ТРУДЫ САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКОГО
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО
ИНСТИТУТА ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА

www.journal.spb-niilh.ru
ISSN 2079-6080

DOI 10.21178/2079-6080.2024.1.4
УДК 630*22:81:83:86

Структура надземной фитомассы ели и сосны в плантационных насаждениях, выращиваемых по короткой ротации

© Д.С. Тюрин[1], Д.А. Зайцев[2], Д.А. Данилов[1,2]

Structure of aboveground phytomass of spruce and pine in short rotation plantation stands

D.S. Tyurin, D.A. Zaytsev, D.A. Danilov (Saint-Petersburg State Forest Technical University named after S.M. Kirov; Leningrad Research Agriculture Institute "Belogorka" Branch of Russian Potato Research Centre)

A study of the influence of different soil and hydrological conditions of habitat on the structure of the main elements of ground phytomass – trunk, needles and branches in plantation stands of pine and spruce by the age of 40 years, grown in the Leningrad region, was studied. The results obtained showed a different level of influence of the plantation density regime during accelerated growing of pine and spruce trees on the quantitative characteristics of parts of the above-ground phytomass. There is a significant difference between these species in the considered variants of the experiment in terms of the number of trees in the plantation. Pine forms greater total aboveground phytomass in stands with a density of 1000 trees per ha than spruce. However, in the smallest and largest trunk diameter classes of pine, ground phytomass and live branch mass are lower than in spruce. The share of needle mass in spruce is higher than in pine in all thickness grades, which is due to biological peculiarities of photosynthetic apparatus of these species. It is necessary to regulate the density of pine plantations in a timely manner during accelerated cultivation and not to delay the selection for harvesting of trees of smaller thickness stages. For spruce plantations, timely selection of trees should be carried out both from small trunk diameter classes and large thickness stages, as the main trunk phytomass is deposited in the central thickness stages. For pine plantation crops, reliable differences in total ground and stem phytomass were obtained for variants with densities of 950–1050 and 1100–1200 trees per ha. No statistically significant differences were found between the other variants in the formed above-ground phytomass. The optimum possible productivity in accelerated cultivation of pine stands by the age of 40 years is observed at a density of 1200–1400 trees per ha, for spruce – 1400–1600 trees per ha.

Key words: plantation stands, pine, spruce, rapid growth, above-ground phytomass, crown, trunk, variance analysis

Структура надземной фитомассы ели и сосны в плантационных насаждениях, выращиваемых по короткой ротации

Д.С. Тюрин, Д.А. Зайцев, Д.А Данилов

Проведено исследование структуры основных элементов надземной фитомассы – ствола, хвои и ветвей в плантационных насаждениях сосны и ели к возрасту 40 лет, выращиваемых в Ленинградской области. Полученные результаты показали различный уровень влияния режима густоты насаждения при ускоренном выращивании деревьев сосны и ели на количественные характеристики частей надземной фитомассы. Наблюдается существенная разница между данными породами в рассматриваемых вариантах опыта по количеству деревьев в насаждении. Сосна формирует б льшую общую надземную фитомассу в насаждениях с густотой 1000 шт./га, чем ель. Однако в наименьших и в наиболее крупных классах диаметра стволов сосны показатели общей надземной фитомассы и массы живых ветвей меньше, чем у ели. Доля массы хвои у ели выше, чем у сосны по всем ступеням толщины, что связано с биологическими особенностями фотосинтетического аппарата данных пород. Необходимо своевременно регулировать густоту соснового насаждения при ускоренном выращивании и не запаздывать с отбором в рубку деревьев меньших ступеней толщины. Для еловых плантаций своевременный отбор в рубку должен проводиться как из мелких классов диаметров стволов, так и крупных ступеней толщины, так как основная стволовая фитомасса откладывается в центральных ступенях толщины. Для плантационных культур сосны достоверные различия по общей надземной и стволовой фитомассе получены для вариантов с густотой 950–1050 и 1100–1200 шт./га. Между другими вариантами статистически значимых различий по формируемой надземной фитомассе не выявлено. Оптимальнная возможная продуктивность к возрасту 40 лет при ускореном выращивании древостоев сосны наблюдается при густоте от 1200–1400 шт./га, ели – 1400–1600 шт./га.

Ключевые слова: плантационные культуры, сосна, ель, ускоренное выращивание, надземная фитомасса, крона, ствол, дисперсионный анализ

Тюрин Дмитрий Сергеевич – аспирант кафедры лесоводства института леса и природопользования
E-mail: london-86@bk.ru

Зайцев Дмитрий Андреевич – старший научный сотрудник отдела агрохимии и агроландшафтов, канд. с.-х. наук
E-mail: disoks@gmail.com

Данилов Дмитрий Александрович – профессор кафедры лесоводства института леса и природопользования, д-р с.-х. наук; главный научный сотрудник отдела агрохимии и агроэкологии
E-mail: stown200@mail.ru

[1]ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова»
194021, г. Санкт-Петербург, Институтский пер., д. 5

[2]Ленинградский НИИСХ «Белогорка» – филиал ФГБНУ «ФИЦ картофеля имени А.Г. Лорха»
188338, Ленинградская область, Гатчинский район, пгт. Сиверский, д. Белогорка, ул. Институтская, д. 1

Введение

Одними из самых продуктивных древесных хвойных пород бореальной зоны России являются ель и сосна, которые успешно используются в качестве сырья для производства целлюлозы [3, 6, 16]. Целевые плантации этих пород могут обеспечить существующие объемы потребления хвойных балансов на достаточно ограниченных территориях с коротким оборотом рубки [7–9, 11, 19]. Одним из путей увеличения запасов надземной фитомассы на лесосырьевых плантациях является использование рациональных режимов лесоводственных уходов за насаждениями [5, 13, 17, 22].

Продуктивность насаждения может быть объективно оценена по массовым показателям всех частей деревьев в нём произрастающих [2, 4, 12, 24, 25]. При ускоренном выращивании древесины хвойных пород необходимо проводить комплексную оценку надземной фитомассы для её рационального использования в хозяйственных целях. Плантационное лесовыращивание предполагает использование всех частей выращиваемых деревьев для максимальной экономической отдачи вложенных затрат в процесс выращивания насаждений [10, 11, 16, 17–19, 21, 23]. Для этого необходимо знать прогнозный объём надземной фитомассы плантаций ели и сосны при различных режимах выращивания. Ускоренное выращивание древесины в плантационных культурах ели зависит не только от почвенных условий произрастания, но и от фотосинтезирующего аппарата крон деревьев, представленных в насаждении [5, 13, 19–21]. В искусственных однопородных древостоях создаются выровненные условия существования. Таким образом, фотосинтетический аппарат каждого дерева зависит от расположения соседних крон. Проведение исследований по данному направлению позволяет прогнозировать фитомассу частей деревьев сосны и ели в плантационных культурах в зависимости от режима густоты насаждения.

Объекты и методика исследования

Объектами исследования были плантационные культуры сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) и ели европейской (*Picea abies* [L.] Karst.), заложенные сотрудниками ЛенНИИЛХа (ныне СПбНИИЛХ). Опытные объекты расположены в Гатчинском районном лесничестве в Ленинградской области: плантационные культуры ели – в Орлинском участковом лесничестве, кв. 93, сосны – в Дружносельском участковом лесничестве, кв. 81.

Территория, находящаяся на настоящий момент под культурами ели, представляла собой бывший сенокос, сравнительно ровный, интенсивно осушенный, с возобновлением кустарниковых пород (ивы и ольхи). Предварительно проводилась подготовка посадочных мест механизированным способом с образованием пластов высотой 30–35 см и борозд глубиной 35–40 см; пласты были прикатаны гусеничным трактором Т-130. Среднее расстояние между рядами составляло 3,5 м, в ряду – 3,2; 1,6 и 0,8 м в зависимости от запланированной густоты (варианты опыта 1000, 2000 и 4000 шт./га). Посадка проводилась в сезон 1976 года с использованием 3-летних сеянцев с открытой корневой системой. Зимой 2000/2001 гг. было проведено разреживание на пробных площадях, в не пройденных рубкой ухода 26-летних насаждениях до 2000 шт./га (первоначальная густота – 4000 шт./га). На опытных участках с первоначальной густотой 2000 шт./га также было проведено разреживание – до 1500 шт./га.

Плантации сосны в 1977 году закладывались с густотой 4000 шт./га в сходных условиях. Использовались 2-летние сеянцы с открытой корневой системой, шаг посадки – 0,8 м. В 1991 г. на всех пробных площадях, за исключением контроля, было проведено разреживание до густоты 1500 шт./га. Всего было обследовано 6 пробных площадей сосны, которые были разделены по трем вариантам финальных густот к 40-летнему возрасту: 950–1050, 1100–1200 и 1300–1400 шт./га соответственно.

Описание опытных объектов более подробно приведено в ряде работ [9, 10].

Таксационные показатели исследуемых плантационных насаждений ели и сосны различной густоты на период опыта (для получения балансовой древесины по короткой ротации выращивания к возрасту насаждения 40 лет) представлены в таблице 1. Для плантаций сосны показатель начальный густоты приведен на 1991 год.

Таблица 1

Таксационные показатели ели и сосны
в плантационных культурах в возрасте 40 лет

Варианты опыта (начальная густота культур)	Таксационные показатели к 40-летнему возрасту			
	Густота, шт./га	$d_{1,3}$, см	h, м	Запас, м³/га
Ель				
1000 шт./га	970	23,7	19,7	424
2000 шт./га	1300	19,7	19,0	384
4000 шт./га	1600	18,1	19,5	407
2000 шт./га (разреживание до 1500 шт./га)	1065	23,3	20,3	468
4000 шт./га (разреживание до 2000 шт./га)	1050	19,7	20,0	336
Сосна				
1500 шт./га	950–1050	21,1	20,3	288
1500 шт./га	1100–1200	21,8	20,2	359
1500 шт./га	1300–1400	20,0	20,2	341

К возрасту 40 лет на опытных объектах отбирались модельные деревья по ступеням толщины, с последующей их валкой и обрезкой сучьев для определения надземной фитомассы (стволовой, ветвей и хвои) [14].

Для определения показателей фитомассы ствола использовалась методика отбора модельных деревьев по ГОСТ 16483.6-80 (СТ СЭВ 1141-78) «Метод отбора модельных деревьев и кряжей для определения физико-механических свойств древесины насаждений». Для анализа отбирались полоски древесины из шайб, выровненные до толщины 5 мм, базисная плотность древесины определялась по методике О.И. Полубояринова [15]. Фитомасса стволов модельных деревьев пересчитывалась на весь объект с учетом представленности ступени толщины в насаждении в целом [13].

Взвешивание живых ветвей проводилось на платформенных весах. Вес (в абсолютно сухом состоянии) модельных веток и хвои из верхней, средней и нижней частей кроны каждого дерева пересчитывался для кроны в целом [6, 13]. Затем определялась кроновая фитомасса для всего насаждения.

Для исследования статистической значимости различий в средних значениях групп применялся дисперсионный анализ при 95 %-ном уровне значимости. Для проверки равенства дисперсий двух выборок применялся t-критерий Стьюдента, гипотезы проверялись с помощью p-значения. В некоторых случаях p-значение составляло менее 0,15, что можно считать удовлетворительным для лесоводственных исследований [1].

Результаты и их обсуждение

В зависимости от густоты насаждения в плантационных культурах ели формируется различная по соотношению частей надземной фитомассы структура. Общей закономерностью для разреженных и неразреженных насаждениий является то, что в ступенях с наибольшей стволовой фитомассой наблюдается и наибольшая масса хвои, поскольку формирование ствола находится в прямой зависимости от развития фотосинтезирующий аппарата (рис. 1 и 2).

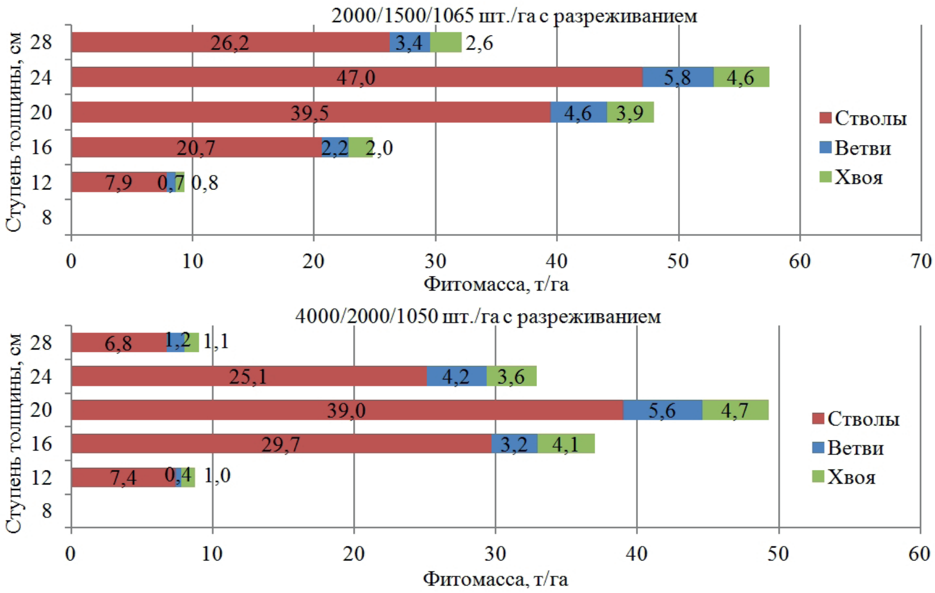


Рис. 1. Распределение фитомассы ели по частям ствола в плантационных насаждениях разной густоты с проведенным разреживанием

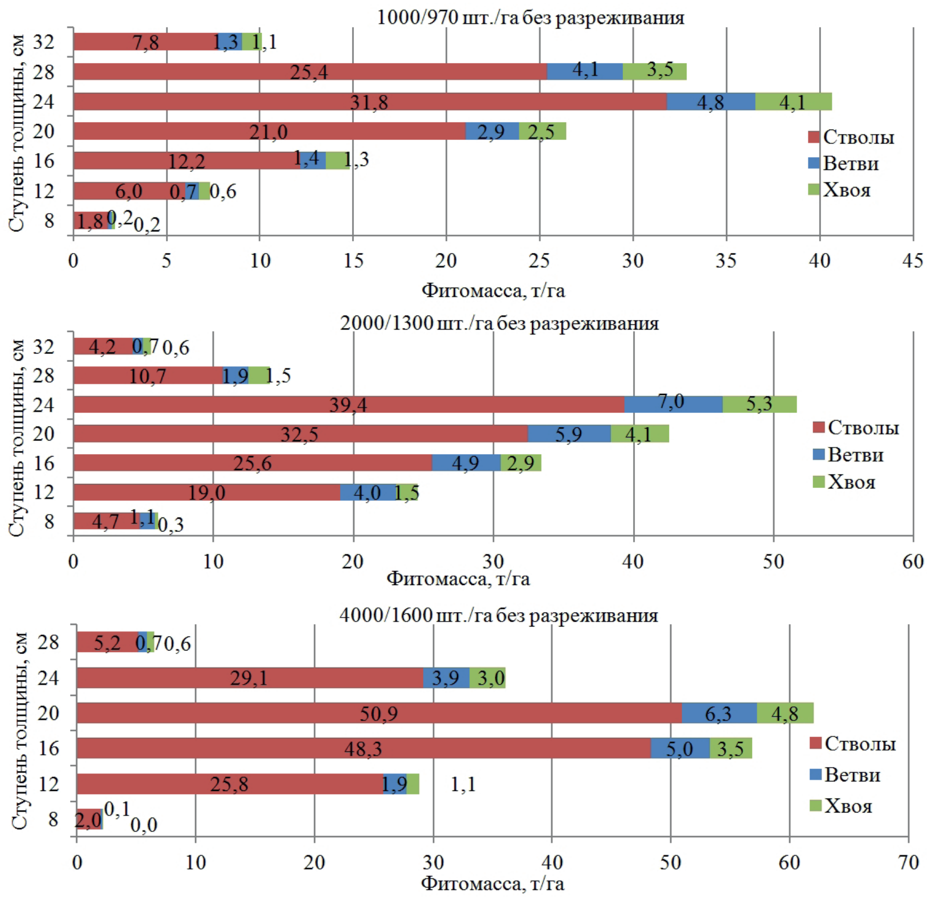


Рис. 2. Распределение фитомассы ели по частям ствола в плантационных насаждениях разной густоты без разреживаний

Масса живых ветвей превосходит массу хвои по ступеням толщины во всех вариантах опыта. В разреженных насаждениях ели наблюдается уменьшение кроновой фитомассы относительно не затронутых разреживаниями опытных объектов.

Однако статистически значимое различие в показателях формируемой фитомассы по ступеням толщины на p-уровне 5 % получено только для фитомассы стволов в вариантах без разреживания с изначальной густотой 1 тыс. шт./га и 4 тыс. шт./га (табл. 2), а также для фитомассы ветвей и общей надземной фитомассы в вариантах без разреживания с изначальной густотой 1 тыс. шт./га и 2 тыс. шт./га. Это связано с тем, что между этими вариантами опыта существует значимое различие по густоте деревьев в насаждениях.

Таблица 2

Дисперсионный анализ различий структуры надземной фитомассы ели в плантационных насаждениях (40 лет) в различных вариантах опыта

Исходная густота, шт./га	Среднее группы 1	Среднее группы 2	t	ν	p	σ гр. 1	σ гр. 2	F-отн. дисп.	p дисп.
По фитомассе стволов									
1000 и 2000	8150,0	11340,8	-1,50	36	0,14	5735,8	6886,0	1,44	0,43
1000 и 4000	8150,0	16132,6	-3,06	34	**0,01**	5735,8	9719,0	2,87	0,04
2000 и 4000	11340,8	16132,6	-1,35	20	0,19	6886,0	9719,0	1,99	0,28
2000 и 2000 разреж.	11340,8	15695,0	-1,38	19	0,18	6886,0	7521,6	1,19	0,77
4000 и 4000 разреж.	16132,6	12002,1	1,05	17	0,31	9719,0	6996	1,93	0,37
2000 изреж. и 4000 разреж.	15695	12002,1	1,08	16	0,30	7521,6	6996	1,16	0,84
По фитомассе ветвей									
1000 и 2000	1175,7	2123,9	-2,63	36	**0,01**	932,9	1230	1,74	0,24
1000 и 4000	1175,7	1799,3	-1,65	34	**0,11**	932,9	1210,7	1,68	0,29
2000 и 4000	2123,9	1799,3	0,62	20	0,54	1230,0	1210,7	1,03	0,98
2000 и 2000 разреж.	2123,9	1855,3	0,53	19	0,60	1230,0	1012,3	1,48	0,59
4000 и 4000 разреж.	1799,3	1631,7	0,32	17	0,75	1210,7	1082,9	1,25	0,76
2000 изреж. и 4000 разреж.	1855,3	1631,7	0,45	16	0,66	1012,3	1082,9	1,14	0,85
По фитомассе хвои									
1000 и 2000	1016,6	1356,7	-1,14	36	0,26	798,5	966,4	1,46	0,41
1000 и 4000	1016,6	1304,6	-0,93	34	0,36	798,5	933,2	1,37	0,51
2000 и 4000	1356,7	1304,6	0,13	20	0,90	966,4	933,2	1,07	0,93
2000 и 2000 разреж.	1356,7	1532,6	-0,45	19	0,66	966,4	744,0	1,69	0,47
4000 и 4000 разреж.	1304,6	1597,2	-0,72	17	0,48	933,2	826,7	1,27	0,74
2000 разреж. и 4000 разреж.	1532,6	1597,2	-0,17	16	0,86	744,0	826,7	1,23	0,77
По общей надземной фитомассе									
1000 и 2000	10342,4	14821,5	-1,61	36	**0,12**	7446,5	9039,6	1,47	0,41
1000 и 4000	10342,4	19236,6	-2,72	34	**0,01**	7446,5	11760,8	2,49	0,07
2000 и 4000	14821,5	19236,6	-1,00	20	0,33	9039,6	11760,8	1,69	0,41

Исходная густота, шт./га	Среднее группы 1	Среднее группы 2	t	ν	p	σ гр. 1	σ гр. 2	F-отн. дисп.	p дисп.
2000 и 2000 разреж.	14821,5	19083	-1,06	19	0,30	9039,6	9274,8	1,05	0,91
4000 и 4000 разреж.	19236,6	15231,1	0,83	17	0,42	11760	8823,9	1,78	0,43
2000 разреж. и 4000 разреж.	19083,0	15231,1	0,90	16	0,38	9274,8	8823,9	1,10	0,89

Примечание. t – t-критерий Стьюдента; ν – степени свободы; p – расчетный уровень значимости при тестировании с использованием t-критерия; σ – стандартное отклонение; F-отн. дисперс. – расчетное значение F-критерия; p дисперс. – расчетный уровень значимости при дисперсионном анализе.

Для плантационных насаждений сосны надземная фитомасса деревьев имеет ряд количественных отличий от плантаций ели, что связано как с различиями в биологии этих пород, так и с различным режимом выращивания (разреживание во всех случаях до 1500 шт./га).

В насаждениях сосны, как и в еловых древостоях, наибольшей массе стволов соответствуют более высокие показатели массы хвои и живых сучьев кроны (рис. 3).

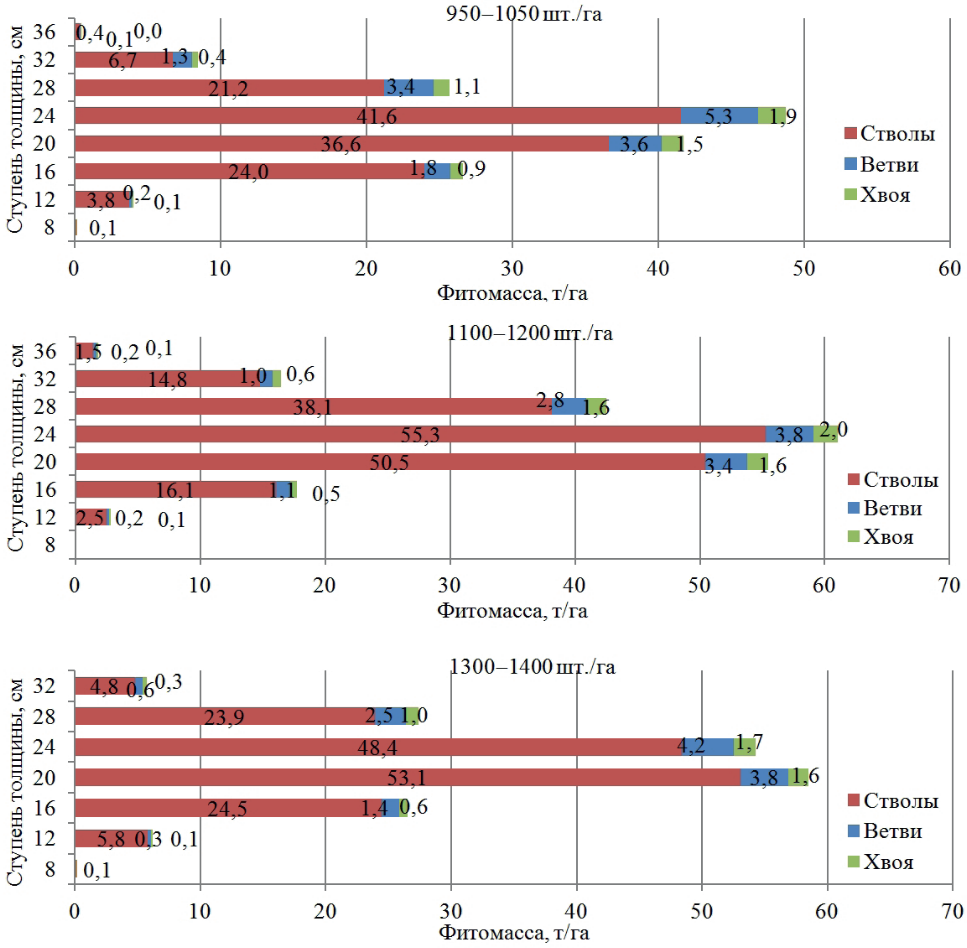


Рис. 3. Распределение фитомассы по частям ствола в насаждениях сосны разной густоты

Проведённый дисперсионный анализ выявил статистически значимое различие ($p = 5$ %) по распределению фитомассы стволов при густоте 950–1050 и 1300–1400 шт./га, с большей и меньшей густотой насаждений и между вариантами 1100–1200 и 1300–1400 шт./га (табл. 3).

Таблица 3

Дисперсионный анализ различий между структурными элементами деревьев сосны по надземной фитомассе при различных вариантах густоты плантационных культур

Группы финальной густоты, шт./га	Среднее группы 1	Среднее группы 2	t	v	p	σ гр. 1	σ гр. 2	F-отн. дисп.	p дисп.
По фитомассе стволов									
950–1050 и 1100–1200	5590,6	7297,5	-1,66	95	**0,10**	3976,1	5950,8	2,24	0,01
950–1050 и 1300–1400	5590,6	7471,2	-1,96	89	**0,05**	3976,1	5161,42	1,69	0,08
1100–1200 и 1300–1400	7297,5	7471,2	-0,15	90	0,88	5950,7	5161,4	1,33	0,35
По фитомассе ветвей									
950–1050 и 1100–1200	650,9	511,2	1,46	95	**0,15**	484,8	456,9	1,13	0,68
950–1050 и 1300–1400	650,9	590,7	0,63	89	0,53	484,8	422,3	1,32	0,36
1100–1200 и 1300–1400	511,2	590,7	-0,86	90	0,39	456,9	422,30	1,17	0,60
По фитомассе хвои									
950–1050 и 1100–1200	241,8	271,9	-0,70	95	0,49	174,9	243,0	1,93	0,03
950–1050 и 1300–1400	241,8	249,4	-0,20	89	0,84	174,9	182,9	1,09	0,77
1100–1200 и 1300–1400	271,9	249,4	0,50	90	0,62	243,0	182,9	1,77	0,06
По общей надземной фитомассе									
950–1050 и 1100–1200	6483,4	8080,7	-1,40	95	**0,16**	4593,2	6495,7	2,00	0,02
950–1050 и 1300–1400	6483,4	8311,4	-1,69	89	**0,09**	4593,2	5719,4	1,55	0,14
1100–1200 и 1300–1400	8080,7	8311,4	-0,18	90	0,86	6495,7	5719,4	1,29	0,40

Примечание. Обозначения те же, что и в таблице 2.

В данном случае сравнивались дисперсии показателей фитомассы сосны с учетом распределения по ступеням толщины с шагом 1 см в зависимости от густоты. Статистически значимых различий между насаждениями с густотой 950–1050 и 1100–1200 шт./га не выявлено. Для показателей фитомассы стволов значимое различие на уровне $p = 10$ % наблюдается для плантаций с густотой 950–1050 и 1100–1200 шт./га, а также 1300–1400 шт./га.

Для элементов кроновой части значимых различий не выявлено, показатели фитомассы однородны.

Необходимо также отметить, что значимое различие общей надземной фитомассы наблюдается для насаждений с густотой 950–1050 и 1100–1200 шт./га. Между другими вариантами такие зависимости не выявлены. С лесоводственно-биологической точки зрения это можно интерпретировать как оптимальную возможную продуктивность сосновых древостоев к возрасту 40 лет при густоте от 1100–1200 шт./га.

Надземная фитомасса в лесных культурах при ускоренном выращивании является отражением потенциальной продуктивности условий произрастания. Фитомасса структурных элементов деревьев имеет различные показатели в зависимости от финальной густоты выращиваемых насаждений.

В целом ряды распределения стволовой фитомассы для обеих пород имеют близкую к нормальной форму кривых. Однако у ели наблюдается больший размах ряда по ступеням толщины, чем у сосновых насаждений с различной густотой (рис. 4, 5). Для ели в основном стволовая фитомасса депонируется в ступенях от 12 до 28 см, а для сосны – в ступенях от 16 до 32 см.

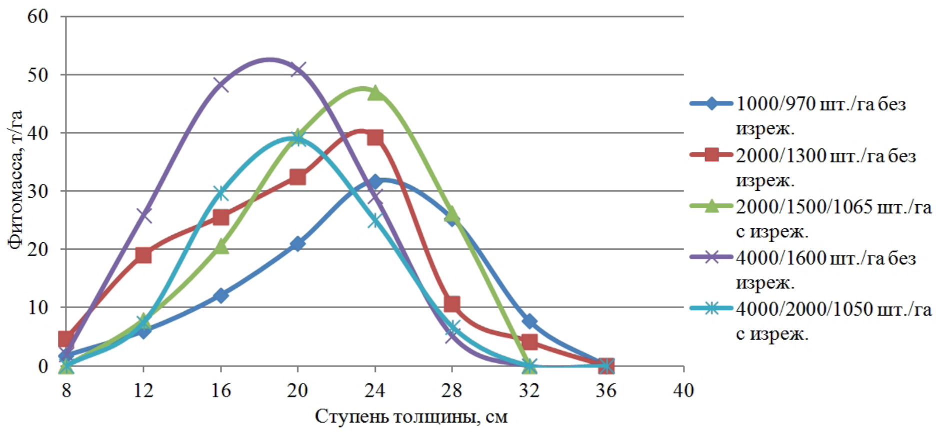


Рис. 4. Распределение фитомассы стволовой древесины ели по ступеням толщины при разной исходной и финальной густоте

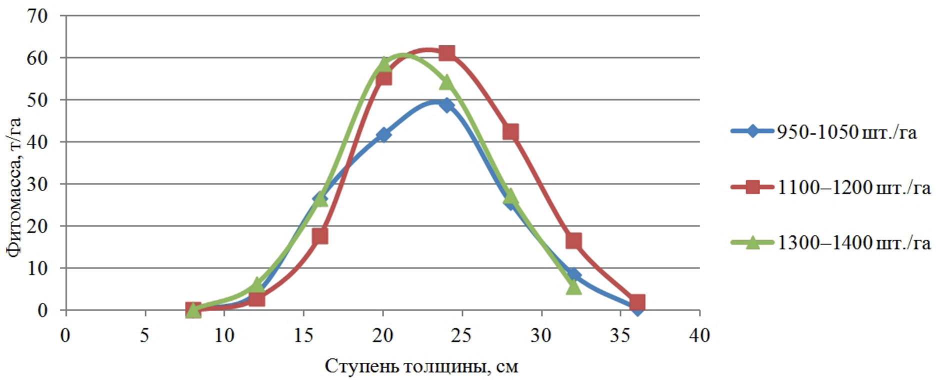


Рис. 5. Распределение фитомассы стволовой древесины сосны по ступеням толщины при разной финальной густоте (исходная густота – 4000 шт./га, разреживание до 1500 шт./га – во всех вариантах опыта)

Если сравнить показатели общей фитомассы по сосновым и еловым насаждениям с различной густотой, то можно наблюдать существенную разницу между этими породами. В насаждениях с густотой 1000 шт./га сосна формирует большую общую надземную фитомассу, чем ель. Однако в наименьших и наибольших классах диаметра стволов сосны, показатели общей надземной фитомассы и массы живых ветвей меньше, чем у ели (рис. 6). В то же время доля массы хвои у ели выше, чем у сосны по всем ступеням толщины, что связано с биологическими особенностями фотосинтетического аппарата данных пород.

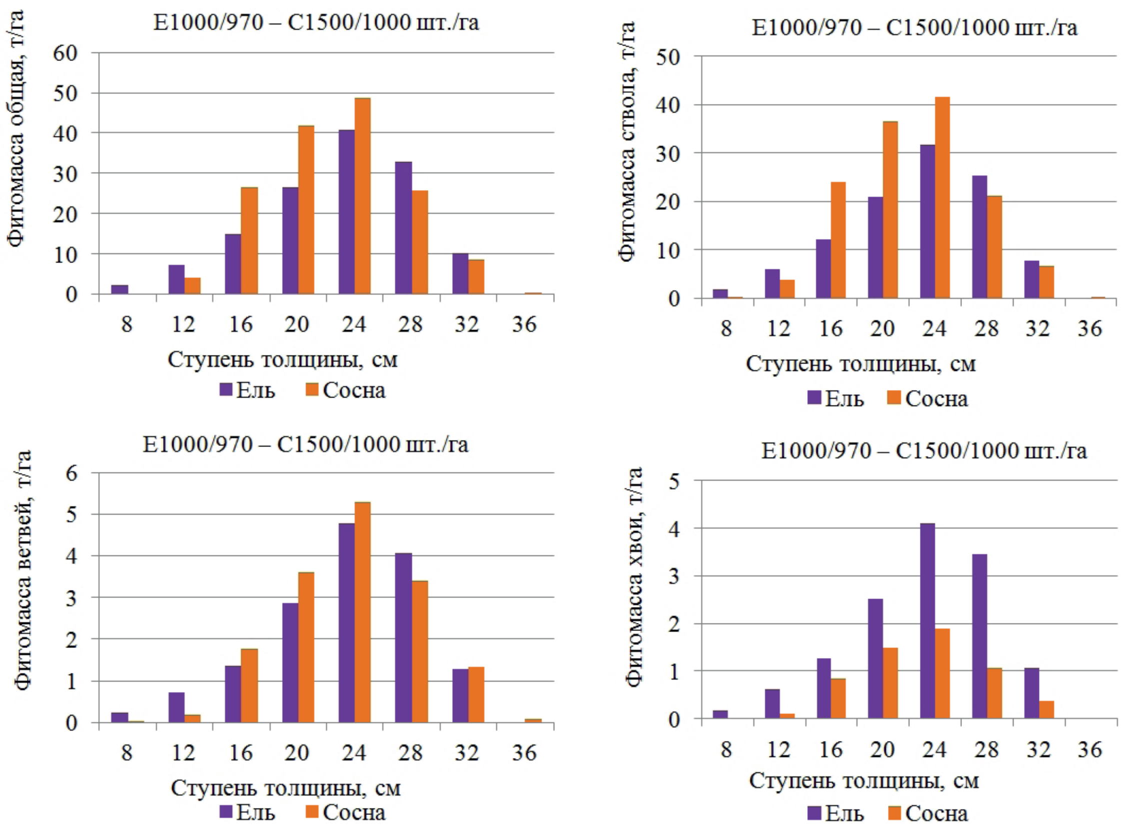


Рис. 6. Распределение фитомассы ели и сосны по ступеням толщины при низкой густоте — 1000 шт./га

Характеристики структуры надземной фитомассы в плантационных культурах сосны и ели с финальной густотой 1200 и 1600 шт./га отличаются от объектов с меньшей густотой (рис. 7) Общая надземная фитомасса в сосновых насаждениях имеет более низкие значения только в меньших ступенях толщины (8–16 см). В то время как масса живых ветвей и хвои выше у сосновых плантаций, чем у еловых только в крупных ступенях толщины (28–36 см).

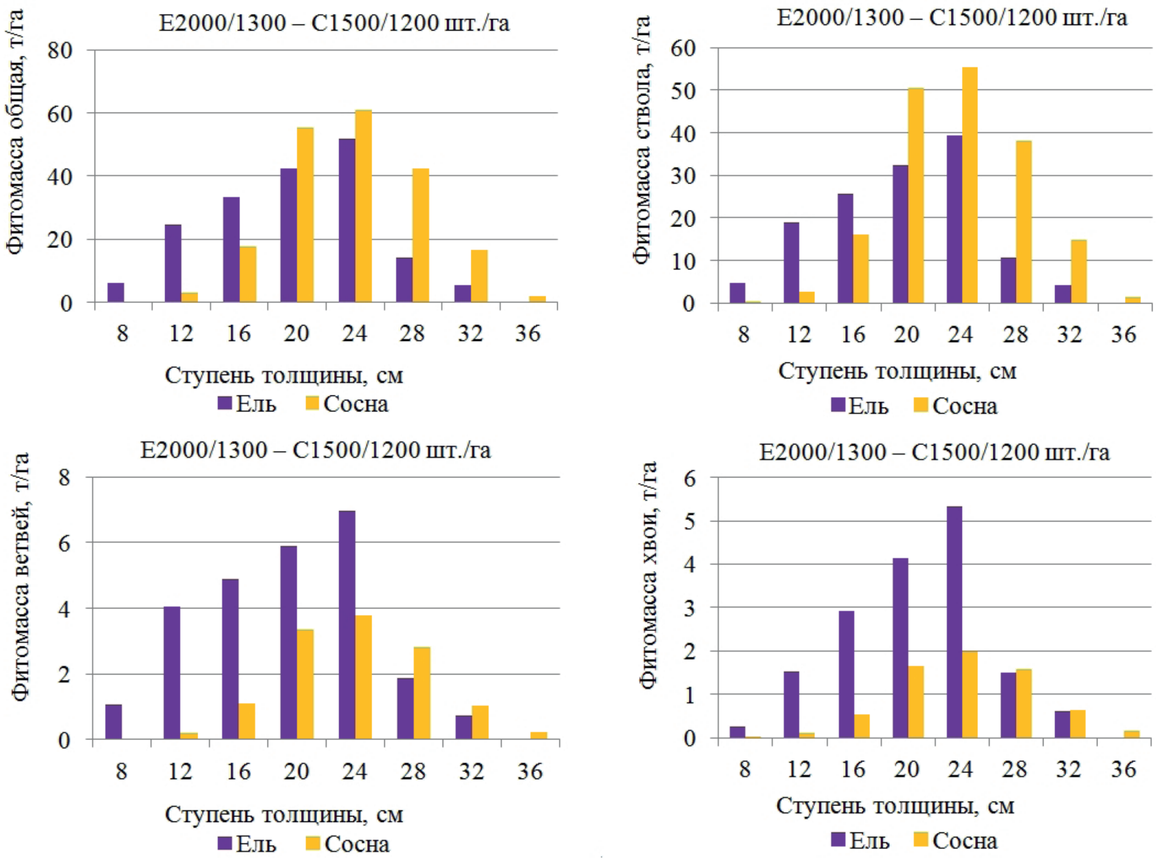
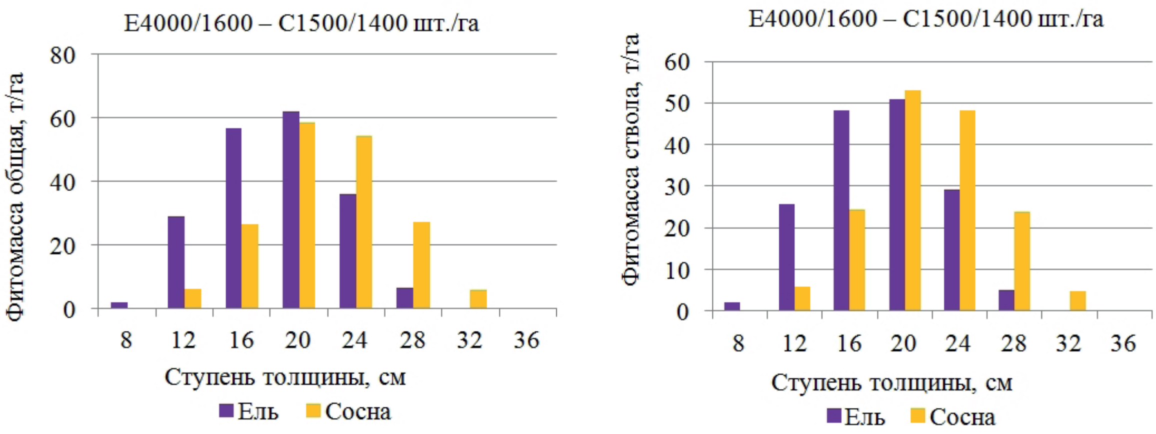


Рис. 7. Распределение фитомассы ели и сосны по ступеням толщины при разных вариантах опыта со средними значениями густоты

Для наиболее густых плантаций соотношение элементов надземной фитомассы также имеет свои отличия от предыдущих рассмотренных вариантов опыта (рис. 8).



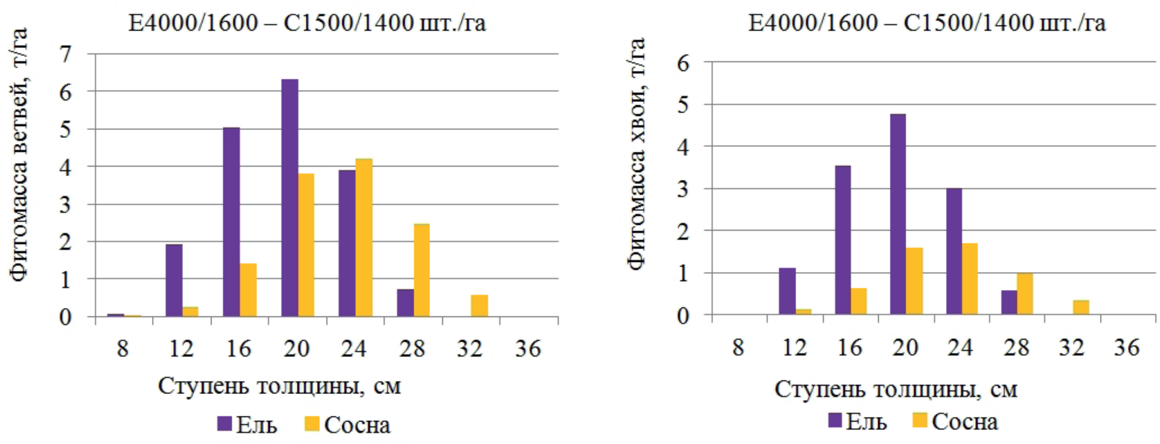


Рис. 8. Распределение фитомассы ели и сосны по ступеням толщины при разных вариантах опыта с высокими значениями финальной густоты

Общая надземная фитомасса у сосновых деревьев депонируется в ступенях 24–32 см, а у ели 8–20 см. Стволовая масса и масса живых ветвей фактически откладывается в правой части ряда распределения по ступеням толщины плантационных насаждений сосны, а у ели – в более мелких диаметрах. Большая масса хвои фиксируется у самых крупных деревьев сосны, у ели масса фотосинтезирующего аппарата выше в остальных классах диаметра стволов.

Выводы

Формируемая надземная фитомасса в плантационных культурах сосны и ели, выращиваемых по короткой схеме ротации, имеет различия в зависимости от сложившейся густоты к возрасту 40 лет.

Для сосны характерно накопление как надземной в целом, так и стволовой фитомассы в средних и крупных ступенях толщины, для ели – в мелких и средних классах диаметра стволов деревьев.

Наибольшая масса хвои у сосны формируется у самых крупных деревьев, у ели – в мелких и средних классах диаметра стволов.

В целом можно сделать вывод о большем влиянии густоты деревьев при ускоренном выращивании плантационных насаждений сосны на формирование её надземной фитомассы, чем для ели. Следовательно, необходимо своевременно регулировать густоту соснового насаждения и не запаздывать с отбором деревьев меньших ступеней толщины при проведении разреживания. В еловых плантациях должен проводиться своевременный отбор деревьев как мелких, так и из крупных диаметров, поскольку основная стволовая фитомасса откладывается в деревьях средних ступений толщины.

Статистически значимое различие по общей надземной, а также по стволовой фитомассе получено для плантационных насаждений ели с густотой 970 шт./га (с первоначальной густотой 1000 шт./га) и 1600 (с первоначальной густотой 4000 шт./га). Для остальных вариантов опыта с разреживанием и без него достоверной разницы не выявлено.

Для плантационных культур сосны достоверные различия по общей надземной и стволовой фитомассе получены для вариантов с густотой 950–1050 и 1100–1200 шт./га. Между другими вариантами статистически значимых различий по формируемой надземной фитомассе не выявлено.

Данный факт можно интерпретировать с лесоводственно-биологической точки зрения как оптимальную потенциальную продуктивность ускоренного выращивания сосновых древостоев к возрасту 40 лет при густоте от 1200–1400 шт./га, для еловых плантаций – 1400–1600 шт./га. Однако необходимо проводить своевременный отбор отстающих в росте деревьев на всех этапах выращивания, чтобы они не перешли в категорию отпада.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бондаренко, А.С. Статистическая обработка материалов лесоводственных исследований : Учебное пособие / А.С. Бондаренко, А.В. Жигунов. – СПб. : Изд-во Политехнического университета, 2016. – 125 с.
2. Бузыкин, А.И. Густота и продуктивность древесных ценозов / А.И. Бузыкин, Л.С. Пшеничникова, В.Г. Суховольский. – Новосибирск : Наука, Сиб. отделение, 2002. – 152 с.
3. Гелес, И.С. Древесное сырье – стратегическая основа и резерв цивилизации / И.С. Гелес. – Петрозаводск : КарНЦ РАН, 2007. – 499 с.
4. Гурьянов, М.О. Зависимость размерно-весовых показателей ветвей деревьев ели европейской от их фитоценотического состояния / М.О. Гурьянов, О.И. Антонов, Ю.В. Джикович // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. – 2020. – Вып. 233. – С. 6–18. – DOI 10.21266/2079-4304.2020.233.6-18.
5. Данилов, Д.А. Кроновая фитомасса в 40-летних плантационных культурах ели / Д.А. Данилов, С.В. Навалихин, Д.С. Тюрин // Актуальные проблемы аграрной науки в XXI веке : Материалы Всероссийской заочной научно-практической конференции, Пермь, 10–15 мая 2014 года. – Пермь : ИПЦ Прокрость, 2014. – Часть 1. – С. 8–10.
6. Данилов, Д.А. Качественные и количественные характеристики древесины ели и сосны при плантационном выращивании на Северо-Западе России / Д.А. Данилов // Сохранение лесных экосистем: проблемы и пути их решения : Материалы II Международной научно-практической конференции (г. Киров, 27–31 мая 2019 г.). – Киров : ВятГУ, 2019. – С. 74–78.
7. Данилов, Д.А. Стволовая масса древесины сосны в насаждениях на постагрогенных землях / Д.А. Данилов, С.Ю. Януш, Т.А. Шестакова // Актуальные проблемы лесного комплекса. – 2020. – № 56. – С. 22–24.
8. Демаков, Ю.П. Закономерности развития древостоя в культурах сосны обыкновенной разной исходной густоты / Ю.П. Демаков, Т.В. Нуреева, А.С. Пуряев, А.А. Рыжков // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Лес. Экология. Природопользование. – 2016. – № 4 (32). – С. 19–33.
9. Маркова, И.А. Обобщение 30-летнего опыта плантационного лесовыращивания в таежной зоне России / И.А. Маркова, Т.А. Шестакова, Н.В. Большакова, О.Ю. Бутенко // Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства. – СПб.; 2004. – Вып. 2 (12). – С. 58–76.
10. Маркова, И.А. Лесосырьевые плантации сосны и ели / И.А. Маркова, Т.А. Шестакова, О.Ю. Бутенко, Н.В. Большакова, О.П. Степанова. – СПб. : ФГУ «СПбНИИЛХ», 2008. – Вып. 1 (17). – 158 с. – (Серия «Стационарные опытные объекты»).
11. Прока, И.Ю. Создание лесных плантаций многоцелевого ресурсного назначения лесоводственными методами / И.Ю. Прока, С.Н. Бабынин // Вестник Казанского ГАУ. – 2018. – № 4 (51). – С. 77–82. – DOI 10.12737/article_5c3de3887620f5.55458216.
12. Савченкова, В.А. Оценка продуктивности молодняка ели европейской (*Picea abies* L.) / В.А. Савченкова, В.Ф. Никитин // Вестник КрасГАУ. – 2018. – № 2. – С. 202–207.
13. Тюрин, Д.С. Фитомасса и плотность древесины ели в 40-летних плантационных культурах / Д.С. Тюрин, Д.А. Данилов, Ю.И. Данилов // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. – 2016. – Вып. 214. – С. 120–130.
14. Усольцев, В.А. Методы определения биологической продуктивности насаждений: монография / В.А. Усольцев, С.В. Залесов. – Екатеринбург : УГЛТУ, 2005. – 147 с.
15. Усольцев, В.А. Квалиметрия фитомассы лесных деревьев: плотность и содержание сухого вещества : монография / В.А. Усольцев, И.С. Цепордей. – Екатеринбург : УГЛТУ, 2020. – 178 с.
16. Штукин, С.С. Рост культур сосны обыкновенной при интенсивном применении лесохозяйственных и мелиоративных мероприятий / С.С. Штукин, Д.А. Подошвелев // Лесохозяйственная информация (ВНИИЛМ). – 2004. – Вып. 12. – С. 52–55.
17. Януш, С.Ю. Технология получения и использование древесной биомассы на постагрогенных землях / С.Ю. Януш, Д.А. Данилов // Актуальные проблемы лесного комплекса. – 2021. – № 59. – С. 109–112.
18. Bravo, F. Disentangling the Relationship between Tree Biomass Yield and Tree Diversity in Mediterranean Mixed Forests / F. Bravo, A. Martin, N. Dugarsuren, C. Ordóñez // Forests. –2021. – № 12 (7). – P. 848. – DOI: 10.3390/f12070848.
19. Carle, J. Wood from planted forests. A global outlook 2005–2030 / J. Carle, P. Holmgren // Forest Products Journal. – 2008. – № 58 (12). – P. 6–18.

20. Demol, M. Consequences of vertical basic wood density variation on the estimation of aboveground biomass with terrestrial laser scanning / M. Demol, K. Calders, S.M.K. Moorthy, J.V. den Bulcke, H. Verbeeck, B. Gielen // Trees. – 2021. – № 35. – P. 671–684. – DOI: 10.1007/s00468-020-02067-7.
21. Georgios, A. Accuracy differences in aboveground woody biomass estimation with terrestrial laser scanning for trees in urban and rural forests and different leaf conditions / A. Georgios, D.W. MacFarlane, K. Calders, M.E. Baker // Trees. – 2023. – № 37. – P. 761–779. – DOI:10.1007/s00468-022-02382-1.
22. Marziliano, P.A. Effects of planting density on the distribution of biomass in a douglas-fir plantation in southern Italy / P.A. Marziliano, V. Coletta, G. Menguzzato, A. Nicolaci, G. Pellicone, A. Veltri // iForest. – 2015. – № 8. – P. 368–376. – DOI: 10.3832/ifor1078-007.
23. Pretsch, H. Effect of tree species mixing on the size structure, density, and yield of forest stands / H. Pretsch, G. Schütze // European Journal of Forest Research. – 2016. – № 135. – P. 1–22.
24. Xu, L. Changes in global terrestrial live biomass over the 21st century / L. Xu, et al. // Science Advances. – 2021 – № 7. – DOI: 10.1126/sciadv.abe9829.
25. Zhang, Y. Forest productivity increases with evenness, species richness and trait variation: a global meta-analysis / Y. Zhang, H.Y.H. Chen, P.B. Reich // Journal of Ecology. – 2012. – № 100, – P. 742–774. – DOI: 10.1111/j.1365-2745.2011.01944.x.

REFERENCES

1. Bondarenko A.S., Zhigunov. A.V. Statisticheskaya obrabotka materialov lesovodstvennyh issledovanij. Uchebnoye posobiye [Statistical processing of materials from forestry research : Textbook]. Saint-Petersburg, 2016, 125 p. (In Russian).
2. Buzykin A.I., Pshenichnikova L.S., Sukhovolsky V.G. Gustota i produktivnost' drevesnyh cenozov [Density and productivity of tree cenoses]. Novosibirsk, Science, Sibirsk. Department, 2002, 152 p. (In Russian).
3. Geles I.S. Drevesnoe syr'e – strategicheskaya osnova i rezerv civilizacii [Wood raw materials – a strategic basis and reserve of civilization.]. Petrozavodsk, Karelian Research Center RAN, 2007, 499 p. (In Russian).
4. Guryanov M.O., Antonov O.I., Djikovich Yu.V. Zavisimost' razmerno-vesovyh pokazatelej vetvej derev'ev eli evropejskoj ot ih fitocenoticheskogo sostoyaniya [Dependence of size and weight indicators of Norway spruce tree branches on their phytocenotic state]. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj lesotehniceskoj akademii* [*News of the St. Petersburg Forestry Academy*], 2020, no. 233, pp. 6–18. DOI: 10.21266/2079-4304.2020.233.6-18. (In Russian).
5. Danilov D.A., Navalikhin S.V., Tyurin D.S. Kronovaya fitomassa v 40-letnih plantacionnyh kul'turah eli. [Crown phytomass in 40-year-old spruce plantation stands]. *Aktual'nyye problemy agrarnoy nauki v XXI veke. Materialy Vserossiyskoy zaochnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, Perm', 10–15 maya 2014 goda*. [*Proceedings of the All-Russian extramural scientific-practical conference «Actual problems of agrarian science in the XXI century»*], Perm, 2014, vol. 1, pp. 8–10. (In Russian).
6. Danilov D.A. Kachestvennye i kolichestvennye harakteristiki drevesiny eli i sosny pri plantacionnom vyrashchivanii na Severo-Zapade Rossii [Qualitative and quantitative characteristics of spruce and pine wood under plantation cultivation in Northwest Russia]. *Sokhraneniye lesnykh ekosistem: problemy i puti ikh resheniya. Materialy II Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [*Proceedings of the II International Scientific and Practical Conference «Conservation of forest ecosystems: problems and ways of their solution»*] (Kirov, May 27-7.
7. Danilov D.A., Yanush S.Y., Shestakova T.A. Stvolovaya massa drevesiny sosny v nasazhdeniyah na postagrogennyh zemlyah [Stem mass of pine wood in plantations on post-agricultural lands]. *Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa* [*Actual problems of forest complex*], 2020, no. 56, pp. 22–24. (In Russian).
8. Demakov Y.P., Nureyeva T.V., Puryaev A.S., Ryzhkov A.A. Zakonomernosti razvitiya drevostoya v kul'turah sosny obyknovennoj raznoj iskhodnoj gustoty [Patterns of stand evolution in pine stands of different initial densities]. *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Seriya: Les. Ekologiya. Prirodopol'zovanie.* [*Vestnik of Volga State University of Technology Ser Forest Ecology Nature Management*], 2016, no. 4 (32), pp. 19–33. (In Russian).
9. Markova I.A., Shestakova T.A., Bolshakova N.V., Butenko O.Yu. Obobshchenie 30-letnego opyta plantacionnogo lesovyrashchivaniya v taezhnoj zone Rossii [Generalization of 30 years of plantation forestry experience in the taiga zone of Russia]. *Trudy SPbNIILH* [*Proceedings of the Saint Petersburg Forestry Research Institute*], 2004, no. 2 (12), pp. 58–76. (In Russian).

10. Markova I.A., Shestakova T.A., Butenko O.Yu., Bolshakova N.V., Stepanova O.P. Lesosyr'evye plantacii sosny i eli [Pine and spruce forestry plantations]. Saint-Petersburg, 2008, no. 1 (17), 158 p. (In Russian).
11. Proka I.Y., Babynin S.N. Sozdanie lesnyh plantacij mnogocelevogo resursnogo naznacheniya lesovodstvennymi metodami [Creation of multi-purpose resource forest plantations by silvicultural methods]. *Vestnik Kazanskogo GAU* [*Vestnik of the Kazan State Agrarian University*], 2018, no. 4 (51), pp. 77–82. DOI: 10.12737/article_5c3de3887620f5.55458216 (In Russian).
12. Savchenkova V.A., Nikitin V.F. Ocenka produktivnosti molodnyaka eli evropejskoj (*Picea abies* L.) [Evaluation of productivity of young European spruce (*Picea abies* L.) stands]. *Vestnik KrasGAU* [*The Bulletin of KrasGAU*], 2018, no. 2, pp. 202–207. (In Russian).
13. Tyurin, D.S., Danilov D.A., Danilov Y.I. Fitomassa i plotnost' drevesiny eli v 40-letnih plantacionnyh kul'turah [Phytomass and wood density of spruce in 40-year-old plantation stands]. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj lesotehniceskoj akademii* [*News of the St. Petersburg Forestry Academy]*, 2016, no. 214, pp. 120–130. (In Russian).
14. Usoltsev V.A., Zalesov S.V. Metody opredeleniya biologicheskoj produktivnosti nasazhdenij: monografiya [Methods of determining the biological productivity of plantations. A monograph]. Ekaterinburg, 2005, 147 p. (In Russian).
15. Usoltsev V.A., Tsepordey I.S. Kvalimetriya fitomassy lesnyh derev'ev: plotnost' i soderzhanie suhogo veshchestva: monografiya [Forest tree phytomass qualimetry: density and dry weight content. A monograph]. Ekaterinburg, 2020, 178 p. (In Russian).
16. Shtukin S.S., Podoshvelev D.A. Rost kul'tur sosny obyknovennoj pri intensivnom primenenii lesohozyajstvennyh i meliorativnyh meropriyatij [The growth of pine stands under intensive application of forestry and land reclamation measures]. *Lesohozyajstvennaya informaciya (VNIILM).* [*Forestry Information*], 2004, no. 12, pp. 52–55. (In Russian).
17. Yanush S.Yu., Danilov D.A. Tekhnologiya polucheniya i ispol'zovanie drevesnoj biomassy na postagrogennyh zemlyah [Technology of woody biomass production and use on post-agricultural lands]. *Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa* [*Actual problems of forest complex*], 2021, no. 59, pp. 109–112. (In Russian).
18. Bravo F., Martin A., Dugarsuren N., Ordóñez C. Disentangling the Relationship between Tree Biomass Yield and Tree Diversity in Mediterranean Mixed Forests. *Forests*, 2021, vol. 12 (7), pp. 848. DOI: 10.3390/f12070848.
19. Carle J., Holmgren P. Wood from planted forests. A global outlook 2005-2030. *Forest Products Journal*, 2008, vol. 58 (12), pp. 6–18.
20. Demol M., Calders K., Moorthy S.M.K., den Bulcke J.V., Verbeeck H., Gielen B. Consequences of vertical basic wood density variation on the estimation of aboveground biomass with terrestrial laser scanning. *Trees*, 2021, vol. 35, pp. 671–684. DOI: 10.1007/s00468-020-02067-7.
21. Georgios A., MacFarlane D.W., Calders K., Baker M.E. Accuracy differences in aboveground woody biomass estimation with terrestrial laser scanning for trees in urban and rural forests and different leaf conditions. *Trees*, 2023, vol. 37, pp. 761–779. DOI:10.1007/s00468-022-02382-1.
22. Marziliano P.A., Coletta V., Menguzzato G., Nicolaci A., Pellicone G., Veltri A. Effects of planting density on the distribution of biomass in a douglas-fir plantation in southern Italy. *iForest*, 2015, vol. 8, pp. 368–376. DOI: 10.3832/ifor1078-007.
23. Pretsch H., Schütze G. Effect of tree species mixing on the size structure, density, and yield of forest stands. *European Journal of Forest Research*, 2016, vol. 135, pp. 1–22.
24. Xu L., Saatchi S.S., Yang Y., Yu Y., Pongratz J., Bloom A.A., Bowman K., Worden J., Liu J., Yin Y., Domke G., McRoberts R.E., Woodall Ch., Nabuurs G.-J., de-Miguel S., Keller M., Harris N., Maxwell S., Schimel D. Changes in global terrestrial live biomass over the 21st century. *Science Advances*, 2021, vol. 7. DOI: 10.1126/sciadv.abe9829.
25. Zhang Y., Chen H.Y.H., Reich P.B. Forest productivity increases with evenness, species richness and trait variation: a global meta-analysis. *Journal of Ecology*, 2012, vol. 100, pp. 742–774. DOI: 10.1111/j.1365-2745.2011.01944.x.

Статья поступила в редакцию 27.07.2023