

pp. 56-63. (In Russian).

9. Vaganov E. A., Anchukaitis K. J., Evans M. N., How well understood are the processes that create dendroclimatic records? A mechanistic model of the climatic control on conifer tree-ring growth dynamics. *Dendroclimatology*, 2011, pp. 37-75.

10. Gričar J., Zupančič M., Čufar K., Oven P., Regular cambial activity and xylem and phloem formation in locally heated and cooled stem portions of Norway spruce. *Wood Science and Technology*, 2007, no. 6, pp. 463-475.

11. Savidge R. A. Xylogenesis, genetic and environmental regulation – A review. *Iawa Journal*, 1996, no. 3, pp. 269-310.

Сведения об авторах

Вайс Андрей Андреевич – профессор ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева», доктор сельскохозяйственных наук, профессор, г. Красноярск, Российская Федерация; e-mail: vais6365@mail.ru.

Деревянных Дмитрий Николаевич – и. о. ректора ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева», кандидат технических наук, доцент, г. Красноярск, Российская Федерация; e-mail: rector@sibsau.ru.

Горошко Андрей Александрович – аспирант ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева», г. Красноярск, Российская Федерация; e-mail: 902970@list.ru.

Information about authors

Veiss Andrey Andreevich – Professor Federal State Budget Education Institution of Higher Education Siberian State University of Science and Technology named after Academician M.F. Reshetnev, DSc in Agriculture, Professor, Krasnoyarsk, Russian Federation; e-mail: vais6365@mail.ru.

Derevyannykh Dmitriy Nikolaevich – Acting Rector Federal State Budget Education Institution of Higher Education Siberian State University of Science and Technology named after Academician M.F. Reshetnev, PhD in Engineering, Associate Professor, Krasnoyarsk, Russian Federation; e-mail: rector@sibsau.ru.

Goroshko Andrey Aleksandrovich – post-graduate student Federal State Budget Education Institution of Higher Education Siberian State University of Science and Technology named after Academician M.F. Reshetnev, Krasnoyarsk, Russian Federation; e-mail: 902970@list.ru.

DOI: 10.12737/article_5b97a1688c1907.16726604

УДК 630*2

ВЛИЯНИЕ РУБОК УХОДА НА МАКРОСТРОЕНИЕ И ПЛОТНОСТЬ ДРЕВЕСИНЫ ЕЛИ И СОСНЫ

Д. А. Зайцев¹

доктор сельскохозяйственных наук Д. А. Данилов^{2,1}

доктор сельскохозяйственных наук, профессор Н. В. Беляева¹

1 – ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова»,

г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

2 – ФГБНУ Ленинградский НИИСХ «Белогорка», Ленинградская область, Российская Федерация

Целью проведённой работы было выявление закономерностей формирования анатомического строения, а также плотности древесины сосны и ели под эффектом разреживания состава насаждения. Объектами исследования являются спелые чистые и смешанные древостои кислично-черничного типа леса с различными долями сосны и ели в составе, расположенные в Ленинградской области. В насаждениях были заложены постоянные пробные площади с разреживаниями различной интенсивности, с выделением контрольных секций без рубок. На опытных объектах был произведен отбор образцов древесины со всех представленных ступеней толщины насаждения, путем высверливания радиальных кернов буровом Пресслера на высоте 1,3 м от корневой шей-

ки ствола. В качестве показателя, характеризующего массу единицы объема древесины, использовалась базисная плотность, которая измерялась способом максимальной влажности по методу проф. О. И. Полубояринова. Измеренная базисная плотность древесины образца, с помощью конверсионных уравнений, пересчитывалась на среднюю для ствола дерева. Исследование макростроения древесины отобранных образцов проводились с применением сканера высокого разрешения, путем измерений на оцифрованных изображениях кернов в программном ГИС-пакете. В дальнейшем была проведена статистическая обработка полученных качественных и количественных данных с использованием общепринятых в эколого-биологических исследованиях древесных фитоценозов методов. Выявлена статистическая достоверность полученных данных в большинстве случаев на 95 % уровне значимости. Отмечается, что интенсивные рубки не приводят к значимому снижению плотности древесины ели и сосны к возрасту рубки спелого насаждения в кислично-черничных типах леса. Однако в смешанных хвойных древостоях с увеличением доли ели в составе происходит снижение плотности её древесины. Установлено, что в разреженных хвойных насаждениях плотность древесины у ели и сосны на данном возрастном этапе больше зависит от содержания поздней ксилемы в годичном приросте, чем от ширины годичного кольца.

Ключевые слова: рубки ухода, состав насаждений, плотность древесины, ранняя древесина, поздняя древесина, ширина годичного прироста.

INFLUENCE OF CLEANING CUTTING ON MACROSTRUCTURE AND DENSITY OF SPRUCE AND PINE WOOD

D. A. Zaitsev ¹

DSc in Agriculture D. A. Danilov ^{2,1}

DSc in Agriculture, Professor N. V. Beliaeva ¹

1 – Federal State Budget Education Institution of Higher Education Saint Petersburg State Forest Technical University under name of S.M. Kiro», Saint-Petersburg, Russian Federation

2 – Federal State Budget Scientific Institution Leningrad Research Institute «BELOGORKA», Leningrad region, Russian Federation

Abstract

The purpose of the work is to identify patterns in the formation of anatomical structure, density of pine and spruce wood under the effect of thinning of stand composition. The objects of research are ripe, pure and mixed stands of acidic-bilberry type of forest with different proportions of pine and spruce in the composition located in the Leningrad region. Permanent plant areas with thinnings of different intensities, with the separation of control sections without fellings have been laid in the plantations. At the experimental sites, samples of wood have been taken from all the stages of the stand thickness by thinning the radial core samples with a Pressler borer at the height of 1.3 m from the root neck of the stem. Basis density has been used as an indicator characterizing the mass of a unit volume of wood, which has been measured by the method of maximum moisture according to the method of prof. O.I. Poluboyarinov. The measured basis density of the wood sample, using conversion equations, has been recalculated to the average one for the tree trunk. The study of the macrostructure of the wood of the selected samples has been carried out using high-resolution scanner, by measuring on digitized cores in a software GIS package. Later, statistical processing of the obtained qualitative and quantitative data has been carried out using methods which are common in ecological and biological studies of wood phytocenoses. Statistical reliability of the obtained data has been revealed in most cases at 95 % significance level. It is noted that intensive logging does not lead to a significant decrease in the density of spruce and pine wood by the age of felling of ripe plantations in acidic-bilberry forest types. However, the density of its wood decreases with an increase of spruce share in the composition in mixed coniferous stands. It has been established that the density of wood in spruce and pine in thinned coniferous stands at a given age stage is more dependent on the content of late xylem in the annual growth than on the width of annual ring.

Keywords: cleaning cutting, composition of plantations, density of wood, earlywood, latewood, annual growth width.

Введение. Проводя рубки ухода в смешанных ценозах и получая к возрасту спелого насаждения сформированный древостой с преобладанием хвойных пород, необходимо стремиться получить не только максимальный запас древесины, но и стараться сохранить ее качественные характеристики.

Интегральным показателем качества древесины является ее плотность, на формирование которой влияют показатели анатомического строения ксилемы. Изменение плотности древесины хвойных с возрастом часто завуалировано различием плодородия почв, степенью сомкнутости крон и другими факторами. Еще в конце XIX века Р. Гартигом с учениками проводились исследования связи качества древесины и ее технических свойств с анатомическим строением у хвойных пород, и был сделан вывод о том, что строение трахеид полностью объясняет колебания объемного веса (плотности) древесины хвойных пород [1]. Немецкими учеными лесоводами было отмечено, что все лесохозяйственные мероприятия, которые повышают долю поздней древесины, приводят к росту ее плотности [2, 8, 16, 18]. О влиянии разреживающих рубок проведено достаточно много исследований, однако они часто противоположны по своим выводам о влиянии рубок на процесс формирования плотности древесины. Это связано с тем, что достаточно трудно подобрать лесохозяйственные опытные объекты с однородными условиями произрастания и повторностями уходов [4, 5, 7, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 17].

Методика. Исследования проводились на опытном объекте, который был заложен в 1929 году проф. Гуманом В. В. [9], где произрастали средневозрастные насаждения с преобладанием березы и елью во втором ярусе, а также на объектах, заложенных в 1981 году сотрудниками ЛенНИИЛХа в приспевающих смешанных древостоях ели и сосны [9]. Данные объекты находятся в Карташевском участковом лесничестве Гатчинского лесничества Ленинградской области, почвенные условия объектов однородные – слабоподзоленные супесчаные почвы на красноцветном моренном суглинке, хорошо дренированные. Постоянные пробные площади (ППП) на опытных объектах были пройдены рубками ухода в возрасте 30-35 лет различной интенсивности с выделением контрольных секций, где рубки не проводились (ППП с индексом А и ПП 28). По интенсивности рубки ух-

да делили на слабые (с интенсивностью 15-24 %, индекс В), средние (25-34 %, индекс С), сильные (35-44 %, индекс D) и очень сильные (45 % и больше, индекс Е). Рубки ухода проводились в возрасте 30-35 лет, за исключением серии ППП-15, где была проведена несколько запоздалая проходная рубка. На данный момент насаждения достигли спелости, имеют возраст более 100 лет, относятся к кисличному и черничному типам леса (табл. 1). На объектах был произведен сбор образцов древесины сосны и ели для изучения влияния состава древостоя и проведенных разреживаний на ее плотность. Отбор проводился буровом Пресслера с высоты 1,3 м со всех ступеней толщины ряда распределения, представленных на ППП (не менее чем с двух модельных деревьев на ступень толщины).

Базисная плотность древесины измерялась методом максимальной влажности по проф. О. И. Полубояринову [8]. По предложенным в работах [3, 4, 8] конверсионным уравнениям определялась плотность древесины для всего ствола и далее, как средневзвешенная, для всего древостоя на пробных площадях. Для определения соотношения зон поздней и ранней ксилемы, а также величины годичных приростов, полученные керны древесины шлифовались и сканировались. На полученных цифровых изображениях образцов показатели макроструктуры древесины измерялись с использованием GIS-приложения «Панорама 10». С помощью дисперсионного анализа проводилась статистическая обработка полученных данных и делалось заключение о достоверности влияния того или иного фактора на формирование плотности древесины.

Результаты исследования. На ППП с рубками ухода к настоящему времени произрастают насаждения, у которых базисная плотность древесины выше средних показателей 380-390 кг/м³ [8] для района исследования (табл. 2).

Спелые древостои с преобладанием в составе ели, произрастающие в данном регионе, отличаются высокими показателями плотности ее древесины, что подтверждается и предыдущими исследованиями [3, 4, 6, 8]. Рост плотности древесины ели по данным ряда авторов на северо-западе РФ может продолжаться до 140 лет [8, 10]. Исследование динамики доли поздней ксилемы в годичном приросте показало,

Характеристика объектов исследования по данным последней таксации
(2009 г. – серия ППП 1; 2010 г. – ППП 7; 2012 г. – ППП 2, 15; 2015 г. – ППП 28)

Пробная площадь	Ярус	Состав древостоя	Возраст, лет	Класс бонитета	Тип леса	Полнота	Запас, м ³ /га
1А	I	<u>10Б+Ос+С</u>	123	Ia	Б.КС	0,9	384
	II	10Е		II		0,3	148
1В	I	9Е1С	123	I	Е.КС	0,5	301
1С	I	9Е1С	123	I	Е.КС	0,5	331
1D	I	8Е2С	123	I	Е.КС	0,6	321
1Е	I	10Е+С	123	I	Е.КС	0,7	432
2А	I	7Е2С2Б+Ос	126	III	Е.КС	0,54	267
2В	I	10Е	126	III	Е.КС	0,57	348
2С	I	9Е1С	126	II	Е.КС	0,62	366
2D	I	9Е1Б	126	I	Е.КС	0,52	196
7А	I	<u>8Б2Ос</u>	124	I	Б.КС	0,7	314
	II	10Е				0,3	125
7D	I	10Е+С,Б	124	I	Е.КС	0,7	382
15А	I	4Е3С3Б	105	II	Е.ЧС	0,8	289
15В	I	5Е4С1Б	105	II	Е.ЧС	0,7	255
15С	I	7Е3С+Б	105	II	Е.ЧС	0,8	298
28	I	5Е5С+Б	110	Ia	Е.КС	1,1	720

Примечание: Б.КС – березняк кисличный; Е.КС – ельник кисличный; Е.ЧС – ельник черничный свежий.

Таблица 2

Базисная плотность древесины ели (кг/м³) на опытных объектах по ступеням толщины насаждения (см)

Пробная площадь	16	20	24	28	32	36	40	М _{ср}
1А	376,6	424,6	416,7	414,0	-	-	-	408,0
1В	411,1	459,6	428,5	418,8	441,0	439,0	436,1	429,5
1С	415,5	393,5	413,9	437,0	409,8	424,1	432,1	418,0
1D	-	452,7	469,4	437,5	427,9	452,8	409,5	441,6
1Е	420,0	394,5	420,7	413,6	407,5	455,4	396,8	415,5
2А	495,1	452,3	474,3	475,0	474,3	443,0	408,3	460,3
2В	491,1	510,3	462,5	437,6	443,5	458,4	447,9	464,5
2С	-	-	575,4	574,6	507,0	545,6	472,7	561,4
2D	-	537,0	536,3	479,5	511,9	450,7	467,2	511,7
7А	561,5	488,9	513,8	547,0	504,7	567,1	-	530,5
7D	431,1	525,3	464,3	485,2	513,1	477,5	-	482,7

что на опытных объектах, затронутых уходами за лесом, данный показатель за период после проведенных разреживаний значимо не уменьшился, относительно контрольных секций без рубок (рис. 1-3).

Варьирование показателей доли поздней ксилемы и, соответственно, показателей средней плотности древесины по ступеням толщины древостоя, на данном возрастном этапе можно интерпретировать

влиянием ряда распределения стволов по ступеням толщины насаждения и количественной представленностью деревьев наиболее крупных ступеней толщины как в древостоях, пройденных разреживаниями, так и в естественных. При этом с помощью дисперсионного анализа было выявлено значимое влияние проведенных рубок ухода на показатели плотности древесины ели (табл. 3).

Природопользование

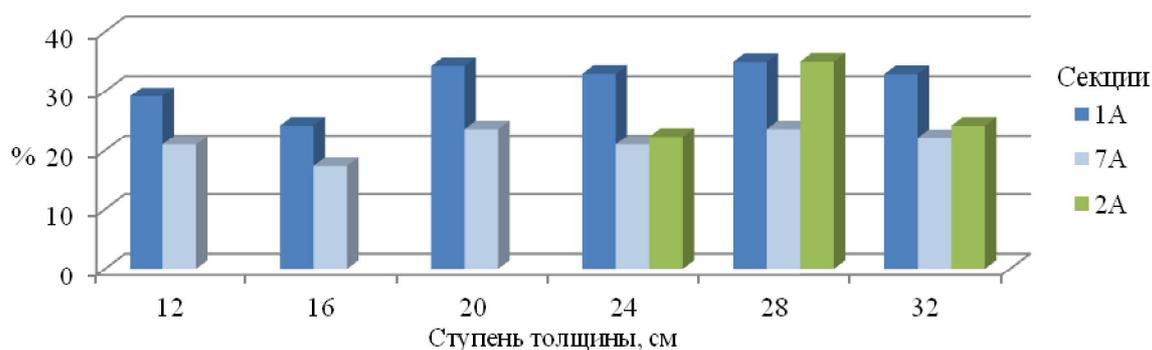


Рис. 1. Доля поздней ксилемы в ширине годичного прироста ели по ступеням толщины за период после проведенных на объекте рубок на контрольных секциях (не затронутых рубками)

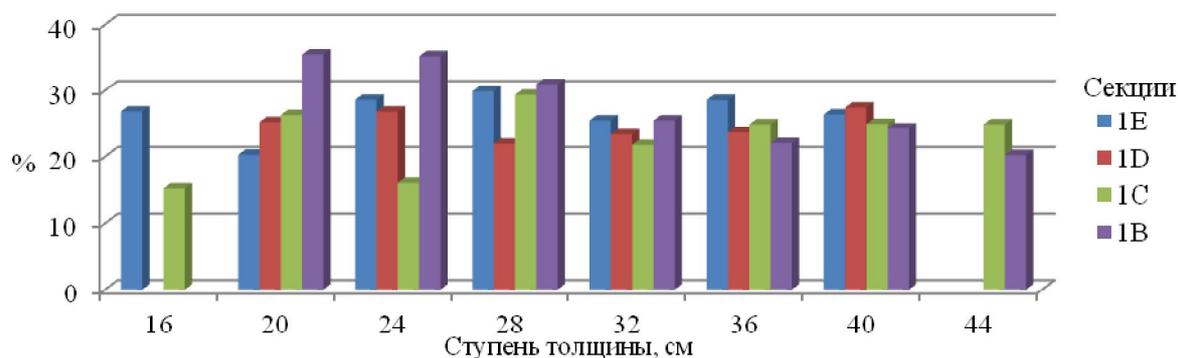


Рис. 2. Доля поздней ксилемы в ширине годичного прироста ели за период после рубок на секциях серии ППП 1 с разным режимом разреживания

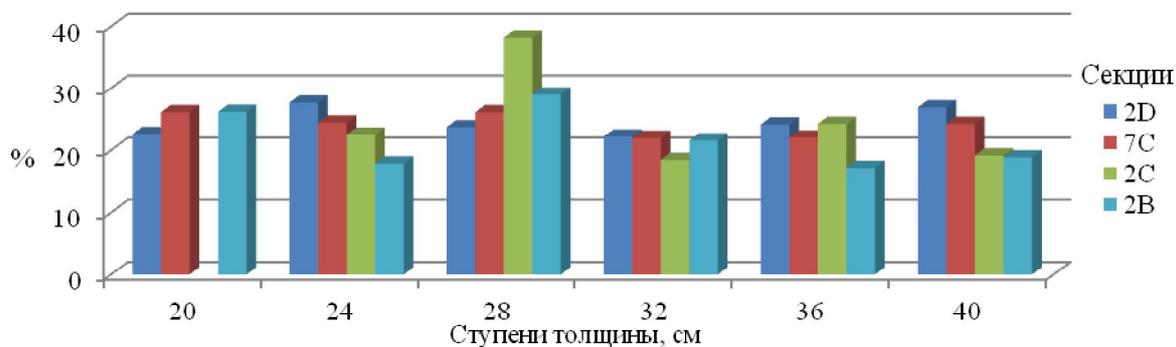


Рис. 3. Доля поздней ксилемы в ширине годичного прироста ели за период после рубок на секциях ППП 2; ППП 7 с разным режимом разреживания

Таблица 3

Однофакторный дисперсионный анализ влияния рубок ухода на базисную плотность древесины ели

Дисперсия	Сумма квадратов	Степени свободы	Средний квадрат	Фактический критерий Фишера F_{ϕ}	Теоретический критерий Фишера F_{τ} , при $p=1\%$
Общая	384040,4	88			
Вариантов	264562	13	20350,92	12,77485	2,376837
Остаточная	119478,4	75	1593,046		

Ширина годичного прироста в древостоях, пройденных уходами, с момента разреживаний не превышает в среднем 1 см, что в целом характерно для региона исследования [8]. Однако у самых крайних ступеней толщины в ряду распределения стволов данное значение повышено, что объясняется их возрастными отличиями от основных представленных ступеней. В связи с этим плотность древесины у наиболее крупных и наиболее мелких ступеней толщины в большинстве случаев отличается меньшими показателями от основной части ряда распределения по ступеням толщины стволов насаждения.

Дисперсионный анализ взаимосвязи показателей базисной плотности древесины по двум факторам – ширине годичного прироста и доли поздней древесины показал наличие статистически достоверных зависимостей. Попытка выявить значимое влияние показателя ширины зоны ранней ксилемы на плотность древесины ели в целом не дало статистически значимых результатов.

Проведенная оценка силы влияния показателей макроструктуры ксилемы на показатели базис-

ной плотности древесины в исследуемых древостоях с применением методов Плохинского и Снедекора выявила, что сила влияния фактора доли зоны поздней ксилемы на плотность древесины составляет от 40-70 % (по Плохинскому) до 50-80 % (по Снедекору) от общего варьирования признака. Показатели в секциях, затронутых разреживанием, были ниже, чем в незатронутых уходами, однако также статистически достоверны (см. табл. 4). Фактор ширины годичного прироста оказывает статистически значимое слабое влияние на показатели плотности древесины в секции с рубками ухода.

После проведенных разреживаний в смешанных хвойных древостоях повышается вариабельность базисной плотности древесины ели, для сосны можно наблюдать противоположный эффект (табл. 5). То есть рубки ухода способствовали формированию более однородной по показателям плотности древесины сосны.

Проведенный двухфакторный дисперсионный анализ показал, что состав смешанного насаждения оказывает достоверное влияние на плотность древесины обеих пород. Фактор состава объясняет 10-30 %

Таблица 4

Анализ влияния ширины годичного прироста (фактор А) и доли поздней ксилемы (фактор В) на базисную плотность древесины ели на разреженных и контрольных ППП

Дисперсия	Сумма квадратов	Сила влияния факторов (по Плохинского)	Вероятность принятия нулевой гипотезы	Степени свободы	Средний квадрат	Сила влияния факторов (по методу Снедекора)	Вероятность принятия нулевой гипотезы	Фактический критерий Фишера F_{ϕ}	Теоретический критерий Фишера F_{α} , при $\alpha=1\%$	Теоретический критерий Фишера F_{α} , при $\alpha=5\%$
Секции, пройденные рубками ухода различной интенсивности										
По фактору А	28527,9	0,1	0,0	7,0	4075,4	0,0	0,0	4,9	2,8	2,1
По фактору В	87560,4	0,4	0,0	1,0	87560,4	0,5	0,0	106,2	6,9	3,9
Совместно АВ	9649,2	0,0	0,6	7,0	1378,5	0,0	0,1	1,7	2,8	2,1
Остаточная	90724,8			110	824,8					
Секции без рубок (контроль)										
По фактору А	3150,1	0,1	0,9	5,0	630,0	0,1	0,1	2,1	4,2	2,8
По фактору В	25920,8	0,7	0,0	1,0	25920,8	0,8	0,0	86,8	8,3	4,4
Совместно АВ	1232,8	0,0	1,0	5,0	246,6	0,0	0,5	0,8	4,2	2,8
Остаточная	5373,3			18,0	298,5					
Общая	35677,0			29,0						

Базисная плотность древесины ели и сосны (кг/м³) на опытных объектах по ступеням толщины насаждения (см) в смешанных насаждениях с преобладанием сосны и ели

Порода	ППП	16	20	24	28	32	36	40	44	48	52	М ср
Е	15А	464,5	389,2	398,3	391,1	416,0	456,4	422,3	-	-	-	419,6
С	15А	-	-	-	-	513,8	386,1	436,8	-	441,0	458,1	447,1
Е	15В	444,9	420,0	387,4	347,7	470,1	438,0	415,9	-	-	-	416,9
С	15В	-	-	406,9	-	389,4	467,5	404,5	439,5	425,5	-	422,2
Е	1С	415,5	393,5	413,9	437,0	409,8	424,1	432,1				418,0
С	1С	-	-	-	-	477,0	460,4	452,9	419,4	406,9	-	443,3
Е	28	-	486,3	469,0	440,6	484,5	469,7	446,9	473,6	413,2	-	464,3
С	28	-	-	-	404,9	399,3	391,9	401,4	412,5	402,7	401,3	400,8

(по Снедекору и Плохинскому) от общей совокупности влияющих на признак параметров (табл. 6). Таким образом, в смешанных насаждениях сосны и ели, также как и на пробных площадях с условно-чистыми ельниками, регулируя состав, можно прогнозировать снижение или повышение плотности древесины. С увеличением в составе ели можно наблюдать тенденцию к уменьшению плотности её древесины, для сосны, уменьшение её доли в составе насаждения, приводит к увеличению плотности ее древесины.

В смешанных хвойных древостоях сосны и ели пройденных рубками ухода доля поздней ксилемы в годичном приросте ели значимо уменьшилась только в наиболее крупных ступенях толщины древостоя (рис. 4, 5). В чистых еловых насаждениях, пройденных разреживаниями аналогичные явление наблюдалось и ранее в черничном типе леса [3, 12].

В смешанных хвойных насаждениях показа-

тель средней ширины годичного прироста для ели составляет 0,8 см на секциях с разреживанием и 0,7 см на контрольных, для сосновой части – 0,9-1,2 см и 1,1 см соответственно. Снижение качественных показателей древесины (базисной плотности) в связи с ростом ширины годичного прироста в насаждениях затронутых уходами не наблюдается (табл. 5).

Двухфакторный анализ для смешанных хвойных насаждений, также как в случае с условно-чистыми еловыми насаждениями, выявил большую зависимость базисной плотности древесины от доли поздней ксилемы (фактор В), чем от показателя ширины годичного прироста (фактор А) для обеих пород (табл. 7). Взаимосвязи базисной плотности древесины с фактором доли поздней ксилемы являются достоверными по всем вариантам опыта. Для еловой части насаждений, пройденных рубками ухода, сила влияния данного фактора составляет от 60 до 90 % (по

Таблица 6

Анализ влияния состава насаждения на показатели плотности древесины хвойных пород

Дисперсия	Сумма квадратов	Сила влияния факторов (по Плохинскому)	Вероятность принятия нулевой гипотезы	Степени свободы	Средний квадрат	Сила влияния факторов (по методу Снедекора)	Вероятность принятия нулевой гипотезы	Фактический критерий Фишера $F_{ф}$	Теоретический критерий Фишера $F_{т}$, $p=1\%$
По фактору А	1851,44	0,03	0,75	3,00	617,15	0,00	0,63	0,58	4,23
По фактору В	52,01	0,00	0,86	1,00	52,01	0,00	0,83	0,05	7,21
Совместно АВ	21044,00	0,29	0,00	3,00	7014,67	0,11	0,00	6,62	4,23
Остаточная	49816,34			47,00	1059,92				
Общая	72763,79			54,00					

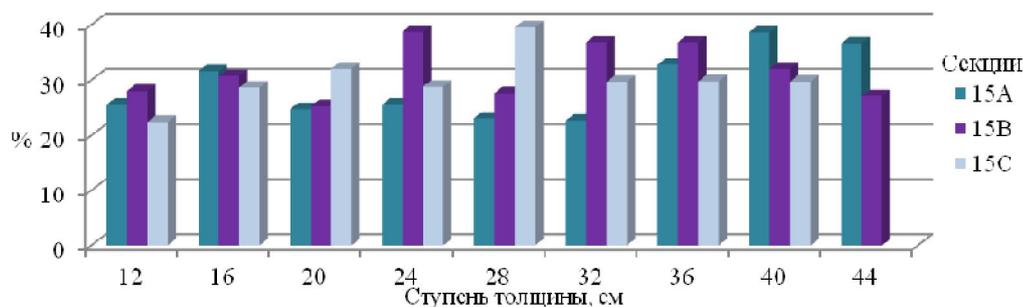


Рис. 4. Доля поздней ксилемы в ширине годичного прироста ели за период после рубок по ступеням толщины древостоя на серии ППП 15

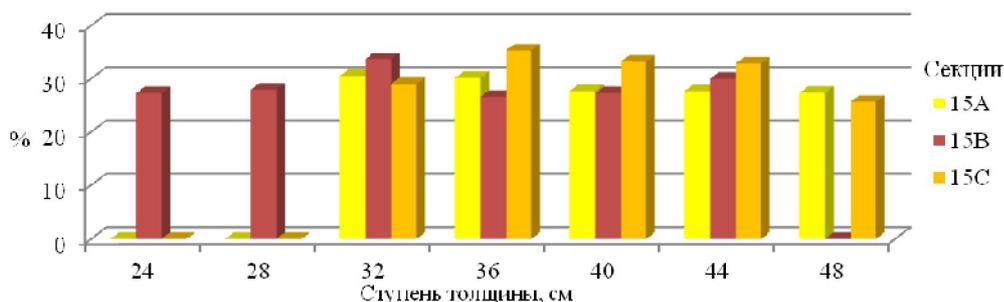


Рис. 5. Доля поздней ксилемы в ширине годичного прироста сосны за период после рубок по ступеням толщины древостоя на серии ППП 15

Плохинскому-Снедекору), а в насаждении без рубок от 70 до 90 %. Наблюдается обратная ситуация в сосновой части смешанных насаждений: в древостоях, затронутых уходами, сила связи выше (70-90 % по обоим методам), чем в естественных (60-70 %). Можно утверждать, что сосновая часть древостоя оказалась более отзывчива на рубки ухода, чем еловая, так как для проведенные разреживания повысили влияние показателей анатомической структуры на плотность древесины сосны.

Выводы. Проведенное исследование влияния показателей макроструктуры ксилемы на плотность древесины сосны и ели, в древостоях с их преобладанием, пройденных уходами с различной интенсивностью разреживания, выявило некоторые закономерности, оказывающие воздействие на этот показатель.

Дисперсионный анализ полученных в ходе исследования данных, по содержанию поздней и ранней ксилемы в годичном приросте, выявил на данном возрастном этапе роста хвойных насаждений статистически значимую зависимость плотности древесины ели и сосны от содержания поздней ксилемы в годичном приросте за период опыта. Доля поздней ксилемы в среднем по ступеням толщины древостоя на объектах с рубками ухода в чистых насаждениях у

ели варьирует в пределах 25-35%, а в смешанных хвойных древостоях 20-30%. Для сосны доля поздней ксилемы от общей составляет от 25 до 30%.

Ширина годичного прироста, на данном возрастном этапе насаждения, оказывает меньшее влияние на формирование плотности древесины. Необходимо отметить, что эта закономерность прослеживается, как в чистых, так и в смешанных хвойных древостоях независимо от интенсивности рубок ухода. На настоящий момент еловые насаждения, сформировавшиеся после рубок ухода, имеют на опытных объектах в большинстве случаев более высокую плотность древесины, чем древостои, не пройденные рубками. Однако в смешанном хвойном древостое увеличение доли ели в составе привело к снижению плотности её древесины. На основании проведенного статистического анализа можно сделать вывод, что формируя рубками тот или иной состав фитоценоза, допустимо прогнозировать увеличение или снижение плотности древесины в зависимости от доли ее участия в насаждении.

В целом можно отметить, что рубки ухода даже при их высокой интенсивности не приводят к значимому снижению плотности древесины ели и сосны к возрасту спелого насаждения в кислотно-черничных типах леса.

Анализ влияния ширины годичного прироста и доли поздней ксилемы на базисную плотность древесины в смешанных хвойных насаждениях сосны и ели

Дисперсия	Сумма квадратов	Сила влияния факторов (по Плохинскому)	Вероятность принятия нулевой гипотезы	Степени свободы	Средний квадрат	Сила влияния факторов (по методу Снедекора)	Вероятность принятия нулевой гипотезы	Фактический критерий Фишера F_{ϕ}	Теоретический критерий Фишера $F_{\tau, p=1\%}$	Теоретический критерий Фишера $F_{\tau, p=5\%}$
Для еловой части смешанного хвойного насаждения, пройденного рубками ухода										
По фактору А	10900,92	0,24	0,64	7	1557,27	0,24	0,00	6,17	4,03	2,66
По фактору В	25822,70	0,58	0,00	1	25822,7	0,86	0,00	102,36	8,53	4,49
Совместно АВ	3873,26	0,09	0,98	7	553,32	0,07	0,09	2,19	4,03	2,66
Остаточная	4036,55			16	252,28					
Общая	44633,43			31						
Для еловой части смешанного хвойного насаждения без рубок										
По фактору А	7299,2	0,2	1,0	10	729,9	0,2	0,0	4,1	4,3	2,8
По фактору В	27722,9	0,7	0,0	1	27722,9	0,9	0,0	154,9	9,3	4,7
Совместно АВ	2287,9	0,1	1,0	10	228,8	0,0	0,3	1,3	4,3	2,8
Остаточная	2147,1			12	178,9					
Общая	39457,1			33						
Для сосновой части смешанного хвойного насаждения, пройденного рубками ухода										
По фактору А	7181,9	0,3	0,9	6	1197,0	0,6	0,0	12,3	7,2	3,9
По фактору В	18956,5	0,7	0,0	1	18956,5	0,9	0,0	195,0	12,2	5,6
Совместно АВ	1824,8	0,1	1,0	6	304,1	0,2	0,1	3,1	7,2	3,9
Остаточная	680,6			7	97,2					
Общая	28643,8			20						
Для сосновой части смешанного хвойного насаждения без рубок										
По фактору А	2681,4	0,1	1,0	9	297,9	0,0	0,9	0,3	4,9	3,0
По фактору В	19828,9	0,6	0,0	1	19828,9	0,7	0,0	23,2	10,0	5,0
Совместно АВ	879,9	0,0	1,0	9	97,8	0,0	1,0	0,1	4,9	3,0
Остаточная	8552,1			10	855,2					
Общая	31942,4			29						

Библиографический список

1. Бюсен, М. Строение и жизнь наших лесных деревьев [Текст] / М. Бюсен. – М.-Л.: Гослесбумиздат, 1961. – 424 с.
2. Вихров, В. Е. Технические свойства древесины в связи с типами леса [Текст] / В. Е. Вихров, А. К. Лобасенок. – Минск, 1963. – 72 с.
3. Данилов, Д. А. Влияние структуры древостоя на плотность древесины сосны и ели в черничном типе леса [Текст] / Д. А. Данилов, А. П. Смирнов // Лесотехнический журнал. – 2014. – № 4 (16). – С. 13-21.
4. Данилов, Д. А. Влияние интенсивности разреживания на плотность древесины спелых ельников кисличного типа леса [Текст] / Д. А. Данилов, А. П. Смирнов, А. А. Смирнов // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. – 2015. – Вып. 212. – С. 18-28.
5. Кистерная, М. В. Изменение анатомического строения древесины сосны под влиянием лесохозяйственных мероприятий [Текст] / М. В. Кистерная, Я. А. Аксененкова // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. – 2007. – № 4. – С. 20-26.

6. Корчагов, С. А. Сравнительная характеристика физико-механических свойств древесины сосны в посадках по типам леса [Текст] / С. А. Корчагов, С. Е. Грибов, Н. А. Клюквина // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. – 2007. – № 5. – С. 54-57.
7. Мелехов, И. С. Значение типов лесов и лесорастительных условий в изучении строения древесины и ее физико-механических свойств [Текст] / И. С. Мелехов // Тр. ин-та леса АН СССР, 1949. – Т. IV. – С. 11-20.
8. Полуобояринов, О. И. Плотность древесины [Текст] / О. И. Полуобояринов. – М., 1976. – 160 с.
9. Сеннов, С. Н. Уход за лесом (экологические основы) [Текст] / С. Н. Сеннов – М. : Лесн. пром-сть, 1984. – 128 с.
10. Чибисов, Г. А. Смена сосны елью [Текст] / Г. А. Чибисов. – Архангельск : СевНИИЛХ, 2010. – 150 с.
11. Herman, M. Intra-ring and inter-ring variations of tracheid length in fastgrown versus slowgrown Norway spruces (*Picea abies*) [Text] / M. Herman, P. Dutilleul, T. Avella-Shaw // IAWA Journal 19 (1). – 1998. – P. 3-23.
12. Jyske, T. The effects of thinning and fertilisation on wood and tracheid properties of Norway spruce (*Picea abies*) – the results of long-term experiments [Text] / T. Jyske // Academic dissertation. Department of Forest Resource Management, Faculty of Agriculture and Forestry, University of Helsinki. – 2008. – 55 p.
13. Lindstrom, H. Basic density in Norway spruce. Part II. Predicted by stem taper, mean growth ring width, and factors related to crown development [Text] / H. Lindstrom // Wood and Fiber Science 28 (2). – 1996. – P. 240-251.
14. Lundgren, C. Wood and fibre properties of fertilized Norway spruce [Text] : Doctoral thesis / C. Lundgren // Swedish university of agricultural sciences, Department of forest products and markets, Uppsala, Sweden. – 2003. – 33 p.
15. Makinen, H. Wood-density variation of Norway spruce in relation to nutrient optimization and fibre dimensions [Text] / H. Makinen, P. Saranpaa, S. Linder // Canadian Journal of Forest Research 32 (2). – 2002. – P. 185-194.
16. Morling, T. Effects of fertilization and thinning on heartwood area, sapwood area, and growth in Scots pine [Text] / T. Morling, E. Valinger // Scand. J. For. Res. 1999. – Vol. 14. – Iss. 5. – P. 462-469.
17. Pretzsch, H. Effect of tree species mixing on the size structure, density, and yield of forest stands [Text] / H. Pretzsch, G. Schutze // European Journal of Forest Research. – 2016. – Vol. 135. – Iss. 1. – P. 1-22.
18. Zobel, B. J. Wood variation. Its causes and control [Text] / B. J. Zobel, J. P. van Buijtenen // Springer-Verlag, Berlin. – 1989. – 363 p.

References

1. Bjusgen M. *Stroenie i zhizn' nashih lesnyh derev'ev* [The structure and life of our forest trees]. Moscow-Leningrad, 1961, 424 p. (In Russian).
2. Vihrov V. E., Lobasenok A. K. *Tekhnicheskie svoystva drevesiny v svyazi s tipami lesa* [Technical properties of wood in connection with types of forest]. Minsk, 1963, 72 p. (In Russian).
3. Danilov D. A., Smirnov A. P. *Vliyanie struktury drevostoya na plotnost' drevesiny sosny i eli v chernichnom tipe lesa* [Effect of stand structure on density of pine and spruce wood in the myrtillus forest type] *Lesotekhnicheskij zhurnal*, Voronezh, 2014, no. 4 (16), pp. 13-21. (In Russian).
4. Danilov D. A., Smirnov A. P., Smirnov A. A. *Vliyanie intensivnosti razrezhivaniya na plotnost' drevesiny spelyh el'nikov kislichnogo tipa lesa* [Effect of cutting intensity on wood density in mature spruce oxalis type forest stands] *Izvestiya Sankt-Peterburgskoj lesotekhnicheskoy akademii* [News of the Saint Petersburg State Forest Technical Academy]. Saint Petersburg, 2015, Vol. 212, pp. 18-28. (In Russian).
5. Kisternaja M. V., Aksenenkova Ja. A. *Izmenenie anatomicheskogo stroenija drevesiny sosny pod vlijaniem lesohozjajstvennyh meroprijatij* [Change of anatomical structure of pine timber under influence of forest management measures] *Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Lesnoj zhurnal* [Bulletin of higher educational institutions. Forestry journal]. Arkhangelsk, 2007, no. 4, pp. 19-24. (In Russian).
6. Korchagov S. A., Gribov S. E., Kljukvina N. A. *Sravnitel'naja harakteristika fiziko-mehaničeskikh svoystv drevesiny sosny v posadkah po tipam lesa* [Comparative characteristics of physical and mechanical properties of pine wood in plantations by forest type] *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa – Lesnoj vestnik* [Bulletin of Moscow State Forest University – Forestry Bulletin]. Moscow, 2007, no. 5, pp. 54-57. (In Russian).
7. Melehov I. S. *Znachenie tipov lesov i lesorastitel'nyh uslovij v izuchenii stroenija drevesiny i ee fiziko-mehaničeskikh svoystv* [The importance of forest types and forest conditions in study of wood structure and its physical

and mechanical properties] *Trudy instituta lesa AN SSSR* [Proc. of the Forest Institute Academia of Science USSR], 1949, Vol. 4, pp. 11-20. (In Russian).

8. Polubojarinov O. I. *Plotnost' drevesiny* [Wood density]. Moscow, 1976, 160 p. (In Russian).

9. Sennov S. N. *Uhod za lesom (jekologicheskie osnovy)* [Forest care (environmental basics)]. Moscow, 1984, 128 p. (In Russian).

10. Chibisov G. A. *Smena sosny el'ju* [Change of pine by spruce]. Arkhangelsk, 2010, 150 p. (In Russian).

11. Herman M., Dutilleul P., Avella-Shaw T. Intra-ring and inter-ring variations of tracheid length in fastgrown versus slowgrown Norway spruces (*Picea abies*). *IAWA Journal* 19 (1), 1998, pp. 3-23.

12. Jyske T. The effects of thinning and fertilisation on wood and tracheid properties of Norway spruce (*Picea abies*) – the results of long-term experiments. Academic dissertation. Department of Forest Resource Management, Faculty of Agriculture and Forestry, University of Helsinki, 2008, 55 p.

13. Lindstrom H. Basic density in Norway spruce. Part II. Predicted by stem taper, mean growth ring width, and factors related to crown development. *Wood and Fiber Science* 28 (2), 1996, pp. 240-251.

14. Lundgren C. Wood and fibre properties of fertilized Norway spruce. Doctoral thesis. Swedish university of agricultural sciences, Department of forest products and markets, Uppsala, Sweden, 2003, 33 p.

15. Makinen H., Saranpaa P., Linder S. Wood-density variation of Norway spruce in relation to nutrient optimization and fibre dimensions. *Canadian Journal of Forest Research* 32 (2), 2002, pp. 185-194.

16. Morling T., Valinger E. Effects of fertilization and thinning on heartwood area, sapwood area, and growth in Scots pine. *Scand. J. For. Res.*, 1999, Vol. 14, Issue 5, pp. 462-469.

17. Pretzsch H., Schutze G. Effect of tree species mixing on the size structure, density, and yield of forest stands. *European Journal of Forest Research*, 2016, Vol. 135, Issue 1, pp. 1-22.

18. Zobel B. J., van Buijtenen J. P. *Wood variation. Its causes and control.* Springer-Verlag, Berlin, 1989, 363 p.

Сведения об авторах

Зайцев Дмитрий Андреевич – аспирант кафедры лесоводства ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова», г. Санкт-Петербург, Российская Федерация; e-mail: disoks@gmail.com.

Данилов Дмитрий Александрович – заместитель директора по научной работе ФГБНУ «Ленинградский научно-исследовательский институт сельского хозяйства «Белогорка», доктор сельскохозяйственных наук, Ленинградская область, Российская Федерация; e-mail: stown200@mail.ru.

Беляева Наталия Валерьевна – профессор кафедры лесоводства ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова», доктор сельскохозяйственных наук, профессор, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация; e-mail: galbel06@mail.ru.

Information about authors

Zaytsev Dmitriy Andreevich – post-graduate student of Forestry Department, Federal State Educational Institution of Higher Education «Saint-Petersburg State Forest Technical University named after S.M. Kirov», Saint-Petersburg, Russian Federation; e-mail: disoks@gmail.com.

Danilov Dmitry Aleksandrovich – deputy director on scientific work of Federal State Educational Scientific Institution «Leningrad Scientific Research Institute of Agriculture «Belogorka», DSc in Agriculture, Leningrad region, Russian Federation; e-mail: stown200@mail.ru.

Beliaeva Nataliia Valerievna – professor of Forestry Department of Federal State Educational Institution of Higher Education «Saint-Petersburg State Forest Technical University named after S.M. Kirov», DSc in Agriculture, Professor, Saint-Petersburg, Russian Federation; e-mail: galbel06@mail.ru.