

Ю.П. Демаков, Е.С. Шарапов, А.С. Королев, О.В. Шейкина

МЕТОДИКА ЭКСПРЕСС-ОЦЕНКИ ПЛОТНОСТИ ДРЕВЕСИНЫ В ЦЕНОПОПУЛЯЦИЯХ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ

Введение. Ценопопуляции древесных растений представляют собой сложные самоорганизующиеся и саморазвивающиеся системы, в которых все деревья активно взаимодействуют между собой, оказывая друг на друга определенное влияние, исходя из своих наследственных, сугубо индивидуальных способностей, отраженных в их фенотипе [Животовский, 1984; Романовский, 1994; Цветков, 2004; Романовский, Щёкалев, 2014; Lilja, Kuuluvainen, 2005]. Одним из важнейших целевых параметров деревьев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), на который следует ориентироваться при оценке хозяйственной и селекционной ценности их природных ценопопуляций, является плотность древесины [Полубояринов, 1976; Мелехов и др., 2003; Данилов, Степаненко, 2014; Тюкавина и др., 2017; Auty et al., 2014; Kimberley et al., 2016; Šilinskas et al., 2020; Fabisiak, Fabisiak, 2021; Konofalska et al., 2021; Szaban et al., 2023; Gil-Moreno et al., 2024; Sharapov et al., 2024]. Точность и трудоемкость процедуры оценки этого параметра во многом зависят от выбора ее методики, основанной на данных натурных исследований и законах математической статистики. Необходимым условием является также детальное изучение влияния на величину значений этого параметра внешних и внутренних факторов, в том числе и режимов выращивания насаждений, используя при этом новейший арсенал аппаратуры.

Целью данной работы являлась оптимизация методики оценки базисной плотности древесины в природных ценопопуляциях сосны обыкновенной, обеспечивающая необходимую ее точность и снижение трудозатрат.

Материалы и методы. Исследования проведены в 2023–2024 гг. на 38 объектах в чистых по составу древостоях сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) разного возраста (от 30 до 240 лет), происхождения и условий произрастания, находящихся на территории Марийского Заволжья. На каждом из объектов у деревьев на высоте 1,3 м от корневой шейки измеряли диаметр ствола в коре и брали с северной его стороны с помощью бурава Пресслера (Haglöf Sweden AB, Лонгселе, Швеция) цилиндрические керны диаметром 5,15 мм и длиной 50 мм, которые помещали в индивидуальные пластиковые контейнеры для сохранения влажности древесины. Объем выборки кернов на каждом из объектов варьировал от 15 до 130 шт.

Лабораторные измерения и взвешивание образцов проводили в течение этого же дня. Базисную плотность древесины оценивали стереометрическим и гидростатическим способами. В первом случае объем влажного керна определяли по его геометрическим размерам (длине и среднему диаметру вдоль и поперек волокон), измеренным с помощью штангенциркуля с погрешностью $\pm 0,01$ мм. При использовании гидростатического способа оценки плотности древесины керн предварительно увлажняли для снижения вероятности образования пузырьков воздуха на его поверхности и погружали в измерительную емкость с дистиллированной водой при помощи металлической иглы без касания ее стенок и дна. Измерение массы вытесненной воды ($m_{\text{ов}}$) известной плотности ($\rho_{\text{ов}}$) проводили на весах Vibra ALE-623 (Shinko Denshi Co., Ltd., Токио, Япония) с погрешностью 10^{-6} кг. После этого керны высушивали при температуре 103°C до постоянной массы, для измерения которой использовали эти же весы. Для расчета базисной плотности древесины использовали следующие выражения: стереометрический способ:

$$\rho_c = m_0 / V_{\text{max}}, \quad (1)$$

гидростатический способ:

$$\rho_c = (m_0 \cdot \rho_{\text{ов}}) / m_{\text{ов}}, \quad (2)$$

где ρ_c , ρ_c – стереометрическая и гидростатическая плотность древесины керна (образца), $\text{кг} \times \text{м}^{-3}$; m_0 – масса образца в абсолютно сухом состоянии, кг; V_{max} – объем образца керна цилиндрической формы при влажности древесины растущего дерева, м^3 ; $\rho_{\text{ов}}$ – плотность дистиллированной воды, $\text{кг} \times \text{м}^{-3}$; $m_{\text{ов}}$ – масса вытесненной воды при погружении керна в емкость, кг.

Цифровой эмпирический материал обработан стандартными методами математической статистики [Зайцев, 1991; Гринин и др., 2003] на ПК с использованием пакетов прикладных программ MicrosoftExcel[®] 2016, SigmaPlot 14 (Systat Software Inc., Сан-Хосе, СА, США) и Statistica 10 (Dell, Паунд-Рок, TX, США). Определение достоверности различий между групповыми средними значениями параметров проведено с доверительной вероятностью 95%. Большие по объему выборки разбивали последовательно на ряд более мелких, используя это при расчетах для выбора оптимального их объема.

Результаты и их обсуждение. Первым этапом в оптимизации методики оценки плотности древесины у живых деревьев в лесу, не нарушающей их целостности и жизнеспособности, является выбор способа отбора образцов. Наиболее простым и надежным из них является использование бурава Пресслера (Haglöf Sweden AB, Лонгселе, Швеция), позволяющего извлекать цилиндрические керны древесины диаметром 5,15 мм

[Колесникова, 2002; Downes et al., 2018]. Для снижения влияния факторов, которые потенциально могут влиять на вариабельность оцениваемого параметра, керны целесообразно отбирать только с одной стороны деревьев (лучше с северной) на высоте 1,3 м от корневой шейки и сразу же помещать в герметичные индивидуальные замаркированные пластиковые контейнеры (пробирки) для исключения потерь влажности древесины. Керны должны охватывать только заболонную часть древесины, что соответствует их длине около 50 мм. Трудозатраты на взятие одного керна, его упаковку и маркировку не превышают при этом 2–3 мин.

Для определения плотности древесины применяют [Полубояринов, 1976] два способа – гидростатический и стереометрический. Расчеты показали, что различия между этими способами не превышают в большинстве случаев $\pm 3\%$ (рис. 1), т. е. не выходят за пределы требуемой точности опыта. В связи с этим оценивать величину данного параметра целесообразно более простым стереометрическим способом.

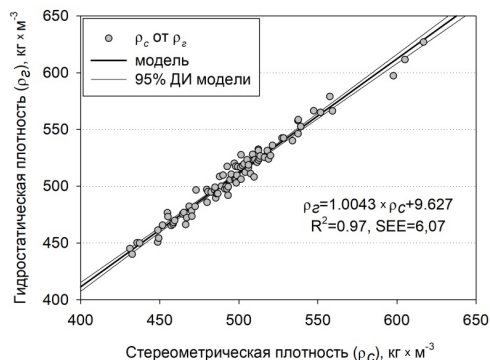


Рис. 1. Связь между значениями базисной плотности древесины, оцененной разными способами: ДИ – доверительный интервал для модели

Fig. 1. The relations between the base density values obtained by different methods: ДИ – confidence interval for the model

Исследования показали, что величина базисной плотности древесины изменяется у всей совокупности обследованных деревьев от 291 до 660 $\text{кг} \times \text{м}^{-3}$, варьируя в каждой однородной по своим параметрам выборке в очень больших пределах. Установлено, что зависит она в основном от возраста деревьев (рис. 2), а также особенностей их генотипа [Лацевич, 2001; Мельник и др., 2007; Марущак, Максимов, 2014], которые четко проявились в архиве клонов. Условия же произрастания древостоев и их густота

существенного влияния на величину этого параметра не оказывают [Sharapov et al., 2024]. Плотность древесины очень слабо коррелирует также с диаметром ствола и его текущим приростом (рис. 3), исходя из чего оценку данного параметра в ценопопуляции можно проводить любым удобным способом (регулярно по ходовой линии или случайно) у средних по размеру деревьев. Весьма важно определиться при этом с оптимальным их количеством в выборке, обеспечивающим достижение необходимой точности оценки при наименьших трудозатратах. Теоретической основой является в этом случае закон Гаусса-Лапласа распределения величины оцениваемого показателя в генеральной совокупности, с которым хорошо согласуются наши эмпирические данные (рис. 4).

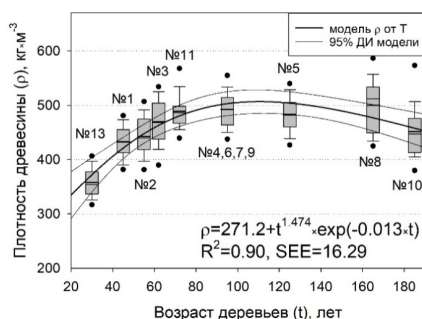


Рис. 2. Зависимость среднего значения базисной плотности древесины (ρ , $\text{кг} \times \text{м}^{-3}$) в ценопопуляции сосны обыкновенной от возраста древостоев (t , лет). R^2 – коэффициент детерминации, SEE – стандартная ошибка аппроксимации (коэффициенты модели значимы). Цифрами обозначены диаграммы размаха, соответствующие выборкам значений плотности. Границы «ящика» диаграмм размаха – 25-й и 75-й процентиля, границы «усов» – 10-й и 90-й процентиля, точки – 5-й и 95-й процентиля соответственно, тонкая линия в середине «ящика» – медиана, жирная линия – среднее.

Fig. 2. The dependence of the mean base density of the wood (ρ , $\text{kg} \times \text{m}^{-3}$) in the Scots pine cenopopulation on the tree age (t , years).

R^2 is a coefficient of determination, SEE is a standard error of estimate (the model coefficients are significant). The numbers indicate the box plots corresponding to the density value samples. The box boundaries of the box plots are the 25th and 75th percentiles, the boundaries of the whiskers are the 10th and 90th percentiles, the dots are the 5th and 95th percentiles, respectively, a thin line in the middle of the box is a median, and a bold line is the mean value.

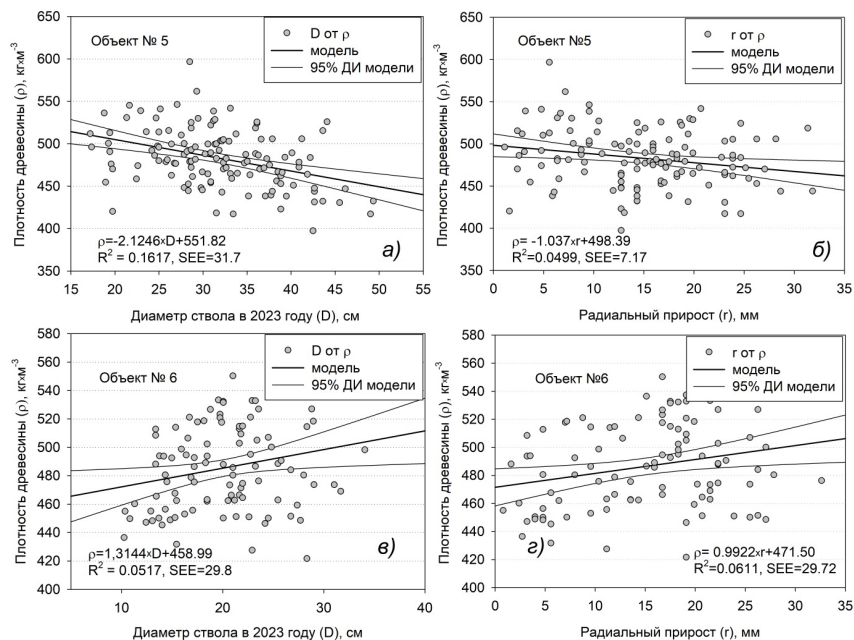


Рис. 3. Характер влияния диаметра деревьев и величины радиального прироста их ствола за последние 20 лет на величину базисной плотности древесины: ДИ – доверительный интервал модели; а, б – объект № 5 (125-летний сосняк брусничниковый (*Pinetum vacciniosum*)); в, г – объект № 6 (95-летний сосняк лишайниковый (*Pinetum cladinosum*))

Fig. 3. The influence type of a tree diameter and a radial increment value of a tree trunk for the recent 20 years on the base density value of wood: CI is a confidence interval for the model; а, б is Plot No.5 (a 125-year cowberry pine forest (*Pinetum vacciniosum*)); в, г is Plot No.6 (a 95-year lichen pine forest (*Pinetum cladinosum*))

Среднеквадратическое (стандартное) отклонение величины плотности древесины у деревьев в ценопопуляциях сосны обыкновенной, которое является основным критерием для обоснования необходимого объема выборки, в очень большой мере зависит, как было нами установлено, от среднего арифметического значения оцениваемого параметра (рис. 5). Расчеты показали, что для оценки среднего значения плотности древесины с погрешностью, не превышающей $\pm 3\%$, достаточно с вероятностью 99% взять керны у 20–25 деревьев (табл. 1). Для оценки же с погрешностью $\pm 5\%$ объем выборки можно снизить до 12–15 деревьев. Предельные значе-

ния плотности древесины у деревьев в ценопопуляциях варьируют от 75 до 140% относительно средней арифметической величины оцениваемого параметра и практически не зависят от нее.

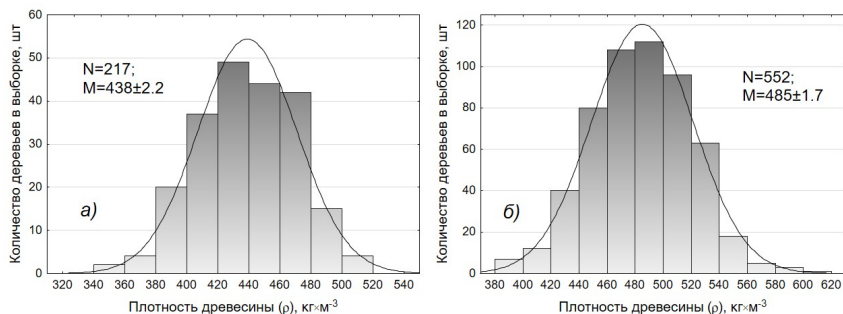


Рис. 4. Гистограммы распределения значений базисной плотности древесины у деревьев сосны обыкновенной в разных их ценопопуляциях: а – группа ценопопуляций с низкой плотностью древесины; б – группа ценопопуляций с высокой плотностью древесины

Fig. 4. Distribution bar charts of the base density values of Scots pine wood in the different pine cenopopulations: а – the cenopopulation group with a low wood density; б – the cenopopulation group with a high wood density

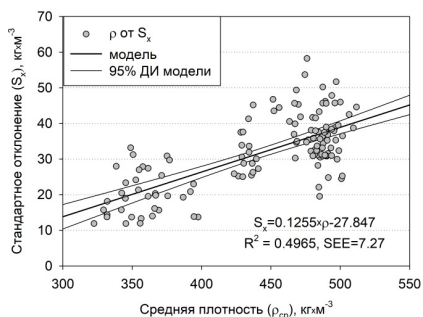


Рис. 5. Зависимость величины среднеквадратического отклонения базисной плотности древесины от среднего арифметического значения этого параметра в ценопопуляциях сосны обыкновенной

Fig. 5. The dependence of a mean-square deviation value of wood base density on the arithmetic mean value of this parameter in the Scots pine cenopopulations

Таблица 1

Влияние объема выборки в ценопопуляциях сосны обыкновенной на точность оценки плотности древесины**The influence of a sample size in the Scots pine cenopopulations on the accuracy of wood density assessment**

Объем выборки	Значения статистических показателей относительной погрешности оценки, %				
	$M \pm m$	$X_{\min}$	$X_{\max}$	S_x	$M+3 \times S_x$
15	$1,60 \pm 0,08$	0,87	2,69	0,49	3,06
20	$1,74 \pm 0,07$	0,90	2,74	0,37	2,85
25	$1,54 \pm 0,07$	0,91	2,11	0,32	2,51
30	$1,39 \pm 0,07$	0,87	2,13	0,34	2,42
50	$1,05 \pm 0,06$	0,76	1,49	0,21	1,69
100	$0,76 \pm 0,05$	0,63	0,96	0,11	1,11

Примечание: $M \pm m$ – среднее значение параметра и его ошибки; $X_{\min}$, $X_{\max}$ – минимальное и максимальное значения параметра; S_x – стандартное отклонение значений параметра; $M+3 \times S_x$ – возможный предел отклонения от среднего при вероятности 95%.

Закключение. Исследования показали, что для оценки среднего значения плотности древесины, которое может изменяться в ценопопуляциях сосны обыкновенной от 320 до 520 кг×м⁻³, достаточно взять керны у 20–25 средних по размеру деревьев, что обеспечит с вероятностью 99% погрешность не более $\pm 3\%$, а для оценки же с погрешностью $\pm 5\%$ – у 12–15. Минимальное и максимальное значения оцениваемого параметра теоретически будут составлять соответственно 75 и 140% относительно средней арифметической его величины в выборке. Деревья в ценопопуляциях для оценки данного параметра можно отбирать либо регулярно по ходовой линии, либо случайным образом, исключая лишь особи, резко выделяющиеся по размерам. Базисную плотность древесины целесообразнее оценивать стереометрическим способом, поскольку он по точности не уступает гидростатическому, который более сложен и трудоемок.

Сведения о финансировании. Работа выполнена за счет гранта Российского научного фонда № 23-16-00220 (<https://rscf.ru/project/23-16-00220/>).

Благодарности. Работа выполнена с использованием оборудования ЦКП «Экология, биотехнологии и процессы получения экологически чистых энергоносителей» Поволжского государственного технологического университета, г. Йошкар-Ола.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Библиографический список

Гринин А.С., Орехов Н.А., Новиков В.Н. Математическое моделирование в экологии. М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2003. 269 с.

Данилов Д.А., Степаненко С.М. Строение и плотность древесины ели и сосны в плантационных культурах Ленинградской области // Известия Санкт-Петербургской Лесотехнической Академии. 2014. Вып. 204. С. 35–45.

Животовский Л.А. Интеграция полигенных систем в популяциях. Проблемы анализа комплекса признаков. М.: Наука, 1984. 183 с.

Зайцев Г.Н. Математический анализ биологических данных. М.: Наука, 1991. 182 с.

Колесникова А.А. Исследование свойств древесины по кернам: Научное издание. Йошкар-Ола: Марийский Государственный Технический Университет, 2002. 178 с.

Лацевич А.В. Свойства древесины сосны обыкновенной разного географического происхождения // Труды Брянского государственного технологического университета. Серия: Лесное хозяйство. 2001. Вып. 9. С. 143–146.

Марущак В.Н., Максимов С.А. Наследуемость механических свойств у древесины у сосны обыкновенной в географических культурах // Вестник Алтайского Государственного Аграрного Университета. 2014. № 11 (121). С. 65–69.

Мелехов В.И., Бабич Н.А., Корчагов С.А. Качество древесины сосны в культурах. Архангельск.: Изд-во АГТУ, 2003. 110 с.

Мельник П.Г., Савосько С.В., Станко Я.Н., Дюжина И.А., Степанова О.В. Географическая изменчивость продуктивности и физико-механических свойств древесины сосны обыкновенной // Лесной Вестник. 2007. № 6. С. 33–38.

Полубояринов О.И. Плотность древесины. М.: Лесн. пром-сть, 1976. 160 с.

Романовский М.Г. Полиморфизм древесных растений по количественным признакам. М.: Наука, 1994. 96 с.

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

Тюкавина О. Н., Клевцов Д.Н., Дроздов И.И., Мелехов В.И. Плотность древесины сосны обыкновенной в различных условиях произрастания // ИВУЗ. Лесной журнал. 2017. № 6. С. 6–64. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.6.56

Цветков В.Ф. Лесной биогеоценоз. Архангельск: Изд-во Архангельского гос. тех. ун-та, 2004. 268 с.

Auty D., Achim A., Macdonald E., Cameron A.D., Gardiner B.A. Models for predicting wood density variation in Scots pine // Forestry: An International Journal of Forest Research. 2014. Vol. 87, iss. 3. P. 449–458. <https://doi.org/10.1093/forestry/cpu005>

Downes G.M., Lausberg M., Potts B.M., Pilbeam D.L., Bird M., Bradshaw B. Application of the IML Resistograph to the infield assessment of basic density in plantation eucalypts // Australian Forestry. 2018. Vol. 81, iss. 3. P. 177–185. DOI: <https://doi.org/10.1080/00049158.2018.1500676>

Fabisiak E., Fabisiak B. Relationship of tracheid length, annual ring width, and wood density in Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) trees from different social classes of tree position in the stand // Bioresources. 2021. Vol. 16, no. 4. P. 7492–7508. <https://doi.org/10.15376/biores.16.4.7492-7508>

Gil-Moreno B., Manso R., O’Ceallaigh C., Harte A.M. The influence of age on the timber properties and grading of Scots pine and larch in Ireland // Forestry: An International Journal of Forest Research. 2024. Vol. 97, no. 1. P. 133–146. <https://doi.org/10.1093/forestry/cpad027>

Kimberley M.O., Cown D.J., McKinley R.B., Moore J.R., Dowling L.J. Modelling variation in wood density within and among trees in stands of New Zealand-grown radiata pine // New Zealand Journal of Forestry Science. 2015. Vol. 45. P. 22. <https://doi.org/10.1186/s40490-015-0053-8>

Konofalska E., Kozakiewicz P., Buraczyk W., Szeligowski H., Lachowicz H. The technical quality of the wood of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) of diverse genetic origin. // Forests. 2021. Vol. 12. No. 5. P. 619. <https://doi.org/10.3390/f12050619>

Lilja S., Kuuluvainen T. Structure of old *Pinus sylvestris* dominated forest stands along a geographic and human impact gradient in mid-boreal Fennoscandia // Silva Fennica. 2005. Vol. 39, no. 3. P. 407–428.

Sharapov E., Demakov Y., Korolev A. Effect of Plantation Density on Some Physical and Technological Parameters of Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.). // Forests. 2024. Vol. 15, no. 2. P. 233. <https://doi.org/10.3390/f15020233>

Šilinskas B., Varnagiryte-Kabašinskiene I., Aleinikovas M., Beniušienė L., Aleinikovienė J., Škema M. Scots pine and Norway spruce wood properties at sites with different stand densities // Forests. 2020. Vol. 11. No. 5. P. 587. <https://doi.org/10.3390/f11050587>

Szaban J., Jelonek T., Okińczyc A., Kowalkowski W. Results of a 57-Year-Long Research on Variability of Wood Density of the Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) from Different Provenances in Poland // Forests. 2023. Vol. 14, no. 3. P. 480. <https://doi.org/10.3390/f14030480>

References

Auty D., Achim A., Macdonald E., Cameron A.D., Gardiner B.A. Models for predicting wood density variation in Scots pine. *Forestry: An International Journal of Forest Research*, 2014, vol. 87, iss. 3, pp. 449–458. <https://doi.org/10.1093/forestry/cpu005>

Danilov D.A., Stepanenko S.M. Structure and density of wood of spruce and pine in forest plantation of Leningrad region. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotekhniceskoj Akademii*, 2014, iss. 204, pp. 35–45. (In Russ.)

Downes G.M., Lausberg M., Potts B.M., Pilbeam D.L., Bird M., Bradshaw B. Application of the IML Resistograph to the infield assessment of basic density in plantation eucalypts. *Australian Forestry*, 2018, vol. 81, iss. 3, pp. 177–185. DOI: <https://doi.org/10.1080/00049158.2018.1500676>

Fabisiak E., Fabisiak B. Relationship of tracheid length, annual ring width, and wood density in Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) trees from different social classes of

tree position in the stand. *Bioresources*, 2021, vol. 16, no. 4, pp. 7492–7508. <https://doi.org/10.15376/biores.16.4.7492-7508>

Gil-Moreno B., Manso R., O’Ceallaigh C., Harte A.M. The influence of age on the timber properties and grading of Scots pine and larch in Ireland. *Forestry: An International Journal of Forest Research*, 2024, vol. 97, no. 1, pp. 133–146. <https://doi.org/10.1093/forestry/cpad027>

Grinin A.S., Orekhov N.A., Novikov V.N. Mathematical modelling in the environmental studies. M.: UNITY-DANA Publ., 2003. 269 p. (In Russ.)

Kimberley M.O., Cown D.J., McKinley R.B., Moore J.R., Dowling L.J. Modelling variation in wood density within and among trees in stands of New Zealand-grown radiata pine. *New Zealand Journal of Forestry Science*, 2015, vol. 45, p. 22. <https://doi.org/10.1186/s40490-015-0053-8>

Kolesnikova A.A. The study of wood properties based on cores: Scientific publication. Yoshkar-Ola: Mari State Technical University Publ., 2002. 178 p. (In Russ.)

Konofalska E., Kozakiewicz P., Buraczyk W., Szeligowski H., Lachowicz H. Thetechnical quality of the wood of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) of diverse genetic origin. *Forests*, 2021, vol. 12, no. 5, p. 619. <https://doi.org/10.3390/f12050619>

Lacevich A.V. Wood properties of Scots pine of different geographical origin. *Publications of the Bryansk State Technological University. Series: Forestry*, 2001, vol. 9, pp. 143–146. (In Russ.)

Lilja S., Kuuluvainen T. Structure of old *Pinus sylvestris* dominated forest stands along a geographic and human impact gradient in mid-boreal Fennoscandia. *Silva Fennica*, 2005, vol. 39, no. 3, pp. 407–428.

Marushchak V.N., Maksimov S.A. Heritability of mechanical properties of Scots pine wood in provenance trials. *Bulletin of Altai State Agricultural University*, 2014, vol. 121, no. 11, pp. 65–69. (In Russ.)

Melekhov V.I., Babich N.A., Korchagov S.A. Quality of pine wood in plantation. Arkhangelsk: Arkhangelsk State Technical University Publ., 2003. 110 p. (In Russ.)

Melnik P.G., Savosko S.V., Stanko Ya.N., Dyuzhina I.A., Stepanova O.V. Geographic variability of productivity and physical and mechanical properties of Scots pine wood. *Lesnoy vestnik / Forestry bulletin*, 2007, no. 6, pp. 33–38. (In Russ.)

Polubojarinov O.I. Wood Density. M.: Lesn. prom-st’ Publ., 1976. 160 p. (In Russ.)

Romanovskiy M.G. Qualitative polymorphism of ligneous plants. M.: Nauka Publ., 1994. 96 p. (In Russ.)

Romanovskiy M.G., Shchekalev R.V. A species system of ligneous plants. M.: Tovarishchestvo nauchnykh izdaniy KMK Publ., 2014. 212 p. (In Russ.)

Sharapov E., Demakov Y., Korolev A. Effect of Plantation Density on Some Physical and Technological Parameters of Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.). *Forests*, 2024, vol. 15, no. 2, p. 233. <https://doi.org/10.3390/f15020233>

Šilinskas B., Varnagiryte-Kabašinskiene I., Aleinikovas M., Beniušienė L., Aleinikovienė J., Škėma M. Scots pine and Norway spruce wood properties at sites

with different stand densities. *Forests*, 2020, vol. 11, no. 5, pp. 587. <https://doi.org/10.3390/f11050587>

Szaban J., Jelonek T., Okińczyc A., Kowalkowski W. Results of a 57-Year-Long Research on Variability of Wood Density of the Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) from Different Provenances in Poland. *Forests*, 2023, vol. 14, no. 3, pp. 480. <https://doi.org/10.3390/f14030480>

Tsvetkov V.F. Forest biogeocenosis. Arkhangelsk: Arkhangelsk State Technical University Publ., 2004. 268 p. (In Russ.)

Tyukavina O.N., Klevtsov D.N., Drozdov I.I., Melekhov V.I. Wood Density of Scots Pine in Different Growth Conditions. *IVUZ. Lesnoy zhurnal*, 2017, no. 6, pp. 56–64. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.6.56. (In Russ.)

Zaitsev G.N. Mathematical analysis of biological data. M.: Nauka, 1991. 182 p. (In Russ.)

Zhivotovskiy L.A. The integration of polygene systems in the populations. The issues of analyzing multiple properties. M.: Nauka Publ., 1984. 183 p. (In Russ.)

Материал поступил в редакцию 27.08.2024

Демаков Ю.П., Шарапов Е.С., Королев А.С., Шейкина О.В. Методика экспресс-оценки плотности древесины в ценопопуляциях сосны обыкновенной // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2024. Вып. 251. С. 202–214. DOI: 10.21266/2079-4304.2024.251.202-214

Приведены данные по вариабельности базисной плотности древесины в чистых по составу ценопопуляциях сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) на территории Республики Марий Эл. Исследования проведены в 2023–2024 годах на 38 объектах в древостоях разного возраста (от 30 до 240 лет), происхождения и условий произрастания. На каждом из них у деревьев измеряли на высоте 1,3 м от корневой шейки диаметр ствола в коре и брали с помощью бурава Пресслера (Haglöf Sweden AB) цилиндрические керны диаметром 5,15 мм и длиной 50 мм. Объем выборки кернов на каждом объекте варьировал от 15 до 130 шт. Цифровой эмпирический материал обработан стандартными методами математической статистики на ПК с использованием пакетов соответствующих прикладных программ. Показано, что для оценки среднего значения плотности древесины, которое может изменяться в ценопопуляциях сосны обыкновенной от 320 до 520 кг·м⁻³, необходимо взять керны у 20–25 средних по размеру деревьев, что обеспечит с вероятностью 99% погрешность не более ± 3%, а для оценки же с погрешностью ± 5% – у 12–15. Минимальное и максимальное значения оцениваемого параметра в каждой ценопопуляции будут составлять соответственно 75 и 140% относительно средней арифметической его величины. Деревья в ценопопуляциях для оценки данного параметра можно отбирать либо регулярно по ходовой линии, либо случайным образом, исключая лишь особи,

резко выделяющиеся по размерам. Базисную плотность древесины целесообразнее оценивать стереометрическим способом, поскольку он по точности не уступает гидростатическому, который более сложен и трудоемок.

Ключевые слова: сосна обыкновенная, ценопопуляции, древесина, базисная плотность, вариабельность, экспресс-оценка, оптимизация объема выборки.

Demakov Yu.P., Sharapov E.S., Korolev A.S., Sheikina O.V. Rapid assessment of wood density in the Scots pine cenopopulations. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotekhnicheskoy Akademii*, 2024, iss. 251, pp. 202–214 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2024.251.202-214

The paper presents the data on the variability of wood base density in the pure Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) cenopopulations in the Mari El Republic. The studies were conducted on 38 plots in the stands of different ages (30 to 240 years old), origins and growing conditions in 2023–2024. In each plot, we measured tree trunks with bark and took cylindrical cores of 5.15 mm in diameter and 50 mm in length using a Pressler increment borer (Haglöf Sweden AB). The sample size in each plot varies from 15 to 30 cores. The numeric empirical material was processed by standard methods of mathematical statistics using a PC with packages of relevant applications. It is demonstrated that the assessment of the mean value of wood density, which may vary in the Scots pine cenopopulations from $320 \text{ kg} \times \text{m}^{-3}$ to $520 \text{ kg} \times \text{m}^{-3}$, requires cores from 20 or 25 trees of the average size that would ensure an error of not more than $\pm 3\%$ with a probability of 99%, while for assessment with an error of $\pm 5\%$, it is necessary to take cores from 12 to 15 trees. The minimum and maximum values of the assessed parameter in each cenopopulation will be 75% and 140%, respectively, in relation to the arithmetic mean of its value. To assess this parameter, trees in the cenopopulations may be selected either regularly along the computation line or randomly, except the trees with sharply outstanding sizes. It is more appropriate to assess the base density of wood by a stereometrical method as it provides the accuracy that is not less than that of a hydrostatic method, which is more difficult and time-consuming.

Keywords: Scots pine, coenopopulations, wood; basis density, variability, rapid assessment, sample size optimization.

ДЕМАКОВ Юрий Петрович – профессор кафедры лесных культур, селекции и биотехнологии Поволжского государственного технологического университета, доктор биологических наук, лауреат Государственной премии Республики Марий Эл. SPIN-код: 1270-0945.

424000, пл. Ленина, д. 3, г. Йошкар-Ола, Россия. E-mail: DemakovYP@volgatech.net

DEMAKOV Yuriy P. – DSc (Biological), Associate Professor, Department of Forest Crops, Breeding and Biotechnology, Volga State University of Technology, Laureate of the State Prize of the Republic of Mari El. SPIN-code: 1270-0945.

424000. Lenin sq. 3. Yoshkar-Ola. Russia. E-mail: DemakovYP@volgatech.net

ШЕЙКИНА Ольга Викторовна – доцент кафедры лесных культур, селекции и биотехнологии Поволжского государственного технологического университета, доктор биологических наук. SPIN-код: 2215-3308. ORCID: 0000-0002-7507-8588. ResearcherID: AAB-2991-2020. Scopus AuthorID: 57219486493.

424000, пл. Ленина, д. 3, г. Йошкар-Ола, Россия. E-mail: shejkinaov@volgatech.net

SHEIKINA Olga V. – DSc (Biological), Associate Professor, Department of Forest Crops, Breeding and Biotechnology, Volga State University of Technology. SPIN-code: 2215-3308. ORCID: 0000-0002-7507-8588. ResearcherID: AAB-2991-2020. Scopus AuthorID: 57219486493.

424000. Lenin sq. 3. Yoshkar-Ola. Russia. E-mail: shejkinaov@volgatech.net

ШАРАПОВ Евгений Сергеевич – профессор кафедры строительных конструкций и водоснабжения Поволжского государственного технологического университета, доцент, доктор технических наук. ORCID: 0000-0002-6500-5377. SPIN-код: 9119-8261. ResearcherID: D-7953-2015

424000, пл. Ленина, д. 3, г. Йошкар-Ола, Россия. E-mail: SharapovES@volgatech.net

SHARAPOV Evgeniy S. – DSc (Technical), Professor, Department of Building Structures and Water Supply, Volga State University of Technology. ORCID: 0000-0002-6500-5377. SPIN-code: 9119-8261. ResearcherID: D-7953-2015

424000. Lenin sq. 3. Yoshkar-Ola. Russia. E-mail: SharapovES@volgatech.net

КОРОЛЕВ Александр Сергеевич – старший научный сотрудник департамента научной и международной деятельности, доцент кафедры безопасности жизнедеятельности Поволжского государственного технологического университета, кандидат технических наук. ORCID: 0009-0000-1370-1285. SPIN-код: 8836-4618.

424000, пл. Ленина, д. 3, г. Йошкар-Ола, Россия. E-mail: KorolevAS@volgatech.net

KOROLEV Alexander S. – PhD (Technical), Senior Researcher Department of scientific and international activities, Associate Professor Department of Emergency Management, Volga State University of Technology. ORCID: 0009-0000-1370-1285. SPIN-code: 8836-4618.

424000. Lenin sq. 3. Yoshkar-Ola. Russia. E-mail: KorolevAS@volgatech.net