

УДК 630\*561.24:812:582.475.4:181

DOI: 10.37482/0536-1036-2020-4-113-122

## **ИЗМЕНЧИВОСТЬ ХАРАКТЕРИСТИК ДРЕВЕСИНЫ *Pinus sylvestris* L. В ДРЕВОСТОЯХ ПРИ ТЕХНОГЕННОМ ВОЗДЕЙСТВИИ**

**Р.В. Щекалев<sup>1</sup>**, канд. биол. наук; *ResearcherID*: [AAH-3861-2019](https://orcid.org/0000-0001-7657-1705), *ORCID*:  
<https://orcid.org/0000-0001-7657-1705>

**А.А. Мартынюк<sup>1</sup>**, д-р с.-х. наук, чл.-кор. РАН; *ResearcherID*: [AAB-7622-2020](https://orcid.org/0000-0001-7592-2614),  
*ORCID*: <https://orcid.org/0000-0001-7592-2614>

**В.И. Мелехов<sup>2</sup>**, д-р техн. наук, проф.; *ResearcherID*: [Q-1051-2019](https://orcid.org/0000-0002-2583-3012), *ORCID*:  
<https://orcid.org/0000-0002-2583-3012>

<sup>1</sup>Всероссийский научно-исследовательский институт лесоводства и механизации лесного хозяйства, ул. Институтская, д. 15, г. Пушкино, Московская обл., Россия, 141202; e-mail: [schekalevrv@yandex.ru](mailto:schekalevrv@yandex.ru)

<sup>2</sup>Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, наб. Северной Двины, д. 17, г. Архангельск, Россия, 163002, e-mail: [v.melekhov@narfu.ru](mailto:v.melekhov@narfu.ru)

Вопросы изменчивости характеристик древесины сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в насаждениях, произрастающих в зонах влияния промышленных объектов, не теряют своей актуальности. Цель работы – анализ техногенного воздействия на радиальный прирост и физико-механические характеристики древесины сосны в условиях северной тайги. Проанализировано влияние расстояния от источника промышленных выбросов на изменчивость радиального прироста, объемных и технических характеристик древесины. Сформированы карты распределения условной плотности древесины и ее сопротивления сжатию вдоль волокон внутри ствола. Выявлено, что с сокращением расстояния до источника выбросов происходит снижение средней величины радиального прироста деревьев. Установлено снижение плотности древесины от основания к верхней части дерева и от сердцевины ствола к его заболони. Определена тенденция повышения ее плотности с уменьшением расстояния до источника эмиссий. Достоверных различий показателя сопротивления древесины сжатию вдоль волокон на разном расстоянии от источника выбросов не обнаружено.

**Для цитирования:** Schekalev R.V., Martynyuk A.A., Melekhov V.I. Variability Properties of *Pinus sylvestris* L. Wood in Growing Stock under the Technogenic

*Ключевые слова:* сосна, древесина, радиальный прирост, плотность древесины, сопротивление древесины сжатию вдоль волокон, расстояние до источника выбросов.

### *Введение*

Изучение неоднородности ствола деревьев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) по физико-механическим характеристикам древесины представляет практический интерес. Такие исследования помогают лучше понять процесс формирования древесины на различных возрастных этапах роста дерева и в зависимости от условий произрастания [14, 15]. В сочетании с изучением прироста показатели плотности древесины позволяют также оценить интенсивность работы камбия в различных зонах ствола [19, 34]. С точки зрения лесопереработки равномерность плотности древесины внутри ствола является его достоинством, а резкие перепады прочностных характеристик древесины внутри ствола (вдоль и поперек его сечения) относятся к нежелательным факторам для большинства товарных сортиментов [12].

Очевидно, что в пределах одного насаждения физические и механические свойства древесины отдельных деревьев могут существенно различаться. Обычно варьирование этих свойств находится на низком уровне изменчивости. Например, удельный вес древесины сосны обыкновенной в воздушно-сухом состоянии колеблется от 0,41 до 0,60 г/см<sup>3</sup>. Предполагается, что деревья одного класса возраста, близкие по развитию и произрастающие в идентичных условиях, формируют древесину со схожими свойствами [3, 13, 22, 25, 26, 32]. При продвижении из северных районов ареала в более южные у сосны снижаются технические характеристики древесины. Согласно имеющимся данным [3, 16, 28, 33], среднее значение ее сопротивления при сжатии вдоль волокон в условиях Европейского Севера составляет 450...500, в Центрально-Европейских районах – 439, на территории Украины и Беловежской Пуши – соответственно 384 и 377 кгс/см<sup>2</sup> (единицы измерений приведены в соответствии с источниками данных). При этом отмечается зависимость технических и объемных свойств древесины от структуры годичного прироста. Следует учитывать, что на встречаемые в научной литературе данные о высокой изменчивости физических и механических свойств древесины отдельных деревьев существенное влияние оказывают различия в особенностях объектов и методических подходах, используемых авторами [20].

Исследования показывают [4, 5, 21, 30, 33], что под воздействием промышленных выбросов, в частности предприятий лесоперерабатывающего комплекса, сокращается период камбиальной активности хвойных, вследствие чего в годичном кольце ствола снижается количество трахеид ранней древесины. Также прослеживается тенденция к увеличению доли поздних трахеид в структуре годичного кольца по мере сокращения расстояния до источников загрязнения. С приближением к ним отмечается снижение общей величины радиального прироста, причем влияние техногенной нагрузки сильнее отражается на низкопродуктивных древостоях, например, на насаждениях сфагновой группы.

Цель работы – анализ техногенного воздействия на радиальный прирост и физико-механические характеристики древесины сосны в условиях северной тайги.

#### *Объекты и методы исследования*

Исследования осуществлены на 11 опытных участках (пробных площадях) в спелых древостоях сосны V класса бонитета кустарничково-сфагнового типа леса, расположенных в дельте р. Северная Двина. Пробные площади закладывались на различном удалении от ближайших источников аэротехногенных выбросов (Архангельского целлюлозно-бумажного комбината, Архангельской теплоэлектростанции) согласно принятым в лесоустроительной практике методикам, рекомендациям и нормативно-справочным материалам [2, 8, 18, 23]. Расстояние до источника выбросов отражало степень аэротехногенного загрязнения [29].

На опытных участках проводили сплошной пересчет деревьев по 2-сантиметровым ступеням толщины. Принятыми в лесной таксации методами определяли средний диаметр, высоту, сумму площадей поперечных сечений ствола, запас и состав древостоя. Для нахождения радиального прироста на высоте 1,3 м от основания ствола методом случайной выборки отбирали керны древесины (не менее 30 деревьев сосны для каждого опытного участка).

Для получения данных о физико-механических характеристиках древесины за пределами опытных участков было отобрано 7 модельных деревьев [10]. Для каждого из них получали спилы и керны на высоте 1,3 м от шейки корня и на относительных высотах ( $H$ ) ствола ( $0H$ ;  $1/4H$ ;  $2/4H$ ;  $3/4H$ ). На каждой высоте отбирали до 5 образцов древесины размером  $20 \times 20 \times 30$  мм: 3 образца в ядре (центр, середина, периферия) и 2 образца в заболони [7]. Зону ювенильной древесины исключали из эксперимента. На древесных кернах при помощи стереоскопического микроскопа МБС-1 с точностью  $\pm 0,01$  мм

измеряли радиальный прирост, ширину зон ранних и поздних трахеид. Расчетным путем находили процентное содержание поздней древесины в годичном кольце [24].

Базисную плотность древесины определяли по способу максимальной влажности образцов, имеющих сравнительно небольшой объем [9, 13, 31]. В дополнение к базисной плотности, характеризующей сухую массу древесинного вещества в единице объема свежесрубленной древесины, в качестве критерия ее механических свойств предложен показатель сопротивления древесины сжатию вдоль волокон. Обоснованность данного выбора определена тем, что большинство деревянных конструкций при эксплуатации испытывают нагрузку именно на сжатие, в меньшей степени – на изгиб и растяжение как вдоль, так и поперек волокон [16, 30]. Также при проведении испытаний на прочность достаточно обеспечить нагрузку вдоль волокон, т. е. вдоль оси ствола, тогда как вращение вокруг оси никак не влияет на точность опыта, чего не скажешь, например, об определении предела прочности при сжатии поперек волокон. Это обстоятельство в значительной мере определяет низкий уровень изменчивости данного показателя [6, 13, 33]. Согласно стандартным методикам [11] использовали универсальную испытательную машину SHIMADZU (серия AGS-100kNX), прошедшую поверку в Архангельском центре стандартизации метрологии.

В основу обработки экспериментальных данных положен корреляционный анализ [17]. Все результаты измерений обработаны при помощи программного продукта Excel и разработанных для ускорения расчетов аналитических программ на языке C++ с применением специализированного пакета статистического анализа и прогнозирования ALGLIB.

### *Результаты исследования и их обсуждение*

В ходе экспериментов выявлено снижение радиального прироста в сосновых древостоях кустарничково-сфагнового типа леса по мере приближения к источнику аэротехногенных выбросов (рис. 1).

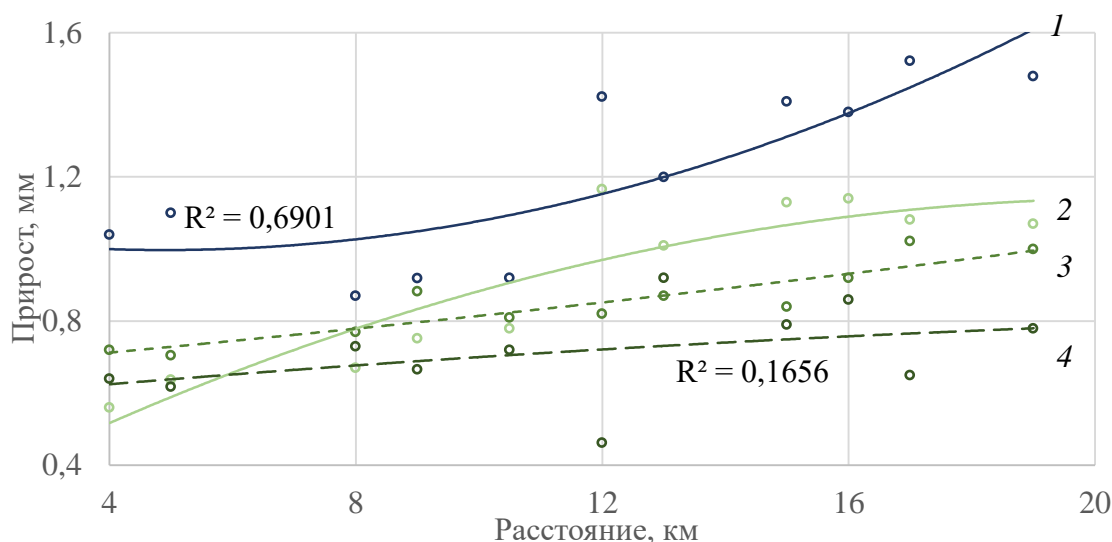


Рис. 1. Изменчивость радиального прироста сосны (у основания ствола) в зависимости от расстояния до источника выбросов: 1 – заболонь; 2 – периферия ядра; 3 – середина ядра; 4 – центр ядра

Fig. 1. Variability of the radial increment at the pine trunk bottom depending on the distance from the source of emissions: 1 – sapwood; 2 – core periphery; 3 – core middle; 4 – core center

Установлено, что коэффициент аппроксимации ( $R^2$ ) полученных зависимостей увеличивается от центра ядра к заболони. При этом в центральной части ядра этот показатель не достигает 0,2, что очевидно связано с низким уровнем аэротехногенного загрязнения в 40-х гг. XX в. Выявленная зависимость отмечена на высотах (0H; 1/4H; 1,3 м), расположенных в части ствола, очищенной от сучьев. Отмечено различие радиального прироста заболони и периферии ядра между древостоями, произрастающими на удалении до 8 км и далее от источника эмиссий.

Колебание изменчивости радиального прироста (на всем протяжении радиуса ствола) происходит в диапазоне 25...54 % с увеличением в базипетальном направлении внутри ствола и по мере приближения к источнику эмиссий. Отмечена тесная корреляция между радиальным приростом по диаметру и шириной зоны поздней древесины на расстоянии от источника загрязнений 4...20 км (см. таблицу), что весьма логично и согласуется с выводами других исследователей [1, 4, 27, 29].

### Значение коэффициента корреляции

#### в паре радиальный прирост–ширина зоны поздней древесины

Расстояние, км	4	8	12	16	20
Коэффициент корреляции (r)	0,815	0,836	0,797	0,781	0,823

При оценке прироста за последние 30 лет теснота связи существенно сокращается. Полученный результат требует дополнительного изучения и привлечения измерений анатомического строения отдельных элементов радиального прироста, например, числа трахеид ранней и поздней зон, их линейных размеров и др.

Ширина зоны поздней древесины и доля ее участия в формировании годичного кольца являются одними из важнейших показателей, характеризующих технические свойства древесины, и чем выше их значение, тем она прочнее как на излом, так и на сжатие. По результатам проведенных исследований можно судить о тенденции снижения корреляции между долей поздней древесины и величиной прироста по мере увеличения расстояния от источника загрязнения (снижения уровня загрязнения среды).

Построены карты распределения базисной плотности древесины внутри ствола отдельно для деревьев, расположенных на опытных участках, и в целом по району исследования (рис. 2).

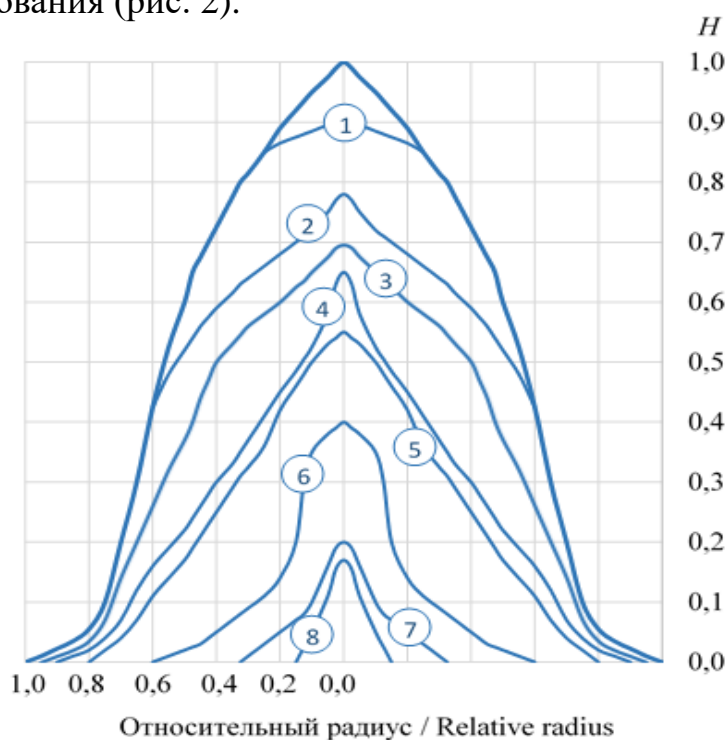


Рис. 2. Распределение плотности древесины внутри ствола сосны, г/см<sup>3</sup>: 1 – 350; 2 – 375; 3 – 400; 4 – 425; 5 – 450; 6 – 475; 7 – 500; 8 – 525

Fig. 2. Wood density distribution inside the pine trunk. Forest type – fruticulose-sphagnum; area – the Northern Dvina River estuary. Isolines, g/cm<sup>3</sup>: 1 – 350; 2 – 375; 3 – 400; 4 – 425; 5 – 450; 6 – 475; 7 – 500; 8 – 525

Установлено снижение базисной плотности с увеличением высоты отбора образцов древесины при незначительном выравнивании значений в районе кроны. Данная закономерность вполне логична, если принимать во внимание распределение основных механических нагрузок на комлевую часть ствола.

Характер изменения плотности древесины по радиусу ствола для разных высот отбора образцов описывается следующими зависимостями: *s*-образная кривая – на высоте  $0H$ ; гипербола – на высоте груди (1,3 м); парабола или прямая – на высотах  $1/4H$  и  $2/4H$ . Значимыми являются изменения плотности между древесиной центральной части ядра и заболони на высотах  $0H$  и 1,3 м.

Выявлен рост плотности древесины сосны на фиксированных высотах (среднее значение по радиусу) отбора образцов по мере сокращения расстояния до источника эмиссии (рис. 3).

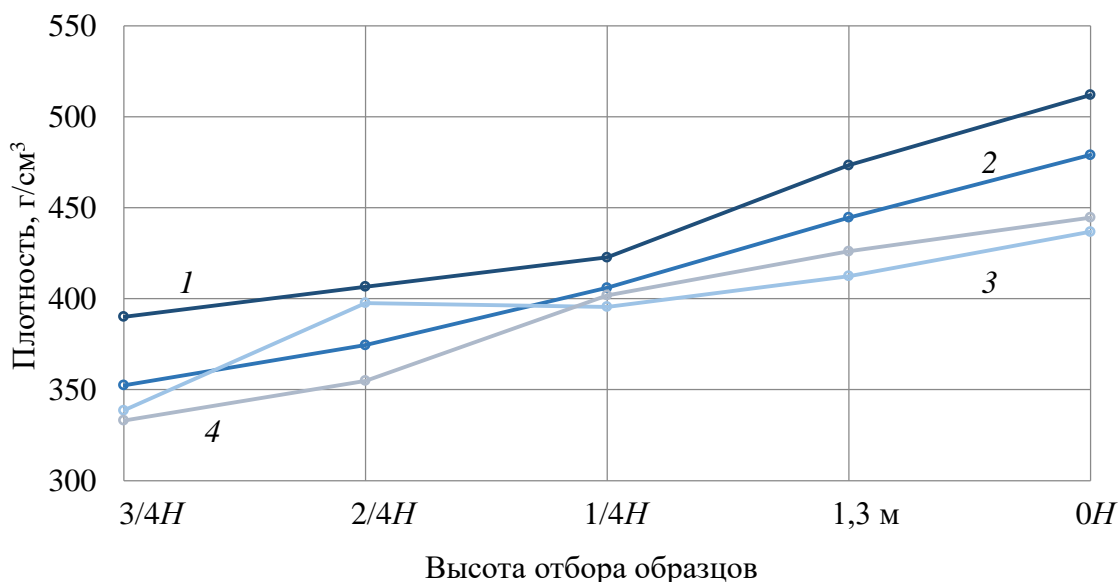


Рис. 3. Изменчивость плотности древесины внутри ствола сосны на различном расстоянии от источника выбросов, км: 1 – 4; 2 – 8; 3 – 12; 4 – 16

Fig. 3. Wood density distribution inside the pine trunk at different distances from the source of emissions, km: 1 – 4; 2 – 8; 3 – 12; 4 – 16

В среднем по району исследований отмечается положительная зависимость между базисной плотностью и сопротивлением древесины сжатию вдоль волокон как в ядре, так и в заболонной части ствола: 0,767 и 0,547 кгс/см<sup>2</sup> соответственно. У основания ствола ( $0H$ ) и на высоте 1,3 м сопротивление древесины сжатию вдоль волокон (от центра к периферии по радиусу) снижается, а на относительных высотах  $1/2H$  и  $1/4H$  – увеличивается (рис. 4).

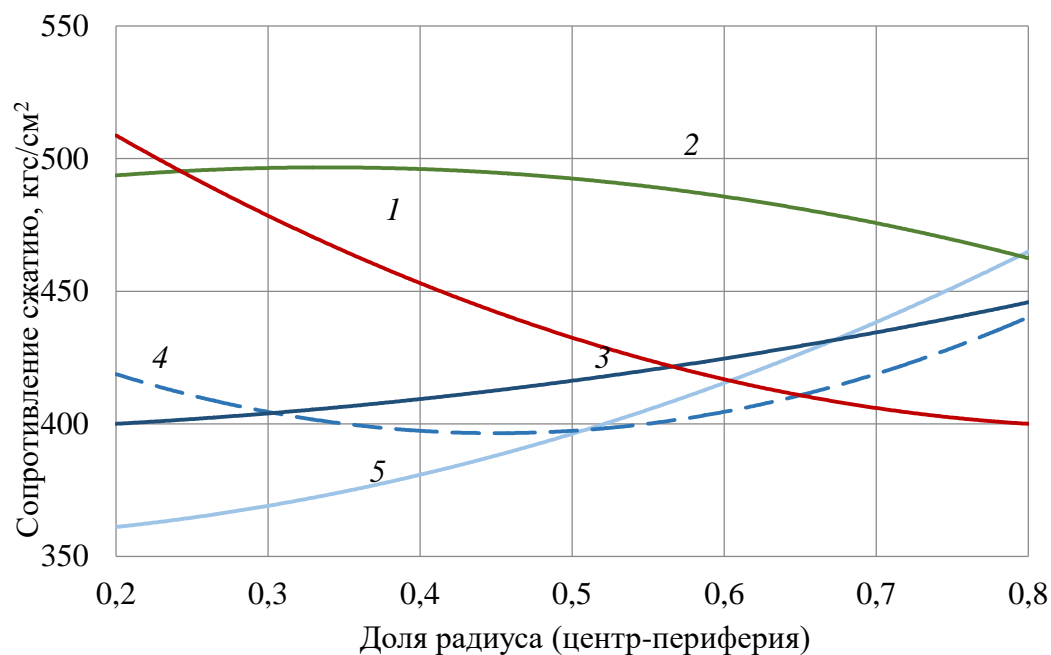


Рис. 4. Изменение сопротивления древесины сжатию вдоль волокон:  
 1 – 0H; 2 – 1,3 м; 3 – 1/4H; 4 – 2/4H; 5 – 3/4H

Fig. 4. Dynamics of wood resistance to compression along the fibers inside the pine trunk: 1 – 0H; 2 – 1.3 m; 3 – 1/4H; 4 – 2/4H; 5 – 3/4H

Установлено, что уровень изменчивости показателя сопротивления древесины сжатию вдоль волокон не превышает 20 %. Достоверных различий этого показателя на разном расстоянии от источника эмиссии не выявлено.

#### Выводы

1. Радиальный прирост сосны в сосняках кустарничково-сфагновых северной подзоны тайги снижается по мере сокращения расстояния до источника эмиссии, при этом плотность древесины сосны увеличивается.

2. Плотность древесины внутри ствола растущего дерева уменьшается от комля к вершине и от центра ствола к заболонной части.

3. Между плотностью древесины и ее сопротивлением сжатию вдоль волокон установлена положительная корреляция. Достоверных различий этого показателя на разном расстоянии от источника эмиссии не выявлено.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. *Алексеев А.С.* Радиальный прирост деревьев и древостоев в условиях атмосферного загрязнения // Лесоведение. 1993. № 4. С. 66–67. [Alekseev A.S. Radial Increment of Trees and Stands under Ambient Conditions. *Lesovedenie* [Russian Journal of Forest Science], 1993, no. 4, pp. 66–67].



2. Анучин Н.П. Лесная таксация. 5-е изд. М.: Лесн. пром-сть, 1982. 552 с. [Anuchin N.P. *Forest Inventory*. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1982. 552 p.].

3. Бабич Н.А., Мелехов В.И., Антонов А.М., Клевцов Д.Н., Коновалов Д.Ю. Влияние условий местопроизрастания на качество древесины сосны (*Pinus sylvestris* L.) в посевах // Хвойные бореальной зоны. 2007. Т. XXIV, № 1. С. 54–58. [Babich N.A., Melekhov V.I., Antonov A.M., Klevtsov D.N., Konovalov D.Yu. Impact of Habitat Conditions on the Quality of Pinewood (*Pinus sylvestris* L.) in Plantings. *Hvojnyye boreal'noj zony* [Conifers of the boreal area], 2007, vol. 24, no. 1, pp. 54–58].

4. Белов А.А. Особенности радиального прироста древесины в ослабленных сосняках-черничниках Брянской области, загрязненных радионуклидами // Лесохозяйств. информ. 2017. № 1. С. 42–51. [Belov A.A. Features of the Radial Wood Growth in the Weakened Pine-Bilberries of Bryansk Region Contaminated with Radionuclides. *Lesokhozyaystvennaya informatsiya* [Forestry information], 2017, no. 1, pp. 42–51].

5. Вахнина И.Л. Радиальный прирост сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в зеленой зоне г. Читы во второй половине прошлого столетия // География и природные ресурсы. 2011. № 1. С. 180–182. [Vakhnina I.L. Radial Increment in Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) in the Greenbelt of the City of Chita in the Latter Half of the Last Century. *Geografiya i prirodnyye resursy* [Geography and Natural Resources], 2011, no. 1, pp. 180–182].

6. Вихров В.Е., Лобасенок А.К. Технические свойства древесины в связи с типами леса. Минск: Изд-во М-ва высш., сред. спец. и проф. образования БССР, 1963. 72 с. [Vikhrov V.E., Lobasenok A.K. *Technical Properties of Wood in Relation to Forest Types*. Minsk, MVSSPO BSSR Publ., 1963. 72 p.].

7. Гаузнер С.И., Кивилис С.С., Осокина А.П., Павловский А.Н. Измерение массы, объема и плотности. М.: Изд-во стандартов, 1972. 624 с. [Gauzner S.I., Kivilis S.S., Osokina A.P., Pavlovskiy A.N. *Measurement of Mass, Volume and Density*. Moscow, Izdatel'stvo standartov, 1972. 624 p.].

8. ГОСТ 16128–70. Пробные площади лесоустроительные. Методы закладки. М.: Изд-во стандартов, 1971. 23 с. [GOST 16128–70. *Forest Management Sampling Plots. Methods of Laying out*. Moscow, Izdatel'stvo standartov, 1971. 23 p.].

9. ГОСТ 16483.1–84. Древесина. Метод определения плотности. М.: Изд-во стандартов, 1985. 6 с. [GOST 16483.1–84. *Wood. Methods for Definition of Density*. Moscow, Izdatel'stvo standartov, 1985. 6 p.].

10. ГОСТ 16483.6–80. Древесина. Методы отбора модельных деревьев и разделки их на кряжи для определения физико-механических свойств древесины насаждений. М.: Изд-во стандартов, 1980. 4 с. [*GOST 16483.6–80. Wood. Method of Selection of Model Trees and Logs for Determination of Physical and Mechanical Properties of Wood Plantations*. Moscow, Izdatel'stvo standartov, 1980. 4 p.].

11. ГОСТ 16483.10–73. Древесина. Методы определения предела прочности при сжатии вдоль волокон. М.: Изд-во стандартов, 1999. 7 с. [*GOST 16483.10–73. Wood. Methods for Determination of Ultimate Strength in Compression Parallel the Grain*. Moscow, Izdatel'stvo standartov, 1999. 7 p.].

12. Гриб В.М. Влияние хозяйственных мероприятий на качество древесины сосны обыкновенной // Совершенствование лесного хозяйства и защитного лесоразведения: сб. науч. тр. УСХА. Киев, 1987. С. 55–58. [Grib V.M. The Influence of Economic Measures on the Quality of Scots Pine Wood. *Improving Forestry and Protective Afforestation: Collection of Academic Papers of USKhA*. Kiev, 1987, pp. 55–58].

13. Древесина. Показатели физико-механических свойств. РТМ. М.: Ком. стандартов при СМ СССР, 1962. 48 с. [*Wood. Characteristics of Physical-Mechanical Properties. Technical Guides*. Moscow, Committee of Standards at the Council of Ministers of the USSR, 1962. 48 p.].

14. Кищенко И.Т. Формирование древесины ствола *Picea abies* (L.) Karst. в разных типах сообществ таежной зоны // Изв. вузов. Лесн. журн. 2019. № 1. С. 32–39. [Kishchenko I.T. Formation of *Picea abies* (L.) Karst. Trunk Wood in Different Taiga Zone Communities. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2019, no. 1, pp. 32–39]. DOI: [10.17238/issn0536-1036.2019.1.32](https://doi.org/10.17238/issn0536-1036.2019.1.32), URL: [http://lesnoizhurnal.ru/upload/iblock/f41/32\\_39.pdf](http://lesnoizhurnal.ru/upload/iblock/f41/32_39.pdf)

15. Косиченко Н.Е. Формирование структуры и плотности в онтогенезе // Стрoение, свойства и качество древесины-2000: материалы III Междунар. симп. Петрозаводск: ИЛ КарНЦ РАН, 2000. С. 58–61. [Kosichenko N.E. *Formation of Structure and Density in Ontogeny. Structure, Properties and Quality of Wood-2000: Proceedings of the 3rd International Symposium*. Petrozavodsk, IL KarRC RAS Publ., 2000, pp. 58–61].

16. Леонтьев Н.Л. Исследование физико-механических свойств кольской сосны // Физико-механические свойства древесины. М.; Л.: Гослесбумиздат, 1953. С. 122–141. [Leont'yev N.L. A Study of the Physical and Mechanical Properties of Kola Pine. *Physical and Mechanical Properties of Wood*. Moscow, Goslesbumizdat Publ., 1953, pp. 122–141].

17. Леонтьев Н.Л. Техника статистических вычислений. 2-е изд. М.: Лесн. пром-сть, 1966. 250 с. [Leont'yev N.L. *Technique of Statistical Computations*. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1966. 250 p.]

18. Лесотаксационный справочник для северо-востока европейской части СССР: нормативные материалы для Архангельской, Вологодской областей и Коми АССР. Архангельск: Правда Севера, 1986. 358 с. [*Forest Inventory Handbook for the Northeast of the European Part of the USSR: Guidance Materials for Arkhangelsk and Vologda Regions and the Komi ASSR*. Arkhangelsk, Pravda Severa Publ., 1986. 358 p.]

19. Лобжанидзе Э.Д., Гоциридзе Л.А., Цинцадзе М.С. Биология образования древесины сосны // Современные проблемы древесиноведения. Красноярск, 1987. С. 64–65. [Lobzhanidze E.D., Gotsiridze L.A., Tsintsadze M.S. *Biology of Pinewood Formation. Modern Issues of Wood Science*. Krasnoyarsk, 1987, pp. 64–65].

20. Мамаев С.А. Формы внутривидовой изменчивости древесных растений (На примере семейства *Pinaceae* на Урале). М.: Наука, 1973. 284 с. [Mamayev S.A. *Forms of Intraspecies Variability in Woody Plants (Case Study of Pinaceae Family in the Urals)*. Moscow, Nauka Publ., 1973. 284 p.]

21. Мартынюк А.А. Сосновые экосистемы в условиях аэротехногенного загрязнения. М.: ВНИИЛМ, 2004. 160 с. [Martynyuk A.A. *Pine Ecosystems in the Conditions of Aerotechnogenic Pollution*. Moscow, VNIILM Publ., 2004. 160 p.]

22. Мелехов И.С. Значение структуры годичных слоев и ее динамики в лесоводстве и дендроклиматологии // Изв. вузов. Лесн. журн. 1979. № 4. С. 6–14. [Melekhov V.I. The value of the structure of annual layers and its dynamics in forestry and dendroclimatology. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 1979, no. 4, pp. 6–14]. URL: <http://lesnoizhurnal.ru/apxiv/1979.pdf>

23. Методические рекомендации по выделению групп типов леса в таежной зоне европейской части РСФСР. М.: ВНИИЛМ, 1979. 61 с. [Instructional Guidelines for the Identification of Forest Type Groups in the Taiga Zone of the European Part of the RSFSR. Moscow, VNIILM Publ., 1979. 61 p.]

24. Молчанов А.А., Смирнов В.В. Методика изучения прироста древесных растений. М.: Наука, 1967. 95 с. [Molchanov A.A., Smirnov V.V. *Methodology for Studying the Increment of Woody Plants*. Moscow, Nauka Publ., 1967. 95 p.]

25. Москалева С.А., Чибисов Г.А., Крыжановская Л.Е., Белова Т.В. Влияние рубок ухода на плотность древесины стволов сосны в продольном направлении // Материалы отчет. сессии по итогам НИР за 1987 г. Архангельск: АИЛИЛХ, 1988. С. 63–65. [Moskaleva S.A., Chibisov G.A., Kryzhanovskaya L.E., Belova T.V. Influence of thinning on the density of pine trunks in the longitudinal direction // Materials of the report session on the results of R&D for 1987. Arkhangelsk: AILILK, 1988. P. 63–65.]

Belova T.V. The Influence of Cleaning Cutting on Wood Density of Pine Trunks along the Length. *Proceedings of the Reporting Session Summarizing the Research Results in 1987*. Arkhangel'sk, AILILKh Publ., 1988, pp. 63–65].

26. Перелыгин Л.М. Строеие древесины. М.: Изд-во АН СССР, 1954. 200 с. [Perelygin L.M. *Wood Structure*. Moscow, AN SSSR Publ., 1954. 200 p.]

27. Пиндюра Б.С., Семенчук Е.С. Изменение соотношения прироста ранней и поздней древесины у дефолиированных хвойных в эксперименте // Хвойные деревья и насекомые-дендрофаги. Иркутск: Сиб. ин-т физиологии и биохимии растений, 1978. С. 105–113. [Pindyura B.S., Semenchuk E.S. Change in the Growth Ratio of the Early and Late Wood in Defoliated Conifers in the Experiment. *Conifers and Dendrophagous Insects*. Irkutsk, SIFIBR Publ., 1978, pp. 105–113].

28. Полубояринов О.И., Федоров Р.Б. Изменчивость плотности древесины сосны и ели в Европейской части СССР // Лесоводство, лесные культуры и почвоведение. Л.: ЛТА, 1982. Вып. 11. С. 128–133. [Poluboyarinov O.I., Fedorov R.B. Variability in Wood Density of Pine and Spruce in the European Part of the USSR. *Forestry, Forest Crops and Soil Science*. Leningrad, LTA Publ., 1982, iss. 11, pp. 128–133].

29. Тарханов С.Н., Прожерина Н.А., Коновалов В.Н. Лесные экосистемы бассейна Северной Двины в условиях атмосферного загрязнения. Диагностика состояния. Екатеринбург: УрО РАН, 2004. 333 с. [Tarhanov S.N., Prozherina N.A., Konovalov V.N. *Forest Ecosystems of the Northern Dvina Basin in the Conditions of Atmospheric Pollution. Diagnostics*. Yekaterinburg, UB RAN Publ., 2004. 333 p.]

30. Тарханов С.Н., Щекалев Р.В. Внутриорганизменная и внутрипопуляционная изменчивость количественных признаков *Pinus sylvestris* L. в северной тайге Северо-Двинского бассейна при атмосферном загрязнении // Лесн. вестн. 2007. № 5. С. 116–123. [Tarhanov S.N., Schekalev R.V. Variability of Quantitative Attributes *Pinus sylvestris* L. at a Level of an Organism and Group in Northern Taiga at Atmospheric Pollution. *Lesnoy vestnik* [Forestry Bulletin], 2007, no. 5, pp. 116–123].

31. Уголев Б.Н. Испытания древесины и древесных материалов. М.: Лесн. пром-сть, 1965. 251 с. [Ugolev B.N. *Testing of Wood and Wood-Based Materials*. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1965. 251 p.]

32. Чавчавадзе Е.С. Древесина хвойных. Л.: Наука, 1979. 169 с. [Chavchavadze E.S. *Wood of Conifers*. Leningrad, Nauka Publ., 1979. 169 p.]

33. Щекалев Р.В., Тарханов С.Н. Радиальный прирост и качество древесины сосны обыкновенной в условиях атмосферного загрязнения. Екатеринбург: УрО РАН, 2006. 125 с. [Schekalev R.V., Tarhanov S.N. *Radial Increment and Quality of Scots Pine Wood in Terms of Atmospheric Pollution*. Yekaterinburg, UB RAS Publ., 2006. 125 p.].

34. Seth M.K., Chaman L., Madhu B. Effect of Several Variables on Specific Gravity in Different Zones of Blue Pine. *Indian Journal of Forestry*, 1988, vol. 11(1), pp. 42–47.

## VARIABILITY PROPERTIES OF *Pinus sylvestris* L. WOOD IN GROWING STOCK UNDER TECHNOGENIC IMPACT

**R.V. Schekalev<sup>1</sup>**, *Candidate of Biology*; *ResearcherID*: [AAH-3861-2019](https://orcid.org/0000-0001-7657-1705), *ORCID*: <https://orcid.org/0000-0001-7657-1705>

**A.A. Martynyuk<sup>1</sup>**, *Doctor of Agriculture, Corresp. Member of RAS*; *ResearcherID*: [AAB-7622-2020](https://orcid.org/0000-0001-7592-2614), *ORCID*: <https://orcid.org/0000-0001-7592-2614>

**V.I. Melekhov<sup>2</sup>**, *Doctor of Engineering, Prof.*; *ResearcherID*: [Q-1051-2019](https://orcid.org/0000-0002-2583-3012), *ORCID*: <https://orcid.org/0000-0002-2583-3012>

<sup>1</sup>All-Russian Research Institute of Silviculture and Mechanization of Forestry, ul. Institutskaya, 15, Pushkino, Moscow Region, 141202, Russian Federation; e-mail: schekalevrv@yandex.ru

<sup>2</sup>Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 17, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation; e-mail: v.melekhov@narfu.ru

The issues of variability of pinewood (*Pinus sylvestris* L.) properties in growing stock located in the vicinity of operating industrial facilities is still relevant. The paper aims to assess the technogenic impact on the radial increment as well as the physical and mechanical properties of pinewood in the conditions of Northern Taiga. The impact of the distance from the source of emissions on variability of the radial increment and the volume and technical properties of wood were determined. Distribution maps of the conventional wood density and its compressive strength along the fibers inside the trunk were formed. It is found that with a decrease in the distance from the source of emissions, the average value of the radial increment of trees occurs. It is revealed that there is a decrease in wood density from the butt to the top, and from the pith to the sapwood. Also, it is determined that wood density increases as the distance to the source of emissions decreases. However, there were obtained no valid differences of

the indicator of wood resistance to compression along the fibers at various distances from to the source of emissions.

**For citation:** Schekalev R.V., Martynyuk A.A., Melekhov V.I. Variability Properties of *Pinus sylvestris* L. Wood in Growing Stock under Technogenic Impact. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2020, no. 4, pp. 113–122. DOI: 10.37482/0536-1036-2020-4-113-122

**Keywords:** pine, wood, radial increment, wood density, wood compressive strength along the fibers, emission source distance.

Поступила 29.12.19 / Received on December 29, 2019