


Обзор

DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2023.1/9>

УДК 630\*228.6



## Разновозрастность сосновых древостоев как фактор гармонизации системы лесохозяйственных мероприятий в ленточных борах Алтайского края

Алексей Е. Осипенко ✉, [osipenkoae@m.usfeu.ru](mailto:osipenkoae@m.usfeu.ru)  <https://orcid.org/0000-0002-6148-1747>

Сергей В. Залесов, [zalesovsv@m.usfeu.ru](mailto:zalesovsv@m.usfeu.ru)  <https://orcid.org/0000-0003-3779-410X>

ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет», ул. Сибирский тракт, 37, г. Екатеринбург, 620100, Россия

Определено соотношение одновозрастных и разновозрастных сосняков в различных типах леса ленточных боров Алтайского края, а также закономерности формирования естественных сосновых насаждений. Данный вопрос важен для гармонизации всего комплекса лесохозяйственных мероприятий района исследований. Исследования основаны на анализе электронной базы данных, включающей сведения о лесном фонде 11 лесничеств Алтайского края (более 268 тысяч таксационных выделов общей площадью 1014 тыс. га). При помощи запросов с применением фильтров и сводных таблиц получена выборка естественных насаждений с преобладанием сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.). Для каждого насаждения в выборке определено количество возрастных поколений и распределение площади одно- и разновозрастных сосняков по лесничествам, типам леса, классам бонитета. Статистическая обработка данных включала в себя кластерный анализ и применение критерия хи-квадрат. Сосняки естественного происхождения в районе исследований состоят преимущественно из 2-3 поколений сосны. На долю разновозрастных древостоев приходится 79,6 % площади. Одновозрастные сосняки занимают 20,4 % площади. При переходе от сырых к очень сухим условиям произрастания доля разновозрастных сосняков увеличивается. В будущем планируется доработать существующие системы рубок ухода в спелых, перестойных насаждениях в Алтае-Новосибирском лесорастительном районе лесостепей и ленточных боров с учетом соотношения одновозрастных и разновозрастных сосняков. Совершенствование системы лесохозяйственных мероприятий должно вестись на лесотипологической основе в сочетании с делением насаждений на высоко- и низкобонитетные.

**Ключевые слова:** сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.), возрастное поколение, разновозрастный древостой, ленточный бор, тип леса, класс бонитета, площадь

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

**Благодарности:** авторы благодарят рецензентов за вклад в экспертную оценку статьи.


**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Для цитирования:** Осипенко А. Е. Разновозрастность сосновых древостоев как фактор гармонизации системы лесохозяйственных мероприятий в ленточных борах Алтайского края / А. Е. Осипенко, С. В. Залесов // Лесотехнический журнал. – 2023. – Т. 13. – № 1 (49). – С. 129–145. – Библиогр.: с. 140–145 (41 назв.). – DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2023.1/9>.

Поступила 15.03.2023. Пересмотрена 23.03.2023 Принята 24.03.2023 Опубликована онлайн 15.05.2023

Review

## Age differences of pine stands as a factor of harmonization of the system of forest management activities in ribbon forests of the Altai Krai

Aleksey E. Osipenko✉, osipenkoae@m.usfeu.ru  <https://orcid.org/0000-0002-6148-1747>

Sergey V. Zalesov, zalesovsv@m.usfeu.ru  <https://orcid.org/0000-0003-3779-410X>

Ural State Forest Engineering University, Sibirskiy trakt str., 37, Yekaterinburg, 620100, Russian Federation

### Abstract

The ratio of the same- and uneven-aged pine forests in various types of ribbon forests in Altai Krai, as well as the patterns of forming natural pine plantations, is determined. This issue is important for the harmonization of the entire set of forest management activities in the study area. The research is based on the analysis of an electronic database that contains information on the forest fund of 11 forest districts in Altai Krai (more than 268 thousand stratum with a total area of 1014 thousand ha). With the help of queries using filters and summary tables, a sample of natural plantations with a predominance of Scotch pine (*Pinus sylvestris* L.) was obtained. For each plantation in the sample, the number of age generations and the distributions of the area of the same- and uneven-aged pine forests by forest districts, forest types, and quality classes were determined. Statistical data processing included cluster analysis and chi-squared test. Pine forests of natural origin in the study area consist mainly of 2-3 pine generations. The share of uneven-aged forest stands accounts for 79.6% of the area. Same-aged pine forests occupy 20.4% of the area. During the transition from damp to very dry growing conditions, the proportion of uneven-aged pine forests increases. In the future it is planned to improve the existing systems of improvement thinning in mature, declining stands of forest-steppes and ribbon forests in the Altai-Novosibirsk forest growing district considering the ratio of the same- and uneven-aged pine forests. The improvement of the system of forest management activities should be performed on a forest-typological basis in combination with the division of plantings into high- and low-quality.

**Keywords:** Scotch pine (*Pinus sylvestris* L.), age generation, uneven-aged forest stand, ribbon forest, forest type, quality class, area

**Funding:** the study was performed as a part of the grant of the President of the Russian Federation for state support of young Russian scientists, candidates of sciences, No. MK-293.2022.5.

**Acknowledgments:** the authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this paper.

**Conflict of interest:** the authors declare no conflict of interest.

**For citation:** Osipenko A. E., Zalesov S. V. (2023). Age differences of pine stands as a factor of harmonization of the system of forest management activities in ribbon forests of the Altai Krai. *Lesotekhnicheskii zhurnal* [Forestry Engineering journal], Vol. 13, No. 1 (49), pp. 129-145 (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2023.1/9>.

*Received* 15.03.2023. *Revised* 23.03.2023. *Accepted* 24.03.2023. *Published online* 15.05.2023.

### Введение

Данные о возрастной структуре древостоев позволяют оценивать закономерности формирования фитоценозов, процессы смены возрастных поколений, а также динамику их таксационных пока-

зателей. Кроме того, возрастная структура влияет на назначаемые хозяйственные мероприятия, что особенно важно для уникальных ленточных боров Алтайского края в современных условиях [15]. Так, для одновозрастных сосновых древостоев рекомен-

дуются чересполосные постепенные, равномерно-постепенные и комбинированные выборочные рубки, а для разновозрастных – добровольно-выборочные, группово-выборочные, равномерно-постепенные, группово-постепенные и длительно-постепенные рубки [4, 9, 26]. Однако на сегодняшний день в районе исследований одновозрастные сосняки рубятся преимущественно добровольно-выборочными рубками [7]. Не смотря на то, что данный вид рубки способствует появлению большого количества подроста [3, 12, 13, 20], особенно в условиях типов леса сухой бор пологих всхолмлений и свежий бор, он не позволяет сформировать второй ярус древостоя в одновозрастных сосняках [25].

Существует мнение о целесообразности формирования в условиях ленточных боров разновозрастных древостоев. Так как такие древостои позволяют поддерживать лесные экосистемы в состоянии постоянного, непрерывного и эффективного функционирования [7, 31, 32, 35]. При этом формировать разновозрастные древостои предлагается рубками обновления и переформирования [1, 7; 14]. Положительный опыт применения рубок обновления в нашей стране имеется [8].

По данным А.Ю. Толстикова [25] абсолютное большинство сосновых насаждений ленточных боров Алтайского края представлено чистыми одноярусными древостоями из деревьев нескольких поколений. Подобная закономерность описана и в других работах [6, 22, 39]. Наличие 2-4 поколений сосны в сосновых древостоях, в том числе и ленточных боров, рядом исследователей объясняется часто повторяющимися низовыми лесными пожарами [2, 27, 28, 34]. Другие исследования свидетельствуют, что волнообразное восстановление популяций сосны обыкновенной не обязательно должно быть обусловлено лесными пожарами [16; 29]. В условиях ленточных боров одновозрастные древостои формируются на сплошных гарях и вырубках в благоприятные по увлажнению годы, а разновозрастные сложные по форме древостои – в неблагоприятные по увлажнению годы [19]. Разновозрастность подавляющего большинства сосновых лесов в условиях Сибири возникает в результате восстановительно-возрастных смен в них. При этом

обусловлены они зонально-типологическими условиями, характером пирогенного и антропогенного воздействия на насаждения [11]. К подобным выводам пришли ученые, изучавшие сосняки в бореальной части Швеции [36]. По данным Е.Г. Парамонова [21] разновозрастность сосняков в ленточных борах обусловлена гибелью соснового подроста в летний период из-за ожога корневой шейки при повышении температуры на поверхности почвы до 60°C. При этом накопление деревьев различного возраста в сосняках происходит за счет отдельных экземпляров подроста, выживающих в конусе полуденной тени от материнских деревьев. Помимо высокой температуры почвы естественное лесовосстановление может быть затруднено и рядом других факторов [37, 38].

Цель работы: выявление закономерностей формирования естественных сосновых насаждений и определение соотношения одновозрастных и разновозрастных сосняков в различных типах леса ленточных боров Алтайского края.

### Материалы и методы

#### *Предмет и объект исследования*

Объектом исследования в рамках данной работы являются сосновые древостои естественного происхождения, произрастающие в ленточных борах Алтайского края. Предмет исследований – соотношение одно- и разновозрастных сосняков, закономерности их формирования.

Климатические особенности района исследований, распределение площади лесных земель по типам леса и климатическим зонам приводились в нашей предыдущей работе [17], а также в монографии коллектива авторов [7].

#### *Сбор данных*

Исследования основаны на анализе электронной выделительной базы данных (БД) в формате «.xlsx», содержащей характеристику более 268 тыс. таксационных выделов общей площадью 1014 тыс. га. Имеющиеся данные характеризуют лесной фонд района исследований по состоянию на 2001-2011 годы. В БД содержатся сведения о лесном фонде одиннадцати лесничеств Алтайского края: Барнаульское, Волчихинское, Ключевское, Кулундинское, Лебяжинское, Новичихинское, Озеро-Кузнецовское, Павловское, Панкрушихинское,

Ракитовское, Степно-Михайловское. Общая площадь лесных земель в анализируемой БД составляет 840,6 тыс. га, в том числе земли, на которых расположены леса – 757,4 тыс. га. Насаждения естественного происхождения занимают 653,5 тыс. га, в том числе с преобладанием сосны обыкновенной – 517,7 тыс. га.

В БД также приведены сведения о лесных культурах, насаждениях с культурами под пологом леса и так называемые «насаждения с породами искусственного происхождения». Их общая площадь – 103,9 тыс. га, в том числе с преобладанием сосны обыкновенной – 97,4 тыс. га. Однако в рамках данной статьи указанные категории земель были исключены из обработки.

Для распределения площади исследуемых сосняков по лесничествам и количеству возрастных поколений в программе MS Excel 2013 была составлена сводная таблица. При формировании сводной таблицы были выставлены следующие фильтры: преобладающая порода – сосна обыкновенная, категория земель – насаждения естественного происхождения. Количество поколений сосны по каждой строке БД было определено при помощи комбинации программных формул и ручного ввода текста в соответствующий столбец БД.

Под возрастным поколением древостоя нами понимается совокупность деревьев в разновозрастном древостое, различающихся по возрасту не более чем на два класса возраста. При этом в соответствии с лесоустроительной инструкцией, действовавшей на момент проведения исследований, «возрастные поколения, относящиеся к молоднякам, средневозрастным, приспевающим частям разновозрастного лесного насаждения выделяются при доле их участия в составе лесного насаждения не менее 20 % и (или) при разнице в средних диаметрах возрастных поколений не менее 6 сантиметров. Выделение возрастного поколения древесной породы, относящегося к спелой и перестойной частям разновозрастного лесного насаждения, осуществляется если доля его в общем запасе древесины лес-

ного насаждения составляет не менее 20%. При этом спелая и перестойная части разновозрастного лесного насаждения, занимающие в составе лесного насаждения менее 20%, учитываются единичными деревьями».

Сосновые элементы леса, запас древесины которых составляет до 5% от общего запаса древесины лесного насаждения (яруса), записанные в формулу состава со знаком «+», также считались отдельным поколением и учитывались при определении количества возрастных поколений.

### *Анализ данных*

Статистическая обработка данных производилась в программах Statsoft STATISTICA 8 и MS Excel 2013 [24]. При проведении кластерного анализа применялся метод полной связи, а для количественной оценки близости использовалось Евклидово расстояние. При расчете критерия  $\chi^2$  при сопоставлении двух распределений был принят уровень значимости  $\leq 0,05$ . Число степеней свободы было принято 2, так как данные были сгруппированы в три категории: одновозрастные сосняки, сосняки из двух поколений, сосняки из трех и более поколений.

### **Результаты и обсуждение**

В табл. 1 приведено распределение площади естественных сосняков по лесничествам и количеству возрастных поколений сосны. Наибольшая доля сосняков естественного происхождения (67,5 % площади) состоит из двух или трех поколений сосны. На долю одновозрастных сосняков приходится лишь 20,4 % площади.

По количеству ярусов в ленточных борах выделены одно- и двухъярусные сосняки. Доля двухъярусных древостоев в имеющемся наборе данных составляет 3,7 % по количеству и 5,3 % площади. Выделение второго яруса в большинстве случаев весьма затруднено из-за высокой вертикальной сомкнутости полога.

Распределение площади естественных сосняков по лесничествам  
и количеству возрастных поколений сосны, га / %

Table 1

Distribution of the natural pine forest area by forest district and the number of pine age generations, ha/%

Лесничество   Forest district	Количество возрастных поколений, шт.   Number of age generations, pcs							Итого   Total
	1	2	3	4	5	6	7	
Барнаульское   Barnaul'skoe	<u>2308</u> 13,2	<u>8424</u> 48,4	<u>6315</u> 36,2	<u>380</u> 2,2	<u>1</u> 0,0	-	-	<u>17428</u> 100
Павловское   Pavlovskoe	<u>13539</u> 33,5	<u>15867</u> 39,2	<u>8625</u> 21,3	<u>2167</u> 5,4	<u>248</u> 0,6	-	-	<u>40446</u> 100
Кулундинское   Kulundinskoe	<u>7776</u> 24,9	<u>12968</u> 41,6	<u>7646</u> 24,5	<u>2508</u> 8,0	<u>313</u> 1,0	<u>12</u> 0,0	-	<u>31223</u> 100
Панкрушихинское   Pankrushihinskoe	<u>7342</u> 21,2	<u>12302</u> 35,4	<u>9793</u> 28,2	<u>4445</u> 12,8	<u>847</u> 2,4	-	-	<u>34729</u> 100
Новичихинское   Novichihinskoe	<u>11023</u> 31,7	<u>13255</u> 38,1	<u>8675</u> 24,9	<u>1822</u> 5,2	<u>38</u> 0,1	-	-	<u>34813</u> 100
Волчихинское   Volchihinskoe	<u>14121</u> 21,9	<u>27513</u> 42,6	<u>18365</u> 28,5	<u>4296</u> 6,7	<u>204</u> 0,3	-	-	<u>64499</u> 100
Лебяжинское   Lebyazhinskoe	<u>5083</u> 10,9	<u>14380</u> 30,8	<u>18646</u> 39,9	<u>7336</u> 15,7	<u>1240</u> 2,7	<u>16</u> 0,0	-	<u>46701</u> 100
Ракитовское   Rakitovskoe	<u>9068</u> 20,1	<u>17922</u> 39,7	<u>14063</u> 31,2	<u>3805</u> 8,4	<u>258</u> 0,6	-	-	<u>45116</u> 100
Степно-Михайловское   Stepno-Mihajlovskoe	<u>5963</u> 11,2	<u>12842</u> 24,1	<u>17591</u> 33,0	<u>12665</u> 23,8	<u>3656</u> 6,9	<u>458</u> 0,9	<u>79</u> 0,1	<u>53254</u> 100
Озеро-Кузнецовское   Ozero-Kuznecovskoe	<u>13848</u> 13,4	<u>36292</u> 35,0	<u>38379</u> 37,0	<u>13669</u> 13,2	<u>1383</u> 1,3	<u>93</u> 0,1	-	<u>103664</u> 100
Ключевское   Klyuchevskoe	<u>15419</u> 33,6	<u>21763</u> 47,5	<u>7630</u> 16,6	<u>1012</u> 2,2	<u>28</u> 0,1	-	-	<u>45852</u> 100
Итого   Total	<u>105490</u> 20,4	<u>193528</u> 37,4	<u>155728</u> 30,1	<u>54105</u> 10,4	<u>8216</u> 1,6	<u>579</u> 0,1	<u>79</u> 0,0	<u>517725</u> 100

Источник: собственные вычисления авторов

Source: own calculations

В части исследуемых сосняков (9,2 % по количеству выделов и 10,6 % по площади) имеются единичные деревья сосны, которые также увеличивают возрастную дифференциацию насаждений, но при этом отдельным поколением или ярусом единичные деревья не считаются. Если при подсчете количества возрастных поколений все-таки учесть единичные деревья, то доля площади одновозрастных сосняков уменьшится на 3,2 %.

Наиболее сложные по возрастной структуре сосновые древостои, состоящие из семи поколений сосны, зафиксированы в Степно-Михайловском лесничестве. Таких древостоев насчитывается 9 шт., все они являются двухъярусными. Пример состава одного из древостоев: первый ярус –

4С(115)3С(160)3С(90), второй ярус – 3С(65)3С(45)2С(30)2С(15).

Лесничества в табл. 1 расположены в порядке их расположения с северо-востока на юго-запад Алтайского края (по нарастанию засушливости природно-климатических условий). Данный порядок лесничеств был установлен с целью подтверждения закономерности, описанной Е.Г. Парамоновым [21]. По его данным при продвижении с северо-востока на юго-запад региона дифференциация деревьев по возрасту увеличивается. Для проверки этой гипотезы к данным таблицы 1, выраженным в процентах, был применен кластерный анализ по методу полной связи (Complete Linkage). В результате анализа на рис. 1 рассматриваемые лесничества

ства были сгруппированы по принципу схожести  
распределения площади естественных сосняков по

количеству возрастных поколений.

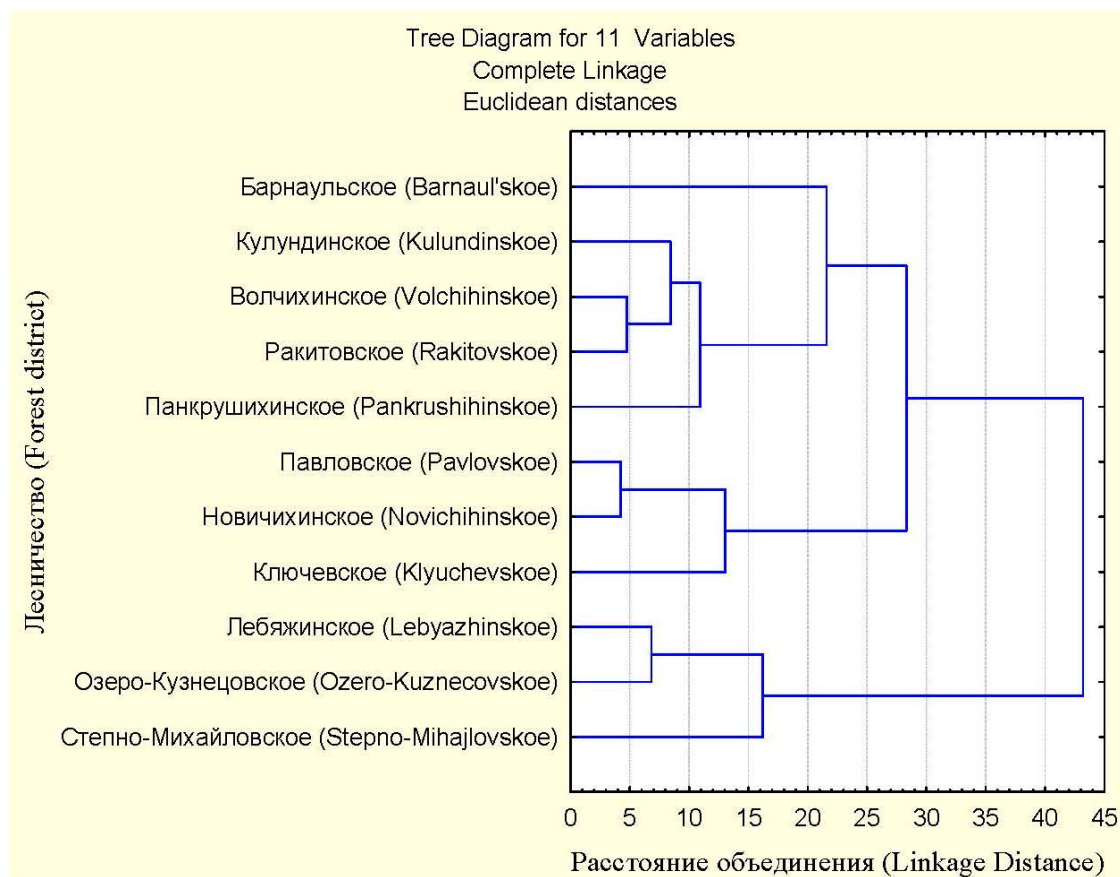


Рисунок 1. Древоподобная диаграмма для одиннадцати лесничеств

Figure 1. Tree diagram for eleven forestry

Источник: собственная композиция авторов

Source: author's composition

На дендрограмме (см. рис. 1) можно выделить четыре кластера: в первый входит только Барнаульское лесничество; во второй – Кулундинское, Волчихинское, Ракитовское, Панкрушихинское; в третий – Павловское, Новичихинское, Ключевское; в четвертый – Лебяжинское, Озеро-Кузнецовское, Степно-Михайловское. Первый кластер имеет самое северо-восточное положение, на его территории преобладают сосняки, состоящие из двух поколений сосны. Четвертый кластер состоит из лесничеств, расположенных довольно близко друг к другу, и находится в юго-западной части региона. В лесничествах четвертого кластера преобладают сосняки, состоящие из трех поколений сосны. В

состав второго и третьего кластеров, на территории которых преобладают сосняки, состоящие из двух поколений, вошли лесничества из совершенно разных частей Алтайского края. Исходя из полученных результатов, можно заключить, что описанная выше закономерность подтверждается только частично. Вероятно, на увеличение дифференциации деревьев по возрасту влияет не географическое расположение как таковое, а лесорастительные условия, которые меняются не равномерно, ухудшаясь с северо-востока на юго-запад, а могут становиться то лучше, то хуже, в зависимости от макро- и мезорельефа, глубины залегания грунтовых вод, почвенных условий [10]. В связи с этим целе-

## Природопользование

сообразно рассмотреть изменение возрастной структуры сосняков в зависимости от типов леса (табл. 2), которые в районе исследований очень тесно связаны с типом лесорастительных условий [19].

В табл. 2 типы леса расположены в порядке увеличения влажности почвы: в условиях типа леса СБВ грунтовые воды находятся на глубине 10-15 метров, а в условиях СГРС грунтовые воды находятся на глубине 0,3-0,4 м и зачастую наблюдается застойное избыточное увлажнение [19].

Данные табл. 2 свидетельствуют, что с увеличением обеспеченности сосняков влагой доля одновозрастных древостоев возрастает; доля сосняков, состоящих из трех и более поколений сосны, уменьшается; доля древостоев, состоящих из двух возрастных поколений сосны, меняется незначительно. Средневзвешенное количество возрастных поколений в различных типах леса следующее: СБВ – 2,3; СБП – 2,6; СВБ – 2,3; СПР – 2,1; ТРБ – 2,0; СГРС – 1,7. Похожий результат был получен в исследованиях [33].

Таблица 2

Распределение площади естественных сосняков по типам леса  
и количеству возрастных поколений сосны, га / %

Table 2

Distribution of the natural pine forest area by forest types and the number of pine age generations, ha/%

Тип леса   Forest Type	Средний класс бонитета   Average Quality Class	Количество возрастных поколений, шт.   Number of Age Generations, pcs					Итого   Total
		1	2	3	4	5 - 7	
Сухой бор высоких всхолмлений (СБВ)   Dryforest on high slopes (DFH)	IV,5	<u>326</u> 16,8	<u>748</u> 38,5	<u>730</u> 37,6	<u>136</u> 7,1	-	<u>1940</u> 100
Сухой бор пологих всхолмлений (СБП)   Dry forest on gentle slopes (DFG)	III,2	<u>29534</u> 14,0	<u>73619</u> 34,9	<u>71873</u> 34,0	<u>30336</u> 14,4	<u>5848</u> 2,7	<u>211210</u> 100
Свежий бор (СВБ)   Fresh forest (FRF)	II,2	<u>47789</u> 22,3	<u>80143</u> 37,4	<u>63622</u> 29,7	<u>19993</u> 9,3	<u>2808</u> 1,3	<u>214355</u> 100
Соснякпристепной (СПР)   Steppe pine forest (SPF)	II,3	<u>642</u> 28,3	<u>909</u> 40,0	<u>577</u> 25,4	<u>135</u> 5,9	<u>9</u> 0,4	<u>2272</u> 100
Травяной бор (ТРБ)   Grass forest (GRF)	I,8	<u>26826</u> 30,8	<u>37834</u> 43,4	<u>18852</u> 21,6	<u>3479</u> 4,0	<u>209</u> 0,2	<u>87200</u> 100
Согра сосновая (СГРС)   Pinesogra (PSGR)	III,5	<u>373</u> 49,9	<u>275</u> 36,7	<u>74</u> 9,9	<u>26</u> 3,5	-	<u>748</u> 100
Итого   Total	II,4	<u>105490</u> 20,4	<u>193528</u> 37,4	<u>155728</u> 30,1	<u>54105</u> 10,4	<u>8874</u> 1,7	<u>517725</u> 100

Источник: собственные вычисления авторов

Source: own calculations

В табл. 3 приведены р-значения (p-value), полученные при расчете критерия  $\chi^2$  для всех комбинаций пар исследуемых типов леса. Так как принятый уровень значимости составляет  $\leq 0,05$ , р-value более 0,05 свидетельствуют об отсутствии достоверных различий в распределении сосняков по количеству возрастных поколений в пределах типов леса. Таким образом, достоверные отличия

наблюдаются во всех парах типов леса кроме СБВ и СБП, СВБ; СПР и СВБ, ТРБ. Однако следует отметить, что типы леса СБВ и СПР, имеющие сходство в характере распределения сосняков по количеству возрастных поколений с другими типами леса, занимают всего 0,8 % от площади всех исследуемых сосняков. Поэтому гораздо больший интерес представляют достоверные различия между

тремя наиболее распространенными типами леса (СБП, СБВ, ТРБ).

С учетом того, что в пределах одного типа леса продуктивность древостоев может довольно сильно варьировать, например, по причине различной глубины залегания грунтовых вод, целесооб-

разно проанализировать распределение площади исследуемых сосняков по классам бонитета (табл. 4). К тому же данный показатель лучше подходит для количественной оценки потенциальной продуктивности насаждений [23].

Таблица 3

Результаты проверки гипотезы о согласии частот распределения одно- и разновозрастных сосняков по методу  $\chi^2$  для различных типов леса

Table 3

Results of testing the hypothesis on the agreement of the distribution frequencies of the same- and even-aged pine forests according to the  $\chi^2$  method for various forest types (for various quality classes)

Тип леса   Forest Type	СБВ   DFH	СБП   DFG	СБВ   FRF	СПП   SPF	ТРБ   GRF
СБП   DFG	0,420	-	-	-	-
СБВ   FRF	0,393	0,046	-	-	-
СПП   SPF	0,007	$5,15 \cdot 10^{-5}$	0,152	-	-
ТРБ   GRF	$3,10 \cdot 10^{-5}$	$1,83 \cdot 10^{-8}$	0,003	0,403	-
СГРС   PSGR	$2,17 \cdot 10^{-21}$	$2,19 \cdot 10^{-29}$	$9,04 \cdot 10^{-16}$	$3,01 \cdot 10^{-8}$	$4,52 \cdot 10^{-5}$

Источник: собственные вычисления авторов

Source: own calculations

Как и в случае с распределением по типам леса, в табл. 3 наблюдается тенденция на увеличение доли разновозрастных древостоев при снижении продуктивности древостоев, которую в значительной степени обеспечивает доступность влаги в почве [5, 10, 30]. Средневзвешенное количество поколений в древостоях, характеризующихся различными классами бонитета, следующее: I класс и выше – 1,8; II – 2,2; III – 2,5; IV – 2,6; V – 2,2 шт.

Значение средневзвешенного количества поколений древостоев пятого класса бонитета ниже ожидаемого, что обусловлено тем, что данным классом бонитета характеризуются древостои, произрастающие в условиях типов леса СБВ, СБП и СГРС, имеющие кардинально разные условия произрастания. Если проанализировать данные по древостоям пятого класса бонитета отдельно по указанным типам леса, то для типа леса СБВ наиболее представленная категория древостоев – сосняки, состоящие из трех возрастных поколений сосны; для СБП – сосняки, состоящие из двух поколений сосны; для СГРС – сосняки, состоящие из одного возрастного поколения сосны. Последнее еще раз

подтверждает предположение о том, что в районе исследований именно ограниченный доступ к влаге является одним из главных факторов, определяющих формирование разновозрастных древостоев. Данный факт приобретает особую важность с учетом глобальных изменений климата [40, 41].

По отношению к данным табл. 4 (аналогичным образом, как и к данным табл. 2) был применен критерий  $\chi^2$ . Полученные p-value приведены в таблице 5. В результате анализа было установлено, что достоверные различия в распределении сосняков по количеству возрастных поколений наблюдаются для всех пар классов бонитета кроме III и IV; V и II, III, IV. Таким образом, при совершенствовании системы лесохозяйственных мероприятий целесообразно делить сосняки на две категории (высоко- и низкобонитетные), а при значительной доле сосняков первого класса бонитета в пределах лесничества, возможно, стоит высокобонитетные древостои поделить на сосняки первого (и выше) класса бонитета и на сосняки второго класса бонитета.



## Природопользование

Таблица 4

Распределение площади естественных сосняков по классам бонитета и количеству возрастных поколений сосны, га / %

Table 4

Distribution of the natural pine forests area by quality classes and the number of pine age generations, ha / %

Класс бонитета   Quality Class	Преобладающий тип леса (в порядке убывания)   Dominant Forest Type (in Descending Order)	Количество возрастных поколений, шт.   Number of Age Generations, pcs					Итого   Total
		1	2	3	4	5 - 7	
I и выше   I and higher	ТРБ, СВБ   GRF, FRF	<u>15180</u> 41,3	<u>14948</u> 40,7	<u>5777</u> 15,7	<u>826</u> 2,2	<u>24</u> 0,1	<u>36755</u> 100
II	СВБ, ТРБ   FRF, GRF	<u>49640</u> 23,7	<u>84935</u> 40,5	<u>58632</u> 28,0	<u>15054</u> 7,2	<u>1373</u> 0,6	<u>209634</u> 100
III	СБП, СВБ   DFG, FRF	<u>32826</u> 15,3	<u>75302</u> 35,1	<u>70009</u> 32,7	<u>30159</u> 14,1	<u>6096</u> 2,8	<u>214392</u> 100
IV	СБП   DFG	<u>7497</u> 13,6	<u>17739</u> 32,1	<u>20709</u> 37,4	<u>7995</u> 14,5	<u>1381</u> 2,4	<u>55321</u> 100
V	СБВ, СБП   DFH, DFG	<u>347</u> 21,4	<u>604</u> 37,2	<u>601</u> 37,0	<u>71</u> 4,4	-	<u>1623</u> 100
Итого   Total		<u>105490</u> 20,4	<u>193528</u> 37,4	<u>155728</u> 30,1	<u>54105</u> 10,4	<u>8874</u> 1,7	<u>517725</u> 100

Источник: собственные вычисления авторов

Source: own calculations

Таблица 5

Результаты проверки гипотезы о согласии частот распределения одно- и разновозрастных сосняков по методу  $\chi^2$  для различных классов бонитета

Table 5

Results of testing the hypothesis on the agreement of the distribution frequencies of the same- and even-aged pine forests according to the  $\chi^2$  method for various quality classes

Класс бонитета   Quality Class	I и выше   I and higher	II	III	IV
II	$6,77 \cdot 10^{-5}$	-	-	-
III	$4,53 \cdot 10^{-14}$	0,026	-	-
IV	$7,01 \cdot 10^{-20}$	0,001	0,826	-
V	$5,08 \cdot 10^{-7}$	0,730	0,323	0,056

Источник: собственные вычисления авторов

Source: own calculations

Одним из определяющих факторов для формирования разновозрастных сосняков и назначения хозяйственных мероприятий является относительная полнота древостоев [7]. Распределение площади исследуемых сосняков по полнотам древостоев и количеству возрастных поколений приведено в табл. 6. К данным табл. 6 был применен критерий  $\chi^2$ . Полученные р-значения приведены в табл. 7.

Данные табл. 6 свидетельствуют об увеличении доли разновозрастных сосняков при увеличении относительной полноты. При этом наибольшая до-

ля древостоев, состоящих из трех возрастных поколений и более, наблюдается при полноте 0,5 и менее. Достоверных различий в количестве поколений между древостоями с полнотами 0,3-0,5 не выявлено. Также отсутствуют достоверные различия между древостоями с полнотами 0,7-0,9 и 0,8-1,0.

Средневзвешенное количество возрастных поколений при переходе от полноты 0,3 к полноте 1,0 плавно увеличивается от 2,7 до 2,0 шт. Корреляционный анализ между средневзвешенным количеством возрастных поколений и относительной

полнотой древостоев показал очень сильную обратную связь (-0,989). Для проверки значимости коэффициента корреляции был посчитан t-критерий Стьюдента. Его величина составила

16,4. Полученное значение t-критерия свидетельствует о значимости полученного коэффициента корреляции при уровне значимости  $\leq 0,01$ .

Таблица 6

Распределение площади естественных сосняков по относительным полнотам и количеству возрастных поколений сосны, га / %

Table 6

Distribution of the natural pine forests area by relative densities and the number of pine age generations, ha / %

Относительная полнота   Relative density	Количество возрастных поколений, шт.   Number of Age Generations, pcs					Итого   Total
	1	2	3	4	5 - 7	
0,3	<u>3993</u> 9,3	<u>15009</u> 35,1	<u>15852</u> 37,1	<u>6239</u> 14,6	<u>1661</u> 3,9	<u>42754</u> 100
0,4	<u>8391</u> 13,7	<u>19266</u> 31,6	<u>22326</u> 36,6	<u>9242</u> 15,1	<u>1804</u> 3,0	<u>61029</u> 100
0,5	<u>11725</u> 14,2	<u>28928</u> 35,1	<u>28552</u> 34,6	<u>11600</u> 14,0	<u>1708</u> 2,1	<u>82513</u> 100
0,6	<u>20615</u> 19,0	<u>41817</u> 38,6	<u>32942</u> 30,4	<u>11561</u> 10,7	<u>1446</u> 1,3	<u>108381</u> 100
0,7	<u>29540</u> 24,3	<u>48134</u> 39,6	<u>33080</u> 27,2	<u>9396</u> 7,8	<u>1342</u> 1,1	<u>121492</u> 100
0,8	<u>21781</u> 29,6	<u>29467</u> 40,0	<u>17348</u> 23,6	<u>4389</u> 6,0	<u>588</u> 0,8	<u>73573</u> 100
0,9	<u>7708</u> 33,5	<u>8967</u> 38,9	<u>4639</u> 20,1	<u>1411</u> 6,1	<u>314</u> 1,4	<u>23039</u> 100
1,0	<u>1737</u> 35,1	<u>1940</u> 39,3	<u>989</u> 20,0	<u>267</u> 5,4	<u>11</u> 0,2	<u>4944</u> 100
Итого   Total	<u>105490</u> 20,4	<u>193528</u> 37,4	<u>155728</u> 30,1	<u>54105</u> 10,4	<u>8874</u> 1,7	<u>517725</u> 100

Источник: собственные вычисления авторов

Source: own calculations

Таблица 7

Результаты проверки гипотезы о согласии частот распределения одно- и разновозрастных сосняков по методу  $\chi^2$  для различных относительных полнот

Table 7

Results of testing the hypothesis on the agreement of the distribution frequencies of the same- and even-aged pine forests according to the  $\chi^2$  method for various relative densities

Относительная полнота   Relative density	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
0,4	0,403	-	-	-	-	-	-
0,5	0,339	0,711	-	-	-	-	-
0,6	$9,19 \cdot 10^{-3}$	0,043	0,207	-	-	-	-
0,7	$3,90 \cdot 10^{-5}$	$3,66 \cdot 10^{-4}$	$4,96 \cdot 10^{-3}$	0,320	-	-	-
0,8	$2,04 \cdot 10^{-8}$	$3,50 \cdot 10^{-7}$	$1,54 \cdot 10^{-5}$	0,014	0,364	-	-
0,9	$9,02 \cdot 10^{-11}$	$2,42 \cdot 10^{-9}$	$2,03 \cdot 10^{-7}$	$8,19 \cdot 10^{-4}$	0,076	0,681	-
1,0	$1,41 \cdot 10^{-12}$	$4,53 \cdot 10^{-11}$	$7,18 \cdot 10^{-9}$	$1,00 \cdot 10^{-4}$	0,022	0,412	0,890

Источник: собственные вычисления авторов

Source: own calculations

Как и предполагалось, относительная полнота тесно связана с количеством возрастных поколений. Однако низкая относительная полнота древостоев может являться не только причиной формирования разновозрастных сосняков, но и следствием того, что разновозрастные сосняки эксплуатируются более интенсивно, чем одновозрастные. Так, в соответствии с Лесохозяйственными регламентами лесничеств ленточных боров, вступившими в силу с 30 декабря 2011 г., при проведении группово-выборочных рубок, назначаемых преимущественно в разновозрастных сосняках, было разрешено снижать полноту древостоев до 0,3 (что противоречит Правилам заготовки древесины в РФ) [18]. Такая же норма была прописана в регламентах, утвержденных 1 января 2019 г. И только с 2022 года это нарушение начали убирать из новых Лесохозяйственных регламентов.

Ранее проведенные исследования [18] показали, что в ленточных борах Алтайского края одноярусные сосняки, протаксированные одним поколением, могут состоять из деревьев, различающихся по возрасту на 65-80 и более лет. Это можно объяснить, как недостаточной долей запаса деревьев, отличающихся по возрасту от основного элемента леса, так и ошибкой таксатора. Вероятно, может быть и обратная ситуация, когда одновозрастные сосняки таксируются как разновозрастные, однако, с учетом большого объема данных, такие ошибки не могли значительно повлиять на полученные результаты.

Попытка оптимизации системы рубок с учетом разновозрастности сосновых древостоев ленточных боров была предпринята в 90-е годы двадцатого века, когда широкое применение получили рубки обновления и переформирования. Однако после 2008 года данные виды рубок стали применяться в крайне редких случаях [7]. Вероятной причиной тому послужили крайне расплывчатые требования к рубкам обновления и переформирования и условия их применения, позволившие изреживать древостои до состояния редин. Последнее свидетельствует о необходимости научного обоснования параметров данного вида рубок перед повсеместным внедрением в районе исследований.

С 2019 года, когда был выделен Алтай-Новосибирский район лесостепей и ленточных боров, интерес к рубкам обновления и переформирования вновь вырос. В актуальные Правила ухода за лесами для указанного лесного района были внесены нормативы мероприятий обновления, переформирования и реконструкции лесных насаждений, что свидетельствует о планах возобновить практику проведения данных рубок.

Дальнейшие исследования могут быть посвящены оценке влияния рубок обновления и переформирования, проводившихся в конце 20-го и начале 21-го века, на одно- и разновозрастные сосняки различных типов леса.

### Выводы

1. Системы рубок ухода и рубок спелых, перестойных лесных насаждений Алтай-Новосибирского лесорастительного района лесостепей и ленточных боров нуждаются в доработке. При совершенствовании систем рубок необходимо учесть соотношения одновозрастных и разновозрастных сосновых древостоев.

2. Сосняки естественного происхождения в районе исследований состоят преимущественно из двух-трех поколений сосны. На их долю приходится 67,5% площади естественных насаждений с преобладанием сосны. Одновозрастные сосняки занимают 20,4% площади. На долю сосняков с наличием четырех и более возрастных поколений приходится 12,1% площади.

3. При переходе от сырых к очень сухим условиям произрастания доля разновозрастных сосняков увеличивается. В связи с этим совершенствование системы лесохозяйственных мероприятий должно вестись на лесотипологической основе в сочетании с делением насаждений на высоко- и низкобонитетные.

4. Сосняки с относительной полнотой 0,5 и менее зачастую состоят из большего количества возрастных поколений, что обусловлено недостаточным количеством света под пологом таких древостоев. При этом низкая относительная полнота разновозрастных древостоев может являться следствием более интенсивной их эксплуатации по сравнению с одновозрастными сосняками.

### Список литературы

1. Ананьев В.А., Синькевич С.М. Обоснование ведения хозяйства в защитных лесах Зеленого пояса Фенноскандии с сохранением экосистемных функций. Труды Карельского научного центра Российской академии наук. 2019;4:182-189. DOI: <http://dx.doi.org/10.17076/them1008>
2. Башегуров К. А., Залесова Е. С., Толстиков А. Ю., Усов М. В. Последствия группово-выборочных рубок в сосняках ленточных боров Алтая. Успехи современного естествознания. 2019;9:13-18. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=40535914>
3. Башегуров К. А., Малиновских А. А., Савин М. А., Годовалов Г. А. Специфика накопления подроста на горях в различных лесорастительных подзонах ленточных боров Алтая. Леса России и хозяйство в них. 2020;1(72):4-14. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43806599>
4. Белов Л. А., Клям О. А., Сураев П. Н. Влияние выборочных рубок на подрост предварительной генерации в сосняках ягодникового типа леса. Леса России и хозяйство в них. 2022;1(80):37-47. DOI: <http://doi.org/10.51318/FRET.2021.65.76.004>
5. Беховых Ю. В., Болотов А. Г. Сравнительный анализ продуктивных запасов влаги дерново-подзолистых почв ленточных боров Алтайского края в зонах засушливой и сухой степи. Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2012;2(88):42-46. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17356629>
6. Дебков Н. М., Кузменкин Д. В., Грибков А. В., Пожидаева Л. В. О предельном возрасте сосны обыкновенной и ее древостоев в ленточных борах Алтайского края. Устойчивое лесопользование. 2021;1(65):53-61. DOI: [http://doi.org/10.47364/2308-541X\\_2021\\_65\\_1\\_53](http://doi.org/10.47364/2308-541X_2021_65_1_53)
7. Желдак В. И., Маленко А. А., Мартынюк А. А., Сидоренков В. М., Лямцев Н. И., Коршунов Н. А., Корякин В. А., Рябцев О. В., Малиновских А. А., Дорощенко Э. В., Конюшенков М. Е., Курсикова Е. С., Сидоренкова Е. М., Трушина И. Г., Трушина Н. И. Ленточные боры и ведение хозяйства в них: моногр. / Под общ. ред. чл.-корр. РАН А. А. Мартынюка. Пушкино: ВНИИЛМ. 2022:216. ISBN 978-5-94219-280-8 Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=50262485>
8. Залесов С. В. Бачурина А. В., Бачурина С. В. Состояние сосновых насаждений после первого приема рубок обновления. Вестник Башкирского государственного аграрного университета. 2015;1(33):105-109. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23478273>
9. Залесова Е. С., Залесов С. В., Толстиков А. Ю., Усов М. В., Шубин Д. А. Комбинированные выборочные рубки в защитных лесах. Актуальные проблемы лесного комплекса. 2017;47:19-22. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29196612>
10. Кулагина В. В. Современное состояние Барнаульского ленточного бора. География и природопользование Сибири. 2016;22:76-81. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32574603>
11. Кутявин И. Н., Манов А. В., Осипов А. Ф., Кузнецов М. А. Строение древостоев северотаежных сосняков. Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2021;2(380):86-105. DOI: <http://doi.org/10.37482/0536-1036-2021-2-86-105>
12. Малиновских А. А., Маленко А. А. Процесс естественного возобновления сосны обыкновенной после выборочных рубок в спелых и перестойных насаждениях в ленточных борах Алтайского края. Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2018;1(159):67-72. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32357639>
13. Малиновских А. А., Маленко А. А. Влияние живого напочвенного покрова на процесс естественного возобновления сосны обыкновенной после рубок в спелых и перестойных насаждениях в ленточных борах Алтайского края. Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2017;12(158):58-64. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30677132>
14. Мартынюк А. А., Родин С. А., Рябцев О. В. Инновационному развитию нет альтернативы. Лесохозяйственная информация. 2019;3:7-20. DOI: <http://doi.org/10.24419/LHI.2304-3083.2019.3.01>

15. Мартынюк А.А., Сидоренков В.М., Желдак В.И., Лямцев Н.И., Рябцев О.В., Жафяров А.В. Lentочные боры Алтайского края – состояние и совершенствование хозяйства в них. Лесохозяйственная информация. 2019;1:33–48. DOI: <http://doi.org/10.24419/LHI.2304-3083.2019.1.03>
16. Мухин А. К. Особенности динамики лишайниковых сосняков в условиях подтопления Рыбинским водохранилищем. Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2022;4:52-69. DOI: <http://doi.org/10.37482/0536-1036-2022-4-52-69>
17. Осипенко А. Е., Залесов С. В., Белов Л. А., Шубин Д. А. Рост по высоте и диаметру сосновых древостоев в Западно-Сибирском подтаежно-лесостепном районе Алтайского края. Лесохозяйственная информация. 2019;1:56–66. DOI: <http://doi.org/10.24419/LHI.2304-3083.2019.1.05>
18. Осипенко А. Е., Осипенко Р. А., Залесов С. В. Возрастная структура сосновых древостоев в Алтае-Новосибирском районе лесостепей и ленточных боров. Лесохозяйственная информация. 2020;3:89–100. DOI: <http://doi.org/10.24419/LHI.2304-3083.2020.3.08>
19. Осипенко А.Е. Рост и развитие искусственных и естественных сосновых древостоев в Алтае-Новосибирском районе лесостепей и ленточных боров: дис. ... канд. с.-х. наук: 06.03.02. Екатеринбург. 2020:195. Режим доступа: [https://usfeu.ru/media/filer\\_public/c0/14/c014a970-123c-44f0-ad45-c91159d8dde6/dissertatsia\\_osipenko\\_-\\_okonch.pdf](https://usfeu.ru/media/filer_public/c0/14/c014a970-123c-44f0-ad45-c91159d8dde6/dissertatsia_osipenko_-_okonch.pdf)
20. Парамонов Е. Г. Лесовозобновительная роль добровольно-выборочных рубок в ленточных борах Алтая. Лесное хозяйство. 2015;2:16-17. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29225547>
21. Парамонов Е. Г. Экологические мероприятия в целях лесовосстановления в ленточных борах Алтайского края. Мир науки, культуры, образования. 2014;2(45):396-399. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21507215>
22. Парамонов Е. Г., Рыбкина И. Д. Lentочные боры Алтая в период потепления климата. Устойчивое лесопользование. 2017;3(51):33-39. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=34958211>
23. Сальникова И. С., Воробьева Т. С., Нагимов З. Я., Зубова С. С., Орехова О. Н., Суслов А. В. Таксация леса. Ход роста насаждений. Екатеринбург: УГЛТУ. 2020:130. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44847425>
24. Сиделев С. И. Математические методы в биологии и экологии: введение в элементарную биометрию. Ярославль: ЯрГУ. 2012:138. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=19503498>
25. Толстиков А. Ю. Лесоводственная эффективность выборочных рубок спелых и перестойных насаждений и специализированных рубок ухода в ленточных борах Алтайского края: дис. ... канд. с.-х. наук: 06.03.02. Екатеринбург. 2019:162. Режим доступа: [https://usfeu.ru/media/filer\\_public/e9/7c/e97c792f-2751-447a-85a1-5f60866099e3/dissertatsiia\\_tolstikov.pdf](https://usfeu.ru/media/filer_public/e9/7c/e97c792f-2751-447a-85a1-5f60866099e3/dissertatsiia_tolstikov.pdf)
26. Усов М. В., Залесов С. В., Шубин Д. А., Толстиков А. Ю., Белов Л. А. Перспективность применения чересполосных постепенных рубок в сосняках Алтая. Аграрный вестник Урала. 2017;1(155):44-48. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29027521>
27. Aakala T. Forest fire histories and tree age structures in Värriö and Maltio Strict Nature Reserves, northern Finland. Boreal Environment Research. 2018;23:209-219. URL: <https://helda.helsinki.fi/handle/10138/298938>
28. Adámek, M., Hadincová, V., Wild, J. Long-term effect of wildfires on temperate *Pinus sylvestris* forests: Vegetation dynamics and ecosystem resilience. Forest Ecology and Management, 2016;380:285–295. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.08.051>
29. Čugunovs M., Nikodemus O., Dauškane I., Brūmelis G. The colonization history of Scots pine (*Pinus sylvestris*) in pristine and drained raised bogs in Latvia. Environmental and Experimental Biology. 2016;14(2):97-106. DOI: <https://doi.org/10.22364/eeb.14.14>
30. Dang H., Han H., Zhang X., Chen S., Li M., Liu C. Key Strategies Underlying the adaptation of Mongolian scots pine (*Pinus sylvestris* var. *mongolica*) in sandy land under climate change: a review. Forests. 2022;13(6):846. DOI: <https://doi.org/10.3390/f13060846>

31. Ducey, M.J.; Gunn, J.S.; Whitman, A.A. Late-Successional and Old-Growth Forests in the Northeastern United States: Structure, Dynamics, and Prospects for Restoration. *Forests*. 2013;4:1055-1086. DOI: <https://doi.org/10.3390/f4041055>
32. Duncker P. S., Barreiro S. M., Hengeveld G. M., Lind T., Mason W. L., Ambrozy S., Spiecker, H. Classification of Forest Management Approaches: A New Conceptual Framework and Its Applicability to European Forestry. *Ecology and Society*. 2012;17(4):51. URL: <http://www.jstor.org/stable/26269224>
33. Fahey R. T., Lorimer C. G. Persistence of pine species in late-successional forests: evidence from habitat-related variation in stand age structure. *Journal of vegetation science*. 2014;25(2):584-600. DOI: <https://doi.org/10.1111/jvs.12091>
34. Kitenberga M., Drobyshev I., Elferts D., Matisons R., Adamovics A., Katrevis J., Niklasson M., Jansons A. A mixture of human and climatic effects shapes the 250-year long fire history of a semi-natural pine dominated landscape of Northern Latvia. *Forest Ecology and Management*. 2019;441:192-201. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.03.020>
35. Kuuluvainen T., Nummi P. Strategies for the Ecological Restoration of the Boreal Forest Facing Climate Change. *Boreal Forests in the Face of Climate Change: Sustainable Management*. Cham: Springer International Publishing. 2023:443-466. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-031-15988-6>
36. Lundqvist L., Ahlström M. A., Petter Axelsson E., Mörling T., Valinger E. Multi-layered Scots pine forests in boreal Sweden result from mass regeneration and size stratification. *Forest Ecology and Management*. 2019;441:176-181. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.03.044>
37. McDowell N. G., Allen C. D., Anderson-Teixeira K., Aukema B. H., Bond-Lamberty B., Chini L., Clark J. S., Dietze M., Grossiord C., Hanbury-Brown A., Hurr G. C., Jackson R. B., Johnson D. J., Kueppers L., Lichstein J. W., Ogle K., Poulter B., Pugh T. A. M., Seidl R., Turner M. G., Uriarte M., Walker A. P., Xu C. Pervasive shifts in forest dynamics in a changing world. *Science*. 2020;368(6494):eaaz9463. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.aaz9463>
38. Ribeiro S., Cerveira A., Soares P., Fonseca T. Natural regeneration of maritime pine: A review of the influencing factors and proposals for management. *Forests*. 2022;13(3):386. DOI: <https://doi.org/10.3390/f13030386>
39. Sandström J., Edman M., Jonsson B. G. Rocky pine forests in the High Coast Region in Sweden: Structure, dynamics and history. *Nature Conservation*. 2020;38:101-130. DOI: <https://doi.org/10.3897/natureconservation.38.34870>
40. Song, L., Zhu, J., Li, M., Zhang J., Li D. Water use strategies of natural *Pinus sylvestris* var. *Mongolica* trees of different ages in Hulunbuir Sandy Land of Inner Mongolia, China, based on stable isotope analysis. *Trees*. 2018;32:1001–1011. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00468-018-1691-2>
41. Taeger S., Zang C., Liesebach M., Schneck V., Menzel A. Impact of climate and drought events on the growth of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) provenances. *Forest Ecology and Management*. 2013;307:30–42. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2013.06.053>

### References

1. Ananyev V. A., Sinkevich S. M. The rationale for forestry in protective forests in the green belt of Fennoscandia while preserving their ecosystem functions. *Transactions of the Karelian research Centre of the Russian academy of sciences*. 2019;4:182-189. (In Russ.). DOI: <http://dx.doi.org/10.17076/them1008>
2. Bashegurov K. A., Zalesova E. S., Tolstikov A. Yu., Usov M. V. Posledstviya gruppovo-vyborochnykh rubok v sosnyakah lentochnykh borov Altaya. [Consequence of group-selective felling in stripe pine forests of Altay]. *Uspekhi sovremennoye estestvoznaniya*. 2019;9:13-18. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=40535914>
3. Bashegurov K. A., Malinovskikh A. A., Savin M. A., Godovalov G. A. Specifika nakopleniya podrosta na garyah v razlichnykh lesorastitel'nykh podzonah lentochnykh borov Altaya. [Specificity of undergrowth with accumulation on learned areal in different forest growing subzones of Altai belt boron]. *Forests of Russia and economy in them*. 2020;1(72):4-14. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43806599>
4. Belov L. A., Klyam O. A., Suraev P. N. Vliyanie vyborochnykh rubok na podrost predvaritel'noj generacii v sosnyakah yagodnikovogo tipa lesa. [The effect of selective logging on the undergrowth of preliminary generation in

berry-type pine forests]. Forests of Russia and economy in them. 2022;1(80):37-47. (In Russ.). DOI: <http://doi.org/10.51318/FRET.2021.65.76.004>

5. Bekhoviy Yu. V., Bolotov A. G. Sravnitel'nyj analiz produktivnykh zapasov vlagi dernovo-podzolistykh pochv lentochnykh borov Altajskogo kraja v zonah zasushlivoj i suhoj stepi. [Comparative analysis of productive moisture deposits of soddy-podzolic soils of ribbon pine forests in Altai krai in the zones of arid and dry steppe]. Bulletin of Altai State Agricultural University. 2012;2(88):42-46. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17356629>

6. Debkov N. M., Kuzmenkin D. V., Gribkov A. V., Pozhidaeva L. V. O predel'nom vozraste sosny obyknovnoj i ee drevostoev v lentochnykh borah Altajskogo kraja. Sustainable forest management. 2021;1(65):53-61. DOI: [http://doi.org/10.47364/2308-541X\\_2021\\_65\\_1\\_53](http://doi.org/10.47364/2308-541X_2021_65_1_53)

7. Zheldak V. I., Malenko A. A., Martynyuk A. A., Sidorenkov V. M., Lyamcev N. I., Korshunov N. A., Koryakin V. A., Ryabcev O. V., Malinovskih A. A., Doroshchenkova E. V., Konyushenkov M. E., Kursikova E. S., Sidorenkova E. M., Trushina I. G., Trushina N. I. Lentochnye bory i vedenie hozyajstva v nih: monograf. [Pine forests and its management: monograph]. Edited by member of the RAS A.Martynuik. Pushkino: VNIILM. 2022:216. ISBN 978-5-94219-280-8 (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=50262485>

8. Zalesov S. V., Bachurina A. V., Bachurina S. V. Sostoyanie osnovnykh nasazhdenij posle pervogo priema rubok obnovleniya. [Pine forests after the first regeneration cut]. Bulletin of the Bashkir state agrarian university. 2015;1(33):105-109. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23478273>

9. Zalesova E. S., Zalesov S. V., Tolstikov A. Yu., Usov M.V., Shubin D. A. Kombinirovannye vyborochnye rubki v zashchitnykh lesah. [Combined selective logging in protective forests] Actual problems of the forest complex. 2017;47:19-22. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29196612>

10. Kulagina V. V. Sovremennoe sostoyanie Barnaul'skogo lentochnogo bora. [Current state of the Barnaul ribbon forest]. Geography and nature management of Siberia. 2016;22:76-81. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32574603>

11. Kutuyavin I. N., Manov A. V., Osipov A. F., Kuznecov M. A. Stroenie drevostoev severotaezhnykh sosnyakov. [Stand structure of northern taiga pine forests] Lesnoy Zhurnal (Russian Forestry Journal). 2021;2(380):86-105. (In Russ.). DOI: <http://doi.org/10.37482/0536-1036-2021-2-86-105>

12. Malinovskih A. A., Malenko A. A. Process estestvennogo vozobnovleniya sosny obyknovnoj posle vyborochnykh rubok v spelykh i perestojnykh nasazhdeniyah v lentochnykh borah Altajskogo kraja. [Natural regeneration of scots pine after selective felling in mature and over-mature stands in belt pine forests of the Altai region]. Bulletin of Altai State Agricultural University. 2018;1(159):67-72. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32357639>.

13. Malinovskih A. A., Malenko A. A. Vliyanie zhivogo napochvennogo pokrova na process estestvennogo vozobnovleniya sosny obyknovnoj posle rubok v spelykh i perestojnykh nasazhdeniyah v lentochnykh borah Altajskogo kraja. [Living soil cover influence on natural regeneration of scots pine after felling in mature and over-mature stands in belt pine forests of the Altai region]. Bulletin of Altai State Agricultural University. 2017;12(158):58-64. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30677132>.

14. Martynyuk A. A., Rodin S. A., Ryabcev O. V. Innovacionnomu razvitiyu net al'ternativy. [There is no Alternative to Innovative Development]. Forestry information. 2019;3:7-20. (In Russ.). DOI: <http://doi.org/10.24419/LHI.2304-3083.2019.3.01>

15. Martynyuk A.A., Sidorenkov V.M., Zheldak V.I., Lyamcev N.I., Ryabcev O.V., Zhafyarov A.V. Lentochnye bory Altajskogo kraja – sostoyanie i sovershenstvovanie hozyajstva v nih. [Ribbon relict pine forests in the Altai territory – current forest management and its improvement]. Forestry information. 2019;1:33–48. (In Russ.). DOI: <http://doi.org/10.24419/LHI.2304-3083.2019.1.03>

16. Muhin A. K. Osobennosti dinamiki lishajnikovyx sosnyakov v usloviyah podtopleniya Rybinskim vodohrani-lishchem. [Features of the Dynamics of Lichen Pine Forests under Flooding by the Rybinsk Reservoir]. Lesnoy Zhurnal (Russian Forestry Journal). 2022;4:52-69. (In Russ.). DOI: <http://doi.org/10.37482/0536-1036-2022-4-52-69>.

17. Osipenko A. E., Zalesov S. V., Belov L. A., Shubin D. A. Rost po vysote i diametru sosnovykh drevostoev v Zapadno-Sibirskom podtaezhno-lesostepnom rajone Altajskogo kraja. [Growth in height and diameter of pine stands in the West Siberian subtaiga forest-steppe region of the Altai krai]. *Forestry information*. 2019;1:56–66. (In Russ.). DOI: <http://doi.org/10.24419/LHI.2304-3083.2019.1.05>
18. Osipenko A. E., Osipenko R. A., Zalesov S. V. Vozrastnaya struktura sosnovykh drevostoev v Altai-Novosibirskom rajone lesostepej i lentochnyh borov. [Age structure and composition of pine stands in the Altai-Novosibirsk region of forest-steppe and ribbon forests]. *Forestry information*. 2020;3:89–100. (In Russ.). DOI: <http://doi.org/10.24419/LHI.2304-3083.2020.3.08>
19. Osipenko A. E., Rost i razvitie iskusstvennyh i estestvennyh sosnovykh drevostoev v Altai-Novosibirskom rajone lesostepej i lentochnyh borov. [Growth and development of artificial and natural pine stands in the Altai-Novosibirsk region of forest-steppe and ribbon forests]: dissertation for the degree of Candidate of Agricultural Sciences: 06.03.02. Yekaterinburg. 2020:195. (In Russ.). URL: [https://usfeu.ru/media/filer\\_public/c0/14/c014a970-123c-44f0-ad45-c91159d8dde6/dissertatsia\\_osipenko\\_-\\_okonch.pdf](https://usfeu.ru/media/filer_public/c0/14/c014a970-123c-44f0-ad45-c91159d8dde6/dissertatsia_osipenko_-_okonch.pdf)
20. Paramonov E. G. Lesovozobnovitel'naya rol' dobrovol'no-vyborochnykh rubok v lentochnyh borah Altaya. *Forestry*. 2015;2:16-17. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29225547>
21. Paramonov E. G. Ekologicheskie meropriyatiya v celyah lesovosstanovleniya v lentochnyh borah Altajskogo kraja. [Environmental measures for reforestation in the belt forests of the Altai krai]. *The world of science, culture, education*. 2014;2(45):396-399. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21507215>
22. Paramonov, E. G., Rybkina I. D. Lentochnye bory Altaya v period potepleniya klimata. [Ribbon forests of Altai in the period of climate warming]. *Sustainable forestry*. 2017;3(51):33-39. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=34958211>.
23. Sal'nikova I. S., Vorob'eva T. S., Nagimov Z. Ya., Zubova S. S., Orekhova O. N., Suslov A. V. Taksaciya lesa. Hod rosta nasazhdenij. [Forest Inventory. Stand Development.]. Yekaterinburg: USFEU Publ.. 2020:130. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44847425>
24. Sidelev S.I. Matematicheskie metody v biologii i ekologii: vvedenie v elementarnuyu biometriyu [Mathematical Methods in Biology and Ecology: an Introduction to Elementary Biometrics]. Yaroslavl, YarSU Publ., 2012:138. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=19503498>
25. Tolstikov A. Yu. Lesovodstvennaya effektivnost' vyborochnykh rubok spelyh i perestojnykh nasazhdenij i specializirovannykh rubok uhoda v lentochnyh borah Altajskogo kraja. [Silvicultural Efficiency of Selective Felling of Mature and Overmature Plantations and Specialized Thinning in Strip Pine Forests of the Altai Krai]: dissertation for the degree of Candidate of Agricultural Sciences: 06.03.02. Yekaterinburg. 2019:162. (In Russ.). URL: [https://usfeu.ru/media/filer\\_public/e9/7c/e97c792f-2751-447a-85a1-5f60866099e3/dissertatsiia\\_tolstikov.pdf](https://usfeu.ru/media/filer_public/e9/7c/e97c792f-2751-447a-85a1-5f60866099e3/dissertatsiia_tolstikov.pdf)
26. Usov M. V., Zalesov S. V., Shubin D. A., Tolstikov A. Yu., Belov L. A. Prospects for the use of interlaced gradual logging in Altai pine forests. [Perspective of alternate strip felling in pine stands of Altai]. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2017;1(155):44-48. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29027521>
27. Aakala T. Forest fire histories and tree age structures in Värriö and Maltio Strict Nature Reserves, northern Finland. *Boreal Environment Research*. 2018;23:209-219. URL: <https://helda.helsinki.fi/handle/10138/298938>
28. Adámek, M., Hadincová, V., Wild, J. *Long-term effect of wildfires on temperate Pinus sylvestris forests: Vegetation dynamics and ecosystem resilience. Forest Ecology and Management*, 2016;380:285–295. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.08.051>
29. Čugunovs M., Nikodemus O., Dauškane I., Brūmelis G. The colonization history of Scots pine (*Pinus sylvestris*) in pristine and drained raised bogs in Latvia. *Environmental and Experimental Biology*. 2016;14(2):97-106. DOI: <https://doi.org/10.22364/eeb.14.14>
30. Dang H., Han H., Zhang X., Chen S., Li M., Liu C. Key Strategies Underlying the adaptation of Mongolian scots pine (*Pinus sylvestris* var. *mongolica*) in sandy land under climate change: a review. *Forests*. 2022;13(6):846. DOI: <https://doi.org/10.3390/f13060846>



31. Ducey, M.J.; Gunn, J.S.; Whitman, A.A. Late-Successional and Old-Growth Forests in the Northeastern United States: Structure, Dynamics, and Prospects for Restoration. *Forests*. 2013;4:1055-1086. DOI: <https://doi.org/10.3390/f4041055>
32. Duncker P. S., Barreiro S. M., Hengeveld G. M., Lind T., Mason W. L., Ambrozy S., Spiecker, H. Classification of Forest Management Approaches: A New Conceptual Framework and Its Applicability to European Forestry. *Ecology and Society*. 2012;17(4):51. URL: <http://www.jstor.org/stable/26269224>
33. Fahey R. T., Lorimer C. G. Persistence of pine species in late-successional forests: evidence from habitat-related variation in stand age structure. *Journal of vegetation science*. 2014;25(2):584-600. DOI: <https://doi.org/10.1111/jvs.12091>
34. Kitenberga M., Drobyshev I., Elferts D., Matisons R., Adamovics A., Katrevics J., Niklasson M., Jansons A. A mixture of human and climatic effects shapes the 250-year long fire history of a semi-natural pine dominated landscape of Northern Latvia. *Forest Ecology and Management*. 2019;441:192-201. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.03.020>
35. Kuuluvainen T., Nummi P. Strategies for the Ecological Restoration of the Boreal Forest Facing Climate Change. *Boreal Forests in the Face of Climate Change: Sustainable Management*. Cham: Springer International Publishing. 2023:443-466. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-031-15988-6>
36. Lundqvist L., Ahlström M. A., Petter Axelsson E., Mörling T., Valinger E. Multi-layered Scots pine forests in boreal Sweden result from mass regeneration and size stratification. *Forest Ecology and Management*. 2019;441:176-181. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.03.044>
37. McDowell N. G., Allen C. D., Anderson-Teixeira K., Aukema B. H., Bond-Lamberty B., Chini L., Clark J. S., Dietze M., Grossiord C., Hanbury-Brown A., Hurr G. C., Jackson R. B., Johnson D. J., Kueppers L., Lichstein J. W., Ogle K., Poulter B., Pugh T. A. M., Seidl R., Turner M. G., Uriarte M., Walker A. P., Xu C. Pervasive shifts in forest dynamics in a changing world. *Science*. 2020;368(6494):eaaz9463. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.aaz9463>
38. Ribeiro S., Cerveira A., Soares P., Fonseca T. Natural regeneration of maritime pine: A review of the influencing factors and proposals for management. *Forests*. 2022;13(3):386. DOI: <https://doi.org/10.3390/f13030386>
39. Sandström J., Edman M., Jonsson B. G. Rocky pine forests in the High Coast Region in Sweden: Structure, dynamics and history. *Nature Conservation*. 2020; 38:101-130. DOI: <https://doi.org/10.3897/natureconservation.38.34870>
40. Song, L., Zhu, J., Li, M., Zhang J., Li D. Water use strategies of natural *Pinus sylvestris* var. *Mongolica* trees of different ages in Hulunbuir Sandy Land of Inner Mongolia, China, based on stable isotope analysis. *Trees*. 2018;32:1001–1011. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00468-018-1691-2>
41. Taeger S., Zang C., Liesebach M., Schneck V., Menzel A. Impact of climate and drought events on the growth of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) provenances. *Forest Ecology and Management*. 2013;307:30–42. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2013.06.053>

### Сведения об авторах

✉ *Осипенко Алексей Евгеньевич* – кандидат с.-х. наук, доцент кафедры лесоводства, ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет», ул. Сибирский тракт, 37, г. Екатеринбург, Российская Федерация, 620100, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6148-1747>, e-mail: [osipenkoae@m.usfeu.ru](mailto:osipenkoae@m.usfeu.ru).

*Залесов Сергей Вениаминович* – доктор с.-х. наук, заведующий кафедрой лесоводства, ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет», ул. Сибирский тракт, 37, г. Екатеринбург, Российская Федерация, 620100, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3779-410X>, [zalesovsv@m.usfeu.ru](mailto:zalesovsv@m.usfeu.ru).

### Information about the authors

✉ *Aleksey E. Osipenko* – Cand. Sci. (Agric.), Associate Professor of Department of Forestry, Ural State Forest Engineering University, Sibirskiy trakt str., 37, Yekaterinburg, Russian Federation, 620100, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6148-1747>, e-mail: [osipenkoae@m.usfeu.ru](mailto:osipenkoae@m.usfeu.ru).

*Sergey V. Zalesov* – Dr. Sci. (Agric.), Head of the Department of Forestry, Ural State Forest Engineering University, Sibirskiy trakt str., 37, Yekaterinburg, Russian Federation, 620100, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3779-410X>, [zalesovsv@m.usfeu.ru](mailto:zalesovsv@m.usfeu.ru).

✉ – Для контактов/Corresponding author