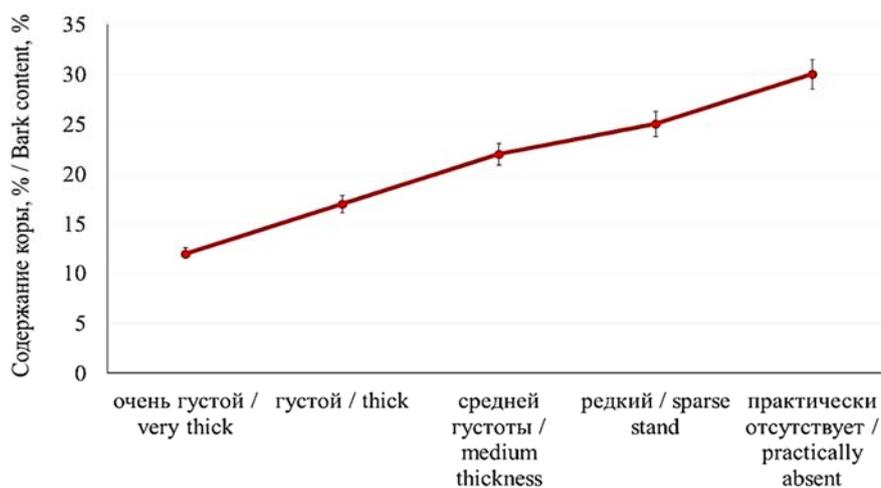


Рисунок 6. Изменение содержания коры у деревьев сосны при изменении густоты подроста

Figure 6. Changes in the bark content of pine trees with changes in the density of undergrowth

Источник: собственные вычисления автора

Source: own calculations

В качестве примера, на основании полученных данных нами были рассчитаны (в расчете на 1 га) запасы древесины и коры для всей совокупности деревьев подроста на ПП (табл. 5). Как видно из данных табл. 5, большая часть запасов древесины как в коре, так и без коры продуцируется деревьями

очень густого подроста, несмотря на самую низкую полндревесность стволов среди деревьев всех категорий густоты. Также большая часть запаса коры отмечена для этой категории подроста, хотя как было сказано ранее, здесь наблюдается самый низкий процент содержания коры.

Таблица 5

Запасы древесины ствола в коре и коры деревьев сосны на ПП, см³

Table 5

Trunk wood reserves in the bark and bark of pine trees

Классификация подроста / Classification of forest undergrowth	Содержание коры в среднем / Bark content is average	Запас древесины, см ³ / Wood stock, cm ³		
		стволов в коре / trunks in the bark	стволов без коры / trunks without bark	коры / bark
Очень густой / Very thick	12	9597	8445	1152
Густой / Thick	17	6366	5284	1082
Средней густоты / Medium thickness	21	3846	3038	808
Редкий / Sparse stand	25	3936	2052	984
Практически отсутствует / Practically absent	30	2469	1728	741
Всего / Total	18	26214	21447	4767

Источник: собственные вычисления автора
Source: own calculations

Кроме того, проведенное исследование величины базисной плотности древесины показало, что во всех случаях, величина этого показателя плавно и постепенно уменьшается от основания к верхней части ствола дерева (рис. 7).

Обращает на себя внимание, что независимо от густоты подроста, величина базисной плотности и характер ее изменения по относительным высотам

ствола, были практически идентичными во всех вариантах густоты подроста. По всей видимости, величина базисной плотности древесины деревьев подроста, в первую очередь, определяется генотипическими особенностями популяции, являющейся источником естественного возобновления и, только отчасти, в небольшой степени, ценотическими условиями произрастания.

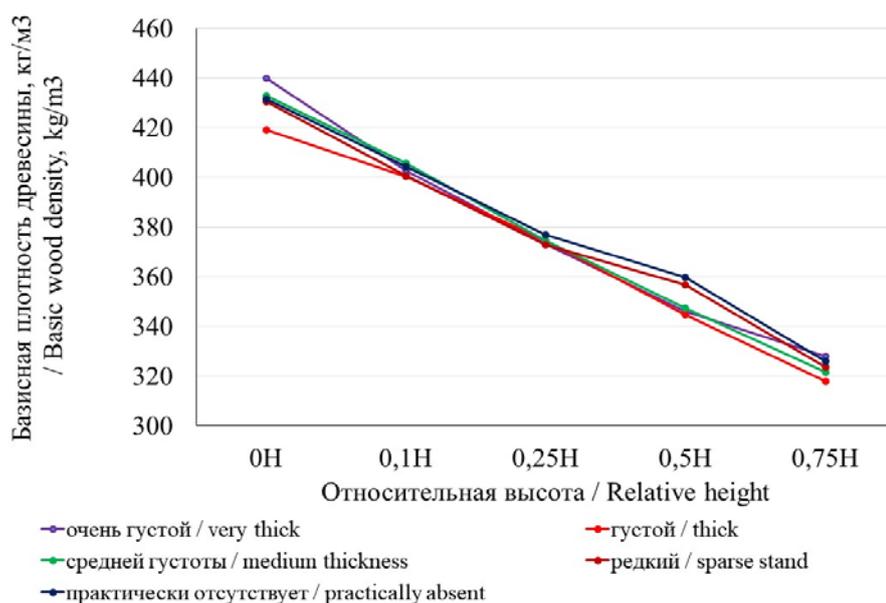


Рисунок 7. Изменение величины базисной плотности древесины деревьев сосны при различной густоте подростa

Figure 7. Changes in the value of the basic wood density of pine trees at different densities of undergrowth

Источник: собственные вычисления автора

Source: own calculations

Обсуждение

По нашему мнению, удалось во многом решить задачи, поставленные в нашей работе. Однако, до настоящего времени, остается еще очень много вопросов, связанных с таксацией маломерных деревьев, особенно на начальных этапах лесовозобновления. Следует отметить что наиболее важные исследования таксации молодняков (Поликарпов, 1962; Шастин, 1970; Моисеев, 1971:) в первую очередь затрагивали методические вопросы проведения таксационных исследований в целях повышения точности определения количественных показателей подростa и его биометрических показателей, установления его состава. Что касается, более подробного изучения структуры молодняков, то следует упомянуть исследования Е.П. Маслакова (1984) и В.М. Соловьева (2001), в которых более подробно рассмотрены и определены основные методические подходы именно к изучению структуры молодняков сосны. Однако, в данных исследованиях при изучении естественных молодняков сосны практически не рассматривается весьма важный, на наш взгляд, вопрос возрастной структуры подростa сосны.

Соответственно, по-прежнему, остается очень слабоизученным вопрос оценки фитомассы молодых древостоев, особенно на самых ранних этапах формирования, поскольку эта задача ранее практически не рассматривалась. В частности, в работе Н.П. Поликарпова (Формирование сосновых молодняков на концентрированных вырубках, 1962) автором целенаправленно исключен вопрос изучения объемов стволов в силу очень высокой вариабельности этого показателя.

Как один из моментов решения этой проблемы можно считать проведенное нами сравнительное изучение определения объемов стволов в коре и без коры по сложной и простой формуле Губера. Сравнительный анализ показал, что расхождение в данном случае не превышает 5 %, т.е. простая формула срединного сечения, как наиболее технически простой способ определения объема ствола вполне подходит для работы с маломерными деревьями. Кроме того, установленная нами связь между густотой подростa сосны и содержанием коры обуславливает необходимость более тщательного подхода при изучении накопления фитомассы древесной растительности на начальных этапах роста и

развития. Рассмотренная в данной работе, методика изучения структурно-функциональной организации молодых древостоев на ранних этапах формирования, в существенной степени, носит региональный характер, определяемый лесорастительными условиями региона, и пока не адаптирована к иным лесорастительным условиям. Особенно важно, на наш взгляд, в дальнейшем разработать обобщенные таксационные методики исследования маломерных деревьев и оценки структурно-функциональной оценки молодых, формирующихся древостоев.

Выводы

1. На 9-й год после вырубki леса в типе леса сосняк брусничниковый, биометрические показатели и объем ствола в коре у деревьев подростa сосны отличаются очень высоким уровнем изменчивости. Распределение биометрических показателей и объема ствола в коре, в большинстве случаев, отличается от параметров нормального распределения. Разница в возрасте между деревьями подростa является причиной очень высокой изменчивости биометрических показателей и объема стволов. Формирование подростa сосны на вырубке в типе леса сосняк брусничниковый соответствует процессами формирования, ранее рассмотренных, естественных молодняков на вырубках в типах леса сосняк ягодниковый и сосняк разнотравный

2. Появление всходов сосны наблюдалось с первого года после прекращения рубки и продолжалось в течение 7-и лет. Самая большая часть деревьев подростa представлена возобновлением, проявившимся на 3-й и, в особенности на 4-год, после прекращения рубки.

Разница в возрасте, между деревьями подростa из всходов, появившихся в начале и появившихся, в конце процесса заселения, составляет 5-6 лет.

3. Распределение деревьев по ранговым классам высоты, демонстрирует довольно высокую амплитуду редуцированных чисел – 2,132. Распределение деревьев подростa по ранговым классам высоты, в целом, не соответствует параметрам нормального распределения. Деревья сосны в разных ранговых классах существенно различаются как по средней высоте ствола, так и по средней величине диаметров на 0,1 и 0,5 высоты ствола и объема ствола (Рис.3).

Распределение по классам высоты, значительно снижает уровень изменчивости диаметров и высоты ствола – с очень высокого до среднего и повышенного. По величине объема ствола наблюдается, в ряде случаев, снижение уровня изменчивости с очень высокого до среднего и повышенного. В остальном, уровень изменчивости по объему ствола остается очень высоким.

4. Установлено, что независимо от густоты подростa, у деревьев сосны существует очень сильная корреляционная связь между объемом ствола, как в коре, так и без коры, определенных по сложной формуле Губера и формуле срединного сечения Губера. Отклонения в величинах объема ствола как в коре, так и без коры определенными по сложной формуле и по формуле срединного сечения Губера постепенно увеличивается с уменьшением густоты подростa, но практически не превышает $\pm 5,0\%$. Установлена сильная линейная связь между объемом ствола без коры и в коре как при определении объема по сложной формуле Губера, так и по формуле срединного сечения Губера. Величина коэффициента корреляции, в данном случае, постепенно уменьшается при снижении густоты подростa.

5. В условиях очень густого подростa отмечаются достоверно самые низкие значения истинных видовых чисел – $\lambda_{0,1}$ как для стволов в коре, так и для стволов без коры.

В условиях очень густого подростa наблюдается самая низкая полндревесность стволов деревьев по сравнению с деревьями других вариантов густоты. В условиях практически отсутствия подростa для стволов деревьев, как в коре, так и без коры, отмечаются достоверно самые высокие показатели $\lambda_{0,1}$ и самая большая полндревесность стволов. по сравнению со всеми остальными вариантами густоты подростa.

Для густого, средней густоты и редкого подростa определена тенденция возрастания величины $\lambda_{0,1}$ стволов, как в коре, так и без коры, с уменьшением густоты подростa.

6. Снижение густоты подростa сопровождается существенным возрастанием содержания коры у стволов деревьев. У деревьев сосны в очень густом подросте содержание коры составляет примерно

1/12 от общего объема ствола в коре. В свою очередь, у отдельно стоящих деревьев (категория – подрост практически отсутствует) кора достигает почти 1/3 от общего объема ствола в коре.

7. Установлено, что независимо от густоты подроста, величина базисной плотности древесины

постепенно и плавно уменьшается от основания к верхней части ствола дерева. Абсолютные показатели величины базисной плотности древесины, для всех категорий густоты подроста, были практически одинаковым.

Список литературы

1. Дубенок Н. Н., Кузьмичев В. В., Лебедев А. В. Рост и продуктивность сосново-липовых культур в Лесной опытной даче Тимирязевской академии // Лесохозяйственная информация. 2021. № 1. С. 40-48. *Библиогр.*: с. 46-47 (17 назв.). DOI: <https://doi.org/10.24419/LHI.2304-3083.2021.1.03>.
2. 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 (1). 67: 21-35. DOI: <https://doi.org/10.17221/70/2020-JFS>.
3. Санникова Н. С., Санников С. Н., Кочубей А. А., Петрова И. В. Естественное возобновление сосны на гарях в лесостепи Западной Сибири // Сибирский лесной журнал. – 2019. – № 5. – С. 22-29. – *Библиогр.* С. 28-29 (16 назв.).
4. Древесная растительность на вырубках Тюменского Севера / К. Н. Башегуров, С. В. Залесов, К. В. Мельникова [и др.] // Международный научно-исследовательский журнал. – 2021. – Ч. 1. – № 6-3 (108). – С. 63-77. – *Библиогр.*: С. 126-127 (15 назв.). – DOI: 10.2367/IRJ.2022.116.2.020.
5. Башегуров К. Н., Залесов С. В., Морозов А. Е., Попов А. С. Накопление подроста сосны обыкновенной на вырубках в подзоне северной тайги // Международный научно-исследовательский журнал. – 2022. – № 2 (116). – С. 123-127. – *Библиогр.*: С. 126-127 (15 назв.). – DOI: 10.2367/IRJ.2022.116.2.020.
6. Sklodowski J. Two directions of regeneration of post-windthrow pine stands depend of composition of the undergrowth and the soil environment // Forest ecology and management. 2020. Vol. 461. DOI: 10.1016/j.foresco.2020.117950
7. Dlugosiewicz J., Zając S., Wysocka-Fijorek E. Evaluation of the natural and artificial regeneration of Scots pine *Pinus sylvestris* L. in the forest district Nowa Dęba // Forest Research Papers. – 2019. – Vol. 80(2): 105-106. DOI: 10.2478/frp-2019-0009.
8. Mostarin A., Barbeito I., Christer R., Nilsson U. Regeneration failure of Scots pine changes the species composition of young forests // Scandinavian Journal Of forest research, 2021, Vol. 37, Iss. 1, pp. 14-22. DOI: 10.1080/02827581.2021.2005133.
9. Данчева А. А., Залесов С. В., Лучкина Н. В., Коровина В. С. Естественное возобновление сосны в городских лесах города Тюмени (на примере экопарка «Затюменский») // Природообустройство. – 2021. – № 4. – С. 124-131. *Библиогр.*: С. 131 (12 назв.). - DOI: 10.26897/1997-6011-2022-4-124-131.
10. Ермакова, М. В. Формирование структурно-функциональной организации молодняков сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) смешанного естественного-искусственного происхождения в условиях сосняков ягодникового Среднего Урала / М. В. Ермакова // Лесотехнический журнал. – 2023. – Т. 13. – № 2 (50). – С. 43-58. – *Библиогр.*: С. 126-127 (15 назв.). – DOI: 10.34220/issn.2222-7962/2023.2/3.
11. Собачкин Д. С., Собачкин Р. С., Петренко А. Е. Особенности роста и продуктивности сосновых молодняков, сформированных из деревьев различного ценотического статуса // Сибирский лесной журнал. – 2022. – № 3. – С. 34–39. – *Библиогр.* С. 39 (8 назв.). DOI: 10.15372/SJF20220304.
12. 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; 27(1): 466. DOI: 10.46490/BF466.

13. 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.
14. Гаврилова, О. И. Оценка успешности самовозобновления сосны на гари / О. И. Гаврилова, Е. С. Колганов, К. А. Пак // Лесотехнический журнал. – 2020. – Т. 10. – № 4 (40). – С. 141–149. – Библиогр.: 147–149 (16 назв.). DOI: 10.34220/issn.2222-79621/2020.4/11.
15. Демаков Ю. П., Нуреева Т. В. Закономерности изменения рангового положения деревьев по их размерам в ценопопуляциях сосны обыкновенной // Лесоведение. – 2019. – № 4. – С. 274–285. – Библиогр.: 284–285 (53 назв.). DOI: 10.1134/S0024114819030021.
16. Карасева М. В., 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). – С. 73–87. – Библиогр.: 83–84 (23 назв.). – DOI: 10.25686/2306-2827.2023.1.73.
17. Shu Y. Zh., Haiqing R., Zehui J. Wood density and wood shrinkage in relation to initial spacing and tree growth in black spruce (*Picea mariana*) // Journal of wood science. 2021: 67-30. DOI: 10.1186/s10086-021-01965-9.
18. Усманов, Р. Р. Статистическая обработка данных агрономических исследований в программе «STATISTICA»: учеб.-метод. пособие / Р. Р. Усманов; РГАУ-МСХА. – Москва, 2020. – 177 с. – Библиогр.: 175–176 (17 назв.). DOI: 10/34677/2020.004.
19. Seed dispersal models for natural regeneration: A review and prospects / L. Moonil, L. Seonhu, L. Songhee, Yi. Koong [et al.] // Forests, 2022, 13(5): 659. DOI: 10.3390/f3050659.
20. Салтыков, А. И. Всплески естественного возобновления сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) и сосны крымской (*Pinus pallasiana* D. Don): синхронность и общие закономерности / А. И. Салтыков // Экосистемы. – 2021. – Вып. 27. – С. 23–35. – Библиогр.: с. 34 (27 назв.). – DOI: <https://doi.org/10.37279/2914-4738-2021-27-23-35>.
21. Astrat Z., Eid T., Gobbaken T., Negas M. Modelling and quantifying tree biometric prosperities of dry Afromontane forests of south-central Ethiopia // Trees. – 2020. – Vol. 34. – P. 1411–1426. – DOI: 10.1007/s00468-020-02012-8.
22. Данилов Д. А., Шестаков В. А., Шестакова Т. А., Эндерс О. О. Сукцессионные стадии восстановления древесной растительности на постагрогенных землях Ленинградской области // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2020. Вып. 233. С. 60–80. Библиогр.: 74-77 (25 назв.). DOI: 10.21266/2079-4304.2020.233.60-80.
23. Изменение густоты и видового состава подроста при разном удалении от «стен» леса на постагрогенных площадях / Д. А. Феклистов, М. В. Аверина, И. Н. Болотов [и др.] // Лесной журнал. – 2020. – № 1 (373). – С. 88–98. – Библиогр.: 95–97 (34 назв.). DOI: 10.37482/0536-1036-2020-1-88-98.
24. Гаврилова О. И., Грязькин А. В. Особенности самовозобновления сосны на гари // Лесной вестник. Forestry bulletin. – 2022. – Т. 26. – № 3. – С. 69–74. – Библиогр. 70–72 (26 назв.). DOI: 10.18698/2542-1468-2022-3-69-74.

References

1. Plintsev 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 (1). 67: 21-35. DOI: <https://doi.org/10.17221/70/2020-JFS>.
2. Dubenok N. N., Kuz'michev V. V., Lebedev A. V. *Rost i produktivnost' sosnovo-lipovykh kul'tur v Lesnoy opytnoy dache Timiryazevskoy akademii* [Growth and productivity of pine-linden crops in the Forest Experimental Dacha of the Timiryazev Academy] // Lesokhozyaystvennaya informatsiya [Forestry information]. 2021. № 1. pp. 40-48. DOI: 10.24419/LHI.2304-3083.2021.1.03 (In Russian).

3. Sannikova N. S., Sannikov S. N., Kochubei A. A., Petrova I. V. Estestvennoe vozobnovlenie sosny na garyah v lesostepi Zapadnoj Sibiri [Natural pine regeneration on burns in forest-steppe of Western Siberia] // Sibirskij lesnoj zhurnal [Siberian Forest Journal]. 2019. 5. pp. 22-29. DOI: 10.15372/SJFS20190503 (In Russian).
4. Bashegurov K. A., Zalesov S. V., Melnikova K. V. et al. Drevesnaya rastitel'nost' na vyрубkah Tyumenskogo Severa [Woody vegetation on the west Siberian north taiga lowland forest region // Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal [International Scientific Research Journal]. 2021. Iss. 3. 6-3(108). pp. 63-67. DOI: 10.2367/IRJ.2021.108.6.070 (In Russian).
5. Bashegurov K. A., Zalesov S. V., Morozov A. E., Popov A. S. Nakoplenie podrosta sosny obyknovЕННОj na vyрубkah v podzone severnoj tajgi [Accumulation of Scots pine undergrowth on cuttings in the subzone of the northern taiga] // [Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal International Scientific Research Journal]. 2022. № 2 (116). pp. 123-127. DOI: 10.2367/IRJ.2022.116.2.020 (In Russian).
6. Sklodowski J. Two directions of regeneration of post-windthrow pine stands depend of composition of the undergrowth and the soil environment // Forest ecology and management. - 2020. – Vol. 461. DOI: 10.1016/j.foresc.2020.117950.
7. Długosiewicz J., Zając S., Wysocka-Fijorek E. Evaluation of the natural and artificial regeneration of Scots pine *Pinus sylvestris* L. in the forest district Nowa Dęba. Forest Research Papers, 2019, Vol. 80(2): 105-106. DOI: 10.2478/frp-2019-0009.
8. Mostarin A., Barbeito I., Christer R., Nilsson U. Regeneration failure of Scots pine changes the species composition of young forests. Scandinavian Journal Of forest research, 2021, Vol. 37, Iss. 1, pp. 14-22. DOI: 10.1080/02827581.2021.2005133.
9. Dancheva A. V., Zalesov S. V., Luchkina N. V., Korovina V. S. Estestvennoe vozobnovlenie sosny v gorodskih lesah goroda Tyumeni (na primere ekoparka «Zatyumenskij [Natural renewal of pine in the urban forests of the city of Tyumen (on the example of the «Zatyumensky» Ecopark)]. Prirodoobustrojstvo [Environmental Engineering]. 2022. № 4. pp. 124-131. DOI:10.26897/1997-6011-2022-4-124-131 (In Russian).
10. Ermakova M. V. Formirovanie strukturno-funkcional'noj organizacii molodnyakov sosny obyknovЕННОj (*Pinus sylvestris* L.) smeshannogo estestvennogo-iskusstvennogo proiskhozhdeniya v usloviyah sosnyakov yagodnikovogo Srednego Urala [Formation of the structural and functional organization of young stands of scotch pine (*Pinus sylvestris* L.) of mixed artificial and natural origin in the condition of berry pine forests of and forb pine forests of the Middle Urals // Lesotekhnicheskij zhurnal [Forestry Engineering Journal]. 2023. Vol. 2. № 2(50). pp. 43-58. DOI: 10.34220/issn.2222-7962/2023.2/3 (In Russian).
11. Sobachkin D. S., Sobachkin R. S., Petrenko A. E. Osobennosti rosta i produktivnosti sosnykh molodnyakov, sformirovannykh iz derev'ev raznogo cenoticheskogo statusa [The specifics of growth and productivity of young pine stands, formed of the trees of different cenotic position]. Sibirskij lesnoj zhurnal [Siberian Forest Journal]. 2022. № 3. pp. 34-39. DOI: 10.15372/2/SJFS202203045 (In Russian).
12. 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. pp. 466. DOI: 10.46490/BF466.
13. Metodika polevykh rabot po taksacii lesa na postoyannykh probnykh ploshchadyah v ramkah realizacii innovacionnogo proekta gosudarstvennogo znacheniya «Uglerod v ekosistemah: monitoring». Konsorcium № 4. Versiya 1.0. [Methodology for field work on forest taxation on permanent trial plots as part of the implementation of an innovative project of national importance “Carbon in ecosystems: monitoring.” Consortium No. 4. Version 1.0.] Moskow. 2023. 32 p. (In Russian).
14. Gavrilova O. I., Kolganov E. S., Pak K. A. Ocenka uspešnosti samovozobnovleniya sosny na gari [Evaluation of success of pine self-renewal forests on burnt-out areas]. Lesotekhnicheskij zhurnal [Forestry Engineering Journal]. 2020. Vol. 10. 4(40). pp. 142-149. DOI: 10.34220/issn.2222-7962/2020.4/11 (In Russian).

15. Demakov Yu. P., Nureeva T. V. *Zakonomernosti izmeneniya rangovogo polozheniya derevyev po ix razmeram v cenopopulyatsiyax sosny obyknovnoy* [Features of evolution of a tree size rank in coenopopulations of Scots pine // Lesovedenie [Forestry]. 2019. № 4: pp. 274-285. DOI: 10.1134/S0024114819030021 (In Russian).

16. Karaseva M. V., Muhortov D. I., Lezhnin K. T. *Izmenchivost' pokazatelej rosta semennogo potomstva sosny kedrovoj sibirskoj mestnoj reprodukcii v Marijskom Zavolzh'e* [Variability of growth indices of Siberian pine seed progeny of local reproduction in Mari-Trans-Volga region]. Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Seriya «Les. Ekologiya. Prirodopol'zovanie» [Vestnik of Volga State University of Technology. Seria: Forest. Ecology. Nature management. 2023. № 1(57). pp. 73-87. DOI: 10.25686/2306-2827.2023.1.73 (In Russian).

17. Shu Y. Zh., Haiqing R., Zehui J. Wood density and wood shrinkage in relation to initial spacing and tree growth in black spruce (*Picea mariana*). Journal of wood science. 2021: 67-30. DOI: 10.1186/s10086-021-01965-9

18. Usmanov R. R. *Statisticheskaya obrabotka dannyh agronomicheskikh issledovanij v programme «STATISTICA» Uchebno-metodicheskoe posobie* [Statistical processing of agronomic research data in the program «STATISTICA» Teaching aid]. RGAU-MSHA. Moscow, 2020. 177 p. DOI: 10/34677/2020.004.

19. Moonil L., Seonghu L., Songhee L., Koong Yi. [et al.]. Seed dispersal models for natural regeneration: A review and prospects. Forests, 2022, 13(5): 659. DOI: 10.3390/f3050659.

20. Saltykov A. I. *Vsplek estestvennogo vozobnovleniya sosny obyknovnoy (Pinus sylvestris L.) i sosny krymskoj (Pinus pallasiana D. Don): sinhronnost' i obshchaya zakonomernost'* [Surges of natural recovery of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) and Crimean pine (*Pinus pallasiana* D. Don): synchronicity and general patterns]. *Ekosistemy* [Ecosystems]. 2021, Iss. 27: pp. 23-35. (In Russian).

21. Astrat Z., Eid T., Gobbaken T., Negas M. Modelling and quantifying tree biometric prosperities of dry Afromontane forests of south-central Ethiopia. Trees. 2020. Vol. 34. pp. 1411-1426. DOI: 10.1007/s00468-020-02012-8.

22. Danilov D. A., Shestakov V. A., Shestakova T. A., Enders O. O. *Sukcessionnye stadii vosstanovleniya drevesnoj rastitel'nosti na postagrogennykh zemlyah Leningradskoj oblasti* [Successional stages of restoration of woody vegetation on postagrogenic lands of the Leningrad region]. Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotekhnicheskoy Akademii [News of the St. Petersburg Forestry Academy], 2020, is. 233, pp. 60–80. DOI: 10.21266/2079-4304.2020.233.60-80 (in Russian).

23. Feklistov D. A., Averina M. V., Bolotov I. N. et al. *Izmenenie gustoty i vidovogo sostava podrosta pri raznom udaleni ot «sten» lesa na postagrogennykh ploshchadyah* [Changes in density and species composition of undergrowth at different distances from the forest edges in postagrogenic areas]. Lesnoy zhurnal [Forest journal]. 2020. № 1(373). pp. 88-98. DOI: 10.37482/0536-1036-2020-1-88-98 (in Russian).

24. Gavrilova O. I., Gryaz'kin A. V. *Osobennosti samovozobnovleniya sosny na gari* [Pine self-regeneration in burnt forest area] // Lesnoj vestnik [Forestry bulletin]. 2022, Iss. 26, № 3, pp. 69-74. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-3-69-74 (In Russian).

Сведения об авторе

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

Information about the author

Maria V. Ermakova – Dr. Sci. (Agric.), Leading researcher of Russian Academy of Sciences, Ural Branch: Institute Botanic Garden, 202a, 8 Marta str., Ekaterinburg, 620144, Russian Federation, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9894-6587>, e-mail: M58_07E@mail.ru

✉ – Для контактов/Corresponding author