

УДК 630*232.43:630*24

DOI: 10.25686/2306-2827.2019.2.26

ВЛИЯНИЕ НАЧАЛЬНОЙ ГУСТОТЫ И ИНТЕНСИВНОСТИ ИЗРЕЖИВАНИЯ ДРЕВОСТОЯ В КУЛЬТУРАХ СОСНЫ НА ПРИРОСТ И ПЛОТНОСТЬ ДРЕВЕСИНЫ

Ю. П. Демаков, И. П. Демитрова, Т. В. Нуреева, Т. Ю. Симатова

Поволжский государственный технологический университет,

Российская Федерация, 424000, Йошкар-Ола, пл. Ленина, 3

E-mail: DemakovYP@volgatech.net

Приведены результаты многолетнего опыта, проведённого в сухом и свежем борах Республики Марий Эл, по оценке влияния начальной густоты культур сосны и интенсивности изреживания 14-летних насаждений на динамику радиального годичного прироста наиболее развитых деревьев, долю позднего слоя флоэмы и плотность древесины, которые во многом определяют её технические качества. Показано, что средняя ширина годичного слоя древесины изменяется обратно пропорционально начальной густоте культур, изменение же величины этого показателя при разной интенсивности изреживания древостоя проявляется уже не столь чётко и трудно прогнозируемо. Влияние начальной густоты культур сосны и интенсивности их изреживания на долю позднего слоя флоэмы и величину плотности древесины, изменяющихся в каждом варианте опыта в очень больших пределах, также неоднозначно. Сделан вывод о том, что плотность древесины и доля позднего слоя ксилемы в годичном кольце являются самостоятельными фенотипическими признаками. Селекция по этим признакам не приведёт в дальнейшем к изменению скорости роста деревьев, а также устойчивости их к засухам и другим факторам среды.

Ключевые слова: сосна обыкновенная; исходная густота; интенсивность изреживания; радиальный прирост; доля поздней флоэмы; фенотипический признак.

Введение. Актуальность темы исследования обусловлена необходимостью совершенствования технологий искусственного лесовосстановления и выращивания насаждений, обеспечивающих повышение их производительности и экономической эффективности, которые, как показывает анализ многочисленных источников [1–15], во многом зависят от начальной густоты лесных культур и режимов изреживания древостоев. Данные факторы могут также оказывать влияние на качество древесины, однако мнения исследователей по этому вопросу, изученному весьма всесторонне [16–37], довольно противоречивы, что объясняется отчасти различием

подходов к решению поставленной задачи. Так, в частности, О.И. Полубояринов [16, 17] показал, что в основе вариабельности плотности древесины лежат особенности её анатомического строения, которое у древесных растений определяют как факторы среды, так и генетические особенности особей.

Цель работы заключалась в оценке влияния начальной густоты и интенсивности изреживания древостоя в культурах сосны на характер радиального прироста деревьев, долю позднего слоя флоэмы в их годичных кольцах и плотность древесины, которые во многом определяют её технические качества.

© Демаков Ю. П., Демитрова И. П., Нуреева Т. В., Симатова Т. Ю., 2019.

Для цитирования: Демаков Ю. П., Демитрова И. П., Нуреева Т. В., Симатова Т. Ю. Влияние начальной густоты и интенсивности изреживания древостоя в культурах сосны на прирост и плотность древесины // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2019. № 2 (42). С. 26–40. DOI: 10.25686/2306-2827.2019.2.26

Объекты и методика. Исследования проведены на двух опытных объектах, созданных в Силикатном и Старожильском участковых лесничествах на гарях 1972 года. Рельеф на обоих участках ровный, почва дерново-слабоподзолистая песчаная, тип условий произрастания в Силикатном лесничестве – сухой бор, а в Старожильском – свежий бор.

Опытный объект в Силикатном лесничестве состоит из 15 секций и представляет собой чистые культуры сосны обыкновенной разной исходной густоты (от 0,5 до 11 тыс. экз./га), созданные в 1977 году. На объекте в 1988, 1991, 1996, 1999, 2003, 2008, 2011 и 2018 годах проведена оценка состояния древостоев с полным перечётом деревьев и обмером таксационных параметров у 15...20 деревьев центральных ступеней толщины. Результаты этих исследований опубликованы нами в ряде работ [10, 15].

Объект в Старожильском лесничестве состоит из 22 секций, включая три контрольные. Изреживание культур было проведено в августе 1987 года путём повала катком КОК-2, установленным на тракторе ЛХТ-55, двух рядов деревьев и оставления в различных вариантах опыта

2, 3, 4 и 6-тирядных кулис. На половине секций объекта осенью 1989 года проведена дополнительная селективная вырубка деревьев. Интенсивность изреживания древостоя изменялась по вариантам опыта от 25 до 82 % по числу стволов, а размах густоты на секциях, включая и контрольные, составил от 2,0 до 11,7 тыс. экз./га.

В сентябре 2017 года на обоих объектах у 12 наиболее развитых деревьев в каждом варианте опыта (табл. 1 и 2) возрастным буравом Пресслера на высоте 1,3 м от поверхности почвы были взяты керны, послужившие материалом для изучения динамики радиального прироста и плотности древесины.

Измерение ширины годичных слоёв древесины с разделением их на раннюю и позднюю зоны проведено под микроскопом МБС-10 с погрешностью $\pm 0,1$ мм. Плотность древесины оценивали весовым методом, измеряя объём свежесобранных кернов, которые затем высушивали до абсолютно сухого состояния при температуре 105 °С. Цифровой эмпирический материал обработан общепринятыми методами математической статистики на ПК с использованием пакетов стандартных прикладных программ Excel и Statistica.

Таблица 1

Диаметр учётных деревьев в культурах сосны при разной начальной густоте (Силикатное лесничество)

Исходная густота, тыс. экз./га	Значения статистических показателей диаметра деревьев, см						
	M_x	min	max	S_x	m_x	V, %	p, %
0,5	21,4	15,7	27,6	3,2	1,0	14,8	4,5
1,0	19,3	16,0	25,9	2,7	0,8	13,8	4,2
3,0	16,2	11,9	20,2	2,4	0,7	14,7	4,4
5,0	15,9	13,2	20,7	2,0	0,6	12,3	3,7
11,0	11,0	9,4	13,2	1,0	0,3	9,2	2,8

Таблица 2

Диаметр учётных деревьев в культурах сосны при разной интенсивности изреживания (Старожильское лесничество)

Интенсивность изреживания, %	Значения статистических показателей диаметра деревьев, см						
	M_x	min	max	S_x	m_x	V, %	p, %
Контроль	14,8	10,9	19,9	3,1	0,9	20,9	6,0
25	17,7	11,4	23,8	3,5	1,0	19,5	5,6
50	19,6	14,6	28,1	3,6	1,0	18,2	5,3
70	14,9	11,6	17,9	1,9	0,5	12,5	3,6
80	17,6	14,0	20,1	2,2	0,6	12,5	3,6

Результаты и обсуждение. Исследования показали, что влияние начальной густоты культур сосны на величину радиального годичного прироста деревьев, т. е. ширину годичного слоя их древесины, отчётливо проявляется уже в раннем возрасте и по мере его увеличения различия становятся всё более выраженными (табл. 3). Так, в течение первых пяти лет роста культур наиболее высокий годичный прирост имели деревья в варианте с

густотой посадки 3–5 тыс. экз./га (рис. 1), что связано с так называемым эффектом группы или принципом Олли [38, 39]. По мере смыкания древесного полога влияние этого эффекта на величину годичного прироста деревьев постепенно перекрывают конкурентные отношения между ними в ценозах и уже с возраста 10 лет наиболее высокий годичный прирост имеют особи в варианте самой низкой начальной густоты.

Таблица 3

Влияние начальной густоты культур сосны на динамику средней ширины годичного кольца учётных деревьев на опытном объекте в Силикатном лесничестве

Годы	Средняя ширина годичного слоя древесины (мм/%) при разной густоте культур (тыс.экз./га)				
	0,5	1,0	3,0	5,0	11,0
1983–1987	$\frac{3,62 \pm 0,17}{100}$	$\frac{3,43 \pm 0,25}{100}$	$\frac{3,85 \pm 0,19}{100}$	$\frac{3,87 \pm 0,21}{100}$	$\frac{2,37 \pm 0,11}{100}$
1988–1992	$\frac{4,28 \pm 0,21}{118,2}$	$\frac{3,72 \pm 0,21}{108,5}$	$\frac{3,30 \pm 0,16}{85,7}$	$\frac{3,38 \pm 0,13}{87,3}$	$\frac{1,80 \pm 0,08}{75,9}$
1993–1997	$\frac{3,19 \pm 0,18}{88,1}$	$\frac{3,15 \pm 0,17}{91,8}$	$\frac{2,29 \pm 0,11}{59,5}$	$\frac{2,20 \pm 0,09}{56,8}$	$\frac{1,23 \pm 0,06}{51,9}$
1998–2002	$\frac{2,65 \pm 0,12}{73,2}$	$\frac{2,35 \pm 0,12}{68,5}$	$\frac{1,65 \pm 0,11}{42,9}$	$\frac{1,42 \pm 0,06}{36,7}$	$\frac{1,02 \pm 0,04}{43,0}$
2003–2007	$\frac{2,22 \pm 0,09}{61,3}$	$\frac{1,76 \pm 0,07}{51,3}$	$\frac{1,12 \pm 0,06}{29,1}$	$\frac{1,07 \pm 0,04}{27,6}$	$\frac{0,85 \pm 0,03}{35,9}$
2008–2012	$\frac{2,08 \pm 0,09}{57,5}$	$\frac{1,78 \pm 0,09}{51,9}$	$\frac{1,14 \pm 0,06}{29,6}$	$\frac{1,22 \pm 0,06}{31,5}$	$\frac{1,00 \pm 0,05}{42,2}$
2013–2017	$\frac{1,36 \pm 0,07}{37,6}$	$\frac{1,24 \pm 0,07}{36,2}$	$\frac{0,81 \pm 0,04}{21,0}$	$\frac{0,92 \pm 0,05}{23,8}$	$\frac{0,70 \pm 0,04}{29,5}$

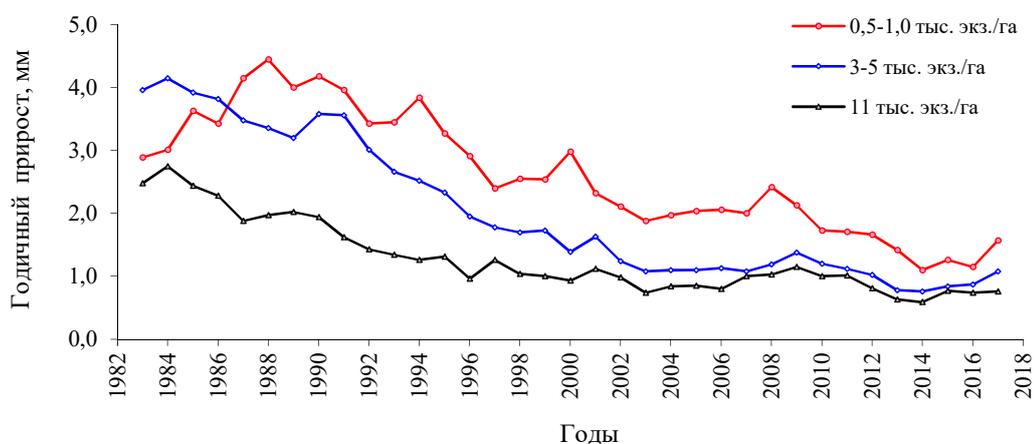


Рис. 1. Динамика ширины годичного слоя древесины в культурах сосны разной начальной густоты на опытном объекте в Силикатном лесничестве

На фоне общего снижения радиального годичного прироста, как следует из представленных данных, происходят волнообразные изменения его величины. Последняя волна снижения прироста началась у деревьев в 2009 году и продолжалась после сильнейшей засухи 2010 года ещё в течение четырёх последующих лет, достигнув минимума в 2014 году. Наибольшая разница между значениями прироста в 2008 году по сравнению с 2014 отмечалась в культурах самой низкой начальной густоты.

Влияние интенсивности изреживания 14-летних культур сосны на величину радиального годичного прироста деревьев проявляется не столь чётко, как их

начальной густоты. Так, в течение первых пяти лет после проведения этого мероприятия наиболее высокие относительные значения прироста имели деревья в варианте с изреживанием 50 % по числу стволов, во второе пятилетие – с изреживанием 80 %, а во все последующие – 25 % (табл. 4). Наиболее же высокие абсолютные значения прироста деревьев за весь исследуемый отрезок времени отмечались в варианте с изреживанием 50 % их числа (рис. 2). Реакция деревьев на засуху 2010 года была на этом участке своеобразной: минимальный прирост в контроле отмечался в 2011 году, при изреживании в 25 и 50 % – в 2013, а при 80 % – в 2014.

Таблица 4

Влияние интенсивности изреживания культур сосны на динамику средней ширины годичного кольца учётных деревьев на опытном объекте в Старожильском лесничестве

Годы	Средняя ширина годичного слоя древесины при разном изреживании культур, $\frac{мм}{\%}$				
	Контроль	25 %	50 %	70 %	80 %
1983–1987	$\frac{2,54 \pm 0,17}{100}$	$\frac{2,63 \pm 0,14}{100}$	$\frac{3,18 \pm 0,18}{100}$	$\frac{2,50 \pm 0,14}{100}$	$\frac{2,80 \pm 0,17}{100}$
1988–1992	$\frac{1,87 \pm 0,09}{73,6}$	$\frac{2,43 \pm 0,08}{92,4}$	$\frac{3,16 \pm 0,13}{99,4}$	$\frac{1,99 \pm 0,07}{79,6}$	$\frac{2,44 \pm 0,08}{87,1}$
1993–1997	$\frac{1,56 \pm 0,07}{61,4}$	$\frac{2,11 \pm 0,07}{80,2}$	$\frac{2,50 \pm 0,11}{78,6}$	$\frac{1,83 \pm 0,07}{73,2}$	$\frac{2,59 \pm 0,07}{92,5}$
1998–2007	$\frac{1,42 \pm 0,05}{55,9}$	$\frac{1,95 \pm 0,06}{74,1}$	$\frac{1,90 \pm 0,06}{59,8}$	$\frac{1,40 \pm 0,05}{56,0}$	$\frac{1,76 \pm 0,06}{62,9}$
2008–2012	$\frac{1,11 \pm 0,05}{43,7}$	$\frac{1,50 \pm 0,07}{57,0}$	$\frac{1,52 \pm 0,07}{47,8}$	$\frac{1,05 \pm 0,07}{42,0}$	$\frac{1,25 \pm 0,06}{44,6}$
2013–2017	$\frac{0,94 \pm 0,06}{37,0}$	$\frac{1,00 \pm 0,06}{38,0}$	$\frac{1,18 \pm 0,06}{37,1}$	$\frac{0,83 \pm 0,05}{33,2}$	$\frac{0,85 \pm 0,06}{30,4}$

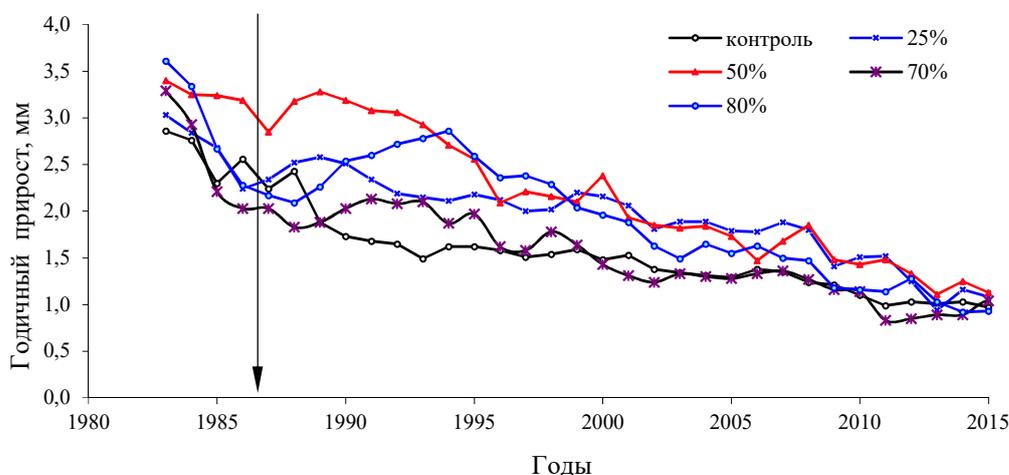


Рис. 2. Динамика годичного прироста деревьев при разной интенсивности изреживания культур сосны на опытном объекте в Старожильском лесничестве. Стрелкой отмечен год проведения изреживания

Исследования показали, что все деревья существенно различаются друг от друга по характеру радиального годичного прироста (табл. 5), что накладывает большой отпечаток на результаты опыта. Для оценки степени гетерогенности ценопопуляций деревьев по этому признаку мы использовали величину стандартного отклонения совокупность значений коэффициентов корреляции между рядами прироста деревьев, которые были сведены в соответствующие матрицы по каждому варианту опыта. Расчёты показали, что наиболее высокие различия между деревьями по характеру их роста отмечаются в вариантах с начальной густотой 1 тыс. экз./га и при интенсивности изреживания древостоя 70 %, в которых величина стандартного отклонения коэффициента корреляции от его среднего значения составляет $\pm 0,26$. Эти различия между деревьями, которые мы отмечали практически во всех биотопах [40, 41] и которые часто приводят к неоднозначным результатам,

вызывая так называемые «шумы», во многом обусловлены особенностями их генотипа, реализация всех свойств которого осуществляется в процессе онтогенеза в зависимости от складывающихся условий среды [42].

Начальная густота культур сосны и интенсивность их изреживания, как показали исследования, в определённой мере отражаются также на структуре годичного кольца деревьев, вызывая изменение доли в нём позднего слоя ксилемы (табл. 6 и 7). Влияние этих факторов на её величину, однако, не однозначно, что связано, на наш взгляд, с неоднородностью генотипической структуры ценопопуляций. Так, самая большая доля позднего слоя ксилемы, которая с возрастом деревьев в целом увеличивается, отмечается в варианте с начальной густотой 0,5 тыс. экз./га и в контрольной секции опытного объекта в Старожильском лесничестве, а самая низкая – при густоте 1 тыс. экз./га и при 25 %-ном изреживании древостоя.

Таблица 5

Оценка гетерогенности ценопопуляций деревьев по характеру динамики их радиального годичного прироста в различных вариантах опыта

Название опыта	Величина среднего значения и стандартного отклонения (в скобках) коэффициента корреляции в разных вариантах опыта*				
	I	II	III	IV	V
Густота	0,50 (0,19)	0,43 (0,26)	0,64 (0,15)	0,68 (0,16)	0,58 (0,17)
Изреживание	0,53 (0,22)	0,56 (0,16)	0,67 (0,13)	0,50 (0,26)	0,63 (0,17)

* варианты расположены в порядке увеличения начальной густоты и интенсивности изреживания.

Таблица 6

Влияние начальной густоты культур сосны на динамику доли поздней древесины в годичном кольце деревьев на опытном объекте в Силикатном лесничестве

Годы	Средняя доля поздней древесины при разной густоте культур, %				
	0,5 тыс. экз./га	1 тыс. экз./га	3 тыс. экз./га	5 тыс. экз./га	11 тыс. экз./га
1983–1987	29,7 \pm 1,8	20,5 \pm 1,8	22,4 \pm 1,8	20,2 \pm 1,9	24,5 \pm 1,8
1988–1992	27,5 \pm 1,7	22,1 \pm 1,5	26,7 \pm 1,6	24,4 \pm 2,0	29,1 \pm 1,9
1993–1997	31,6 \pm 1,8	22,8 \pm 1,8	30,5 \pm 1,6	22,6 \pm 1,7	26,3 \pm 1,4
1998–2002	32,8 \pm 1,3	23,4 \pm 1,1	30,9 \pm 1,4	28,6 \pm 1,3	29,6 \pm 1,8
2003–2007	36,0 \pm 1,4	26,5 \pm 1,2	31,7 \pm 1,3	26,8 \pm 1,0	28,2 \pm 1,3
2008–2012	36,3 \pm 1,7	31,8 \pm 2,1	34,2 \pm 1,3	28,7 \pm 1,2	30,7 \pm 1,7
2013–2017	31,9 \pm 1,7	27,7 \pm 1,2	31,3 \pm 1,4	30,4 \pm 1,4	30,1 \pm 1,7
В среднем	32,3 \pm 0,6	25,1 \pm 0,6	29,7 \pm 0,6	26,0 \pm 0,6	28,3 \pm 0,6

Таблица 7

Влияние интенсивности изреживания культур сосны на динамику доли поздней древесины в годичном кольце деревьев на опытном объекте в Старожильском лесничестве

Годы	Средняя доля поздней древесины при разном изреживании культур, %				
	Контроль	25 %	50 %	70 %	80 %
1983–1987	37,4 ± 2,0	24,5 ± 1,2	30,6 ± 1,9	32,1 ± 1,7	31,9 ± 1,6
1988–1992	41,9 ± 1,2	29,6 ± 1,4	34,5 ± 1,7	37,9 ± 1,5	34,8 ± 1,7
1993–1997	44,4 ± 1,2	27,4 ± 1,7	35,2 ± 1,5	34,9 ± 1,6	33,1 ± 1,8
1998–2002	41,4 ± 1,6	28,2 ± 1,4	34,4 ± 1,4	38,2 ± 1,5	37,3 ± 1,6
2003–2007	44,9 ± 1,7	33,6 ± 1,3	37,9 ± 1,9	42,9 ± 1,7	40,9 ± 1,7
2008–2012	39,7 ± 2,0	29,6 ± 1,2	36,8 ± 1,5	41,3 ± 1,9	41,6 ± 1,8
2013–2017	33,1 ± 2,0	22,4 ± 1,7	34,6 ± 2,0	35,9 ± 2,1	34,5 ± 2,2
В среднем	40,4 ± 0,7	27,9 ± 0,6	34,9 ± 0,7	37,6 ± 0,7	36,3 ± 0,7

Не однозначно влияние начальной густоты культур сосны и интенсивности их изреживания также на величину базисной плотности древесины, изменяющейся в каждом варианте опыта в очень больших пределах, но оценённой нами с очень высокой точностью (табл. 8 и 9). Так, наиболее высока плотность древесины у учётных деревьев в культурах с начальной густотой 11 тыс. экз./га и при интенсивности изреживания древостоя 80 %, а наиболее низка – при густоте 3 тыс. экз./га и в варианте опыта с 25 %-ной интенсивностью изреживания. Расчёты показали, что плотность древесины в определённой мере зависит от ширины годичного кольца

деревьев и доли в нём позднего слоя ксилемы, однако связь между этими параметрами очень слабая, но достоверная, описываемая множественным нелинейным уравнением регрессии:

$$Y = 13,3 \times X^{0,697} \times \exp(-10,17 \times 10^{-2} \times Z) + 380;$$

$$R^2 = 0,277; \quad N = 120; \quad p < 0,01;$$

в котором Y – базисная плотность древесины, кг/м³; X – доля позднего слоя ксилемы, %; Z – средняя ширина годичного кольца за первые 10 лет роста дерева, мм; R^2 – коэффициент детерминации уравнения; N – объём выборки; p – вероятность ошибочного утверждения.

Таблица 8

Влияние начальной густоты культур сосны на базисную плотность древесины учётных деревьев на опытном объекте в Силикатном лесничестве

Начальная густота, тыс. экз./га	Значения статистических показателей*						
	M_x	min	max	S	m_x	V	p
0,5	472	413	566	38,5	11,1	8,1	2,4
1,0	472	416	537	35,0	10,1	7,4	2,1
3,0	458	424	493	24,0	6,9	5,2	1,5
5,0	477	428	502	23,1	6,7	4,8	1,4
11,0	509	466	551	25,1	7,2	4,9	1,4

*Примечание: M_x – среднее арифметическое значение показателя, кг/м³; min, max – минимальное и максимальное значения, кг/м³; S – среднеквадратическое отклонение показателя, кг/м³; m_x – ошибка среднего арифметического значения, кг/м³; V – коэффициент вариации, %; p – точность опыта, %.

Таблица 9

Влияние интенсивности изреживания культур сосны на базисную плотность древесины учётных деревьев на опытном объекте в Старожильском лесничестве

Интенсивность изреживания, %	Значения статистических показателей*						
	M_x	min	max	S_x	m_x	V, %	p, %
Контроль	505	467	561	27,6	8,0	5,5	1,6
25	493	436	554	32,9	9,5	6,7	1,9
50	505	389	601	64,9	18,7	12,9	3,7
70	496	406	591	51,8	15,0	10,5	3,0
80	513	441	585	37,7	10,9	7,4	2,1

Примечание: обозначение показателей приведено в табл. 8.

Базисная плотность древесины и доля позднего слоя ксилемы в годичном кольце являются самостоятельными фенотипическими признаками, что подтверждают, в частности, исследования различных авторов, проведённые в географических культурах [43–50]. Эти признаки, как показали расчёты (табл. 10), не связаны как между

собой, так и с особенностями роста деревьев и отзывчивости их к изменениям условий среды. Селекция генотипов, проведённая по этим признакам, не приведёт в дальнейшем, как следует предполагать, к изменению скорости роста деревьев, а также устойчивости их к засухам и другим факторам среды (табл. 11).

Таблица 10

Матрица коэффициентов парной корреляции между различными признаками деревьев

Признак	Значения коэффициентов корреляции между признаками (N = 120)					
	П-1	П-2	П-3	П-4	П-5	П-6
П-1	1,00					
П-2	0,47	1,00				
П-3	0,17	0,57	1,00			
П-4	-0,24	-0,10	0,73	1,00		
П-5	-0,34	-0,20	0,48	0,81	1,00	
П-6	0,04	0,03	0,64	0,74	0,35	1,00

* N – объём исследуемой выборки; П-1 – плотность древесины; П-2 – доля позднего слоя ксилемы, П-3 – средняя ширина слоя поздней древесины за весь период роста дерева; П-4 – средняя ширина годичного слоя древесины за весь период роста дерева; П-5 – средняя ширина годичного слоя древесины за первые 10 лет роста дерева; П-6 – средняя ширина годичного слоя древесины за последние 10 лет.

Таблица 11

Квалиметрия деревьев разных групп, разделённых по плотности древесины

Технический параметр	Среднее значение параметра у деревьев разных групп		
	I	II	III
Плотность древесины, кг/м ³	437 ± 4,2	472 ± 2,2	493 ± 1,4
Доля позднего слоя ксилемы, %	27,3 ± 1,0	28,4 ± 1,2	27,8 ± 1,3
Ширина годичного слоя:			
за первые 10 лет, мм	3,83 ± 0,17	3,42 ± 0,23	3,55 ± 0,37
за последние 10 лет, мм	1,04 ± 0,08	0,94 ± 0,11	1,08 ± 0,11
в целом за 35 лет, мм	2,17 ± 0,10	1,93 ± 0,09	1,92 ± 0,12
в 2008 году, мм	1,29 ± 0,18	1,11 ± 0,18	1,16 ± 0,15
в 2014 году, мм	0,78 ± 0,11	0,63 ± 0,12	0,86 ± 0,15

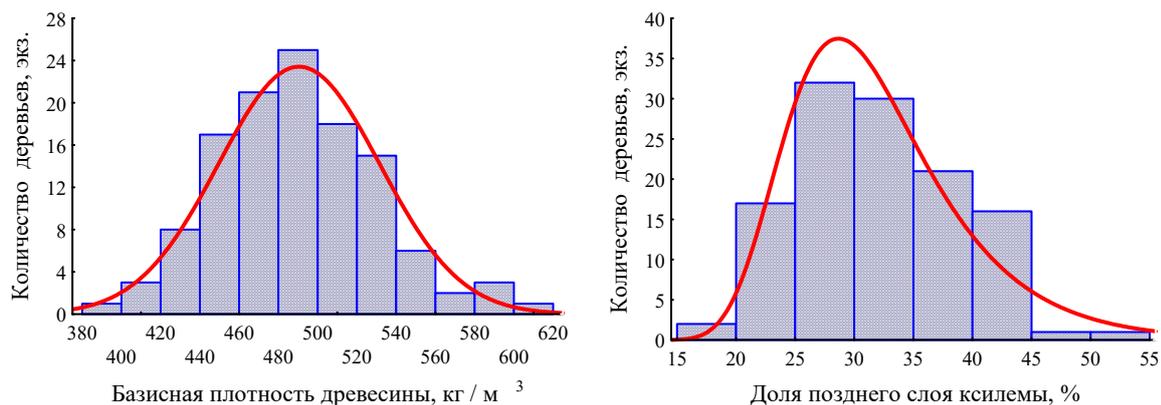


Рис. 3. Характер распределения значений базисной плотности древесины и доли позднего слоя ксилемы в объединённой выборке деревьев ($N = 120$)

Значения базисной плотности древесины и доли позднего слоя ксилемы варьируют в пределах всей совокупности деревьев от 389 до 601 кг/м³ и от 19 до 52 % соответственно (рис. 3). Их средняя величина в конкретном биотопе во многом зависит от репрезентативности выбора учётных деревьев, поскольку генотипическая структура всех природных ценопопуляций очень неоднородна [51, 52]. Подтвердить или опровергнуть это заключение позволят дальнейшие специальные исследования в древостоях естественного и искусственного происхождения, развивающихся в различных лесорастительных условиях.

Выводы

1. Влияние начальной густоты культур сосны на ширину годичного слоя древесины у господствующих и согосподствующих деревьев отчётливо проявляется уже в раннем их возрасте и по мере его увеличения различия становятся всё более значительными. Наибольшая величина этого показателя в течение первых пяти лет роста деревьев отмечается в варианте густотой 3–5 тыс. экз./га, а с возраста 10 лет – в самых редких культурах.

2. Величина радиального годичного прироста учётных деревьев после сильнейшей засухи 2010 года снижалась в течение четырёх последующих лет, а падение же её началось ещё в 2008–2009 годах. Наиболее высокая разница между

значениями прироста за 2008–2014 годы отмечалась в культурах с низкой начальной густотой, что свидетельствует о высокой отзывчивости их к колебаниям условий среды. С возрастанием начальной густоты культур реакция господствующих и согосподствующих деревьев на воздействие внешних факторов постепенно снижается, и ширина годичных колец у них изменяется с возрастом гораздо монотоннее, чем в редких насаждениях.

3. Влияние интенсивности изреживания 14-летних культур сосны на изменение ширины годичного кольца деревьев проявляется не столь чётко, как их начальной густоты, и трудно прогнозируемо. Так, в течение первых пяти лет после рубки древостоя наиболее высокий относительный годичный прирост имели деревья в варианте с изреживанием 50 % по числу стволов, во второе пятилетие – с изреживанием 80 %, а во все последующие – 25 %. Наиболее же высокие абсолютные значения прироста за весь отрезок времени имели деревья в варианте с изреживанием 50 % их числа. Реакция деревьев на засуху 2010 года была в этом опыте также иной, чем при разной начальной густоте культур: минимальная величина прироста в контроле и при изреживании 70 % отмечалась в 2011 году, при изреживании 25 и 50 % – в 2013, а при 80 % – в 2014.

4. Влияние начальной густоты культур сосны и интенсивности изреживания

насаждений на долю позднего слоя ксилемы в годичном кольце деревьев, которая с увеличением их возраста в целом увеличивается, далеко не однозначно: наиболее высока она в варианте с начальной плотностью 0,5 тыс. экз./га и в контрольной секции опытного объекта по изреживанию насаждений, а самые же низкие значения отмечаются при густоте 1 тыс экз./га и при 25 %-ном изреживании древостоя.

5. Влияние начальной густоты культур сосны и интенсивности их изреживания на величину базисной плотности древесины, изменяющейся в каждом варианте опыта в очень больших пределах, также неоднозначно: наиболее высока она в культурах с начальной густотой 11 тыс. экз./га и при интенсивности изреживания древостоя 80 %, а наиболее низка – при

густоте 3 тыс. экз./га и в варианте опыта с 25 %-ной интенсивностью изреживания.

6. Базисная плотность древесины и доля позднего слоя ксилемы в годичном кольце являются самостоятельными фенотипическими признаками деревьев. Селекция по этим признакам не приведёт в дальнейшем к изменению скорости роста деревьев, а также устойчивости их к засухам и другим факторам среды.

7. Средние значения базисной плотности древесины и доли позднего слоя ксилемы на конкретном объекте во многом зависят от репрезентативности выбора учётных деревьев, которые даже в искусственно созданных насаждениях имеют разную наследственность, поскольку генотипическая структура всех природных ценопопуляций очень неоднородна.

Список литературы

1. Мартынов А. Н. Густота культур хвойных пород и ее значение // Лесоведение и лесоводство: Обзорная информация ЦБНТИлесхоза. М.: ЦБНТИлесхоз, 1974. 59 с.
2. Редько Г.И. Густота лесных культур. Л.: ЛТА, 1978. 52 с.
3. Кузьмичев В. В., Савич Ю. Н. Влияние густоты посадки на рост сосновых культур // Лесоведение. 1979. № 6. С. 50–63.
4. Рябоконь А. П. Определение биологического оптимума густоты сосновых древостоев в условиях свежей субори // Лесоведение. 1979. № 3. С. 16–23.
5. Шинкаренко И. Б., Дзедзюля А. А. Оптимизация режимов густоты при целевом выращивании сосновых культур // Лесоведение и лесоводство: Обзорная информация ЦБНТИлесхоз. 1983. № 3. С. 1–40.
6. Юодвалькис А. И., Озолинчюс Р. В. Лесоводственно-биологические аспекты оптимизации первоначальной густоты сосновых насаждений // Лесное хозяйство. 1987. № 9. С. 20–22.
7. Морозов В. А., Шиманский П. С., Штукин С. С. Рост сосны: влияние изреживания и многолетнего люпина // Лесное хозяйство. 1987. № 9. С. 36–38.
8. Бузыкин А. И., Пшеничникова Л. С. Влияние густоты на морфоструктуру и продуктивность культур сосны // Лесоведение. 1999. № 4. С. 38–43.
9. Бузыкин А.И., Пшеничникова Л. С., Суховольский В. Г. Густота и продуктивность древесных ценозов. Новосибирск: Наука, 2002. 152 с.
10. Экологический подход к оптимизации исходной густоты культур сосны / Ю.П. Демаков, К.К. Калинин, А.И. Шургин и др. // Экология и леса Поволжья. Йошкар-Ола: МарГТУ, 2002. Вып. 2. С. 277–299.
11. Усольцев В. А., Маленко А. А. Культуры сосны разной густоты посадки и проблема ее оптимизации // Ботанические исследования в Сибири. Красноярск: Красноярское отд. Российского ботанического об-ва, 2008. Вып. 16. С. 136–164.
12. Влияние густоты на таксационные показатели сосновых молодняков естественного и искусственного происхождения / Д.С. Собачкин, В.Е. Бенькова, Р.С. Собачкин и др.// Лесоведение. 2009. № 2. С. 3–9.
13. Усольцев В. А., Маленко А. А. Лесные культуры разной начальной густоты. Сообщение 1. Оптимизационные аспекты группы и плотности // Эко-потенциал. 2014. № 3 (7). С. 23–33.
14. Усольцев В. А., Маленко А. А. Лесные культуры разной начальной густоты. Сообщение 2. Анализ опытных посадок сосны обыкновенной // Эко-потенциал. 2014. № 3 (7). С. 34–47.
15. Закономерности развития древостоя в культурах сосны обыкновенной разной исходной густоты / Ю.П. Демаков, Т.В. Нуреева, А.С. Пуряев и др. // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2016. № 4 (32). С. 19–33.
16. Полубояринов О. И. Влияние лесохозяйственных мероприятий на качество древесины. Л.: ЛТА, 1974. 97 с.

17. *Полубояринов О. И.* Плотность древесины. М.: Лесная промышленность, 1976. 160 с.
18. *Нехайчук О. Г., Москалева З. Е.* Влияние лесохозяйственных факторов на анатомическое строение древесины ели, сосны и лиственницы // Лесоведение. 1979. № 4. С. 38–43.
19. *Санаев В. Г.* Физико-механические свойства элементов макроструктуры древесины // Строение, свойства и качество древесины. М: МЛТИ, 1980. С. 171–176
20. *Рябokonь А. П., Литаиш Н. П.* Физико-механические свойства древесины сосны в культурах разной густоты // Лесоведение. 1981. № 1. С. 39–45.
21. *Синькевич С. М.* Влияние разреживания и удобрения на качество древесины в средневозрастном сосняке // Сосново-лиственные насаждения Карелии и Мурманской области. Петрозаводск: КНЦ АН СССР, 1981. С. 115–121.
22. *Полубояринов О. И., Федоров Р. Б.* Качество древесины культур сосны плантационного типа на Северо-Западе Европейской части СССР // Лесоводство, лесные культуры и почвоведение: межвуз. сб. науч. тр. Л.: ЛТА, 1991. С. 89–95.
23. *Антонова Г. Ф., Перевозникова В. Д., Стасова В. В.* Влияние условий произрастания на структуру годичного слоя древесины и продуктивность сосны обыкновенной // Лесоведение. 1999. № 6. С. 10–11.
24. *Ваганов Е. А., Шашкин А. В.* Рост и структура годичных колец хвойных. Новосибирск: Наука, 2000. 232 с.
25. *Киселева А. В., Косиченко Н. Е.* Экологические и генотипические аспекты формирования древесины сосны // Дендрозкология и лесоведение. Красноярск: Институт леса им В.Н. Сукачева СО РАН, 2007. С. 58–60.
26. *Краснов А. В., Гурский А. А.* Изменение плотности древесины сосны в насаждениях государственной защитной лесной полосы Оренбургского лесхоза // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2007. № 3 (15). С. 42–44.
27. Влияние климатических факторов на прирост и плотность древесины годичных колец ели и сосны в горах Северной Италии / Е.А. Ваганов, М.В. Скомаркова, Э.Д. Шульце и др. // Лесоведение. 2007. № 2. С. 37–44.
28. *Ломов В. Д., Сухоруков А. С.* Особенности анатомического строения древесины сосны в культурах с разной густотой посадки // Экология – 2007: Материалы конф. М: МГУЛ, 2009. С. 62–65.
29. *Глушкова Ю. П.* Базисная плотность древесины ели в плантационных культурах // Вестник Казанского университета. 2010. Т. 5, № 1 (15). С. 136–139.
30. *Неделина Н. Ю.* Пористость и базисная плотность древесины разных типов // Политематический сетевой журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2013. № 89. С. 454–464.
31. *Данилов Д. А., Царенко В. П., Скупченко В. Б.* Влияние комплексного ухода за лесом на плотность древесины в хвойных древостоях // Известия СПб государственного аграрного университета. 2013. № 30. С. 48–53.
32. *Данилов Д. А., Скупченко В. Б.* Изменения в строении древесины сосны и ели на анатомическом уровне в древостоях, пройденных рубками ухода и комплексным уходом // Известия вузов: Лесной журнал. 2014. № 5. С. 70–88.
33. *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.
34. *Данилов Д. А., Степаненко С. М.* Строение и плотность древесины ели и сосны в плантационных культурах Ленинградской области // Известия СПб лесотехнической академии. 2013. Вып. 204. С.35–45.
35. *Данилов Д. А.* Влияние лесохозяйственных воздействий и состава насаждений на анатомические показатели и плотность древесины сосны и ели // Лесной вестник. 2016. № 4. С. 15–19.
36. *Тюрин Д. С., Данилов Д. А.* Показатели плотности древесины в 40-летних плантационных культурах ели различной густоты // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2014. № 38. С. 52–54.
37. *Ширнин Ю. А., Романова Н. А.* Обоснование регионального коэффициента изменчивости плотности древесины в технико-экономических расчетах // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2018. № 4 (40). С. 56–63.
38. *Одум Ю.* Основы экологии. М.: Мир, 1975. 740 с.
39. *Титов Ю. В.* Эффект группы у растений. Л.: Наука, 1978. 151 с.
40. *Демаков Ю. П.* Возможности дендрохронологии в индикации и прогнозе течения природных и антропогенно обусловленных процессов // Математические и физические методы в экологии и мониторинге природной среды. М.: МГУЛ, 2001. С. 257–263.
41. *Демаков Ю. П., Исаев А. В., Сафин М. Г.* Закономерности динамики прироста деревьев сосны в различных типах леса заповедника // Научные труды государственного природного заповедника «Большая Кокшага». Йошкар-Ола: ПГТУ, 2015. Вып. 7. С. 101–138.
42. *Драгавцев В. А.* Экспрессная оценка адаптивности приростов отдельных моноподиальных хвойных деревьев в естественных популяциях // Принципы и способы сохранения биологического разнообразия: Йошкар-Ола: МарГУ, 2019. С. 5–8.
43. *Полубояринов О. И., Редько Г. И.* Качество древесины географических культур сосны в Охтинском лесхозе // Лесоводство, лесные культуры и почвоведение: межвуз. сб. науч. тр. Л.: ЛТА, 1977. Вып. 6. С. 107–111.

44. *Исаева Л. Н., Черепнин В. Л.* Качество древесины географических культур сосны обыкновенной в Средней Сибири // Лесоведение. 1988. № 2. С. 80–83.

45. *Савва Ю. В., Ваганов Е. А., Милютин Л. И.* Влияние климатических условий красноярской лесостепи на рост и структуру годичных колец сосны в условиях географических культур // Лесоведение. 2001. № 3. С. 3–14.

46. *Савва Ю. В., Милютин Л. И., Ваганов Е. А.* Изменчивость структуры годичных колец в географических культурах сосны в южной тайге // Лесоведение. 2001. № 2. С. 53–61.

47. *Кузьмин С. Р., Ваганов Е. А.* Анатомические характеристики годичных колец у сосны обыкновенной в географических культурах Приангарья // Лесоведение. 2007. № 4. С. 3–12.

48. *Лацевич А. В.* Свойства древесины сосны обыкновенной разного географического происхож-

дения // Тр. Брянского государственного технологического университета. Сер.: Лесное хозяйство. 2001. Вып. IX. С. 143–146.

49. *Наквасина Е. Н., Минин Н. С.* Изменчивость структуры годичных колец и плотности древесины в географических культурах ели Архангельской области // Вестник Поморского университета. Сер.: Естественные и точные науки. 2007. № 2. С. 78–85.

50. *Кузьмин С. Р., Роговцев Р. В.* Радиальный рост и доля поздней древесины у сосны обыкновенной в географических культурах в Западной и Средней Сибири // Сибирский лесной журнал. 2016. № 6. С. 113–125.

51. *Санников С. Н., Петрова И. В.* Дифференциация популяций сосны обыкновенной. Екатеринбург: Уральское отделение РАН, 2003. 248 с.

52. *Романовский М. Г., Щекалев Р. В.* Система вида у древесных растений. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2014. 212 с.

Статья поступила в редакцию 18.04.19.

Принята к публикации 24.05.19.

Информация об авторах

ДЕМАКОВ Юрий Петрович – доктор биологических наук, профессор кафедры лесных культур, селекции и биотехнологии, Поволжский государственный технологический университет. Область научных интересов – биогеоценология, математическое моделирование динамики лесных экосистем. Автор 330 публикаций, в том числе 12 монографий и учебных пособий.

ДЕМИТРОВА Ирина Павловна – кандидат биологических наук, доцент кафедры деревообрабатывающих производств, Поволжский государственный технологический университет. Область научных интересов – древесиноведение, дендроклиматохронология, экология. Автор 70 публикаций, в том числе восьми учебных пособий.

НУРЕЕВА Татьяна Владимировна – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры лесных культур, селекции и биотехнологии, Поволжский государственный технологический университет. Область научных интересов – искусственное и плантационное лесовыращивание, рекультивация нарушенных земель. Автор 150 публикаций, в том числе 12 монографий и учебных пособий.

СИМАТОВА Татьяна Юрьевна – магистрант кафедры деревообрабатывающих производств, Поволжский государственный технологический университет. Область научных интересов – древесиноведение, производство мебели.

UDC 630*232.43:630*24

DOI: 10.25686/2306-2827.2019.2.26

THE EFFECT OF INITIAL DENSITY AND THINNING INTENSITY OF A PINE STAND ON GROWTH AND WOOD DENSITY

Yu. P. Demakov, I. P. Demitrova, T. V. Nureeva, T. Iu. Simatova

Volga State University of Technology,
3, Lenin Sq., Yoshkar-Ola, 424000, Russian Federation
E-mail: DemakovYP@volgatech.net

Keywords: Scots pine; initial density; thinning intensity; radial growth; late phloem fraction; phenotypic trait.

ABSTRACT

Introduction. The relevance of the study is preconditioned by the need to improve the technology of artificial reforestation and cultivation of plantations, providing an increase in their productivity and economic efficiency, which largely depend on the initial density of forest crops and intensity of stand thinning. These factors can also influence the quality of wood, but opinions of researchers on this issue are quite contradictory. **The objective of this study** is to evaluate the impact of the initial density of pine crops and the intensity of thinning of a 14-year-old forest stand on the characteristics of the radial growth of trees, the late phloem fraction in the annual ring and the density of wood, which largely determine its technical quality. **Material and methods.** Investigations were conducted in 2017 at two experimental sites, one of which included pine cultures of different density (from 0.5 to 11 thousand trees/ha), and the second one comprised different variants of their thinning at the age of 14 (from 25% to 80% of the number of trunks). In all sections of the experimental sites, wood cores were sampled from the 12 most developed trees and used as a material for studying technical quality of wood. The digital material was processed statistically using standard applications. **Results and discussion.** The study has shown that the average width of the annual layer of wood is inversely proportional to the initial density of crops, while the change in the value of this indicator with different intensity of thinning of the stand is no longer so clear and difficult to predict. The influence of the initial density of pine cultures and the intensity of their thinning on the late phloem fraction and the value of wood density that vary in each variant of the experiment within a very large range is also ambiguous. **Conclusion.** The basic density of wood and the late xylem fraction in the annual ring are independent phenotypic traits of trees. Artificial selection based on these traits will not lead to further changes in the rate of their growth as well as in their resistance to drought and other environmental factors.

REFERENCES

1. Martynov A. N. *Gustota kultur hvoynyh porod i ee znachenie. Lesovedenie i lesovodstvo: Obzornaia informatsiia TSBNTIleskhoz* [The density of cultures of conifers and its significance, forestry and silviculture: Overview of SBNTIleskhoz]. Moscow: TSBNTIleskhoz, 1974. 59 p. (In Russ.).
2. Redko G.I. *Gustota lesnyh kultur* [The density of the forest crops] G.I. Redko. Leningrad: LTA, 1978. 52 p. (In Russ.).
3. Kuzmichev V. V., Savich Iu. N. *Vliianie gustoty posadki na rost sosnovykh kultur* [Influence of planting density on the growth of pine crops]. *Lesovedenie*. 1979. No 6. Pp. 50–63. (In Russ.).
4. Riabokon A. P. *Opreделение biologicheskogo optimuma gustoty sosnovykh drevostoev v usloviiah svezhey subori* [Determination of the biological optimum density of pine stands in fresh subor]. *Lesovedenie*. 1979. No 3. Pp. 16–23. (In Russ.).
5. Shinkarenko I. B., Dzedziulia A. A. *Optimizatsiia rezhimov gustoty pri tselevom vyrashchivanii sosnovykh kultur* [Optimization of the regimes of density at the target pine growing crops]. *Lesovedenie i lesovodstvo: Obzornaia informatsiia TSBNTIleskhoz* [Forestry and forest management: an Overview of TSBNTIleskhoz]. 1983. No 3. Pp. 1–40. (In Russ.).
6. Iuodvalkis A. I., Ozolinchijs R. V. *Lesovodstvenno-biologicheskie aspekty optimizatsii pervonachalnoy gustoty sosnovykh nasazhdeniy* [Silvicultural and biological aspects of optimization of the initial density of pine plantations]. *Lesnoe hoziyaystvo* [Forestry]. 1987. No 9. Pp. 20–22. (In Russ.).
7. Morozov V. A., Shimanskiy P. S., SHTukin S. S. *Rost sosny: vliianie izrezhivaniia i mnogoletnego liupina* [Growth of Scots pine: the effect of thinning and perennial lupine]. *Lesnoe hoziyaystvo* [Forestry]. 1987. No 9. pp. 36–38. (In Russ.).

8. Buzykin A. I., Pshenichnikova L. S. *Vliianie gustoty na morfostrukturu i produktivnost kultur sosny* [The impact of density on the morphological structure and productivity of crops pine forestry]. *Lesovedenie*. 1999. No 4. Pp. 38–43. (In Russ.).
9. Buzykin A.I., Pshenichnikova L. S., Suhovol'skiy V. G. *Gustota i produktivnost drevesnyh tsenozov* [Impact of density on the morphological structure and productivity of crops pine forestry]. Novosibirsk: Nauka, 2002. 152p. (In Russ.).
10. Demakov Yu.P., Kalinin K.K., Shurgin A.I. et al. *Ekologicheskii podhod k optimizatsii iskhodnoy gustoty kultur sosny* [Ecological approach to optimization of initial density of pine crops]. *Ekologiya i lesa Povolzhia* [Ecology and forests of the Volga region]. Yoshkar-Ola: MarGTU, 2002. Iss. 2. Pp. 277–299. (In Russ.).
11. Usoltsev V. A., Malenko A. A. *Kul'tury sosny raznoy gustoty posadki i problema ee optimizatsii* [Pine cultures of different planting density and the problem of their optimization]. *Botanicheskie issledovaniia v Sibiri* [Botanical research in Siberia]. Krasnoyarsk: Krasnoyarskoe department of the Russian Botanical Community, 2008. Iss. 16. Pp. 136–164. (In Russ.).
12. Sobachkin D.S., Benkova V.E., Sobachkin R.S. et al. *Vliianie gustoty na taksatsionnye pokazateli sosnovykh molodniakov estestvennogo i iskusstvennogo proiskhozhdeniia* [Influence of density on taxation indicators of pine young growth of natural and artificial origin]. *Lesovedenie*. 2009. No 2. Pp. 3–9. (In Russ.).
13. Usoltsev V. A., Malenko A. A. *Lesnye kul'tury raznoy nachalnoy gustoty. Soobshchenie 1. Optimizatsionnye aspekty gruppy i plotnosti* [Forest plantations of different initial density. Report 1. Optimization aspects of group and density]. *Eko-potentsial* [Eco-potential]. 2014. No 3 (7). Pp. 23–33. (In Russ.).
14. Usoltsev V. A., Malenko A. A. *Lesnye kul'tury raznoy nachalnoy gustoty. Soobshchenie 2. Analiz opytnykh posadok sosny obyknovennoy* [Forest plantations of different initial density. Message 2. Analysis of experimental planting of Scots pine]. *Eko-potentsial* [Eco-potential]. 2014. No 3 (7). Pp. 34–47. (In Russ.).
15. Demakov Yu.P., Nureeva T.V., Puriaev A.S. et al. *Zakonomernosti razvitiia drevostoia v kul'turah sosny obyknovennoy raznoy iskhodnoy gustoty* [Regularities of stand development in Scots pine cultures of different initial density]. *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Ser.: Les. Ekologiya. Prirodopolzovanie* [Vestnik of Volga State University of Technology. Series: Forest. Ecology. Nature management]. 2016. No 4 (32). Pp. 19–33. (In Russ.).
16. Poluboiarinov O. I. *Vliianie lesohoziaystvennykh meropriiatii na kachestvo drevesiny* [Impact of forestry activities on the quality of wood]. Leningrad: LTA, 1974. 97 p. (In Russ.).
17. Poluboiarinov O. I. *Plotnost drevesiny* [Density of wood]. Moscow: Lesnaia promyshlennost, 1976. 160 p. (In Russ.).
18. Nekhaychuk O. G., Moskaleva Z. E. *Vliianie lesohoziaystvennykh faktorov na anatomicheskoe stroenie drevesiny eli, sosny i listvennitsy* [Influence of forest factors on the anatomical structure of wood of spruce, pine and larch forestry]. *Lesovedenie*. 1979. No 4. pp. 38–43. (In Russ.).
19. Sanaev V. G. *Fiziko-mekhanicheskie svoystva elementov makrostruktury drevesiny* [Physical and mechanical properties of the elements of the macrostructure of wood]. *Stroenie, svoystva i kachestvo drevesiny* [Structure, properties and quality of wood]. Moscow: MLTI, 1980. Pp. 171–176. (In Russ.).
20. Riabokon A. P., Litash N. P. *Fiziko-mekhanicheskie svoystva drevesiny sosny v kul'turah raznoy gustoty* [Physical and mechanical properties of pine wood in cultures of different density]. *Lesovedenie*. 1981. No 1. Pp. 39–45. (In Russ.).
21. Sinkevich S. M. *Vliianie razrezhivaniia i udobreniia na kachestvo drevesiny v srednevoznostnom sosniake* [Impact of thinning and fertilizer on the quality of wood in the middle-aged pine]. *Sosnovolistvennye nasazhdeniia Karelii i Murmanskoy oblasti* [Pine-deciduous plantations of Karelia and the Murmansk region]. Petrozavodsk: KNTS AN SSSR, 1981. Pp. 115–121. (In Russ.).
22. Poluboiarinov O. I., Fedorov R. B. *Kachestvo drevesiny kultur sosny plantatsionnogo tipa na Severo-Zapade Evropeyskoy chasti SSSR* [Quality of pine tree plantations in the North-West of the European part of the USSR]. *Lesovodstvo, lesnye kul'tury i pochvovedenie: mezhvuz. sb. nauch. Tr* [Forestry, forest crops and soil science: interuniversity collection of research works]. Leningrad: LTA, 1991. Pp. 89–95. (In Russ.).
23. Antonova G. F., Perevoznikova V. D., Stasova V.V. *Vliianie usloviy proizrastaniia na strukturu godichnogo sloia drevesiny i produktivnost sosny obyknovennoy* [Influence of growing conditions on the structure of the annual layer of wood and productivity of Scots pine]. *Lesovedenie*. 1999. No 6. pp. 10–11. (In Russ.).
24. Vaganov E. A., SHashkin A. V. *Rost i struktura godichnykh kolets hvoynykh* [Growth and structure of annual rings of conifers]. Novosibirsk: Nauka, 2000. 232 p. (In Russ.).
25. Kiseleva A. V., Kosichenko N. E. *Ekologicheskie i genotipicheskie aspekty formirovaniia drevesiny sosny* [Ecological and genotypic aspects of pine wood formation]. *Dendroekologiya i lesovedenie* [Dendroecology and forestry]. Krasnoyarsk: Institut lesa im V.N. Sukacheva SO RAN, 2007. pp. 58–60. (In Russ.).
26. Krasnov A. V., Gurskiy A. A. *Izmenenie plotnosti drevesiny sosny v nasazhdeniiah gosudarstvennoy zashchitnoy lesnoy polosy Orenburgskogo leskhoza* [Changes in the density of pine wood in the plantations of the state protective forest strip of the

Orenburg forestry]. *Izvestiia Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Proceedings of the Orenburg state agrarian University]. 2007. No 3 (15). Pp. 42–44. (In Russ.).

27. Vaganov E.A., Skomarkova M.V., Shultse E.D. et al. Vliianie klimaticheskikh faktorov na prirost i plotnost drevesiny godichnyh kolets eli i sosny v gorah Severnoy Italii [Influence of climatic factors on the growth and density of wood annual rings of spruce and pine in the mountains of Northern Italy]. *Lesovedenie*. 2007. No 2. Pp. 37–44. (In Russ.).

28. Lomov V. D., Suhorukov A. S. Osobennosti anatomicheskogo stroeniia drevesiny sosny v kulturah s raznoy gustotoy posadki [Features of the anatomical structure of pine wood in crops with different planting density]. *Ekologiya-2007: Materialy konf.* [Ecology-2007: Conference materials] Moscow: MGUL, 2009. pp. 62–65. (In Russ.).

29. Glushkova I.U. P. Bazisnaia plotnost drevesiny eli v plantatsionnykh kulturakh [Basic wood density of spruce in the plantation crops]. *Vestnik Kazanskogo universiteta* [Bulletin of the Kazan University]. 2010. Vol. 5, No 1 (15). Pp. 136–139. (In Russ.).

30. Nedelina N. Iu. Poristost i bazisnaia plotnost drevesiny raznykh tipov [Porosity and basic density of wood of different types]. *Politematicheskii setevoy zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Polythematic network journal of Kuban State Agrarian University]. 2013. No 89. Pp. 454–464. (In Russ.).

31. Danilov D. A., TSarenko V. P., Skupchenko V. B. Vliianie kompleksnogo uroda za lesom na plotnost drevesiny v hvoynykh drevostoiakh [Impact of complex care of wood in wood density in coniferous forests]. *Izvestiia SPB gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Proceedings of St. Petersburg State Agrarian University]. 2013. No 30. Pp. 48–53. (In Russ.).

32. Danilov D. A., Skupchenko V. B. Izmeneniia v stroenii drevesiny sosny i eli na anatomicheskom urovne v drevostoiakh, proydennykh rubkami uroda i kompleksnym urodom [Changes in the wood structure of pine and spruce on the anatomical level in the stands passed by the thinning and integrated care]. *Izvestiia vuzov: Lesnoy zhurnal* [News of HEIs. Forest journal]. 2014. No 5. Pp. 70–88. (In Russ.).

33. Danilov D. A., Smirnov A. P. Vliianie struktury drevostoiia na plotnost drevesiny sosny i eli v chernichnom tipe lesa [Influence of structure volume per wood density of pine and spruce in the blueberry forest]. *Lesotekhnicheskii zhurnal* [Forestry Engineering Journal]. 2014. No 4. Pp. 13–20. (In Russ.).

34. Danilov D. A., Stepanenko S. M. Stroenie i plotnost drevesiny eli i sosny v plantatsionnykh kulturakh Leningradskoy oblasti [Structure and density of wood of Spruce and Pine in forest plantation of Leningrad region]. *Izvestiia SPB lesotekhnicheskoy akademii* [News of the Saint Petersburg State Forest Technical Academy]. 2013. Iss. 204. Pp. 35–45. (In Russ.).

35. Danilov D. A. Vliianie lesohoziaystvennykh vozdeystviy i sostava nasazhdeniy na anatomicheskie pokazateli i plotnost drevesiny sosny i eli [Structure and density of wood of spruce and pine in the plantation crops in Leningrad region]. *Lesnoy vestnik* [Forestry Bulletin]. 2016. No 4. Pp. 15–19. (In Russ.).

36. Tiurin D. S., Danilov D. A. Pokazateli plotnosti drevesiny v 40-letnykh plantatsionnykh kulturakh eli razlichnoy gustoty [Indicators of wood density in 40-year-old plantation crops of spruce of different density]. *Aktualnye problemy lesnogo kompleksa* [Actual problems of forest complex]. 2014. No 38. Pp. 52–54. (In Russ.).

37. Shirnin Iu. A., Romanova N. A. Obosnovanie regionalnogo koeffitsienta izmenchivosti plotnosti drevesiny v tekhniko-ekonomicheskikh raschetakh [Substantiation of the regional coefficient of variability of wood density in technical and economic calculations]. *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo univversiteta. Ser.: Les. Ekologiya. Prirodopolzovanie*. [Vestnik of Volga State University of Technology. Ser.: Forest. Ecology. Nature Management]. 2018. No 4 (40). Pp. 56–63. (In Russ.).

38. Odum I.U. *Osnovy ekologii* [Fundamentals of ecology]. Moscow: Mir, 1975. 740 p. (In Russ.).

39. Titov I.U. V. *Effekt gruppy u rasteniy* [Group effect in plants]. Leningrad: Nauka, 1978. 151 p. (In Russ.).

40. Demakov Yu. P. Vozmozhnosti dendrochronologii v indikatsii i prognoze techeniya prirodnykh i antropogenno obuslovlennykh protsessov [Possibilities of dendrochronology in the indication and prediction of the flow of natural and anthropogenic processes]. *Matematicheskie i fizicheskie metody v ekologii i monitoringe prirodnoy sredy* [Mathematical and physical methods in ecology and monitoring of the natural environment]. Moscow: MGUL, 2001. Pp. 257–263. (In Russ.).

41. Demakov Iu. P., Isaev A. V., Safin M. G. Zakonomernosti dinamiki prirosta derezev sosny v razlichnykh tipakh lesa zapovednika [Regularities of the dynamics of growth of pine trees in various forest types of the reserve]. *Nauchnye trudy gosudarstvennogo prirodnogo zapovednika "Bolshaia Kokshaga"* [Scientific proceedings of the state natural reserve "Bolshaya Kokshaga"]. Yoshkar-Ola: PGU, 2015. Iss. 7. pp. 101–138. (In Russ.).

42. Dragavtsev V. A. Ekspressnaia otsenka adaptivnosti prirostov otdelnykh monopodialnykh hvoynykh derezev v estestvennykh populiatsiyakh [Rapid assessment of adaptability of the individual monopodial growth of conifers in natural populations]. *Printsipy i sposoby sohraneniia biologicheskogo raznoobraziia* [Principles and methods of conservation of biological diversity]. Yoshkar-Ola: MarSU, 2019. Pp. 5–8. (In Russ.).

43. Poluboiarinov O. I., Redko G. I. Kachestvo drevesiny geograficheskikh kultur sosny v Ohtinskom leskhوزه [Quality of the wood geographical cultures of a pine in Ohtinsky timber enterprise]. *Lesovodstvo*,

lesnye kultury i pochvovedenie: mezhvuz. sb. nauch. tr. [Forestry, forest cultures and soil science: interuniversity collection. Collection of research works]. Leningrad: LTA, 1977. Iss. 6. pp. 107–111. (In Russ.).

44. Isaeva L. N., Cherepnin V. L. Kachestvo drevesiny geograficheskikh kultur sosny obyknovnoy v Sredney Sibiri [Quality of Wood of Geographical Cultures of Scots Pine in Central Siberia]. *Lesovedenie*. 1988. No 2. Pp. 80–83. (In Russ.).

45. Savva IU. V., Vaganov E. A., Miliutin L. I. Vliianie klimaticheskikh usloviy krasnoyarskoy lesostepi na rost i strukturu godichnykh kolets sosny v usloviyah geograficheskikh kultur [Influence of climatic conditions of Krasnoyarsk forest-steppe on growth and structure of annual rings of pine in the conditions of geographical cultures]. *Lesovedenie*. 2001. No 3. Pp. 3–14. (In Russ.).

46. Savva IU. V., Miliutin L. I., Vaganov E. A. Izmenchivost struktury godichnykh kolets v geograficheskikh kulturah sosny v iuzhnoy tayge [Variability of the structure of annual rings in geographical pine cultures in the southern taiga]. *Lesovedenie*. 2001. No 2. Pp. 53–61. (In Russ.).

47. Kuzmin S. R., Vaganov E. A. Anatomicheskie harakteristiki godichnykh kolets u sosny obyknovnoy v geograficheskikh kulturah Priangaria [Anatomical characteristics of annual rings in Scots pine in geographical cultures of the Angara region]. *Lesovedenie*. 2007. No 4. Pp. 3–12. (In Russ.).

48. Latsevich A. V. Svoystva drevesiny sosny obyknovnoy raznogo geograficheskogo pro-

iskhozhdeniia [Properties of ordinary pine wood of different geographical origin]. *Tr. Bryanskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Ser.: Lesnoe hoziaystvo* [Works of Bryansk State Technological University. Series: Forestry]. 2001. Iss. IX. Pp. 143–146. (In Russ.).

49. Nakvasina E. N., Minin N. S. Izmenchivost struktury godichnykh kolets i plotnosti drevesiny v geograficheskikh kulturah eli Arhangel'skoy oblasti [Variability of the structure of annual rings and density of wood in geographical cultures of spruce of the Arkhangel'sk region]. *Vestnik Pomorskogo universiteta. Ser.: Estestvennye i tochnye nauki* [Bulletin of the Primorsky University. Series: Natural and Exact Sciences]. 2007. No 2. pp. 78–85. (In Russ.).

50. Kuzmin S. R., Rogovtsev R. V. Radialnyy rost i dolia pozdney drevesiny u sosny obyknovnoy v geograficheskikh kulturah v Zapadnoy i Sredney Sibiri [Radial growth and the share of late wood in Scots pine in geographical cultures in Western and Central Siberia]. *Sibirskiy lesnoy zhurnal* [Siberian Forest Journal]. 2016. No 6. Pp. 113–125. (In Russ.).

51. Sannikov S. N., Petrova I. V. *Differentsiatsiya populiatsiy sosny obyknovnoy* [Differentiation of Scots pine populations]. Ekaterinburg: Uralskoe otdelenie RAN, 2003. 248 p. (In Russ.).

52. Romanovskiy M. G., Shchekalev R. V. *Sistema vida u drevesnykh rasteniy* [System in woody plants]. Moscow: Tovarishestvo nauchnykh izdaniy KMK, 2014. 212 p. (In Russ.).

The article was received 18.04.19.

Accepted for publication 24.05.19.

For citation: Demakov Yu. P., Demitrova I. P., Nureeva T. V., Simatova T. Yu. The Effect of Initial Density and Thinning Intensity of a Pine Stand on Growth and Wood Density. *Vestnik of Volga State University of Technology. Ser.: Forest. Ecology. Nature Management*. 2019. No 1 (41). Pp. 26–40. DOI: 10.25686/2306-2827.2019.2.26

Information about the authors

Yurii P. Demakov – Doctor of Biological Sciences, Professor of the Department of Forest Species Selection and Bio-technologies, Volga State University of Technology. Research interests – biogeocenology, mathematical modelling of forest ecosystem dynamics. Author of 330 publications including 12 monographs and textbooks.

Irina P. Demitrova – Candidate of Biological Sciences, Associate Professor of the Department of Woodworking Industry, Volga State University of Technology. Research interests – wood science, dendroclimatochronology, ecology. Author of 70 publications including eight textbooks.

Tatiana V. Nureeva – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of Forest Crops, Breeding and Biotechnology Department, Volga State University of Technology. Research interests – cultivation of forest plantations, reclamation of disturbed lands. Author of 150 publications including 12 monographs and textbooks.

Tatiana Yu. Simatova – master's student of the Department of Woodworking Industries, Volga State University of Technology. Research interests – drivelinemedia, manufacture of furniture.