

Оригинальная статья

DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2023.2/3>

УДК 630*232 : 630*231 : 630*228



Формирование структурно-функциональной организации молодняков сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) смешанного искусственно-естественного происхождения в условиях сосняков ягодникового и разнотравного 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

Восстановление лесов, изучение процессов формирования их структуры и продуктивности в настоящее время является одной из самых актуальных задач. Изучены особенности формирования 12-летних лесных культур и сопутствующего естественного возобновления сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в условиях сосняка ягодникового и сосняка разнотравного Среднего Урала, на пробных площадях, заложенных в соответствии с имеющимися требованиями. У каждого дерева сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) измерялись диаметр на середине высоты, высота и рассчитывался объем ствола в коре. Ранговое распределение деревьев проводилось путем расчета их редуцированных чисел, определения амплитуды редуцированных чисел и последующего распределения на 5 основных классов. На 12-й год после посадки приживаемость в сосняке ягодниковом составила 47,0 %, а в сосняке разнотравном – 35,3 %. В сосняке ягодниковом, с учетом сопутствующего естественного возобновления сосны обыкновенной (*P. sylvestris* L.), происходит формирование сосняка искусственно-естественного происхождения, а в сосняке разнотравном формируется сосняк естественно-искусственного происхождения. Процесс естественного возобновления сосны обыкновенной (*P. sylvestris* L.) происходил в течение нескольких лет. Деревья сосны обыкновенной (*P. sylvestris* L.) естественного происхождения по биологическому возрасту на 2-7 лет моложе, чем деревья искусственного происхождения. Деревья сосны искусственного происхождения в сосняке ягодниковом значительно превосходят по средней величине диаметра на середине высоты, высоты и объему ствола такие же деревья в сосняке разнотравном. Деревья сосны естественного происхождения в сосняке ягодниковом достоверно превосходят по средней величине диаметра на середине высоты деревья в сосняке разнотравном, но существенно уступают им по средней высоте ствола и практически не различаются по среднему объему ствола дерева. Деревья искусственного происхождения по величине диаметра на середине высоты, высоте и объему ствола достоверно превосходят деревья естественного происхождения как в сосняке ягодниковом, так и в сосняке разнотравном. Распределение деревьев по диаметру и высоте в молодняках искусственного и естественного происхождения как в сосняке ягодниковом, так и в сосняке разнотравном отличаются распределением, близким к нормальному. Распределение деревьев искусственного и естественного происхождения в сосняке ягодниковом и сосняке разнотравном по объему ствола отличается левосторонней асимметрией и островершинностью. При распределении по ранговым классам высоты обеспечивается значительное снижение уровня изменчивости биометрических показателей. В естественных молодняках сохраняется очень высокий уровень изменчивости по объему ствола в коре. Как в искусственных, так и в естественных молодняках основной (86,3-97,5 %) запас древесины ствола в коре приходится на деревья I-III классов высоты. В сосняке разнотравном искусственные и естественные молодняки имели практически одинаковые величины

запаса, что подтверждает формирование молодняка сосны естественно-искусственного происхождения. В сосняке ягодниковом возобновление березы не представляет значительной конкуренции сосне.

Ключевые слова: *сосна обыкновенная, Pinus sylvestris L., естественные и искусственные молодые насаждения, запас древесины*

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. Формирование структурно-функциональной организации молодняков сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) смешанного искусственно-естественного происхождения в условиях сосняков ягодникового и разнотравного Среднего Урала / М. В. Ермакова // Лесотехнический журнал. – 2023. – Т. 13. – № 2 (50). – С. 43–58. – Библиогр.: с. 56–58 (21 назв.). – DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2023.2/3>.

Поступила 21.12.2022. *Пересмотрена* 02.07.2023. *Принята* 11.08.2023. *Опубликована онлайн* 18.09.2023.

Article

Formation of the structural and functional organization of young stands of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) of mixed artificial and natural origin in the conditions of berry pine forests of and forb pine forests of the Middle Urals

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, Russian Federation

Abstract

Restoration of forests, the study of the processes of formation of their structure and productivity, is currently one of the most urgent tasks. The features of the formation of 12-year-old forest plantations and the concomitant natural regeneration of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) were studied under the conditions of berry pine forest and forb pine forest of the Middle Urals, on trial plots established in accordance with the existing requirements. For each Scotch pine (*Pinus sylvestris* L.) tree, the diameter at the middle height and height were measured, and the volume of the trunk in the bark was calculated. The rank distribution of trees was carried out by calculating their reduction numbers, determining the amplitude of the reduction numbers and subsequent distribution into 5 main classes. In the 12th year after planting, the survival rate in the berry pine forest was 47.0%, and in the forb pine forest - 35.3%. In the berry pine forest, taking into account the concomitant natural regeneration of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.), a pine forest of artificial and natural origin is being formed, and in the forb pine forest, a pine forest of natural and artificial origin is being formed. The process of natural renewal of Scotch pine (*Pinus sylvestris* L.) took place over several years. Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) trees of natural origin are 2-7 years younger in biological age than trees of artificial origin. Pine trees of artificial origin in the berry pine forest significantly exceed the average diameter at the middle of the height, height and trunk volume of the same trees in the forb pine forest. Pine trees of natural origin in the berry pine forest are significantly superior in average diameter at the middle of the height to trees in the forb pine forest, but they are significantly inferior to them in the average trunk height and practically do not differ in the average volume of the tree trunk.

Trees of artificial origin in terms of diameter at the middle of the height, height and volume of the trunk significantly exceed trees of natural origin both in the berry pine forest and in the mixed grass pine forest. The distribution of trees by diameter and height in young forests of artificial and natural origin, both in the berry pine forest and in the forb pine forest, is characterized by a distribution close to normal. The distribution of trees of artificial and natural origin in the berry pine forest and the forb pine forest in terms of trunk volume is distinguished by left-sided asymmetry and sharpness. When distributed by rank height classes, a significant reduction in the level of variability of biometric indicators is provided. However, in natural young stands, a very high level of variability in stem volume in the bark remains. Both in artificial and natural young stands, the main (86.3-97.5%) stock of trunk wood in the bark falls on trees of I-III height classes. In the forb pine forest, artificial and natural young stands had almost the same reserve values, which confirms the formation of young pine stands of natural artificial origin. In the berry pine forest, birch renewal does not represent significant competition to pine. In the forb pine forest, birch creates serious competition for pine and, probably, the formation of deciduous-coniferous plantations and oppression of pine.

Keywords: *Scots pine, Pinus sylvestris L., natural and artificial young stands, timber stock*

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. (2023). Formation of the structural and functional organization of young stands of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) of mixed artificial and natural origin in the conditions of berry pine forests and forb pine forests of the Middle Urals. *Lesotekhnicheskii zhurnal* [Forestry Engineering journal], Vol. 13, No. 2 (50), pp. 43-58 (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2023.2/3>.

Received 21.12.2022. *Revised* 02.07.2023. *Accepted* 11.08.2023. *Published online* 18.09.2023.

Введение

Одним из важнейших природоохранных направлений в настоящее время, несомненно, является восстановление древесной растительности на территориях, утративших ее в силу самых различных причин. Известно, что лесовосстановление может проводиться как естественным, так и искусственным путем, а также с использованием комбинированного способа, когда посадка лесных культур дополняется сопутствующим естественным возобновлением. Хотя следует отметить, что, как показывает опыт, в настоящее время основной упор восстановления лесов вследствие масштабных объемов обезлесенных территорий делается на проведение искусственного лесовосстановления путем создания лесных культур. В том числе посадка лесных культур нередко проводится и в тех условиях, где восстановление леса может быть, хотя бы частично, обеспечено естественным путем. В свою

очередь, искусственное лесовосстановление, даже на участках, где создание лесных культур действительно необходимо, зачастую сопровождается, при наличии обсеменителей, существенным количеством естественного возобновления. Подобные процессы определяют комбинированный способ лесовосстановления. В результате формируются молодняки смешанного искусственно-естественного происхождения. Следует заметить, что процессы формирования таких молодняков еще недостаточно изучены. Немногочисленные работы, посвященные этому вопросу, в основном, касаются только изучения количественных показателей сопутствующего естественного возобновления на площадях лесных культур [1] и, очень незначительно, затрагивают вопросы изучения структурно-функциональной организации таких молодняков [2, 3]. К тому же исследования строения и таксационных показателей и других характеристик в значи-

тельной степени касаются искусственных насаждений значительно более старшего возраста [4-7].

Кроме того, в настоящее время особое значение приобретают вопросы, связанные с оценкой продуктивности формирующихся молодняков древесных пород. Сложность изучения их продуктивности отмечалась давно. Причина – в очень высокой вариабельности объема стволов деревьев молодняков [8]. Это требует разработки определенных методических подходов к установлению запасов древесины стволов молодых деревьев.

Представленные проблемы, несомненно, затрагивают вопросы изучения формирования молодняков сосны обыкновенной – одной из наиболее распространенных и важнейших древесных пород России.

Материалы и методы

Цель исследований – изучить особенности формирования ценотической структуры и запасов древесины в искусственных молодняках сосны при сопутствующем естественном возобновлении.

Объекты исследований – 12-летние производственные искусственные молодняки сосны обыкновенной на вырубках в типах леса сосняк ягодниковый (С яг.) и сосняк разнотравный (С ртр.) Зауральской холмисто-предгорной провинции южнотаежного округа [9] Средне-Уральского таежного лесорастительного района³.

Исследованные пробные площади (ПП) были заложены в соответствии с имеющимися требованиями [10, 11]. При изучении естественного молодняка сосны в междурядьях для установления его возраста у всех деревьев подсчитывалось число годичных побегов. Для уточнения возраста (количества годичных побегов) в нижней части ствола дополнительно изучались молодые сеянцы и деревца в возрасте 1-5 лет, произрастающие в условиях соответствующего типа леса на соседних участках [12, 13].

Создание лесных культур на обеих ПП выполнялось путем посадки 2-летних сеянцев сосны по бороздам. Шаг посадки на участках в обоих ти-

пах леса составлял 0,5 м. В типе леса сосняк ягодниковый средняя ширина междурядий составила 3,1 м (высажено 6,6 тыс. шт. на 1 га), в типе леса сосняк разнотравный – 6,0 м (высажено 3,4 тыс. шт. на 1 га).

При полевых исследованиях у каждого дерева, как в искусственных молодняках, так и у сопутствующего естественного возобновления, в междурядьях измерялись диаметр на середине высоты ($D_{0,5H}$) и высота (H). Объем первоначальной выборки составил не менее 100 шт. деревьев искусственного и естественного происхождения.

Объем ствола дерева рассчитывался по классической формуле срединного сечения:

$$\text{Объем ствола} = \gamma * H, \quad (1)$$

где γ – площадь сечения ствола на середине высоты; H – высота ствола.

Уровень изменчивости определялся в соответствии с эмпирической шкалой Мамаева [13]:

Таблица 1

Уровень изменчивости

Table 1

Variability level	
Уровень / Level	Коэффициент вариации, % / Coefficient of variation, %
Очень низкий Very low level	< 7
Низкий Low level	8 – 12
Средний Average	13 – 20
Повышенный Elevated level	21 – 30
Высокий High level	31 – 40
Очень высокий Very high level	> 40

Камеральная обработка и анализ полученных данных включали распределение деревьев по классам роста в высоту путем расчета их редуцированных чисел и последующего распределения на 5 ранговых классов.

³ Правила лесовосстановления, формы, состава, порядка согласования проекта лесовосстановления, оснований для отказа в его согласовании, а также требований к формату в электронной форме проекта лесовосстановления от 29 декабря 2021 г. № 1024.

Определение редуцированных чисел (ранговых коэффициентов) проводилось по соответствующей формуле [14]:

$$R_{cp.} = R_{cp.} = M_{it} / M_{cp. t}; \quad (2)$$

где $R_{cp.}$ – ранговый коэффициент по отношению к среднему; M_{it} – размеры i -го дерева или сеянца в момент t ; $M_{cp. t}$ – размеры среднего дерева или сеянца в популяции в момент t .

После распределения деревьев по ранговым классам проводились дополнительные измерения биометрических показателей не менее чем у 50 штук деревьев по каждому классу.

Апостериорное сравнение средних проводилось с помощью t -критерия Стьюдента и LSD-теста [15].

Математическая обработка полученных данных проводилась с помощью пакета программ Excel и STATISTICA 10.

Результаты и обсуждение

Как показали наши исследования, на 12-й год после посадки на участке в типе леса С яг. приживаемость составила 47,0 %, а на участке в типе леса С ртр. – 35,3 % от общего количества высаженных растений.

В то же время, в междурядьях на обеих ПП происходили довольно интенсивные процессы сопутствующего естественного возобновления сосны вследствие того, что вырубка и последующая подготовка лесокультурной площади создали условия

для заселения и выживания всходов сосны [16-18]. Семена сосны обеспечивались за счет обсеменителей в соседних древостоях и, частично, вследствие семеношения самих культур. Однако интенсивность процессов естественного заселения сосны на ПП значительно различалась. На 12-й год функционирования площади в С яг. численность деревьев естественного происхождения в междурядьях была почти в 3 раза меньше (1,04 тыс. шт. на 1 га), чем сохранившихся деревьев искусственного происхождения (3,10 тыс. шт. на 1 га). Таким образом, происходит формирование сосняка искусственно-естественного происхождения. На ПП в типе леса С ртр., напротив, численность деревьев естественного происхождения в междурядьях (4,30 тыс. шт. на 1 га) была почти в 3,5 раза больше, чем сохранившихся деревьев (1,20 тыс. шт. на 1 га), высаженных в бороздах. В данном случае имеет место формирование сосняка естественно-искусственного происхождения и фактически наблюдается комбинированный способ лесовосстановления.

Как показал анализ полученных данных (рис. 1), деревья сосны искусственного происхождения в сосняке ягодниковом значительно превосходили (при $p \leq 0,05$) по средней величине диаметра, высоты и объема ствола дерева аналогичного происхождения в сосняке разнотравном. Также деревья естественного происхождения в сосняке ягодниковом достоверно превосходили по средней величине диаметра дерева такого же происхождения в сосняке разнотравном.

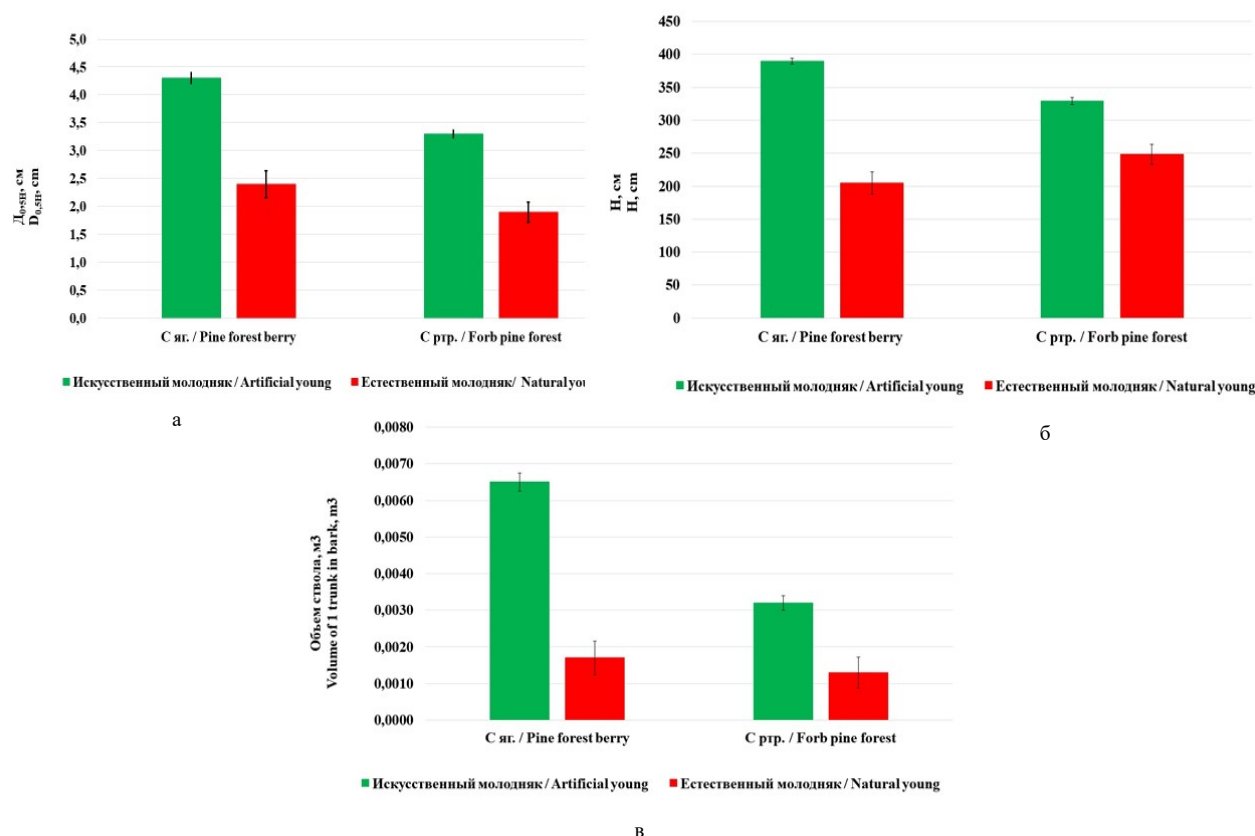


Рисунок 1. Биометрические характеристики деревьев сосны в молодняках на момент учета (а – диаметр на середине высоты; б – высота ствола; в – объем ствола)

Figure 1. Biometric characteristics of pine trees in young stands at the time of registration (a – diameter at mid-height; б – height; в – trunk volume)

Источник: собственные вычисления автора

Source: the author's composition

В то же время деревья естественного происхождения в сосняке разнотравном имели существенно более высокий показатель средней высоты и практически не различались по среднему объему ствола по сравнению с деревьями естественного происхождения в сосняке ягодниковом.

В свою очередь, деревья искусственного происхождения достоверно (при $p \leq 0,05$) превосходили деревья естественного происхождения как в С яг., так в С ртр.

Изучение возрастной структуры естественных молодняков на обеих ПП (рис. 2) позволило установить, что, процессы естественного заселения сосной [18, 19] междурядий происходили в течение нескольких лет.

Как видно из рис. 2, наибольшая доля в С яг. представлена деревьями, выросшими из всходов на 3-й, а в С ртр. – на 2-й год после рубки. Заселение и выживание всходов продолжалось в течение

5-6 лет, а потом полностью прекратилось. Молодняки сосны в междурядьях, таким образом, относят к одновозрастным, в отличие от абсолютно одновозрастных искусственных молодняков в бороздах. Таким образом, деревья сосны в междурядьях оказались по биологическому возрасту на 2-7 лет моложе, чем деревья искусственного происхождения в бороздах (с учетом пребывания семян в питомнике).

Согласно характеристикам асимметрии и эксцесса с учетом ошибок (табл. 2) основных таксационных показателей – диаметра и высоты – деревья в молодняках искусственного и естественного происхождения как на ПП С яг., так и на ПП С ртр., в целом, отличаются распределением, близким к нормальному. Однако следует заметить, что распределение по высоте естественного молодняка С ртр. отличается плосковершинным эксцессом.

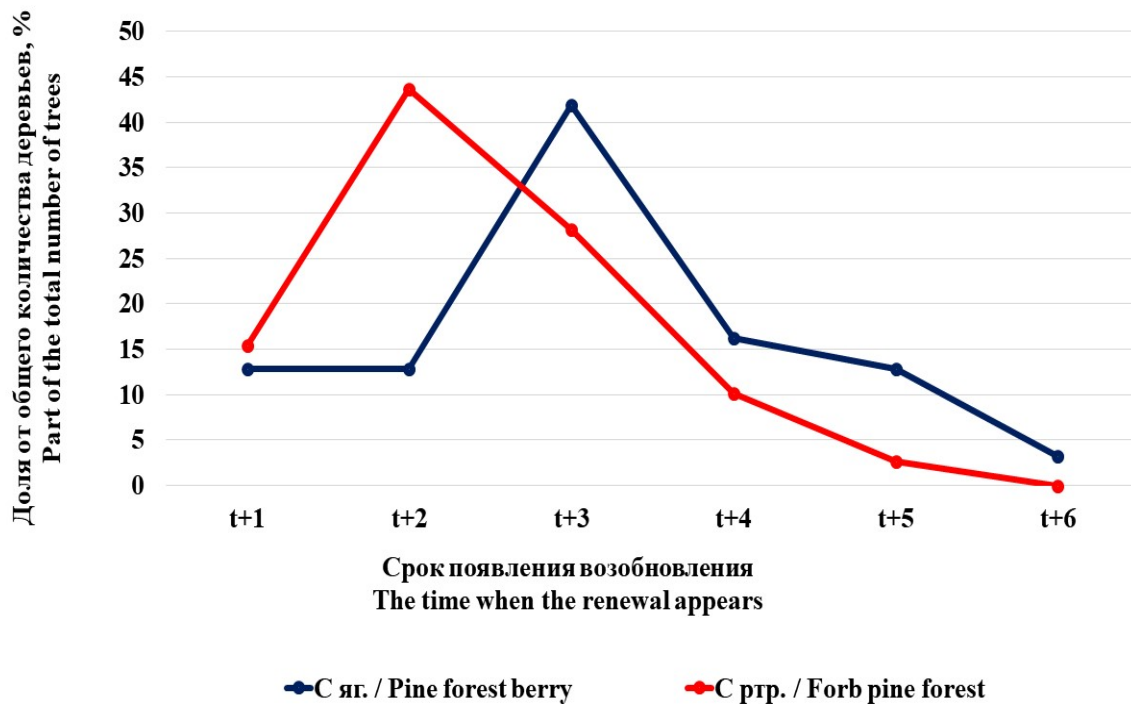


Рисунок 2. Возрастная структура подроста сосны (t – год прекращения рубки; t – деревья подроста, из появившихся через 1 год после прекращения рубки и т.д.)

Figure 2. Age structure of pine undergrowth (t – year of cessation of felling; t – trees of undergrowth, from sprouting appeared 1 year after cessation of felling, etc.)

Источник: собственные вычисления автора
Source: the author's composition

Распределение деревьев по объему ствола по характеристикам эксцесса также имеет показатели, близкие к нормальному распределению, однако отличается некоторой левосторонней асимметрией.

В соответствии с величинами асимметрии и эксцесса (с учетом ошибки) в молодняках искусственного и естественного происхождения как на ПП С яг., так и на ПП С ртр., распределение деревьев по диаметру и высоте (табл. 2) в целом характеризуется близким к нормальному. Однако следует заметить, что распределение по высоте естественного молодняка С ртр. отличается значительным плосковершинным эксцессом.

Распределение деревьев искусственного и естественного происхождения по объему ствола в молодняках, как С яг., так и С ртр., отличается левосторонней асимметрией. По показателям эксцес-

са распределения по объему ствола искусственный молодняк С яг. имеет показатели, близкие к нормальному, а в С ртр. отличается определенной плосковершинностью. По показателям эксцесса распределение по объему ствола молодняки естественного происхождения как в типе леса С яг., так и в типе леса С ртр. отличаются островершинностью.

На особенности распределения и изменчивости показателей в естественных молодняках, несомненно, оказывает влияние и особенность их возрастной структуры. Тем не менее, по совокупности характеристик следует принять, что при распределении деревьев по ранговым классам следует ориентироваться на ранговую структуру по высоте.

Показатели распределения и вариабельности молодняков сосны на ПП

Indicators of distribution and variability of young pine stands on SP

Показатели	Биометрические показатели		
	Д _{0,5Н} , см D _{0,5Н} , cm	Н, см H, cm	Объем 1 ствола в коре, м ³ Volume of 1 trunk in bark, m ³
С яг. Pine forest berry			
Искусственный молодняк Young artificial plantation			
V, %	23,20	15,70	55,72
As ± m _{as}	0,023 ± 0,1707	-0,299 ± 0,1707	0,650 ± 0,1707
Ex ± m _{ex}	-0,630 ± 0,3397	-0,125 ± 0,3397	0,040 ± 0,3397
Естественный молодняк Young natural plantation			
V, %	55,62	45,72	155,57
As ± m _{as}	1,153 ± 0,4210	0,462 ± 0,4210	2,403 ± 0,4210
Ex ± m _{ex}	0,812 ± 0,8120	-0,558 ± 0,8120	5,127 ± 0,8120
С ртр. Forb pine forest			
Искусственный молодняк Young artificial plantation			
V, %	24,26	17,56	61,17
As ± m _{as}	0,127 ± 0,2379	0,119 ± 0,2379	0,949 ± 0,2379
Ex ± m _{ex}	-0,438 ± 0,4716	0,759 ± 0,4716	-0,857 ± 0,4716
Естественный молодняк Young natural plantation			
V, %	60,00	45,72	116,33
As ± m _{as}	0,454 ± 0,3782	0,019 ± 0,1707	1,372 ± 0,1707
Ex ± m _{ex}	0,981 ± 0,7410	-1,868 ± 0,3397	1,749 ± 0,3397

Примечание (Note). Д_{0,5Н} – диаметр на середине высоты ствола (diameter at mid-height of the stem); Н – высота ствола (height of trunk); V – коэффициент вариации (coefficient of variation); As – асимметрия (asymmetry); m_{as} – ошибка асимметрии (asymmetry error); Ex – эксцесс (excess); m_{ex} – ошибка эксцесса (kurtosis error).

Источник: собственные вычисления автора
Source: the author's composition

Полученные данные хорошо согласуются с ранее высказанным утверждением, что ранговая структура молодняков сосны прежде всего стабилизируется именно по высоте, уже к 8-летнему возрасту [14]. Хотя необходимо отметить, что в данном случае, в соответствии с показателями, можно

говорить о стабилизации дифференциации по высоте [20-21] только для искусственных молодняков. В естественных молодняках, в свою очередь, процессы дифференциации, по всей видимости, еще довольно активно продолжаются.

В результате математической обработки полученных данных была определена амплитуда редуционных чисел по высоте ствола для молодняков искусственного и естественного происхожде-

ния. Для С яг. она составила 0,885 и 1,899, а для С ртр. 0,710 и 1,022, соответственно. Результаты распределения по ранговым классам высоты приведены на рис. 3.

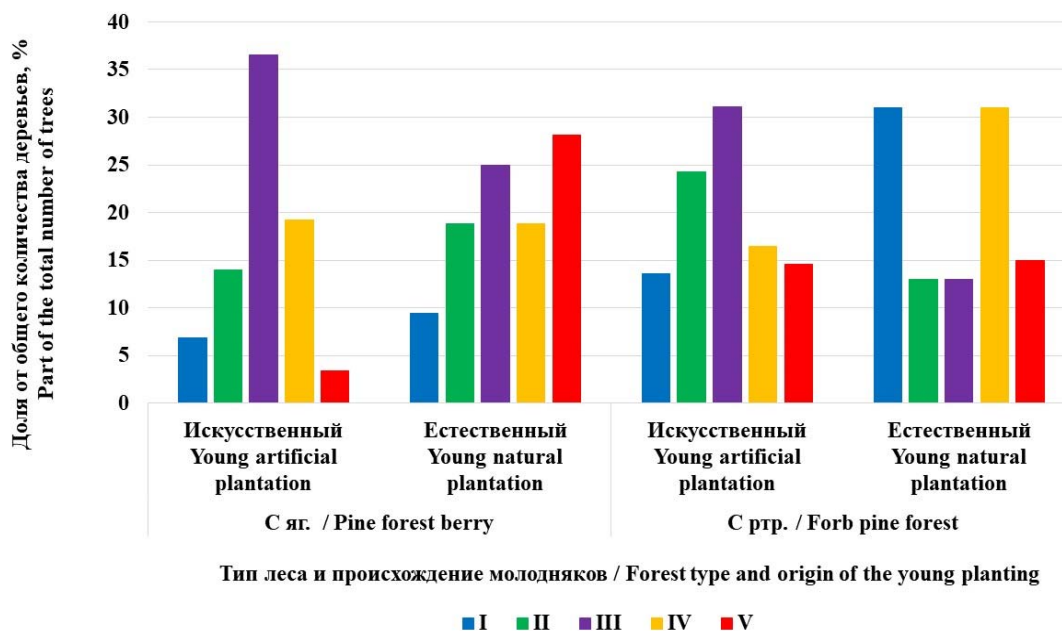


Рисунок 3. Распределение деревьев в молодняках сосны на вырубках (I...V – ранговые классы по высоте ствола)
 Figure 3. Distribution of trees in young pine forests in clearings (I...V - rank classes according to the height of the trunk)

Источник: собственные вычисления автора
 Source: the author's composition

Биометрические параметры и показатели изменчивости (рис. 4, табл. 3) показывают, что при распределении по ранговым классам высоты обеспечивается значительное различие биометрических показателей и снижение уровня их изменчивости. По диаметру на середине высоты в искусственных молодняках уровень изменчивости, в основном, характеризуется как средний. В естественных молодняках уровень изменчивости, в основном, характеризовался от повышенного до высокого. По высоте ствола при распределении по классам высоты уровень изменчивости в искусственных молодняках оказался практически во всех случаях очень низким. В естественных молодняках уровень изменчивости преимущественно характеризовался как очень низкий.

В искусственных молодняках по классам высоты ствола отмечался, в основном, повышенный, а

в естественных – очень высокий уровень изменчивости по объему ствола в коре, хотя в некоторых случаях он снижался до среднего. Таким образом, как и в случае с основными биометрическими показателями, при распределении по классам высоты удалось добиться снижения вариабельности показателей объема ствола в коре. Однако в естественных молодняках все равно сохраняется очень высокий уровень изменчивости по объему ствола в коре. Объясняется это, на наш взгляд, влиянием возрастного фактора в естественных молодняках. Вероятно, в естественных молодняках следует в дальнейшем использовать распределение деревьев по условным или естественным ступеням распределения. Кроме того, необходимо, на наш взгляд, более подробно изучить параметры объемов маломерных деревьев и содержания коры для данных условий.

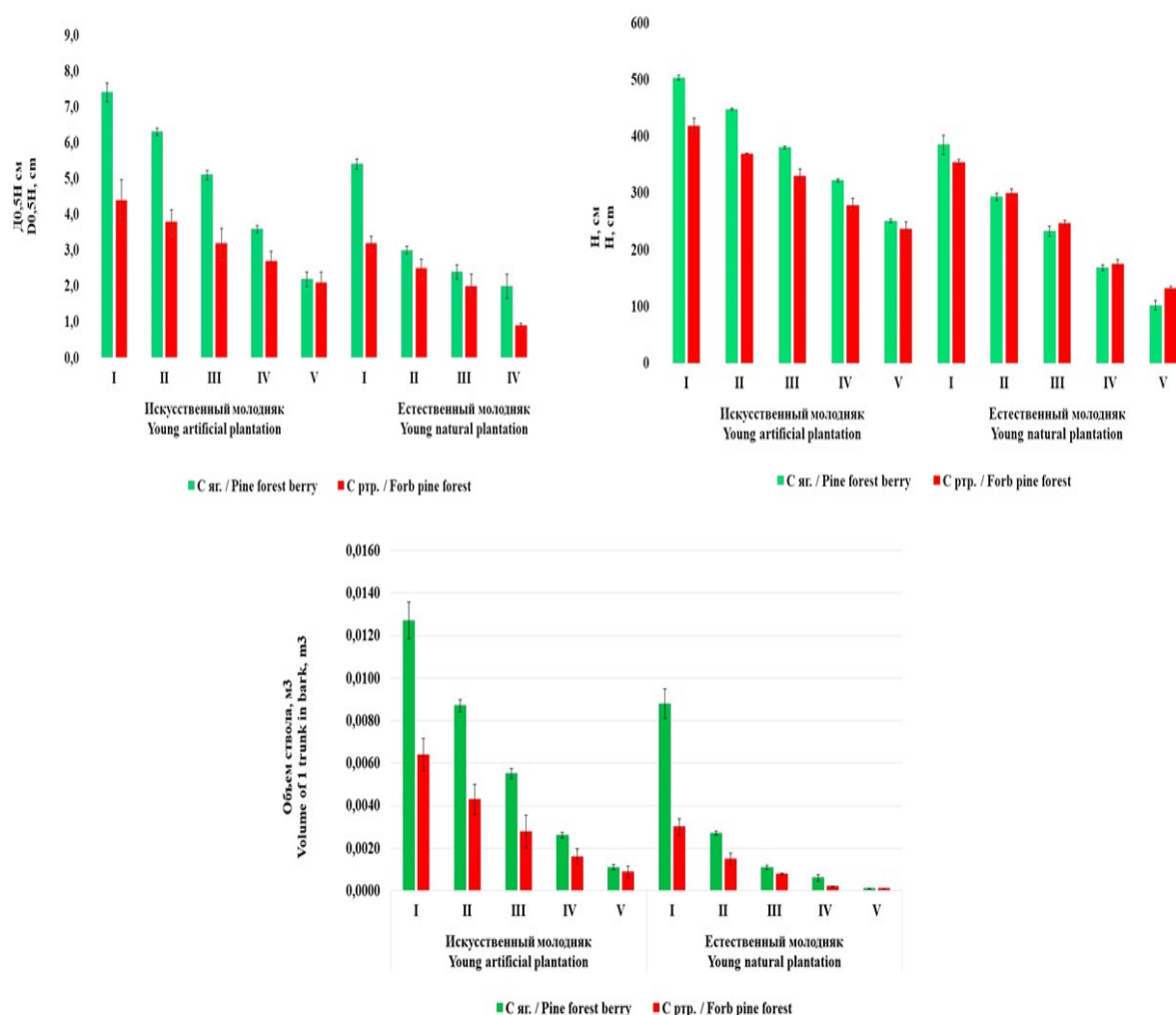


Рисунок 4. Биометрические характеристики деревьев сосны в молодняках по классам роста в высоту на момент учета (I...V – ранговые классы роста в высоту; а – диаметр на середине высоты; б – высота ствола; в – объем ствола)

Figure 4. Biometric characteristics of pine trees in young stands by height growth classes at the time of registration (I...V – height rank classes а – diameter at mid-height; б – height; в – trunk volume)

Источник: собственные вычисления автора
Source: the author's composition

Как в искусственных, так и в естественных молодняках основная часть (86,3-97,5 %) запаса древесины в коре приходится на деревья I-III классов высоты. Однако, в искусственном молодняке С яг. существенную роль в общем запасе древесины играют также деревья IV класса роста. Следует

также отметить, что в С ртр. искусственные и естественные молодняки имели практически одинаковый запас древесины, что свидетельствует также о формировании молодняка сосны естественно-искусственного происхождения.

Таблица 3

Table 3

Показатели варьирования биометрических показателей деревьев по классам роста
Indicators of variation of biometric parameters of trees by growth classes

Класс по вы- соте Height class	Коэффициент вариации (V), % Coefficient of variation (V)					
	С яг. Pine forest berry			С ртр. Forb pine forest		
	по $D_{0,5H}$ by $D_{0,5H}$	по H by H	по объему ствола by trunk volume	по $D_{0,5H}$ by $D_{0,5H}$	по H by H	по объему ствола в коре by trunk vol- ume in bark
Искусственный молодняк Young artificial plantation						
I	11,50	4,95	23,05	11,20	3,29	27,63
II	13,43	4,18	28,44	8,85	3,76	19,68
III	16,08	4,88	35,60	12,91	4,09	27,70
IV	12,26	5,99	29,36	10,56	4,63	21,95
V	14,83	10,10	28,25	13,75	5,46	30,57
Естественный молодняк Young natural plantation						
I	3,21	7,82	13,46	20,34	4,55	43,94
II	23,21	4,63	30,64	22,70	5,24	41,39
III	23,39	10,42	33,61	38,11	4,65	57,29
IV	41,75	11,07	52,21	17,23	13,45	40,28
V	22,27	22,63	37,59	35,54	7,02	51,75

Источник: собственные вычисления автора

Source: the author's composition

Таблица 4

Table 4

Средние объемы стволов и запасы древесины сосны по классам высоты
Average volumes of trunks and stocks of pine wood by height classes

Класс по высоте Height class	Общий запас древесины стволов в коре, м ³ The total stock of wood trunks in the bark, m ³			
	Искусственный молодняк Young artificial plantation		Естественный молодняк Young natural plantation	
	С яг	С ртр.	С яг	С ртр.
I	2,80	1,15	0,88	2,97
II	9,12	1,30	0,37	0,63
III	6,27	1,08	0,31	0,35
IV	1,59	0,35	0,12	0,12
V	0,10	0,18	0,04	0,02
Всего Total	19,88	4,09	1,72	4,05

Источник: собственные вычисления автора

Source: the author's composition

Природопользование

На исследованных ПП, помимо естественного возобновления сосны, представлено также возобновление других древесных пород (табл. 5). Основная часть сопутствующего естественного возобновления, помимо сосны, на обеих ПП представлена, главным образом, березой.

На ПП С яг. численность и запас березы, а кроме того, осины, незначителен по сравнению с сосной искусственного и естественного происхож-

дения и не представляет для нее особой конкуренции. Остальные древесные виды сопутствующего возобновления на ПП С яг. ни по количеству, ни по запасу не представляют серьезной конкуренции. Возобновление лиственницы, хоть и в незначительном количестве, можно считать положительным фактором при формировании хвойных насаждений.

Таблица 5
Table 5

Характеристики естественного возобновления других древесных пород на ПП
Characteristics of the natural renewal of other tree species on SP

Древесная порода Tree species	Количество, тыс. шт на 1 га Quantity, thousand pieces per 1 ha	Показатель, (M ± m)		Запас древеси- ны в коре, м ³ Stock of timber in bark, m ³
		Д _{0,5H} , см D _{0.5H} , cm	H, см H, cm	
С яг. Pine forest berry				
Лиственница Larch	0,07	2,0 ± 0,35	300,4 ± 17,95	0,06
Береза Birch	1,78	1,1 ± 0,09	202,3 ± 14,89	0,83
Осина Aspen	0,74	1,4 ± 0,14	232,8 ± 21,75	0,42
Липа Linden	0,13	1,4 ± 0,53	232,5 ± 14,98	0,13
Ива Willow	0,07	0,7 ± 0,10	150,0 ± 10,50	0,01
Всего Total	2,79	-	-	1,45
С ртр. Forb pine forest				
Береза Birch	5,40	1,1 ± 0,09	345,2 ± 21,21	9,58
Осина Aspen	0,25	0,9 ± 0,20	216,7 ± 95,80	0,04
Липа Linden	0,33	2,3 ± 0,25	222,5 ± 8,12	0,42
Ива Willow	0,33	1,2 ± 0,17	155,1 ± 34,1	0,10
Всего Total	6,31	-	-	10,14

Источник: собственные вычисления автора

Source: the author's composition

В свою очередь, на ПП С ртр. численность березы сопоставима с общей численностью сосны искусственного и естественного происхождения. По запасу береза на ПП С ртр. заметно превосходит общий суммарный запас сосны искусственного и естественного происхождения. В сочетании с численностью и запасом древесины других лиственных древесных пород, в данном случае возникает серьезная конкуренция произрастанию сосны. В последующем, без проведения соответствующих лесохозяйственных мероприятий, возникает угроза формирования лиственно-хвойных (естественно-искусственного происхождения) насаждений с заметным угнетением сосны.

Выводы

1. При создании лесных культур сосны обыкновенной (*P. sylvestris* L.) в результате ее сопутствующего естественного возобновления на вырубках в типе леса С яг. происходит формирование сосняка искусственно-естественного происхождения. На вырубках в типе леса С ртр. в результате интенсивного естественного возобновления сосны формируется сосняк естественно-искусственного происхождения.

2. Процессы естественного возобновления сосны в междурядьях культур С яг. и С ртр. продолжаются в течение не менее 5 лет. По биологическому возрасту дерева сосны естественного возобновления на 5-7 лет моложе деревьев, высаженных в лесных культурах.

3. По средним показателям диаметра на середине высоты, высоты и объема ствола дерева сосны искусственного происхождения в типе леса С яг. существенно превосходят деревья искусственного происхождения в типе леса С ртр. Деревья искусственного происхождения существенно превосходят по величине диаметра на середине высоты, высоте и объему ствола дерева естественного происхождения как в С яг., так и в С ртр.

4. Независимо от происхождения, как в С яг., так и в С ртр., молодняки сосны по диаметру на середине высоты и высоте в целом характеризуются распределением, близким к нормальному. По показателям асимметрии распределения по объему ствола дерева сосны, независимо от происхождения, в молодняках как С яг., так С ртр. отличаются

левосторонней асимметрией, также имеют показатели, близкие к нормальному. По показателям эксцесса распределения по объему ствола искусственный молодняк С яг. имеет показатели, близкие к нормальному, а в С ртр. отличается определенной плосковершинностью. По показателям эксцесса распределения по объему ствола молодняки естественного происхождения как в типе леса С яг., так и в типе леса С ртр. отличаются островершинностью.

5. При распределении молодняков по классам высоты обеспечивается значительное снижение уровня изменчивости по диаметру на середине высоты и, в особенности, по высоте ствола. В искусственных молодняках С яг. и С ртр. при распределении по классам высоты ствола достигается значительное снижение уровня изменчивости по объему ствола в коре. В естественных сохраняется очень высокий уровень изменчивости по объему ствола в коре, хотя отмечается некоторое его снижение.

6. Как в искусственных, так и в естественных молодняках, как С яг., так и С ртр, основную часть (86,3-97,5 %) запаса древесины в коре обеспечивают деревья I-III классов высоты. В С ртр. искусственные и естественные молодняки имели практически одинаковые величины запаса, что дополнительно подтверждает формирование молодняк сосны естественно-искусственного происхождения.

7. Основная часть сопутствующего естественного возобновления в молодняках С яг. и С ртр. представлена березой и, значительно меньше, осинной, липой и другими породами.

8. В условиях С яг. численность и запас древесины лиственных незначителен и не конкурирует с сосной искусственного и естественного происхождения.

9. В условиях С ртр. численность березы сопоставима с общей численностью сосны искусственного и естественного происхождения, а по запасу древесины береза заметно превосходит общий суммарный запас сосны искусственного и естественного происхождения. Интенсивное возобновление березы создает серьезную конкуренцию сосне и обеспечивает в дальнейшем формирование лиственно-хвойных насаждений.

Список литературы

1. Естественное возобновление хвойных пород на площадях лесных культур / Нгуен Ван Зинь, А.А. Грязькин, Н.В. Беляева, Фан Тхань Лам, А.Г. Шахов // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. – 2019. – Вып. 223. – С. 6–15. – DOI: 10.21266/2079-4304.2018.223.6-15.
2. Естественная смена ели сосной на участках лесных культур / А. В. Грязькин, Н. В. Беляева, А. Г. Шахов, Нгуен Ван Зинь // Лесотехнический журнал. – 2019. – Т. 9. – № 1 (33). – С. 54–61. – DOI: 10.12737/article_5c92016d261c92.18894516.
3. Growth and structure of pre-mature stands of Scots pine created by direct seeding in the boreal zone / A. Pintsev, D. Soldatova, A. Bogdanov, S. Koptev, S. Tretyakov // Journal of Forest Science. 2021 (1). 67: 21-35. DOI: <https://doi.org/10.17221/70/2020-JFS>.
4. Морозов, А. Е. Формирование естественных и искусственных молодняков на сплошных вырубках / А. Е. Морозов, В. Н. Южаков // Молодой ученый. Международный научный журнал. Экология. – 2022. – № 5 (400). – С. 296–298. – URL: <https://elibrary.ru/dnrpeo>.
5. Гусакова, И. В. Продуктивность и санитарное состояние искусственных сосняков в сухой степи / И. В. Гусакова, М. А. Савин // Вестник молодежной науки Алтайского государственного аграрного университета. – 2021. – № 1. – С. 29–33. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46467197>.
6. Солдатова, Д. Н. Рост и продуктивность лесных культур сосны С.В. Алексеева на Европейском Севере России / Д. И. Солдатова, А. С. Ильинцев // ИВУЗ Лесной журнал. – 2020. – № 1. – С. 99–112. – DOI: <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2020-1-99-112>.
7. Дубенок, Н. Н. Рост и продуктивность сосново-липовых культур в Лесной опытной даче Тимирязевской академии / Н. Н. Дубенок, В. В. Кузьмичев, А. В. Лебедев // Лесохозяйственная информация. – 2021. – № 1. – С. 40–48. – DOI: <https://doi.org/10.24419/LHI.2304-3083.2021.1.03>.
8. Собачкин, Д. С. Особенности роста и продуктивности сосновых молодняков, сформированных из деревьев различного ценоотического статуса / Д. С. Собачкин, Р. С. Собачкин, А. Е. Петренко // Сибирский лесной журнал. – 2022. – № 3. – С. 34–39. – DOI: 10.15372/SJF20220304.
9. 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. – P. 466. DOI: 10.46490/BF466.
10. 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.
11. 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, 200, Vol. 37, Iss. 1, pp. 14-22. DOI: 10.1080/02827581.2021.2005133.
12. Tenhoviirta S.A.M., Kohl L., Koskinen M., Patama M. [et al.] Solar radiation drives methane emissions from the shoots of Scots pine // New Phytologist, 2022, Vol. 235, Iss. 1, pp. 66-72. DOI: 10.1111/nph.18120.
13. Bilgili E., Ozturk M., Coskuner K.F., Baysal I. [et al.] Quantifying the effect of pine mistletoe on the growth of Scots pine // Forest Pathology, 2018, Vol. 48, Iss. 4, e12435. DOI: 10.1111/efp.12435.
14. Демаков, Ю. П. Закономерности изменения рангового положения деревьев по их размерам в ценопопуляциях сосны обыкновенной / Ю. П. Демаков, Т. В. Нуреева // Лесоведение. – 2019. – № 4. – С. 274–285. – Библиогр.: 284-285 (53 назв.). DOI: 10.1134/S0024114819030021.
15. Усманов, Р. Р. Статистическая обработка данных агрономических исследований в программе «STATISTICA» / Р. Р. Усманов. – Москва, 2020. – DOI: 10/34677/2020.004. – URL: <https://elibrary.ru/bfmxhn>.
16. Aleksandrowicz-Trzińska M., Drozdowski Ż., Studnicki M., Żubura H. Effect of site preparation methods on the establishment and natural regeneration traits of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in Northeastern Poland // Forests. 2018. Vol. 9(11), 717. DOI: <https://doi.org/10.3390/f9110717>.

17. Aleksandrowicz-Trzińska M., Studnicki M., Sikora K., Mariusz R. Communities of mycorrhizal fungi among seedlings of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) growing on a clearcut in microsites generated by different site-preparation methods of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in South-Eastern Poland. *Forests*. 2022. 13(2). 353. DOI: <https://doi.org/10.3390/f13020353>.

18. 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.

19. 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. DOI: <https://doi.org/10.37279/2914-4738-2021-27-23-35>. – <https://elibrary.ru/hlfzmv>.

20. Trouillier M., van der Maten-Theunissen M., Scharnweber T., Wilmking M. A unifying concept for growth trends of trees and forests the "Potential natural forest" // *Frontiers in Forests and Global Change* 3. September 2020, Vol. 3, Article 581333: 12. DOI:10.3389/ffgc.2020.581334.

21. Ng'andwe Ph., Chungu D., Yambaymba A.M., Chilamambe A. Modeling the height-diameter relationship of planed *Pinus Kesia* in Zambia // *Forest Ecology and Management*. 2019; 447: 1-11. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.05.051>.

References

1. Nguen Van Dinh, Gryazkin A. V., Belyeva N. V., Phan Thanh Lam, Shakhov A G. *Estestvennoe vozobnovlenie khvojnykh porod na ploshchadyakh lesnykh kul'tur* // [Natural regeneration of conifers on the area of forest plantation] *Izvestia Sanct-Peterbgskoi Lesotekhnicheskoy Akademii* [Izvestia Sanct-Peterbgskoi Lesotekhnicheskoy Akademii]. 2019. Vol. 223. pp. 6-15 (In Russian).

2. Gryaz'kin A. V., Belyaeva N. V., Shakhov A. G., Nguen Van Zin' *Estestvennaya smena eli sosnoy na uchastkakh lesnykh kul'tur* [Natural replacement of spruce by pine in forest plantations] // *Lesotekhnicheskij zhurnal* [Forestry Engineering Journal]. 2019. Vol. 9. № 1 (33). pp. 54-61. DOI:10.12737/article_5c92016d261c92.18894516 (In Russian).

3. 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>.

4. Morozov A. E., Yuzhakov V. N. *Formirovanie estestvennykh i iskusstvennykh molodnyakov na sploshnykh vyrubkakh* [Formation of natural and artificial young stands in clear-cut areas]. *Molodoy uchenyj. Mezhdunarodnyj nauchnyj zhurnal. Ekologiya* [Young scientist. International scientific journal. Ecology]. 2022. № 5(400) pp. 296-298. URL: <http://mmotuch.ruy/archive/400/88541> (In Russian).

5. Gusakova I. V., Savin M. A. *Produktivnost' i sanitarnoe sostoyanie iskusstvennykh sosnyakov v sukhoj stepi* // *Vestnik molodezhnoj nauki Altajskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Bulletin of Youth Science of the Altai State Agrarian University]. 2021, 1: 29-33.

6. Soldatova D. I., Ilintsev A. S. *Rost i produktivnost' lesnykh kul'tur sosny S.V. Alekseeva na Evropeyskom Severe Rossii* [Growth and productivity of pine forest crops named after C.V. Alekseev in the European North of Russia] // *IVUZ Lesnoy zhurnal* [Publishing house of higher educational institutions. Forest journal]. 2020, № 2, pp. 99-112 (In Russian).

7. Dubenok N. N., Kuz'michev V. V., Lebedev A. V. *Rost i produktivnost' sosnovo-lipovykh kul'tur v Lesnoy opytной 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).

8. 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).

9. 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.

10. Dlugosiewicz J., Zajac 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.

11. 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, 200, Vol. 37, Iss. 1, pp. 14-22. DOI: 10.1080/02827581.2021.2005133.

12. Tenhoviirta S. A. M., Kohl L., Koskinen M., Patama M. [et al.] Solar radiation drives methane emissions from the shoots of Scots pine // New Phytologist, 2022, Vol. 235, Iss. 1, pp. 66-72. DOI: 10.1111/nph.18120.

13. Bilgili E., Ozturk M., Coskuner K. F., Baysal I. [et al.] Quantifying the effect of pine mistletoe on the growth of Scots pine // Forest Pathology, 2018, Vol. 48, iss. 4, e12435. DOI: 10.1111/efp.12435.

14. Demakov Yu. P., Nureeva T. V. *Zakonomernosti izmeneniya rangovogo polozheniya derev'ev po ix razmeram v cenopopulyaciyax sosny` obyknovЕННОj* [Features of evolution of a tree size rank in coenopopulations of Scots pine // Lesovedenie [Forestry]. 2019; 4: 274-285. DOI: 10.1134/S0024114819030021 (In Russian).

15. 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.

16. Aleksandrowicz-Trzińska M., Drozdowski Ż., Studnicki M., Żubura H. Effect of site preparation methods on the establishment and natural regeneration traits of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in Northeastern Poland. Forests. 2018. Vol. 9(11): 717. DOI: <https://doi.org/10.3390/f9110717>.

17. Aleksandrowicz-Trzińska M., Studnicki M., Sikora K., Mariusz R. Communities of mycorrhizal fungi among seedlings of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) growing on a clearcut in microsites generated by different site-preparation methods of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in South-Eastern Poland. Forests. 2022. 13(2): 353. DOI: <https://doi.org/10.3390/f13020353>.

18. 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.

19. Saltykov A.I. *Vsplesk estestvennogo vozobnovleniya sosny obyknovЕННОj (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]*. Iss. 27: pp. 23-35 (In Russian).

20. Trouillier M., van der Maten-Theunissen M., Scharnweber T., Wilmking M. A unifying concept for growth trends of trees and forests the "Potential natural forest" // Frontiers in Forests and Global Change 3. September 2020, Vol. 3, Article 581333: 12. DOI:10.3389/ffgc.2020.581334.

21. Ng'ande Ph., Chungu D., Yambaymba A.M., Chilamambe A. Modeling the height-diameter relationship of planed *Pinus Kesia* in Zambia // Forest Ecology and Management, 447 (2019): 1-11. DOI: 10.1016/j.foreco.2019.05.51.

Сведения об авторе

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 author

✉ *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.

✉ – Для контактов/Corresponding author