



## ТАКСАЦИОННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ И ТОВАРНАЯ СТРУКТУРА СПЕЛЫХ СМЕШАННЫХ ДРЕВОСТОЕВ СОСНЫ И ЕЛИ В ЗЕЛЕНОМОШНЫХ ТИПАХ ЛЕСА

Дмитрий А. Данилов<sup>1</sup>, stown200@mail.ru, 0000-0002-7504-5743

Наталья В. Беляева<sup>1</sup>✉, galbel06@mail.ru, 0000-0001-8673-2824

Дмитрий А. Зайцев<sup>2</sup>, disoks@gmail.com, 0000-0002-8704-6516

Ирина М. Анисимова<sup>1</sup>, london-86@bk.ru, 0000-0002-9022-7684

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова», Институтский пер., 5, г. Санкт-Петербург, 194021, Россия

<sup>2</sup>Ленинградский НИИСХ «Белогорка» - филиал ФГБНУ «ФИЦ картофеля имени А.Г. Лорха», ул. Институтская, 1, д. Белогорка, Гатчинский район, Ленинградская область, 188338, Россия

Рассмотрено влияние состава насаждения на таксационные показатели и запас спелых древостоев сосны и ели. Объекты исследования – древостои с разной долей участия сосны и ели в наиболее представленных зеленомошных типах леса ландшафта Тихвинской Гряды Бокситогорского лесничества Ленинградской области. Оценка запаса и определение таксационных показателей проводились на пробных площадях, заложенных по стандартным лесоводственным методикам. В таежной зоне в различных типах леса товарная структура древостоя и выход сортиментов по категориям крупности зависит от доли участия той или иной породы в составе насаждения к возрасту сплошной рубки. Целью проведенного исследования было определение оптимального состава насаждения по запасу и товарности к возрасту спелости древостоя. Наиболее продуктивными по запасу и выходу крупнотоварной хвойной древесины в исследуемых условиях произрастания являются сосняки с составом древостоя 8С2Е, 7С1Е2Б, 5С4Е1Б и ельники с составом 7Е1С2Б, 4Е2С4Ос+Б. Полученные результаты исследования показывают, что с увеличением доли участия сосны в насаждениях зеленомошной группы типов леса увеличивается выход крупномерных сортиментов хвойной древесины к возрасту спелого древостоя.

**Ключевые слова:** древостои сосны и ели, категории крупности сортиментов, средние диаметр и высота, запас

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

**Для цитирования:** Таксационные показатели и товарная структура спелых смешанных древостоев сосны и ели в зеленомошных типах леса / Д. А. Данилов, Н. В. Беляева, Д. А. Зайцев, И. М. Анисимова // Лесотехнический журнал. – 2022. – Т. 12. – № 2 (46). – С. 14–29. – Библиогр.: с. 25–28 (30 назв.). – DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2022.2/2>.

**Поступила:** 31.03.2022 **Принята к публикации:** 23.06.2022 **Опубликована онлайн:** 01.07.2022

## TAXATION INDICATORS AND COMMODITY STRUCTURE OF RIPE MIXED PINE AND SPRUCE STANDS IN GREENMOSS FORESTS

Dmitry A. Danilov<sup>1</sup>, stown200@mail.ru,  0000-0002-7504-5743

Natalia V. Belyaeva<sup>1</sup> , galbel06@mail.ru,  0000-0001-8673-2824

Dmitry A. Zaitsev<sup>2</sup>, disoks@gmail.com,  0000-0002-8704-6516

Irina M. Anisimova<sup>1</sup>, london-86@bk.ru,  0000-0002-9022-7684

<sup>1</sup> Saint Petersburg State Forest Technical University named after S.M. Kirov, Institutskiy per., 5, St. Petersburg, 194021, Russia

<sup>2</sup> Leningrad Research Institute of Agriculture "Belogorka" - a branch of the FSBSI "FRC of Potato named after A.G. Lorkh, st. Institutskaya, 1, Belogorka village, Gatchinsky district, Leningrad region, 188338, Russia

### Abstract

The influence of the stand composition on taxation indicators and the stock of mature pine and spruce stands have been considered. The objects of study are forest stands with different proportions of pine and spruce in the most represented green moss forests of the landscape of the Tikhvin Ridge (Boksitogorsky forestry) of the Leningrad region. Stock assessment and determination of taxation indicators were carried out on trial plots laid out according to standard forestry methods. Commodity structure of the stand and different yield of assortments by size categories depend on the share of participation of one or another species in the composition of the plantation by the age of clear-cutting in the taiga zone in different types of forests. The purpose of the study was to determine optimal plantation composition in terms of stock and large-scale marketability by the age of maturity of the stand. The most productive in terms of stock and output of large-scale coniferous wood under the studied growing conditions are pine forests with a stand composition of 8C2E, 7C1E2B, 5C4E1B and spruce forests with a composition of 7E1C2B, 4E2C4Os+B. The obtained results of the study show that with an increase in the share of pine in the plantations of the green moss group of forest types, the yield of large-sized coniferous wood assortments increases by the age of a ripe forest stand..

**Keywords:** pine and spruce stands, size categories of trunks of assortments, average diameter and height, stock

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

**For citation:** Danilov D. A., Beliaeva N. V., Zaitsev D. A., Anisimova I. M. (2022) Taxation characteristics and commodity structure of mature pine and spruce mixed stands in green-moss forest types. *Lesotekhnicheskii zhurnal* [Forest Engineering journal], Vol. 12, No. 2 (46), pp. 14-29 (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2022.2/2>.

**Received:** 31.03.2022 **Revised:** 23.06.2022 **Accepted:** 28.06.2022 **Published online:** 01.07.2022

### Введение

Хвойные смешанные древостои с преобладанием сосны и ели в бореальной зоне Северо-Запада России занимают по разным данным от 25 до 35 % лесопокрытой площади [4-6].

В ряде исследований отмечено, что продуктивность смешанных естественных хвойных древостоев отличается от продуктивности одновидовых насаждений [13, 16-20,24]. Однако это зависит как от породного состава насаждения, так и от условий

произрастания, структуры древостоя, а также этапов развития и динамики древостоя. Сложность структуры смешанных лесов с разной долей участия сосны и ели в таёжной зоне требует проведения исследований, которые позволили бы сформировать систему ведения хозяйства в этих фитоценозах.

В настоящее время знания о динамике смешанных древостоев имеют больше эмпирический характер. Дальнейшие исследования должны быть

направлены на выявление общих правил и закономерностей развития и формирования смешанных древостоев сосны и ели, на создание имитационных моделей и разработку лесоводственных рекомендаций для ведений хозяйства в многовидовых древостоях с преобладанием хвойных пород [13, 22].

От доли участия сосны и ели в различных условиях произрастания в бореальной зоне складывается своя таксационная и товарная структура этих элементов слагающих древостой [3, 7, 18, 21, 23, 24]. Исследования по товарной структуре сосново-еловых и елово-сосновых, и с участием лиственных пород древостоев в таёжной зоне на разных стадиях развития древесных ценозов позволяют выявить закономерности формирования таксационных показателей слагающих элементов лесного ценоза [1-4, 6, 22, 23].

Для этого необходимы долгосрочные эксперименты по исследованию древостоев с различным составом древесных видов и долей их участия, в различных условиях произрастания [4-6, 18-20]. Такие эксперименты должны включать в себя незатронутые участки в качестве эталона, например, максимальной густоты древостоя для конкретного участка и незатронутой межвидовой конкуренции. Полученные новые знания по результатам долгосрочных лесоводственных опытов будут полезны для проектирования и регулирования лесохозяйственными методами структуры смешанных насаждений сосны и ели. В настоящее время необходимы лесоводственные рекомендации по регулированию выращивания многовидовых естественно- и искусственного происхождения древостоев, включая схему смешивания и пропорции древесных пород таким образом, чтобы они достигли определенного лесоводственного и экономического целевого состояния. Исследования товарной структуры смешанных древостоев сосны и ели позволяют оптимизировать их состав как с точки зрения выращиваемого запаса и крупности сортиментов, так и устойчивости смешанных фитоценозов к внешним воздействиям [4, 6, 13, 18, 20, 21]. В связи с этим исследования по данной проблематике имеют большую актуальность для лесохозяйственной практики и теории.

**Цель исследования** – определение оптимального состава насаждения по запасу и крупнотоварности к возрасту спелого древостоя в черничной серии типов леса.

Для достижения цели были сформулированы следующие **задачи**:

1. Проанализировать таксационные показатели товарной структуры смешанных древостоев с разной долей участия сосны, ели, лиственных пород на объектах исследования.
2. Изучить таксационную структуру насаждений с разной долей участия сосны и ели.
3. Исследовать товарную структуру насаждений с различной долей участия сосны, ели, березы.

### Материалы и методы

**Объекты исследования.** Для определения состава наиболее продуктивных древостоев был проведен анализ набора таксационных данных по участковым лесничествам Бокситогорского лесничества Ленинградской области, которое относится к Балтийско-Белозерскому таежному району. Географические координаты Бокситогорского района: 59°29' с. ш. 33°51' в.д.

В настоящее время лесопокрытая площадь Бокситогорского района составляет 505 073 га [2]. Лесистость территории 65 %. Преобладают хвойные леса из сосны (*Pinus sylvestris* L.) и ели (*Picea abies* (L.) Karst). Основная часть территории исследования находится в ландшафте Тихвинской Гряды на Валдайской возвышенности, где отмечены абсолютные высоты 150-250 метров над уровнем моря. Тихвинская низменность с высотами 50-100 метров занимает западную часть Бокситогорского района. Территории, занятые холмисто-моренными образованиями, являются типичными для района исследования ландшафтными формами и покрыты, в основном, лесами [12]. Преобладающими условиями произрастания древостоев с преобладанием сосны и ели является зеленомошная группа типов леса.

В качестве опытных объектов выступали 24 выдела с разной долей участия сосновых насаждений и 20 выделов насаждений с разной долей участия ели на территории Бокситогорского лесничества. Площадь выделов варьировала от 3,5 до 7 га.

**Методы исследования.** Для экспериментальных работ использовались данные перечетов (2018-2020 гг.) на пробных площадях, заложенных в спелых насаждениях (81-91 год) с разной долей участия сосны и ели в черничной серии типов леса (ЧС и ЧВ). При закладке и таксации пробных площадей, при расчетах таксационных показателей древостоев, наряду с требованиями стандартов (ОСТ 56-69-83), руководствовались общепринятыми положениями, изложенными Н.П. Анучиным, С.Н. Сенновым и действующими нормативно-справочными материалами [1, 13-15].

Таксация древостоя проводилась методом сплошного перечёта деревьев на заложенных лентах с замером высот у модельных деревьев для определения разряда высот; согласно Правилам заготовки древесины и особенностей заготовки древесины в лесничествах, указанным в статье 23 Лесного кодекса Российской Федерации (утв. Приказом МПР РФ от 1 декабря 2020 года N 993) и Наставлениях по отводу и таксации лесосек (1993). Для измерительной таксации использовались мерные вилки Haglof и высотомеры Suunto. Общий объём измеренных деревьев составил более 12 000 штук.

Для изучения были подобраны естественные древостои, наиболее представленные по составу в данных лесорастительных условиях. На основе проведенной таксации насаждений с разной долей участия сосны и ели в составе были получены данные по распределению средних высот, диаметров, запаса по элементам древостоя.

Выход древесины по категориям крупности стволов и запасу спелых насаждений рассчитывался по породам в специализированной программной среде на основе лесотаксационных нормативов [11].

Для оценки достоверности проведённых исследований и выявления влияния одной переменной на другую использовался дисперсионный однофакторный анализ. Для показателей тесноты связи была дана оценка по шкале Чеддока [30]. Для сравнительного анализа качественных и количественных показателей использовался непараметрический ранговый анализ по критерию Спирмена. Этот коэффициент корреляции рангов может ис-

пользоваться для оценки устойчивости тенденции динамики изменения выхода сортиментов по категориям крупности в зависимости от доли участия породы [30].

Обработка полученного массива данных проводилась с использованием программного пакета для статистического анализа Statistica 11.

### Результаты и обсуждение

Обобщённый анализ таксационных показателей спелых древостоев с разной долей участия сосны, ели и березы показал, что в зависимости от состава древостоя значительно варьируют средние показатели высоты и диаметра сосны и ели в данных ценозах.

В сосновых древостоях с различной долей участия ели и лиственных пород можно наблюдать варьирование средней высоты в зависимости от доли их участия в составе насаждения. Наблюдается тенденция уменьшения или увеличения средней высоты в древостоях с различной долей участия сосны и ели [2].

Максимальная высота соснового компонента наблюдается в насаждении с меньшей долей участия ее в составе – 3С2Е3Б2Ос. Средняя высота сосновой части древостоя варьирует от 19 до 23 метров (рис. 1).

В рассматриваемых насаждениях с участием сосны также наблюдается различная вариабельность средних диаметров в зависимости от состава древостоя. Исходя из полученных результатов исследования, наибольший средний диаметр соснового элемента леса, равный 28 сантиметрам, наблюдается в насаждениях с участием сосны от 3 до 4 единиц в составе древостоя (рис. 2).

Анализ количественных данных запаса древостоев с преобладанием сосны показал, что наибольшие объёмные показатели складываются в насаждениях с породным составом 5С4Е1Б. По сосне запас составляет 109 м<sup>3</sup>, по ели – 88 м<sup>3</sup>, итого – 197 м<sup>3</sup>. Для условно чистого соснового древостоя (9С1Е) зафиксирован несколько меньший запас – 142 м<sup>3</sup>, как и в насаждениях с составом 4С2Е3Б1Ос – 141 м<sup>3</sup> и в насаждениях состава 7С1Е2Б (рис. 3).

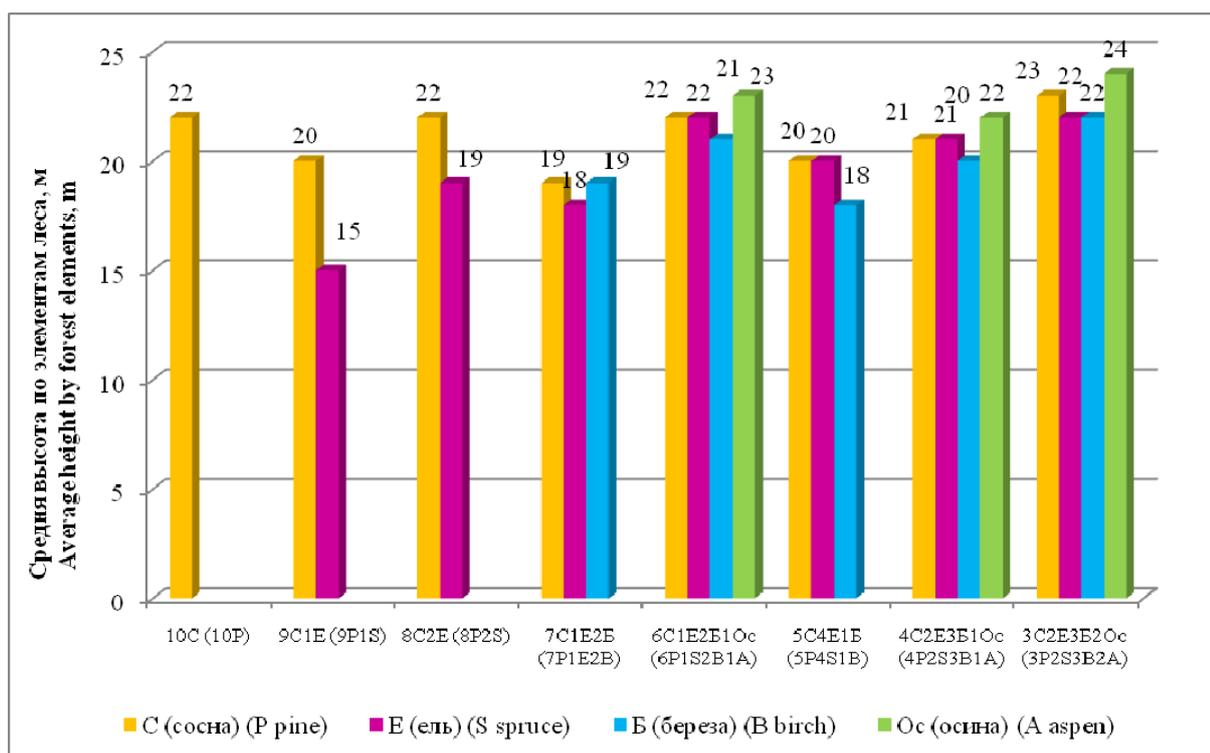


Рис. 1. Средняя высота элементов леса в древостоях с преобладанием сосны

Figure 1. Average height of forest elements in pine-dominated stands

Источник: собственная разработка авторов

Source: author's composition

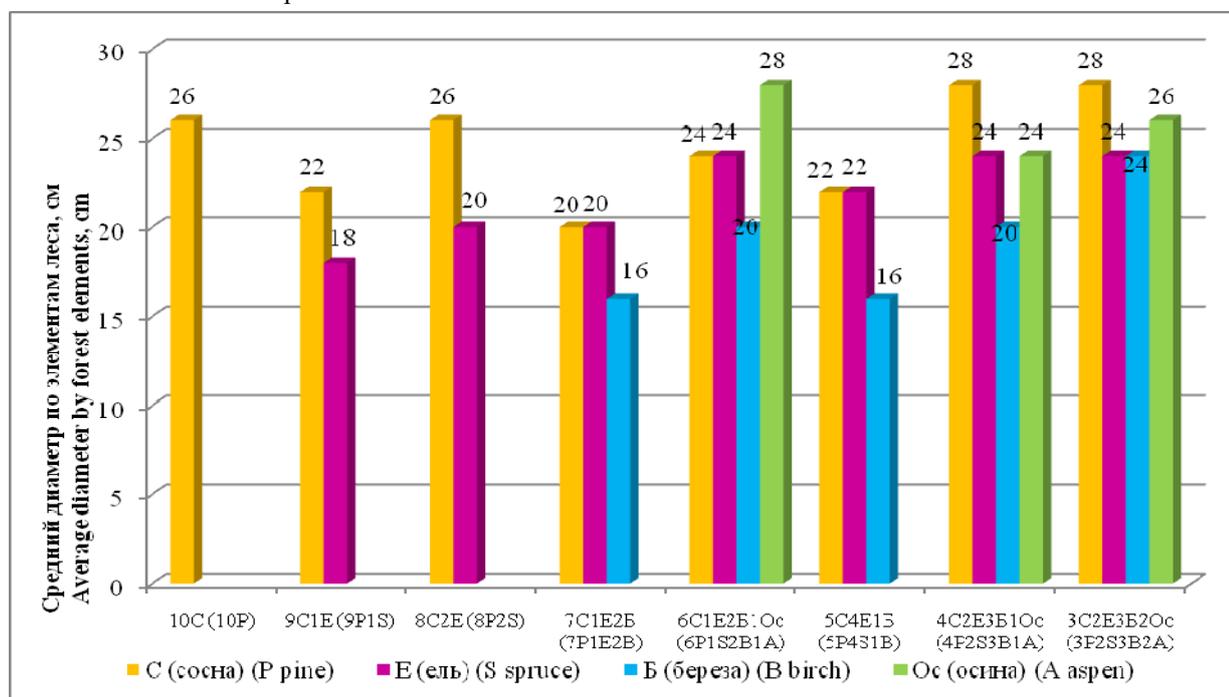


Рис. 2. Средний диаметр элементов леса в древостоях с преобладанием сосны

Figure 2. Average diameter of the forest elements in pine-dominated stands

Источник: собственная разработка авторов

Source: author's composition

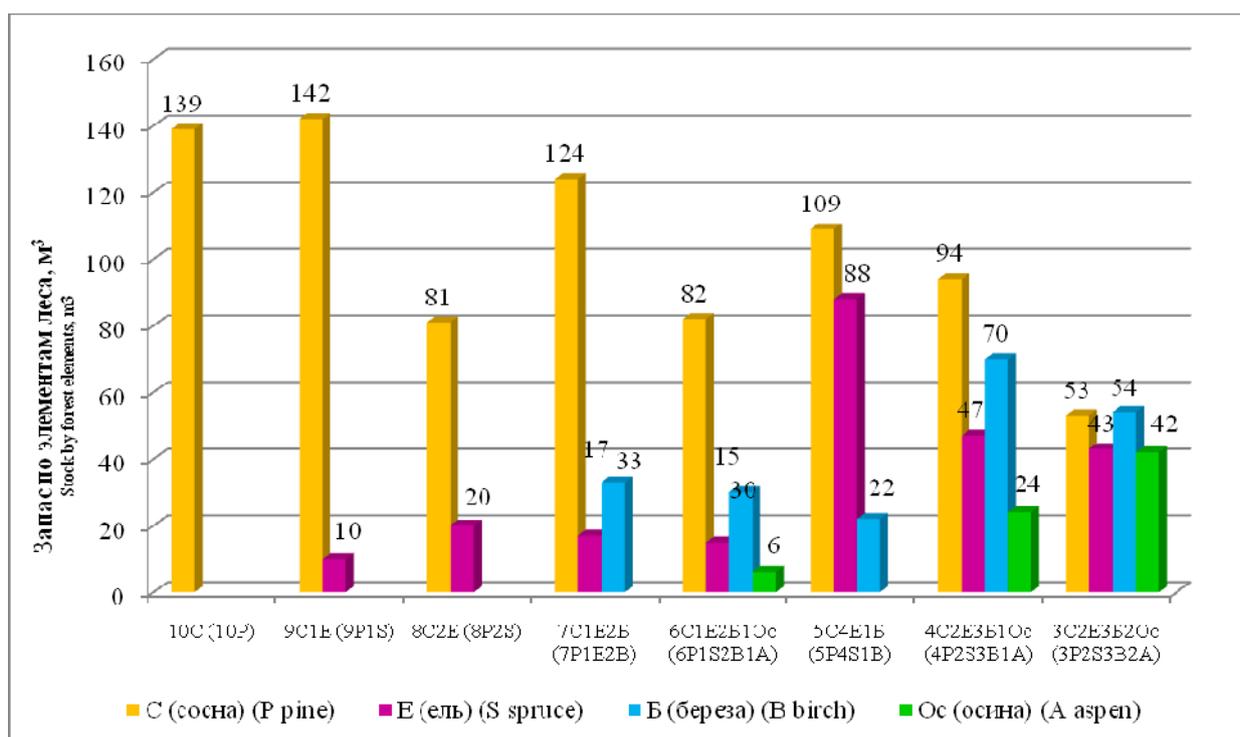


Рис. 3. Средний запас элементов леса в древостоях с преобладанием сосны

Figure 3. Average wood stock of forest elements in pine-dominated stands

Источник: собственная разработка авторов

Source: author's composition

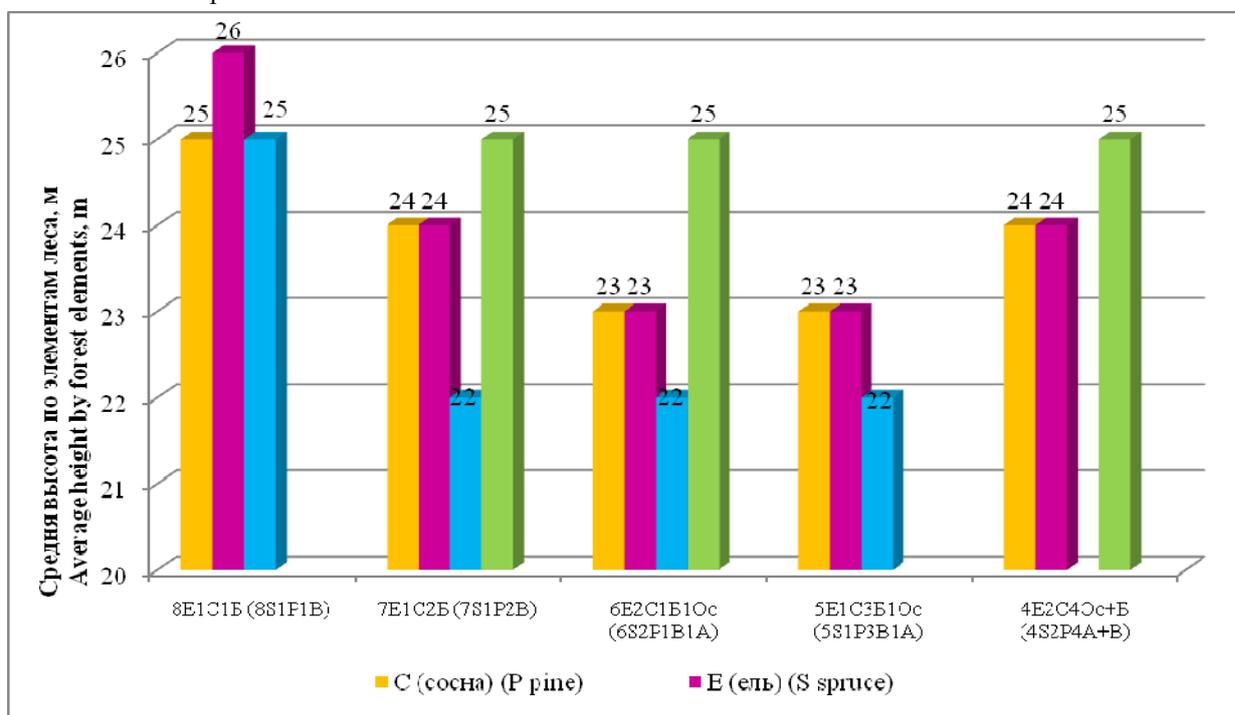


Рис. 4. Средняя высота элементов леса в древостоях с преобладанием ели

Figure 4. Average height of forest elements in spruce-dominated stands

Источник: собственная разработка авторов

Source: author's composition

Для условий ландшафта Тихвинской гряды наиболее представлены древостои с долей участия 8 единиц ели, в отличие от чистых сосновых древостоев (10С). В отличие от древостоя с преобладанием сосны, можно наблюдать уменьшение средней высоты с уменьшением доли ели в составе (рис. 4).

Особенностью елового древостоя является то, что только в насаждениях, где доля ели составляет 7 единиц в составе древостоя, средняя высота елового яруса достигает 26 метров. Во всех остальных древостоях средняя высота как елового, так и соснового элемента леса имеют одинаковые величины. В насаждениях с преобладанием сосны рост средней высоты ели наблюдался с уменьшением доли участия сосны в составе древостоя.

Средние диаметры всех элементов леса в насаждениях с преобладанием ели имеют более высокие показатели, чем в древостоях с преобладанием сосны, и составляют от 24 см до 32 см.

В смешанных древостоях с преобладанием ели доля сосны составляет 1-3 единицы, остальное приходится на березу и осину.

Вероятно, что из-за меньшего участия в еловых насаждениях соснового элемента леса у елового яруса более высокие средние показатели как высоты, так и диаметра (рис. 5).

Анализ запаса по хвойному ярусу смешанных насаждений с преобладанием ели показал, что наибольший запас формируется в насаждениях с составом 8Е1С1Б. Запас по ели составляет 215 м<sup>3</sup>, по сосне – 54 м<sup>3</sup>, итого – 269 м<sup>3</sup> (рис. 6).

Для насаждений с преобладанием ели можно наблюдать снижение запаса хвойного яруса в целом с уменьшением её доли в составе древостоя.

В древостоях с разной долей участия березы в составе насаждений можно наблюдать явное увеличение средних показателей высоты и диаметра сосны с уменьшением доли ее участия и возрастание доли участия березового элемента леса (рис. 7, 8).

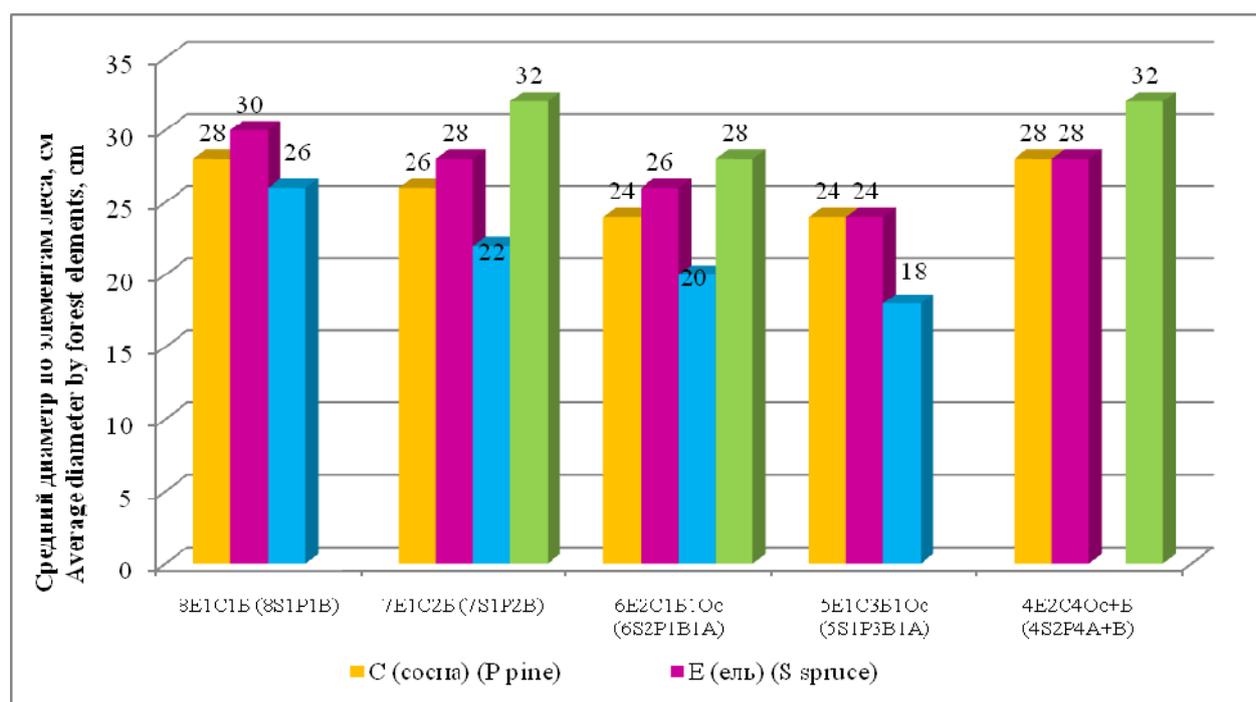


Рис. 5. Средний диаметр элементов леса в древостоях с преобладанием ели  
 Figure 5. Average diameter of forest elements in spruce-dominated stands

Источник: собственная разработка авторов  
 Source: author's composition

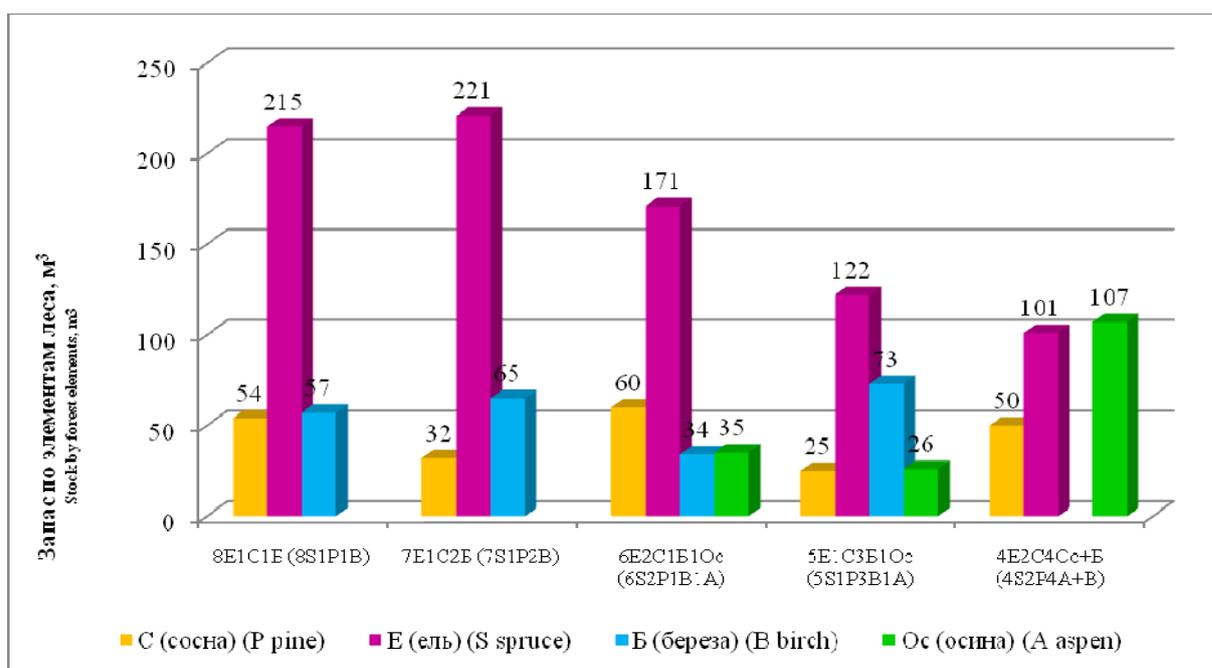


Рис. 6. Средний запас элементов леса в древостоях с преобладанием ели  
 Figure 6. Average wood stock of forest elements in spruce-dominated stands

Источник: собственная разработка авторов

Source: author's composition

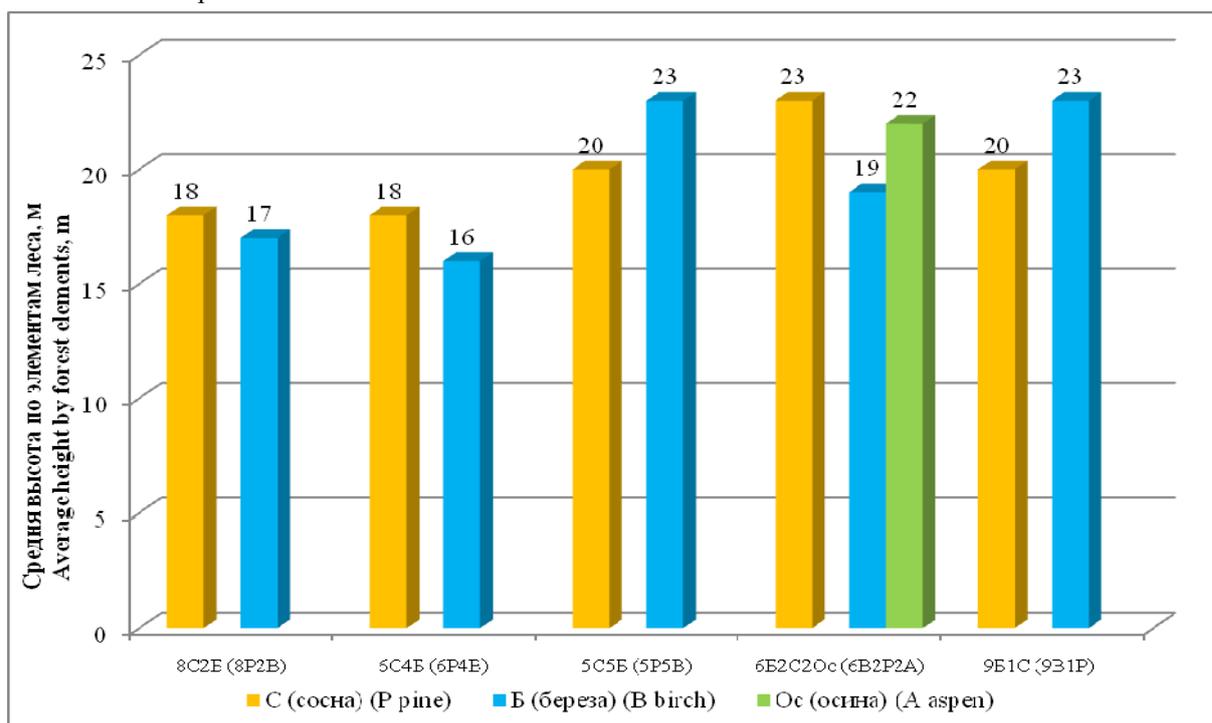


Рис. 7. Средняя высота элементов леса в древостоях с разной долей участия лиственных пород  
 Figure 7. Average height of forest elements in stands with different proportions of deciduous species

Источник: собственная разработка авторов

Source: author's composition

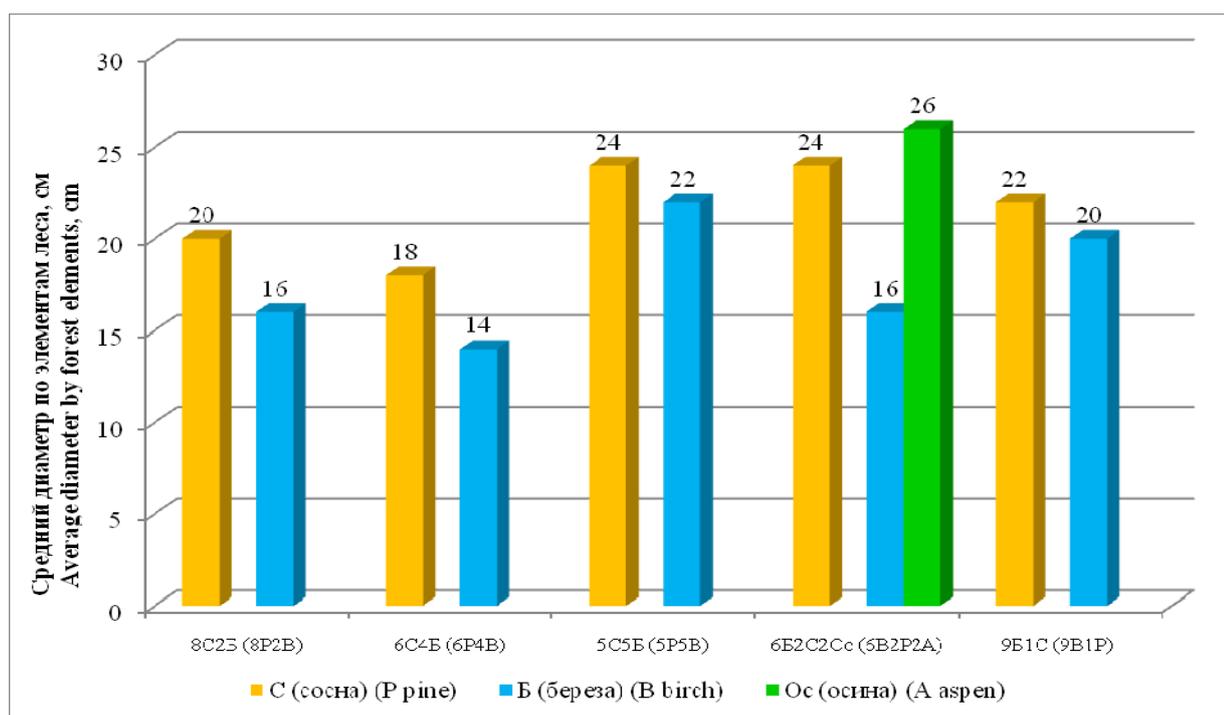


Рис. 8. Средний диаметр элементов леса в древостоях с разной долей участия лиственных пород  
 Figure 8. Average diameter of forest elements in stands with different proportions of deciduous species

Источник: собственная разработка авторов

Source: author's composition

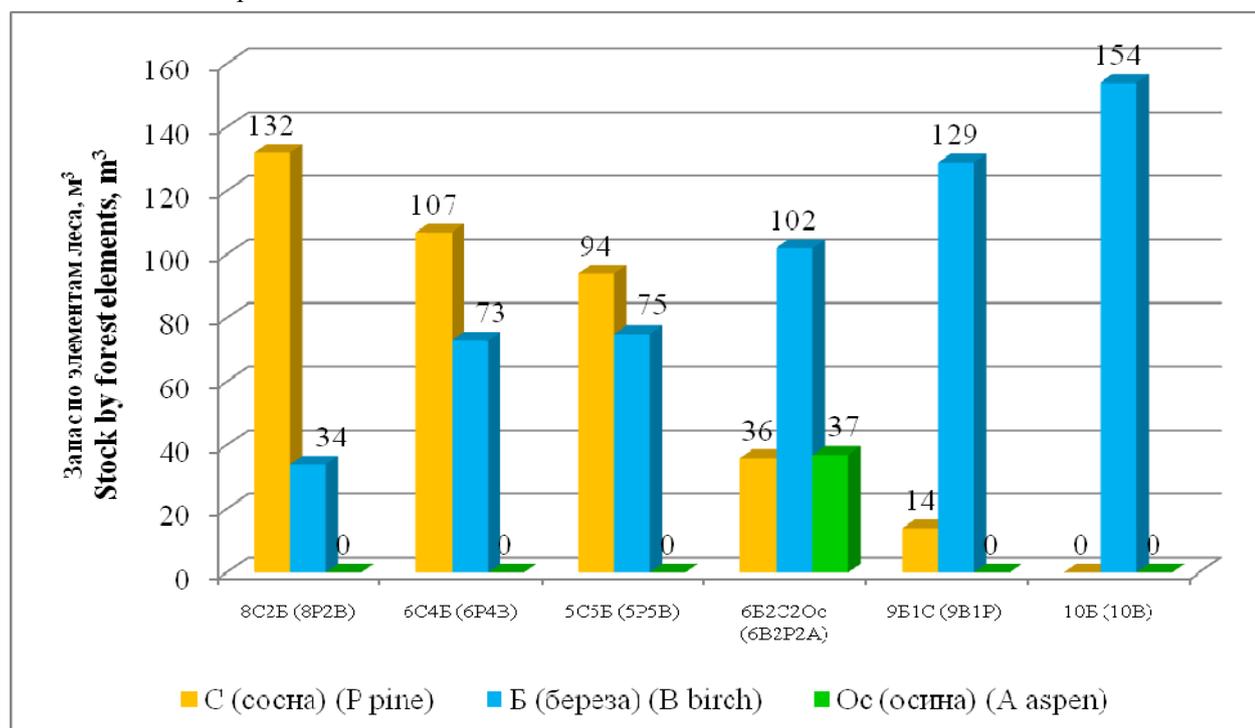


Рис. 9. Средний запас элементов леса в древостоях с разной долей участия лиственных пород  
 Figure 9. Average wood stock of forest elements in stands with different proportions of deciduous species

Источник: собственная разработка авторов

Source: author's composition

В древостоях с долей участия сосны 8 единиц и березы 2 единицы формируется наибольший запас хвойного яруса. На долю соснового элемента леса приходится 132 м<sup>3</sup>, на долю березового яруса 34 м<sup>3</sup> (рис. 9).

Для оценки влияния доли участия сосны и ели в составе насаждения на запас древостоя был проведен дисперсионный анализ, результаты расчета приведены в табл. 1.

В связи с тем, что  $F_{факт} > F_{крит}$ , нулевую гипотезу о существенном влиянии фактора на результаты экспериментов принимаем, а нулевую гипотезу о равенстве групповых средних отвергаем. Следовательно, существует значимое различие влияния состава насаждения на его запас, как для насаждений с участием ели, так и сосны.

Анализируя товарную структуру древостоев с преобладанием сосны, можно видеть, что независимо от состава древостоя по сосновому ярусу преобладает средняя по категории крупности древесины от 65 % до 78 %.

Выход крупнотоварной древесины в насаждениях с преобладанием сосны составляет от 1 % до 12 %. Наибольший выход крупнотоварной древесины отмечается в древостоях с составом 10С – 8 %, 8С2Е – 10 %, 4С2ЕЗБ1Ос – 12 %.

Выход мелкотоварной древесины колеблется от 15 % до 34 %, и наибольший он в насаждениях с породным составом 7С1Е2Б.

Что касается насаждений с преобладанием сосны для еловой части, крупнотоварная древесина ели наблюдается только с долей участия сосны от 2 до 4 единиц в составе. В основном еловый древостой представлен средней категорией крупности древесины.

Проведенный анализ показал, что оптимальное соотношение запаса и выхода наиболее крупной древесины по хвойному ярусу можно наблюдать в древостоях с составом 8С2Е, 7С1Е2Б, а также в древостоях с породным составом 5С4Е1Б.

Таблица 1

Однофакторный дисперсионный анализ влияние состава насаждения с участием сосны и ели на запас древостоя на опытных объектах

для древостоев с разной долей участия сосна						
Группы	Счет	Сумма	Среднее	Дисперсия		
Доля сосны	24	156	6.5	5.48		
Запас	24	2498	104.0833	1159.39		
Дисперсионный анализ						
Источник вариации	SS	df	MS	F факт	P-Значение	F критическое
Между группами	114270.1	1	114270.10	196.20		
Внутри групп	26791.83	46	582.43		3.3073E-18	4.052
Итого	141061.9	47				
для древостоев с разной долей участия ели						
Группы	Счет	Сумма	Среднее	Дисперсия		
Доля ели	20	120	6	2.11		
Запас	20	3274	163.7	2136.64		
Дисперсионный анализ						
Источник вариации	SS	df	MS	F факт	P-Значение	F критическое
Между группами	248692.9	1	248692.9	232.56		
Внутри групп	40636.2	38	1069.374		8.77399E-18	4.098
Итого	289329.1	39				

По-видимому, будет целесообразно формировать к возрасту спелого насаждения древостои с данными показателями состава насаждения в условиях ландшафта Тихвинской гряды, в данных условиях произрастания.

Анализируя товарную структуру древостоев с преобладанием ели, можно отметить, что так же как и в насаждениях с преобладанием сосны, независимо от состава древостоя по еловому ярусу преобладает средняя по категории крупности древесины от 57 % до 71 % [2].

В отличие от насаждений с преобладанием сосны, выход крупнотоварной древесины в насаждениях с преобладанием ели в черничном типе леса выше и составляет от 9 % до 28 % [2]. Наибольший выход крупнотоварной древесины наблюдается в насаждении с 7 единицами ели. Также высокий выход крупнотоварной древесины – 20 % – наблюдается в древостоях с породным составом 6Е2С1Б1Ос и 4Е2С4Ос+Б.

Выход мелкотоварной древесины варьирует в диапазоне от 14 % до 23 %, и наибольший он в насаждениях с 8 единицами ели.

Для насаждений с преобладанием ели в сосновой части крупнотоварная древесина варьирует в пределах от 8 % до 32 %. Наибольший выход крупной древесины наблюдается в насаждениях с составом 7Е1С2Б. В основном сосновый древостой представлен средней категорией крупности и составляет до 72 % в составе.

На основании проведенного анализа можно сделать вывод, что оптимальное соотношение запаса древостоя и выхода наиболее крупной древесины наблюдается в древостоях с составом 7Е1С2Б, 4Е2С4Ос+Б в крупной категории товарной древесины в целом по хвойному ярусу.

Вероятно, будет целесообразно формировать к возрасту спелого насаждения древостои с данными показателями состава насаждения в условиях ландшафта Тихвинской гряды, в данных лесотипологических условиях.

Анализируя товарную структуру древостоев соснового яруса в насаждениях с преобладанием березы, можно отметить, что преобладают насаждения средней категорией крупности от 51 % до 78 % в составе.

Выход крупнотоварной древесины в насаждениях данного черничного типа леса несущественный и составляет 1 %. Выход мелкотоварной древесины соснового яруса находится в диапазоне от 22 % до 49 %.

Наибольший выход среднетоварной древесины наблюдается в насаждениях с составом 2С6Б2Ос и 1С9Б, а мелкотоварной древесины – с составом 6С4Б. Проведенный анализ товарной структуры показал, что запас древостоя и выход наиболее крупной древесины наблюдается в древостоях с большей примесью лиственных пород от 8 и более единиц в составе. Вероятно, что березовый элемент леса, как более быстрорастущий на этапе молодняка в черничном типе леса, конкурирует с сосновой частью насаждения и служит подгоном. Вероятно, что на этапе молодняков не стоит убирать весь лиственный подрост для формирования древостоя с данными показателями состава насаждения в условиях ландшафта Тихвинской гряды. Возможно, удаление примеси лиственных пород будет необходимым на этапе ближе к спелости насаждения для получения на выходе крупнотоварной древесины.

Для оценки влияния состава насаждения на выход категорий сортиментов сосны и ели был проведен анализ ранговой корреляции по критерию Спирмена. Полученные результаты по оценке влияния состава насаждения на выход различных категорий товарной стволовой древесины показали различный характер связи для сосновых и еловых древостоев.

Проведенный корреляционный ранговый анализ показал статистически значимое влияние состава насаждения на выход крупнотоварной категории древесины для еловой и сосновой части хвойных насаждений, так как  $T_{кр} < r$  и связь между оценками по двум тестам значима. Влияние состава древостоя для сосны и ели на выход мелкотоварной древесины наблюдается хотя и статистически достоверное, но слабое (по шкале Чеддока). Для сосновых, как и для еловых древостоев доля участия этих пород в составе насаждения не выявила статистически значимого влияния на выход мелкой категории стволовой древесины.

### Заключение

Проведённое исследование позволяет сделать следующие выводы:

1. Таксационные показатели среднего диаметров и высот соснового и елового элемента варьируют в зависимости от их доли в составе насаждения в черничном типе леса.

2. Независимо от состава древостоя для елового элемента древостоя, как для соснового элемента леса преобладает средняя по категории крупности древесина.

3. Выход крупнотоварной древесины в насаждениях с преобладанием ели в черничном типе леса выше, чем с преобладанием сосны.

4. Увеличение в составе древостоя доли соснового элемента леса позволяет получать больший объём стволов крупнотоварной категории.

5. При увеличении доли берёзы в составе насаждения увеличивается выход средней категории крупности древесины соснового элемента.

6. Для насаждений с разной долей участия ели и сосны в районе исследования в условиях черничной серии типов леса наиболее оптимальным соотношением по запасу и выходу крупных сортиментов древесины являются:

– сосняки составом 8С2Е, 7С1Е2Б, 5С4Е1Б;

– ельники составом 7Е1С2Б, 4Е2С4Ос+Б.

7. Статистический анализ полученных результатов свидетельствует о значимом влиянии состава насаждения на запас и выход крупнотоварной категории стволовой древесины к возрасту спелого насаждения.

### Список литературы

1. Анучин Н. П. Лесная таксация. Москва : Лесн. пром-сть, 1982. 552 с.
2. Анисимова И. М. Естественное возобновление смешанных древостоев после низовых пожаров в условиях ландшафта Тихвинской гряды: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук : 06.03.02 «Лесоустройство и лесная таксация» / И. М. Анисимова ; Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С. М. Кирова. 2021. 24 с.
3. Богданов А. П., Третьяков С. В., Коптев С. В., Ильинцев А. С., Демиденко С. А. Товарная структура смешанных древостоев после проведения рубок ухода за лесом на стационарном объекте «Рубки ухода С.В. Алексеева 1951 г.». Известия высших учебных заведений. Лесной журнал, 2018. № 6. С. 9–22.
4. Данилов Д. А., Смирнов А. П. Влияние структуры древостоя на плотность древесины сосны и ели в черничном типе леса. Лесотехнический журнал. 2014. № 4. С. 13–20.
5. Данилов Д. А., Беляева Н. В., Грязькин А. В. Особенности формирования запаса и товарной структуры модальных хвойных древостоев сосны и ели к возрасту спелого насаждения. Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2018. № 2(362). С. 40–48. DOI <https://doi.org/10.17238/issn0536-1036.2018.2.40>
6. Данилов Д. А., Беляева Н. В., Мартынов А. Н., Зайцев Д. А. Влияние долевого участия сосны и ели на таксационные показатели смешанных древостоев. Лесотехнический журнал. 2017. Т. 7. № 1(25). С. 49–58. DOI: [10.12737/25192](https://doi.org/10.12737/25192).
7. Данилов Д. А. Особенности формирования смешанных древостоев, товарная структура и плотность древесины сосны и ели: дис. ... доктора сельскохозяйственных наук : 06.03.02 / Д. А. Данилов ; Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С. М. Кирова, 2017. 407 с.
8. Демаков, Ю. П., Исаев А. В, Нуреева Т. В. Опыт создания смешанных лесных культур в марийском Заволжье. Сибирский лесной журнал. 2022. № 2. С. 41–47. <https://doi.org/10.15372>
9. Ковалев Н. В., Беляева Н. В., Данилов Д. А. Влияние рубок ухода на рост и товарную структуру смешанных древостоев сосны и ели кисличного типа леса. Лесотехнический журнал. 2014. Т. 4. № 2 (14). С. 31–36. DOI <https://doi.org/10.12737/4504>.
10. 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). С. 86–105. <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2021-2-86-105>.

11. Лесотаксационный справочник по Северо-Западу СССР / подгот. А. Г. Мошкалевым и др. Л., 1984. 319с.
12. Манов А. В. Горизонтальная структура древостоя и подроста ельника разнотравно-черничного средней тайги Республики Коми. Лесоведение. 2019. – № 4. С. 286-293. <https://doi.org/10.1134/S0024114819030069>.
13. Сеннов С. Н. Методические рекомендации по закладке постоянных пробных площадей по рубкам ухода. Л., 1972. 20 с.
14. ОСТ 56-69-83. Площади пробные лесоустроительные. Методы закладки. М.: Изд-во стандартов, 1984. 60 с.
15. Тетюхин С. В., Минаев В. Н., Богомолова Л. П. Лесная таксация и лесоустройство. Нормативно-справочные материалы по Северо-Западу РФ. СПб., 2004. 369 с.
16. Федорчук И. Н., Нешатаев В. Ю., Кузнецова М. Л. Лесные экосистемы северо-западных районов России: Типология, динамика, хозяйственные особенности. СПб., 2005. 382 с.
17. Bravo-Oviedo A., Pretzsch H., Ammer C. *et al.* European mixed forests: definition and research perspectives. *Forest Systems* 2014, 23: 518–533. DOI: <https://doi.org/10.5424/fs/2014233-06256>
18. Danilov D., Belyaeva N. & Janusz S. Structure of mature mixed pine-and-spruce stands on postagrogenic lands in Leningrad region, Russia. *Research for Rural Development* 2018, 1: 131–137. DOI: <https://doi.org/10.22616/rrd.24.2018.020>
19. Danilov D. A., Yakovlev A. A. Bogdanova L. S., Boitsov A. K. & Suvorov S. A. Mixed pine and spruce stands in the Luga-Volkhov and Valdai-Tikhvin landscape districts of the Leningrad Region. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, IOP Publishing, 2021, 941-12007. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/941/1/012007>
20. Holmström E., Goude M., Nilsson O., Nordin A., Lundmark T. & Nilsson U. Productivity of Scots pine and Norway spruce in central Sweden and competitive release in mixtures of the two species. *Forest Ecology and Management* 2018, 429: 287–293. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.07.008>
21. Huuskonen S., Domisch T., Finér L., Hantula J. *et al.* What is the potential for replacing monocultures with mixed-species stands to enhance ecosystem services in boreal forests in Fennoscandia? *Forest Ecology and Management* 2020, 479: 1–21. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118558>
22. Jantunen J., Saarinen K., Saarnio S. & Marttila O. Stand structure in pine, spruce and deciduous foests: A comparison between Finnish and Russian Karelia. *Scandinavian Journal of Forest Research* 2002, 17: 53–61. DOI: <https://doi.org/10.1080/028275802317221082>
23. Mina M., Huber M. O., Forrester D.I., Thürig, E. & Rohner B. Multiple factors modulate tree growth complementarity in Central European mixed forests. *Journal of Ecology: British Ecological Society* 2018, 106(3): 1106–1119. DOI: <https://doi.org/10.1111/1365-2745.12846>
24. Maxence M., Fenton N., Morin H. Structural diversity and dynamics of boreal old-growth forests case study in Eastern Canada. *Forest Ecology and Management* 2018, 422: 125–136. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.04.007>.
25. Otazua J. U., Paquette A. Mixed forest plantations // *Dynamics, Silviculture and Management of Mixed Forests / Andrés Bravo-Oviedo, Hans Pretzsch, Miren del Río (Eds.)*. Springer, Cham, 2018. P. 319-341.
26. Popov S. Structure and features of spatial distribution of pine forests in the Pinega State Nature Reserve. *Nature Conservation Research* 2(1): 40–56. DOI: <https://doi.org/10.24189/ncr.2017.055>
27. Pretzsch H., Forrester D. I., Rötzer T. Representation of species mixing in forest growth models. A review and perspective. *Ecological Modelling* 2015, 313: 276–292. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2015.06.044>
28. Pretzsch H. & Schütze G. Effect of tree species mixing on the size structure, density, and yield of forest stands. *European Journal of Forest Research* 2016, 135: 1–22. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10342-015-0913-z>
29. Safonov A. V., Suvorov S. A., Krestyanova M. A., Anikina E. V. & Danilov D. A. Analysis of pine stands productivity in Boxitogorsky forestry unit of the Leningrad region. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 876 (2021) 012076. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/876/1/012076>.
30. *Statistical Methods and Applications in Forestry and Environmental Sciences*. Girish Chandra, Raman Nautiyal, Hukum Chandra (Eds.). Springer Singapore, January 2020. <https://doi.org/10.1007/978-981-15-1476-0>.

### References

1. Anuchin N. P. Lesnaya taksaciya [Forest taxation] / N. P. Anuchin. Moscow : Forest industry, 1982. 552 p. (In Russian).
2. Anisimova I. M. Estestvennoe vozobnovlenie smeshannyh drevostoev posle nizovih pojarov v uslo\_viyah landshafta Tihvinskoi gryadi [Natural regeneration of mixed stands after lowland fires in the landscape of the Tikhvin Ridge]: Author's abstract of thesis for the degree of candidate of agricultural sciences St. Petersburg State Forest Technical University named after SM. Kirov. 2021. 24 p. (In Russian).
3. Bogdanov A.P., Tret'yakov S.V., Koptev S.V., Il'incev A.S., Demidenko S.A. Tovarnaya struktura smeshannyh drevostoev posle provedeniya rubok uhoda za lesom na stacionarnom ob"ekte «Rubki uhoda S.V. Alek-seeva 1951 g.» // Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Lesnoj zhurnal, 2018. № 6. S. 9–22.
4. Danilov D. A., Smirnov A. P. Vliyanie struktury drevostoya na plotnost' drevesiny sosny i eli v chernichnom tipe lesa [Influence of stand structure on pine and spruce density in bilberry forest type] // Forestry Engineering Journal. 2014. № 4. pp. 13–20. (In Russian).
5. Danilov D. A., Belyaeva N. V., Gryaz'kin A. V. Osobennosti formirovaniya zapasa i tovarnoj struktury modal'nyh hvoynyh drevostoev sosny i eli k vozrastu spelogo nasazhdeniya [The specific features of stock formation and commodity structure of modal coniferous pine and spruce stands by the age of a mature stand] // Lesnoj Zhurnal (Russian Forestry Journal). 2018. № 2(362). pp. 40-48. DOI <https://doi.org/10.17238/issn0536-1036.2018.2.40> (In Russian).
6. Danilov D. A., Belyaeva N. V., Martynov A. N., Zaytsev D. A. Vliyanie dolevogo uchastiya sosny i eli na taksacionnye pokazateli smeshannyh drevostoev [Effect of Pine and Spruce Proportion on Taxation Parameters of Mixed Forests] // Forestry Engineering Journal. 2017. T. 7. № 1(25). pp. 49–58. (In Russian). DOI: 12737/25192.
7. Danilov D. A. Osobennosti formirovaniya smeshannyh drevostoev, tovarnaya struktura i plotnost drevesini sosni i eli [Peculiarities of formation of mixed stands, commodity structure and density of pine and spruce timber]. PhD thesis in Agricultural Sciences. St. Petersburg State Forestry University named after SM. Kirov, 2017. 407 p. (In Russian).
8. Demakov, YU. P., Isaev A. V, Nureeva T. V. Opyt sozdaniya smeshannyh lesnyh kul'tur v marijskom Zavolzh'e // Sibirskij lesnoj zhurnal. 2022. № 2. S. 41-47. <https://doi.org/10.15372>.
9. Kovalev N. V., Belyaeva N. V., Danilov D. A. Vliyanie rubok uhoda na rost i tovarnuyu strukturu smeshannyh drevostoev sosny i eli kislichnogo tipa lesa [Effect of thinning on growth and commercial structure of mixed stands of pine and spruce in oxalis type of forests] // Forestry Engineering Journal. 2014. T. 4. № 2(14). pp. 31–36. DOI <https://doi.org/10.12737/4504> (In Russian).
10. Kutyavin I. N., Manov A. V., Osipov A. F., Kuznecov M. A. Stroenie drevostoev severotaezhnyh sosnyakov // Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Lesnoj zhurnal. 2021. № 2(380). S. 86-105. <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2021-2-86-105>.
11. Lesotaksacionnyj spravochnik po Severo-Zapadu SSSR [The Forest Taxation Handbook for the North-West of the USSR] / prepared by A. G. Moshkalev *et al.* Leningrad, 1984. 319 p. (In Russian).
12. Manov A. V. Gorizontol'naya struktura drevostoya i podrosta el'nika raznotravno-chernichnogo srednej tajgi Respubliki Komi // Lesovedenie. 2019. – № 4. S. 286-293. <https://doi.org/10.1134/S0024114819030069>.
13. Sennov S. N. Metodicheskie rekomendacii po zakladke postoyannyh probnyh ploshchadej po rubkam uhoda [Methodological recommendations for the creation of permanent trial plots for thinning operations]. Leningrad, 1972. 20 p. (In Russian).
14. OST 56-69-83. Ploshchadi probnye lesoustroitel'nye. Metody zakladki [Test areas for forest management. Methods of laying]. Moscow. : Standards Publishing House, 1984. 60 p. (In Russian).

15. Tetyuhin S. V. S., Minaev V. N., Bogomolova L. P. Lesnaya taksaciya i lesoustrojstvo. Normativno-spravochnye materialy po SeveroZapadu RF [Forest Taxation and Forest Inventory. Normative and reference materials for the North-West of the Russian Federation]. St. Petersburg, 2004. 369 p. (In Russian).
16. Fedorchuk I. N., Neshataev V. YU., Kuznecova M. L. Lesnye ekosistemy severo-zapadnyh rajonov Rossii: Tipologiya, dinami-ka,hozyajstvennyye osobennosti [Forest ecosystems of Northwest Russia: Typology, dynamics, and management features]. St. Petersburg, 2005. 382 p. (In Russian).
17. Bravo-Oviedo, A., Pretzsch, H., Ammer, C. *et al.* European mixed forests: definition and research perspectives. *Forest Systems* 2014, 23: 518–533. – DOI: <https://doi.org/10.5424/fs/2014233-06256>
18. Danilov D., Belyaeva N. & Janusz S. Structure of mature mixed pine-and-spruce stands on postagrogenic lands in Leningrad region, Russia. *Research for Rural Development* 2018, 1: 131–137. DOI: <https://doi.org/10.22616/rrd.24.2018.020>
19. Danilov D. A., Yakovlev A. A., Bogdanova L. S., Boitsov, A. K. & Suvorov S. A. Mixed pine and spruce stands in the Luga-Volkhov and Valdai-Tikhvin landscape districts of the Leningrad Region. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, IOP Publishing, 2021, 941-12007. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/941/1/012007>
20. Holmström E., Goude M., Nilsson O., Nordin A., Lundmark T. & Nilsson U. Productivity of Scots pine and Norway spruce in central Sweden and competitive release in mixtures of the two species. *Forest Ecology and Management* 2018, 429: 287–293. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.07.008>
21. Huuskonen S., Domisch T., Finér L., Hantula J. *et al.* (2021): What is the potential for replacing monocultures with mixed-species stands to enhance ecosystem services in boreal forests in Fennoscandia? *Forest Ecology and Management* 2020, 479: 1–21. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118558>
22. Jantunen J., Saarinen K., Saarnio S. & Marttila O. Stand structure in pine, spruce and deciduous foests: A comparison between Finnish and Russian Karelia. *Scandinavian Journal of Forest Research* 2002, 17: 53–61. DOI: <https://doi.org/10.1080/028275802317221082>
23. Mina M., Huber M. O., Forrester D.I., Thürig E. & Rohner B. Multiple factors modulate tree growth complementarity in Central European mixed forests. *Journal of Ecology: British Ecological Society* 2018, 106(3): 1106–1119. DOI: <https://doi.org/10.1111/1365-2745.12846>
24. Maxence M. Fenton, N. & Morin H. Structural diversity and dynamics of boreal old-growth forests case study in Eastern Canada. *Forest Ecology and Management* 2018, 422: 125–136. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.04.007>
25. Otazua J. U., Paquette A. Mixed forest plantations // *Dynamics, Silviculture and Management of Mixed Forests* / Andrés Bravo-Oviedo, Hans Pretzsch, Miren del Río (Eds.). Springer, Cham, 2018. P. 319-341.
26. Popov S. Structure and features of spatial distribution of pine forests in the Pinega State Nature Reserve. *Nature Conservation Research* 2017, 2(1): 40–56. DOI: <https://doi.org/10.24189/ncr.2017.055>
27. Pretzsch H., Forrester, D. I., Rötzer T. Representation of species mixing in forest growth models. A review and perspective. *Ecological Modelling* 2015, 313: 276–292. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2015.06.044>
28. Pretzsch H. & Schütze G. Effect of tree species mixing on the size structure, density, and yield of forest stands. *European Journal of Forest Research* 2016, 135: 1–22. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10342-015-0913-z>
29. Safonov A. V., Suvorov S. A., Krestyanova M. A., Anikina E. V. & Danilov D. A. Analysis of pine stands productivity in Boxitogorsky forestry unit of the Leningrad region. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 876 (2021) 012076. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/876/1/012076>
30. *Statistical Methods and Applications in Forestry and Environmental Sciences*. Girish Chandra, Raman Nautiyal, Hukum Chandra (Eds.). Springer Singapore, January 2020 <https://doi.org/10.1007/978-981-15-1476-0>.

### Сведения об авторах

*Данилов Дмитрий Александрович* – доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры лесоводства ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова», Институтский пер., 5, г. Санкт-Петербург, 194021, Российская Федерация, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7504-5743>, e-mail: [stown200@mail.ru](mailto:stown200@mail.ru).

✉ *Беляева Наталья Валерьевна* – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, профессор кафедры лесоводства ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова», Институтский пер., 5, г. Санкт-Петербург, 194021, Российская Федерация, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8673-2824>, e-mail: [galbel06@mail.ru](mailto:galbel06@mail.ru).

*Зайцев Дмитрий Андреевич* – кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник отдела агрохимии и агроландшафтов Ленинградского НИИСХ «Белогорка» – филиала Федерального исследовательского центра картофеля им. А.Г. Лорха, ул. Институтская, 1, д. Белогорка, Гатчинский район, Ленинградская область, 188338, Российская Федерация, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8704-6516>, e-mail: [disoks@gmail.com](mailto:disoks@gmail.com).

*Анисимова Ирина Михайловна* – аспирант кафедры лесоводства ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова», Институтский пер., 5, г. Санкт-Петербург, 194021, Российская Федерация, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9022-7684>, e-mail: [london-86@bk.ru](mailto:london-86@bk.ru).

### Information about the authors

*Danilov Dmitry Aleksandrovich* – Dr. Sci. (Agriculture), Professor of Forestry Department of Federal State Educational Institution of Higher Professional Education «Saint-Petersburg State Forest Technical University named after S.M. Kirov», Institutskiy per., 5, Saint-Petersburg, 194021, Russian Federation, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7504-5743>, e-mail: [stown200@mail.ru](mailto:stown200@mail.ru).

✉ *Beliaeva Nataliia Valerievna* – Dr. Sci. (Agriculture), Professor, Professor of Forestry Department of Federal State Educational Institution of Higher Professional Education «Saint-Petersburg State Forest Technical University named after S.M. Kirov», Institutskiy per., 5, Saint-Petersburg, 194021, Russian Federation, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8673-2824>, e-mail: [galbel06@mail.ru](mailto:galbel06@mail.ru).

*Zaytsev Dmitry Andreevich* – Cand. Sci. (Agriculture), Senior researcher of Department of Agrochemistry and Agrolandscapes, Leningrad Research Agriculture Institute Branch of Russian Potato Research Centre, 1 Institutskaya Street, Belogorka, Leningrad Region, 188338, Russian Federation, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8704-6516>, e-mail: [disoks@gmail.com](mailto:disoks@gmail.com).

*Anisimova Irina Mikhailovna* – post-graduate student of Forestry Department, Federal State Educational Institution of Higher Professional Education «Saint-Petersburg State Forest Technical University named after S.M. Kirov», Institutskiy per., 5, Saint-Petersburg, 194021, Russian Federation, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9022-7684>, e-mail: [london-86@bk.ru](mailto:london-86@bk.ru).