

УДК 630*812

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.6.56

ПЛОТНОСТЬ ДРЕВЕСИНЫ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ В РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЯХ ПРОИЗРАСТАНИЯ

О.Н. Тюкавина¹, канд. с.-х. наук, доц.

Д.Н. Клевцов¹, канд. с.-х. наук, доц.

И.И. Дроздов², д-р с.-х. наук, проф.

В.И. Мелехов¹, д-р техн. наук, проф.

¹Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, наб. Северной Двины, д. 17, г. Архангельск, Россия, 163002;

e-mail: olga-tukavina@yandex.ru

²Мытищинский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана (МГУЛ), ул. 1-я Институтская, д. 1, г. Мытищи, Московская обл., Россия, 141005; тел.: 8 (498) 687-38-88

Показателем качества древесного сырья является плотность древесины, зависящая как от морфологических и анатомических характеристик деревьев, так и от экологических условий их произрастания. Цель исследования – изучение условной плотности древесины сосны в различных лесорастительных условиях и выявление зависимости этого показателя от ее анатомических характеристик. Пробные площади закладывали в сосновых насаждениях Архангельского, Северодвинского и Верхнетоемского лесничеств Архангельской области. Условную плотность древесины определяли по способу максимальной влажности образцов, имеющих сравнительно небольшой объем. Условная плотность древесины сосны в северной подзоне тайги составляет 0,340...0,580 г/см³, в средней подзоне в сосняках черничных она ниже на 7...22 %, у сосны по болоту – на 24 %. По усредненным значениям условной плотности древесины сосны в различных условиях произрастания отмечается высокая теснота связи с радиальным приростом и возрастом насаждения. Однако на уровне дерева или насаждения связи между ними не выявлено, но обнаружена умеренная теснота связи данного показателя с процентом поздней древесины. Между толщиной стенок трахеид, диаметром люмена, количеством рядов ранних и поздних трахеид и условной плотностью древесины сосны установлена криволинейная корреляция от умеренной до значительной, с диаметром смоляных ходов – высокая. Изменение условной плотности в поперечном направлении ствола сосны можно описать следующими моделями: модель 1 характеризуется снижением условной плотности в средней части радиуса ствола, модель 2 – ее повышением в средней части радиуса ствола, модель 3 – повышением условной плотности от сердцевины к коре, модель 4 – ее понижением. Наиболее часто встречается модель 2. Зависимости типа модели от морфометрических характеристик дерева не выявлено. Наибольшая условная плотность древесины в центральной части ствола

Для цитирования: Тюкавина О.Н., Клевцов Д.Н., Дроздов И.И., Мелехов В.И. Плотность древесины сосны обыкновенной в различных условиях произрастания // Лесн. журн. 2017. № 6. С. 56–64. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.6.56

характерна для большинства (более 67 %) деревьев сосны, произрастающих в рядовых посадках и на болоте.

Ключевые слова: условная плотность древесины, радиальный прирост, процент поздней древесины, трахеиды, модели.

Введение

Сосна обыкновенная – основная хозяйственно ценная древесная порода. Учитывая низкую биологическую продуктивность северных экосистем, истощение лесосырьевой базы, необходимо рационально использовать древесину сосны, базируясь на дифференцированном подходе к лесным ресурсам.

Качественным показателем древесного сырья является плотность древесины [4, 5, 8, 17], которая зависит как от морфологических и анатомических характеристик деревьев, так и от экологических условий их произрастания [3, 5, 9, 10]. С увеличением ширины годичного слоя плотность древесины уменьшается [5, 7, 10, 15, 19], но может наблюдаться и положительная корреляция между шириной годичного кольца и плотностью древесины [16, 18], например в ювенильном возрасте [12]. Плотность древесины имеет тесную корреляционную связь с процентом поздней древесины [1, 5, 10, 13], обусловленную толщиной ее стенок [1]. Деревья пониженной категории жизнеспособности отличаются повышенной плотностью древесины [2, 5, 6], однако в ряде работ отмечается отсутствие связи между плотностью древесины и классами роста [5]. Неоднозначны результаты изменения плотности древесины с повышением класса бонитета насаждений [4, 5]. Известно, что плотность древесины генетически наследуется [11, 14, 16]. Несмотря на многочисленные исследования в данной области, встречаются расхождения в вопросах влияния различных факторов на плотность древесины.

Цель исследования – оценка условной плотности древесины сосны в различных условиях произрастания и выявление зависимости ее от анатомических характеристик древесины.

Объекты и методы исследования

Исследования проводили в сосновых насаждениях Архангельского, Северодвинского и Верхнетоемского лесничеств Архангельской области (табл. 1).

Пробные площади (ПП) закладывали в соответствии с требованиями ОСТ 56-69–83. На каждой ПП подбирали по 15 модельных деревьев пропорционально представленности по ступеням толщины. У каждого из них оценивали морфологические характеристики. На высоте 1,3 м с северной стороны дерева отбирали по 2 керна, один из которых разделяли на частички длиной 1 см.

Таблица 1

Характеристика сосновых насаждений

№ ПП	Тип леса	Состав древостоя	Высота, м	Диаметр, см	Возраст, лет	Относительная полнота
<i>Архангельское лесничество</i>						
1	Рядовые посадки в г. Архангельске	10С	9,0	20,0	38	–
2	Сосняк черничный	9С1Е+Б	22,0	23,0	117	0,70
3	« «	8С2Е+Б	22,0	24,0	101	0,57
4	Сосна по болоту	10С	10,0	15,0	120	0,30
<i>Северодвинское лесничество</i>						
5	Сосняк черничный	9С1Б	10,9	13,9	41	0,68
6	« «	9С1Еед.Б	10,0	14,2	41	0,75
7	« «	9С1Б	10,4	16,4	66	0,65
<i>Верхнетоемское лесничество</i>						
8	Сосняк черничный	9С1Еед.Б	21,0	32,0	84	0,35
9	« «	8С2Е+Б	23,0	28,0	86	0,58
10	Сосняк брусничный	10С	22,0	30,0	85	0,49
11	Сосняк кисличный	7С2Е1Б	21,0	30,0	81	0,60
12	Сосна по болоту	10С	12,0	16,0	98	0,40

Условную плотность древесины ($\rho_{\text{усл}}$) определяли для каждой частички по способу максимальной влажности образцов, имеющих сравнительно небольшой объем [2]. Ширину годичного слоя измеряли на полуавтоматическом комплексе для распознавания годичных колец «Линтаб-6» (с точностью $\pm 0,01$ мм). Для фиксации размеров гистологических элементов использовали микроскоп Axio Scope A1 и программное обеспечение Image-Pro Insight.

Результаты исследования и их обсуждение

В северной подзоне тайги условная плотность древесины сосны составляет $0,340 \dots 0,580$ г/см³ (табл. 2). В сосняках черничных средней подзоны она ниже на 7...22 %, у сосны по болоту – на 24 %.

Таблица 2

Условная плотность древесины сосны

№ ПП	Условная плотность, г/см ³	Радиальный прирост, мм	№ ПП	Условная плотность, г/см ³	Радиальный прирост, мм
1	0,340 \pm 0,010	2,6 \pm 0,14	7	0,410 \pm 0,014	1,6 \pm 0,16
2	0,490 \pm 0,013	1,2 \pm 0,13	8	0,380 \pm 0,012	2,4 \pm 0,15
3	0,440 \pm 0,012	0,8 \pm 0,14	9	0,380 \pm 0,018	2,5 \pm 0,13
4	0,580 \pm 0,040	0,4 \pm 0,09	10	0,400 \pm 0,015	2,0 \pm 0,14
5	0,390 \pm 0,012	1,7 \pm 0,14	11	0,390 \pm 0,022	3,0 \pm 0,21
6	0,370 \pm 0,018	2,0 \pm 0,15	12	0,440 \pm 0,038	0,6 \pm 0,08

Условная плотность древесины сосны в насаждении изменяется от малой до средней. Наибольшая изменчивость $\rho_{\text{усл}}$ у древесины сосны, произрастающей на болоте (29 %), наименьшая – в рядовых посадках (5 %). В сосняках черничных она составляет около 10 %.

По усредненным значениям условной плотности древесины сосны, произрастающей в различных лесорастительных условиях, установлена высокая теснота связи с радиальным приростом ($r = -0,89$ при $t = 13,4$) и возрастом насаждения ($r = 0,88$ при $t = 11,3$). Однако на уровне дерева или на уровне насаждения связи между данными показателями не обнаружено, но отмечается умеренная теснота связи $\rho_{\text{усл}}$ с процентом поздней древесины ($r = 0,37...0,47$ при $t = 2,3...4,6$).

Между условной плотностью древесины сосны и ее влажностью выявлена обратная значительная теснота связи ($r = -0,53...-0,55$ при $t = 3,9...5,1$).

Для получения микроскопических характеристик древесины сосны были изучены годовые кольца, заложенные в 2008–2010 гг. Установлено, что толщина стенок поздних трахеид изменяется от 4,2 до 9,9 мкм, диаметр люмена – от 10,5 до 22,0 мкм, количество рядов – от 7 до 30 шт.; толщина стенок ранних трахеид – от 1,3 до 4,2 мкм, диаметр люмена – от 40,0 до 67,0 мкм, количество рядов – от 6 до 34 шт. Для условной плотности древесины сосны со всеми показателями отмечается криволинейная корреляция от умеренной до значительной, с диаметром смоляных ходов – высокая (табл. 3).

Таблица 3

**Зависимость условной плотности древесины сосны
от ее микроскопических характеристик**

Показатель связи*	Поздние трахеиды			Ранние трахеиды			Диаметр смоляных ходов, мкм
	толщина стенки	диаметр люмена	количество рядов	толщина стенки	диаметр люмена	количество рядов	
	мкм		рядов	мкм		рядов	
r	0,34	0,16	0,06	0,23	-0,24	-0,16	0,29
m_r	0,18	0,19	0,20	0,19	0,19	0,20	0,19
t_r	1,9	0,7	0,3	1,2	1,2	0,8	1,5
η	0,62	0,40	0,55	0,46	0,54	0,45	0,71
m_η	0,13	0,17	0,14	0,16	0,14	0,16	0,10
t_η	4,9	2,3	3,8	2,8	3,7	2,8	7,0

* r – коэффициент корреляции; m_r – ошибка коэффициента корреляции; t_r – достоверность; η – корреляционное отношение; m_η – ошибка корреляционного отношения; t_η – достоверность.

Изменение условной плотности в поперечном направлении ствола сосны можно описать следующими моделями (рис. 1): модель 1 характеризуется снижением $\rho_{\text{усл}}$ в средней части радиуса ствола, модель 2 – повышением $\rho_{\text{усл}}$ в средней части радиуса ствола, модель 3 – повышением $\rho_{\text{усл}}$ от сердцевины к коре, модель 4 – понижением $\rho_{\text{усл}}$ от сердцевины к коре.

Наиболее часто встречается модель 2 (табл. 4). На разных ПП (1–7) доминирование моделей изменяется, однако связи конкретной модели с полнотой древостоя и морфометрическими характеристиками дерева не установлено. Так, однофакторный дисперсионный анализ не выявил влияния на этот показатель относительной высоты и диаметра кроны ($\eta^2 = 0,06 \pm 0,04$ при $F = 1,47 < F_{st} = 2,8$; $\eta^2 = 0,07 \pm 0,04$ при $F = 1,8 < F_{st} = 2,8$ соответственно).

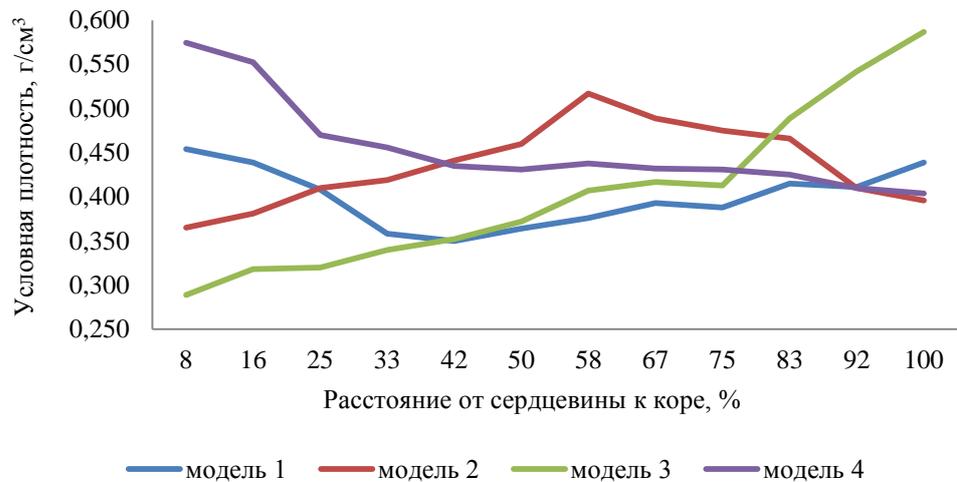


Рис. 1. Изменение плотности древесины сосны вдоль радиуса ствола

Таблица 4

Встречаемость (%) моделей изменения плотности древесины сосны вдоль радиуса ствола

№ ПП	Модель 1	Модель 2	Модель 3	Модель 4
1	50	33	–	17
2	7	50	43	–
3	–	73	20	7
4	31	15	15	39
5	31	50	–	19
6	8	76	8	8
7	7	43	50	–

Отмечается достоверная, но слабая зависимость изменения плотности древесины сосны вдоль радиуса ствола от возраста дерева ($\eta^2 = 0,15 \pm 0,04$ при $F = 3,76 < F_{st} = 2,8$).

Наибольшая условная плотность древесины в центральной части ствола характерна для большинства (более 67 %) деревьев сосны (модели 1 и 4) в древостоях с низкой относительной полнотой (ПП 1 и 2).

Заключение

Условная плотность древесины сосны в северной подзоне тайги составляет 0,340...0,580 г/см³, в средней подзоне тайги в сосняках черничных она ниже на 7...22 %, у сосны по болоту – на 24 %. Корреляционная связь условной плотности древесины с ее анатомическими характеристиками – от умеренной до значительной, что указывает на их комплексное воздействие. Изменение условной плотности в поперечном направлении ствола сосны предложено характеризовать 4 моделями. Зависимости типа модели от морфометрических характеристик дерева не выявлено. Отсутствие защиты полога древостоя на первых этапах развития дерева приводит к формированию наибольшей условной плотности древесины в центральной части ствола.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Данилов Д.А., Скупченко В.Б. Изменения в строении древесины сосны и ели на анатомическом уровне в древостоях, пройденных рубками ухода и комплексным уходом // Лесн. журн. 2014. № 5. С. 70–88. (Изв. высш. учеб. заведений).
2. Ермакова М.В., Бессонова Т.П. Связь морфологических нарушений ствола с характеристиками древесины и размерами междоузлий у деревьев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) I класса возраста // Аграр. вестн. Урала. 2010. № 1(67). С. 70–72.
3. Козлов В.А., Кистерная М.В., Неронова Я.А. Влияние лесохозяйственных мероприятий на плотность и химический состав древесины сосны обыкновенной // Лесн. журн. 2009. № 6. С. 7–13. (Изв. высш. учеб. заведений).
4. Краснов А.В., Гурский А.А. Изменение плотности древесины сосны в насаждениях государственной защитной лесной полосы Оренбургского лесхоза // Изв. Оренбург. гос. аграр. ун-та. 2007. Т. 3, № 15-1. С. 42–44.
5. Полубояринов О.И. Плотность древесины. М.: Лесн. пром-сть, 1976. 160 с.
6. Рекомендации по оценке строения, товарной структуры и качества древесины разновозрастных ельников с целью организации выборочного хозяйства: метод. рекомендации. Л.: ЛенНИИЛХ, 1989. 55 с.
7. Уголев Б.Н. Древесиноведение с основами лесного товароведения: учеб. для лесотехн. вузов. М.: МГУЛ, 2001. 340 с.
8. Федюков В.И., Салдаева Е.Ю., Цветкова Е.М. Ранняя диагностика технического качества подростка как важный элемент интенсификации лесопользования в России // Лесн. журн. 2012. № 6. С. 16–23. (Изв. высш. учеб. заведений).
9. Шаранов Е.С., Королев А.С., Хисамеева А.Р. Исследование влияния термической модификации на изменение плотности древесины по годичным слоям // Вестн. Казан. технол. ун-та. 2013. Т. 16, № 22. С. 101–103.
10. Щекалев Р.В., Тарханов С.Н. Радиальный прирост и качество древесины сосны обыкновенной в условиях атмосферного загрязнения. Екатеринбург: УрО РАН, 2006. 127 с.
11. Fries A., Ericsson T. Estimating Genetic Parameters for Wood Density of Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) // *Silvae Genetica*. 2006. No. 55. Pp. 84–92.
12. Hannrup B., Danell Ö., Ekberg I., Moëll M. Relationships Between Wood Density and Tracheid Dimensions in *Pinus sylvestris* L. // *Wood and Fiber Science*. 2001. Vol. 33, no. 2. Pp. 173–181.

13. Hannrup B., Ekberg I., Persson A. Genetic Correlations among Wood, Growth Capacity and Stem Traits in *Pinus sylvestris* // Scandinavian Journal of Forest Research. 2000. Vol. 15, iss. 2. Pp. 161–170.
14. Kang K.-Y., Zhang S.Y., Mansfield S.D. The Effects of Initial Spacing on Wood Density, Fibre and Pulp Properties in Jack Pine (*Pinus banksiana* L.) // Holzforschung. 2004. Vol. 58, iss. 5. Pp. 455–468.
15. Missanjo E., Matsumura J. Multiple Trait Selection Index for Simultaneous Improvement of Wood Properties and Growth Traits in *Pinus kesiya* Royle ex Gordon in Malawi // Forests. 2017. Vol. 8, iss. 4. Pp. 96–102.
16. Mörling T. Evaluation of Annual Ring Width and Ring Density Development Following Fertilisation and Thinning of Scots Pine // Annals of Forest Science. 2002. Vol. 59, no. 1. Pp. 29–40.
17. Peltola H., Gort J., Pulkkinen P., Gerendain A.Z., Karppinen J., Ikonen V.-P. Differences in Growth and Wood Density Traits in Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) Genetic Entries Grown at Different Spacing and Sites // Silva Fennica. 2009. Vol. 43, no. 3. Pp. 339–354.
18. Wang T., Aitken S.N., Rozenberg P., Millie F. Selection for Improved Growth and Wood Density in Lodgepole Pine: Effects on Radial Patterns of Wood Variation // Wood and Fiber Science. 2000. Vol. 32, no. 4. Pp. 391–403.
19. Wilhelmsson L., Arlinger J., Spångberg K., Lundqvist S.-O., Grahn T., Hedenberg Ö., Olsson L. Models for Predicting Wood Properties in Stems of *Picea abies* and *Pinus sylvestris* in Sweden // Scandinavian Journal of Forest Research. 2002. Vol. 17, iss. 4. Pp. 330–350.

Поступила 18.05.17

UDC 630*812

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.6.56

Wood Density of Scots Pine in Different Growth Conditions

*O.N. Tyukavina*¹, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor

*D.N. Klevtsov*¹, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor

*I.I. Drozdov*², Doctor of Agricultural Sciences, Professor

*V.I. Melekhov*¹, Doctor of Engineering Sciences, Professor

¹Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 17, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation;

e-mail: olga-tukavina@yandex.ru

²Mytishchi Branch of Bauman Moscow State Technical University, Pervaya Institutskaya ul., 1, Mytishchi, Moscow oblast, 141005, Russian Federation; ph.: +7 (498) 687-38-88

Wood density is a quality indicator of wood raw materials, depending both on morphological and anatomical characteristics of trees, and on ecological conditions of their growth. The goal of research is to study the conventional pinewood density in various sites and to reveal the dependence of this indicator on its anatomical characteristics. We establish permanent sample plots in pine plantations of the Arkhangelsk, Severodvinsk and

For citation: Tyukavina O.N., Klevtsov D.N., Drozdov I.I., Melekhov V.I. Wood Density of Scots Pine in Different Growth Conditions. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2017, no. 6, pp. 56–64. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.6.56

Verkhnyaya Toyma forest districts of the Arkhangelsk region. The conventional wood density is determined by the method of maximum humidity of samples of a relatively small volume. The conventional pinewood density in the northern taiga subzone is 0.340...0.580 g/cm³, it is lower by 7...22 % in the middle subzone in pine myrtillus forests, and in mires – by 24 %. We mark a high strength of relationship of conventional pinewood density and the radial increment and age of plantation under different growth conditions according to the averaged values. However, at the tree or plantation level, we do not observe any correlation between these indicators, but a moderate strength of relationship between this indicator and the latewood percent. The authors establish a curvilinear correlation from moderate to significant between the thickness of walls of tracheids, lumen diameter, number of rows of early and late tracheids and conventional pinewood density; and only with the resin channels diameter it is high. We can describe the change in conventional density in the transverse direction of pine trunk by the following models: the model 1 is characterized by a decrease in the conventional density in the middle part of the trunk radius; the model 2 – by its increase in the middle part of the trunk radius; the model 3 – by an increase in the conventional density from pith to bark; the model 4 – by its decrease. The model 2 is the most frequent. We do not reveal the dependence of the model type on the tree morphometric characteristics. The highest conventional wood density in the central part of the trunk is typical for the majority (more than 67 %) of pine trees growing in line plantings and in mires.

Keywords: conventional wood density, radial increment, latewood percent, tracheid, model.

REFERENCES

1. Danilov D.A., Skupchenko V.B. *Izmeneniya v stroenii drevesiny sosny i eli na anatomicheskom urovne v drevostoyakh, proydennykh rubkami ukhoda i kompleksnym ukhodom* [Changes in the Structure of Pine and Spruce on the Anatomical Level in the Stands Passed Cutting and Complex Care]. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2014, no. 5, pp. 70–88.
2. Ermakova M.V., Bessonova T.P. *Svyaz' morfologicheskikh narusheniy stvola s kharakteristikami drevesiny i razmerami mezhdouzliy u derev'ev sosny obyknovennoy (Pinus sylvestris L.) I klassa vozrasta* [The Relationship of Trunk Morphology Distortion with Wood Characteristics and Merithallus Sizes of Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) of the 1st Age Class]. *Agrarnyy vestnik Urala* [Agrarian Bulletin of the Urals], 2010, no. 1(67), pp. 70–72.
3. Kozlov V.A., Kisternaya M.V., Neronova Ya.A. *Vliyanie lesokhozyaystvennykh meropriyatiy na plotnost' i khimicheskii sostav drevesiny sosny obyknovennoy* [Influence of Forestry Measures on Density and Chemical Wood Composition of Scotch Pine]. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2009, no. 6, pp. 7–13.
4. Krasnov A.V., Gurskiy A.A. *Izmenenie plotnosti drevesiny sosny v nasazhdeniyakh gosudarstvennoy zashchitnoy lesnoy polosy Orenburgskogo leskhoza* [Pine Timber Density Variations in the State Forest Shelterbelts of the Orenburg Forest Enterprise]. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Izvestia of Orenburg State Agrarian University], 2007, vol. 3, no. 15-1, pp. 42–44.
5. Poluboyarinov O.I. *Plotnost' drevesiny* [Wood Density]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1976. 160 p. (In Russ.)
6. *Rekomendatsii po otsenke stroeniya, tovarnoy struktury i kachestva drevesiny raznovozrastnykh el'nikov s tsel'yu organizatsii vyborochnogo khozyaystva* [Recommendations on the Evaluation of the Structure, Commodity Structure and Quality of

Wood of Uneven-Aged Spruce Forests with a View of the Selection System Management]. Leningrad, Leningrad Scientific Research Institute of Forestry Publ., 1989. 55 p. (In Russ.)

7. Ugolev B.N. *Drevesinovedenie s osnovami lesnogo tovarovedeniya* [Wood Science with the Principles of Forest Commodity Science]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 2001. 340 p. (In Russ.)

8. Fedyukov V.I., Saldaeva E.Yu., Tsvetkova E.M. Rannyya diagnostika tekhnicheskogo kachestva podrosta kak vazhnyy element intensivifikatsii lesopol'zovaniya v Rossii [Early Diagnosis of the Undergrowth Technical Quality as an Important Element of the Forest Management Intensification in Russia]. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2012, no. 6, pp. 16–23.

9. Sharapov E.S., Korolev A.S., Khisameeva A.R. Issledovanie vliyaniya termicheskoy modifikatsii na izmenenie plotnosti drevesiny po godichnym sloyam [The Influence of Thermal Modification on the Change in Wood Density by Annual Rings]. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta* [Herald of Kazan Technological University], 2013, vol. 16, no. 22, pp. 101–103.

10. Shchekalev R.V., Tarkhanov S.N. *Radial'nyy prirost i kachestvo drevesiny sosny obyknovennoy v usloviyakh atmosfernogo zagryazneniya* [Radial Increment and Quality of Pine Wood in Conditions of Atmospheric Pollution]. Yekaterinburg, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences Publ., 2006. 127 p. (In Russ.)

11. Fries A., Ericsson T. Estimating Genetic Parameters for Wood Density of Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.). *Silvae Genetica*, 2006, no. 55, pp. 84–92.

12. Hannrup B., Danell Ö., Ekberg I., Moëll M. Relationships Between Wood Density and Tracheid Dimensions in *Pinus sylvestris* L. *Wood and Fiber Science*, 2001, vol. 33, no. 2, pp. 173–181.

13. Hannrup B., Ekberg I., Persson A. Genetic Correlations among Wood, Growth Capacity and Stem Traits in *Pinus sylvestris*. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 2000, vol. 15, iss. 2, pp. 161–170.

14. Kang K.-Y., Zhang S.Y., Mansfield S.D. The Effects of Initial Spacing on Wood Density, Fibre and Pulp Properties in Jack Pine (*Pinus banksiana* Lamb.). *Holzforschung*, 2004, vol. 58, iss. 5, pp. 455–468.

15. Missanjo E., Matsumura J. Multiple Trait Selection Index for Simultaneous Improvement of Wood Properties and Growth Traits in *Pinus kesiya* Royle ex Gordon in Malawi. *Forests*, 2017, vol. 8, iss. 4, pp. 96–102.

16. Mörling T. Evaluation of Annual Ring Width and Ring Density Development Following Fertilisation and Thinning of Scots Pine. *Annals of Forest Science*, 2002, vol. 59, no. 1, pp. 29–40.

17. Peltola H., Gort J., Pulkkinen P., Gerendiain A.Z., Karppinen J., Ikonen V.-P. Differences in Growth and Wood Density Traits in Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) Genetic Entries Grown at Different Spacing and Sites. *Silva Fennica*, 2009, vol. 43, no. 3, pp. 339–354.

18. Wang T., Aitken S.N., Rozenberg P., Millie F. Selection for Improved Growth and Wood Density in Lodgepole Pine: Effects on Radial Patterns of Wood Variation. *Wood and Fiber Science*, 2000, vol. 32, no. 4, pp. 391–403.

19. Wilhelmsson L., Arlinger J., Spångberg K., Lundqvist S.-O., Grahn T., Hedenberg Ö., Olsson L. Models for Predicting Wood Properties in Stems of *Picea abies* and *Pinus sylvestris* in Sweden. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 2002, vol. 17, iss. 4, pp. 330–350.

Received on May 18, 2017