

поля по сравнению с елью имеют короткое волокно, равное в среднем 1,0–1,3 мм. По его данным, древесина спелых деревьев тополя белого имеет в среднем длину волокна 1,02, осокоря – 1,06, осокоря – 1,28, ели – 3,02 мм [6]. Однако еще Комаров и Яковлев в своих опытах показали, что целлюлоза из некоторых видов тополей получается довольно хорошая и может быть применена при производстве бумаги [6].

Существуют длиноволокнистые и коротковолокнистые формы тополей. Нами изучалась длина волокна у плюсовых деревьев тополя белого, осокоря и ивы в Хоперском заповеднике в различных годовичных слоях ствола [6, с. 79].

При сравнении отдельных видов семейства Salicaceae в одном и том же возрасте, больших различий в длине волокна не наблюдается: так, в 19–20 лет у тополя белого длина либриформа равна 1,04 мм, у ивы белой – 0,94 мм, у осокоря – 0,82 мм; в 50 лет у тополя белого – 1,08 мм, у ивы белой – 1,00 мм, у осокоря – 1,10 мм. У осокоря в 20 лет длина волокна несколько меньше, чем в этом возрасте у тополя белого и ивы. К 50 годам длина либриформа выравнивается, и у осокоря в 50 лет она значительно больше, чем у тополя белого в 81 год. У отдельных деревьев (тополь белый № 2 и № 7) имеются различия в длине волокна; так у дерева № 7 в 20 лет длина волокна 1,04 мм, а у дерева № 2 в 38 лет длина волокна – 0,87 мм. Образцы для анализа брались из слоев, относящихся к одному и тому же календарному году. С возрастом длина либриформа увеличивается [6–8 и др.]. Наши исследования показывают, что длина либриформа резко увеличивается до 10–15 лет, а затем идет незначительное увеличение. Поэтому отбор тополя сереющего на длину волокна можно достоверно проводить с возраста 20–30 лет, когда последнее достигает типичной для дерева длины. Отобранные плюсовые деревья тополя сереющего в пойме рек Хопра и Дона имеют более длинное волокно, чем у тополя белого.

Отобранные формы рекомендуется использовать для защитного и плантационного лесоразведения.

#### Список литературы

1. Косиченко Н. Е. Анатомо-гистохимический метод ранней диагностики зимостойкости гибридных тополей // Генетика, селекция, семеноводство и интродукция лесных пород. Воронеж : ЦНИИЛГиС, 1975. Вып. 2. С. 162–168.
2. Леонтьев Н. Л. Таблицы физико-механических свойств древесных пород СССР : техн. бюлетень. М. : ЦНИИМОД, 1940. 88 с.
3. Леонтьев Н. Л. Техника испытания древесины. М. : Лесн. пром-сть, 1970. 160 с.
4. Перелыгин Л. М., Уголев Б. Н. Древесиноведение. М. : Лесн. пром-сть, 1971. 286 с.
5. Полубояринов О. И. Плотность древесины. М. : Лесн. пром-сть, 1976. 160 с.
6. Сиволапов А. И. Тополь сереющий: генетика, селекция, размножение : монография. Воронеж : ВГУ, 2005. 157 с.
7. Ширнин В. К. Проблемы и перспективы развития исследований по селекции на качество древесины // Генетика и селекция в лес-ве. Воронеж : ЦНИИЛГиС ; М., 1991. С. 177–185.
8. Ширнин В. К. Развитие и перспективы селекции на качество древесины // Строение, свойства и качество древесины – 2004 : тр. IV междунар. симпозиума. 13–16 сент. 2004. Секция 1 – Анатомия, физиология, дендрохрон. СПб. : СПбГЛТА, 2004. Т. 1. С. 145–149.
9. Яблоков А. С. Селекция древесных пород. М. : Сельхозиздат, 1962. 488 с.
10. Яценко-Хмелевский А. А. Основы и методы анатомического исследования древесины. М.-Л. : Изд-во АН СССР, 1954. 338 с.
11. Höster H.-R. und Spring Ch. Zur Bestimmung von Zellartenanteilen im Holzgewebe // Mikroskopie. 1971, bd. 27. S. 220–225.

УДК 581.524.346

**О. Н. Тюкавина,**

к. с.-х. н., доцент кафедры биологии, экологии и биотехнологии, ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет им. М. В. Ломоносова», г. Архангельск, РФ,  
[o.tukavina@narfu.ru](mailto:o.tukavina@narfu.ru)

#### ОЦЕНКА КАЧЕСТВА СТВОЛОВОЙ ДРЕВЕСИНЫ СОСНЫ МЕТОДОМ ИМПУЛЬСНОЙ ТОМОГРАФИИ

*В статье рассматривается влияние характеристик древесины ствола сосны на скорость прохождения звукового импульса в нем. Скорость звукового импульса в здоровой древесине стволов сосны в насаждении относительно стабильна. Снижение скорости звука в поперечном сечении ствола на 23 % способствует увеличению радиального прироста на 48 % и снижению плотности древесины на 22 %. Высокая значимая теснота связи скорости прохождения звука в поперечном сечении ствола с радиальным приростом и плотностью древесины позволяет использовать ее в качестве интегрального показателя качества древесины сосны. Скорость звука в древесине сосны менее 1000 м/с может указывать на наличие в ней деструкции.*

**Ключевые слова:** качество древесины, сосна, скорость прохождения звуковых импульсов, акустическая томография.

**О. N. Tyukavina,**

Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Northern (Arctic) Federal University named after M. V. Lomonosov, Arkhangelsk, Russian Federation,  
o.tukavina@narfu.ru

## EVALUATION OF THE PINE STEM WOOD QUALITY BY ACOUSTIC TOMOGRAPHY

*The article deals with the influence of the pine trunk wood characteristics on the velocity of sound impulse. The velocity of sound impulse in the healthy pine trunks wood in the stand is a relatively stable. Reducing the velocity of sound in the cross section of the trunk by 23 % contributes to an increase in radial growth by 48 % and a decrease in the density of wood by 22 %. The high significant tight connection between the velocity of sound impulse in the cross-section of the trunk with the radial growth and density of the wood allows us to use it as an integral indicator of the quality of pine wood. The velocity of sound in pine wood less than 1000 m/s may indicate the presence of destruction in it.*

**Keywords:** wood quality, pine, velocity of sound, acoustic tomography.

Исследования скорости звука в древесине актуальны в лесном хозяйстве, так как позволяют оценить состояние дерева, а также в лесопромышленном комплексе – для выявления скрытых дефектов в древесине. Акустическая томография оказалась одной из эффективных и успешно примененных технологий для выявления внутренних дефектов древесины [1–3]. Учитывая, что звуковая волна распространяется быстрее в древесине с большей плотностью [2] акустическая томография может найти применение для оценки качества древесины.

Цель исследования – оценка влияния характеристик древесины ствола сосны на скорость прохождения в нем звукового импульса.

Исследования проводилось в Архангельском лесничестве, где охватывались наиболее распространенные типы леса (ПП № 1 – ПП № 4), в Березниковском (ПП № 5) и Верхнетоемском (ПП № 6 – ПП № 8) лесничестве. Древостои приспевающие и спелые с примесью ели и березы в черничном, кисличном типах леса, чистые в сосняке брусничном и сфагновом. Пробная площадь № 1 – сосняк черничный средняя высота 22 м, средний диаметр 23 см, относительная полнота 0,7. Пробная площадь № 2 – сосняк черничный, средняя высота 22 м, средний диаметр 24 м, относительная полнота 0,57. Пробная площадь № 3 – сосняк кустарничково-сфагновый осушенный, средняя высота 16 м, средний диаметр 18 см, относительная полнота 0,65. Пробная площадь № 4 – сосна по верховому болоту, средняя высота 10 м, средний диаметр 15 см, относительная полнота 0,3. Пробная площадь № 5 – сосняк черничный, средняя высота 21 м, средний диаметр 32 см, относительная полнота 0,35. Пробная площадь № 6 – сосняк черничный, средняя высота 23 м, средний диаметр 28 см, относительная полнота 0,58. Пробная площадь № 7 – сосняк брусничный, средняя высота 22 м, средний диаметр 30 см, относительная полнота 0,49. Пробная площадь № 8 – сосняк кисличный, средняя высота 21 м, средний диаметр 28 см, относительная полнота 0,6.

Внутреннюю диагностику состояния деревьев проводили с помощью импульсного томографа Арботомна высоте 1,3 м у 15–20 модельных деревьев. Расстояние между сенсорами составляло не более 10 см. Скорость звука в древесине определяли по плоскостной графике, построенной по усредненным встречным значениям, с набором цветов «Радуга». Более широкая цветовая гамма данной опции позволяет более точно показать изменения значений скорости звуковых импульсов в плоскостной графике. На этой же высоте с северной стороны бурили керн.

Средний радиальный прирост в сосняках черничных северной подзоны тайги значимо не отличается (табл. 1), скорость звука составляет в среднем 1755 м/с.

В средней подзоне в аналогичных насаждениях радиальный прирост на 48 % больше по сравнению с северной подзоной тайги, что привело к снижению плотности древесины на 22 % и снижению скорости звука в древесине на 23 %.

Отмечается очень высокая обратная значимая теснота связи между скоростью прохождения звука в древесине и радиальным приростом ( $r = -0,94$  при  $t = 32,2$ ) и очень высокая значимая теснота связи между скоростью прохождения звука в древесине и её плотностью ( $r = 0,92$  при  $t = 24,9$ ). Следовательно, скорость прохождения звука в древесине сосны может выступать интегральным показателем качества древесины сосны.

В сосняках черничных подбирали деревья с различными патологиями. Наличие патологий проверяли по кернам. Скорость звукового импульса в древесине с различными патологиями оценивали по двумерным томограммам, полученным с помощью Арботома. Согласно полученным материалам можно составить примерную шкалу, приведенную в таблице 2.

Таблица 1

Радиальный прирост и скорость прохождения звука в древесине сосны

Показатели	Северная подзона тайги				Средняя подзона тайги			
	С. чер*	С. чер	С. куст.-сф. ос.	С. по болоту	С. чер	С. чер	С. бр.	С. кис.
Радиальный прирост, мм	1,3 ± 0,1	1,3 ± 0,1	1,2 ± 0,1	0,5 ± 0,1	2,4 ± 0,2	2,5 ± 0,3	2,0 ± 0,3	3,0 ± 0,5
Скорость прохождения звука в древесине, м/с	1762 ± 66	1748 ± 66	1725 ± 46	2191 ± 61	1495 ± 102	1359 ± 28	1484 ± 88	1378 ± 44
Условная плотность, г/см <sup>3</sup>	0,49 ± 0,013	0,44 ± 0,014	0,4 ± 0,012	0,58 ± 0,009	0,38 ± 0,012	0,38 ± 0,018	0,4 ± 0,015	0,39 ± 0,022

\* С. чер – сосняк черничный; С. куст.-сф.ос. – сосняк кустарничково-сфагновый осушенный; С. бр. – сосняк брусничный, С. кис. – сосняк кисличный.

Таблица 2

Скорость звукового импульса в древесине сосны с патологиями

Состояние древесины	Скорость звука, м/с
Древесина без патологий	1200–1900
Засмоление	более 1900
Сучки	более 1000
Древесина с 1-й стадией гнили	900–1000
2-й стадией гнили	800–900
3-й стадией гнили	менее 800
Раковая рана, морозобойная трещина	600–1000

У здорового дерева на плоскостной графике поперечного сечения ствола сосны отмечается равномерная окраска. Скорость звука 1300 м/с. Скорость звукового импульса в древесине выше 1300 м/с указывает на отсутствие в ней гнили. Скорость звука в древесине сосны менее 1000 м/с может указывать на наличие в ней деструкции, но необходимо дополнительное подтверждение.

Однако участки деструкции небольшой площади не отражаются на плоскостной графике. Это может происходить в случае, если гниль развивается выше по стволу и спускается «языками», распространяясь в отдельных годичных кольцах. Участок деструкции располагался кольцом протяженностью в радиальном направлении 1,5 см. При этом скорость звукового импульса в поперечном сечении ствола составляла 1200–1400 м/с.

Скорость звукового импульса в древесине сосны, относящейся к категории состояния свежий сухостой, не поврежденной грибницей составляет 1300 м/с. Участок древесины со скоростью звука 730 м/с характеризуется наличием процессов деструкции.

Скорость звукового импульса в здоровой древесине стволов сосны в пределах насаждения относительно стабильный показатель. Снижению скорости звука в поперечном сечении ствола на 23 % способствует увеличение радиального прироста на 48 % и снижение плотности древесины на 22 %. Высокая значимая теснота связи скорости прохождения звука в поперечном сечении ствола с радиальным приростом и плотностью древесины позволяет использовать ее в качестве интегрального показателя качества древесины сосны. Скорость звука в древесине сосны менее 1000 м/с может указывать на наличие в ней деструкции.

#### Список литературы

1. Liang S., Fu F. Relationship analysis between tomograms and hardness maps in determining internal defects in euphrates poplar// Wood Research. 2012. 57 (2). P. 221-230.
2. Wang L., Xu H., Zhou C., Li L., Yang X. Effect of sensor quantity on measurement accuracy of log inner defects by using stress wave // Journal of Forestry Research. 2007. 18 (3). P. 221-225.
3. Yang X., Luo J. Study on stress wave non-destructive testing of bending resistance characteristics of logs // World Automation Congress Proceedings. 2012. No 6321170. P. 496-502.