

УДК 674.032.475.4

## О МЕТОДАХ ИНТЕРПРЕТАЦИИ РЕЗУЛЬТАТОВ АКУСТИЧЕСКОЙ ТОМОГРАФИИ ДРЕВЕСИНЫ СОСНЫ

© *О.Н. Тюкавина, канд. с.-х. наук, доц.*

Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова, наб. Северной Двины, д. 17, г. Архангельск, Россия, 163002; e-mail: tyukavina@agtu.ru

Акустическая томография основана на измерениях времени прохождения звуковых импульсов. Скорость прохождения звуковых импульсов позволяет получить информацию о состоянии древесины. Акустическая томография может успешно применяться для оценки не только состояния дерева, но и качества древесины. Звуковая волна распространяется быстрее в древесине с большей плотностью. Основная задача, которая стала перед нами, – разработать методику интерпретации результатов установки Арботом для оценки качества древесины. В качестве объекта исследования выбрана сосна в связи с тем, что она меньше, чем другие породы, подвержена грибным заболеваниям и является ценной хозяйственной породой. Акустическую томографию ствола проводили с помощью установки Арботом на высоте 1,3 м и у шейки корня. Использовали от 6 до 12 сенсоров в зависимости от диаметра дерева. Качество здоровой древесины оценивали по среднему значению скорости прохождения звука между сенсорами. Для того, чтобы уменьшить влияние внешних повреждений ствола (механические повреждения, морозобойные трещины) на средние значения прохождения звукового импульса в древесине, исключали данные от смежных сенсоров. При обработке полученных результатов анализировали применение различных опций, предложенных программным обеспечением. Чтобы избежать завышения скорости звука, в 2-D изображении деактивировали опцию «Use better mean value». Программа в 2-D изображении и в шкале распределения скорости по цвету использует более высокие значения по встречным направлениям между двумя сенсорами, при этом низкие значения отбрасывает. Установлено, что для получения более четкой картины изменения структуры древесины в поперечном сечении следует активировать автоматическую градуировку цвета в программе обработки данных. Тогда шкала будет не фиксированной («плавающей»), показывающей минимальное и максимальное значения, встреченные в поперечном сечении дерева. В нашем случае, красный цвет указывает на изменение структуры древесины, однако это не означает наличие гнили. Следовательно, при интерпретации результатов акустической томографии, полученных с помощью установки Арботом, необходимо учитывать активацию различных опций программного обеспечения и подбирать определенные опции для конкретных целей. Методы интерпретации результатов акустической томографии необходимо указывать в материалах исследований для исключения разночтений при анализе результатов, полученных разными исследователями.

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

В настоящее время для оценки внутреннего состояния ствола деревьев применяются различные методы и устройства. По степени повреждения ство-

ла дерева приборы подразделяются на сильно повреждающие (приростной бурав, Резистограф), умеренно повреждающие (Шигометр), слабо повреждающие (Арботом, Пикус – акустическая томография) и не внедряющиеся в ствол дерева (компьютерная томография, термография, рентгеновская денситометрия) [2–6, 8, 10, 12, 13].

Акустическая томография оказалась одной из эффективных и успешно применяемых технологий для выявления внутренних дефектов древесины [7, 9, 11, 14, 15].

Однако акустическую томографию можно успешно применять для оценки не только состояния дерева, но и качества древесины. Звуковая волна распространяется быстрее в древесине с большей плотностью [14].

Поэтому основная задача, стоявшая перед нами, – разработка методики интерпретации результатов, полученных с помощью Арботома, для оценки качества древесины.

Исследования проводили в зеленой зоне г. Архангельска: в сосняках черничных 1- и 3-й стадий рекреационной дигрессии, в сосняке на верховом болоте и кустарничково-сфагновом осушенном; в рядовых посадках сосны на наб. Северной Двины. В качестве объекта исследования выбрана сосна в связи с тем, что она меньше, чем другие породы, подвержена грибным заболеваниям и является ценной хозяйственной породой.

Акустическую томографию проводили на уровне шейки корня и на высоте 1,3 м у 15 модельных деревьев на каждой пробной площади.

На пяти пробных площадях максимальная скорость прохождения звукового импульса в древесине сосны составляет 3970 м/с. Данная скорость для сосны на болоте зафиксирована на уровне шейки корня между одной парой сенсоров, т. е. для древесины сосны это значение можно считать предельным.

В 93 % случаев окраска изображения поперечного сечения дерева равномерная, что свидетельствует о здоровой древесине и ее равномерной структуре. Это является показателем качества древесины. У 50 % деревьев скорость прохождения звука в стволе составляет около 200 м/с. Безусловно, такая скорость звука должна указывать или на наличие гнили, или сучка, или внутренних полостей. Однако окраска на 2-D изображении равномерная. Это связано с тем, что при обратном прохождении звука по тому же пути скорость звука высокая. Чаще всего минимальные значения скорости звука в древесине отмечаются между соседними сенсорами. Захватываемая область составляет наружные 2 см заболони. Здесь же могут отмечаться и максимальные значения скорости прохождения звука в древесине. Это связано с тем, что в периферийной зоне древесины встречаются сучки, могут быть механические повреждения. Помимо этого, если отмечаются внешние повреждения, например, морозобойные трещины, скорость прохождения звуковых импульсов между соседними сенсорами может и не фиксироваться. Поэтому для использования скорости прохождения звука при оценке качества древесины необходимо откинуть показания последовательно

соединенных сенсоров. Разница между первоначальными и поправленными средними скоростями может достигать 9 %.

После проведения акустической томографии с помощью Аботома получают первоначальное 2-D изображение с завышенными скоростями звуковых импульсов (рис. 1, *а*), т. е. программа использует более высокие значения по встречным направлениям между двумя сенсорами, отбрасывая низкие значения. Такая картинка наиболее наглядно показывает участки деструкции, полостей, включений. Однако, если анализировать качество древесины, предпочтительно деактивировать опцию «Use better mean value» в программе по обработке данных. Тогда в 2-D изображении будет отражаться истинная картина распределения усредненных значений измерений между встречными направлениями от сенсоров (рис. 1, *б*). Результаты обработки данных отражаются на шкале соответствия цвета изображения скорости звука. Следовательно, данная опция программы может привести к разночтениям при интерпретации результатов акустической томографии. Так, некоторые исследователи [1] фиксируют скорость звука в здоровой древесине липы на уровне 2251 м/с, по нашим данным, средняя скорость в здоровой древесине сосны составляет около 1400 м/с.

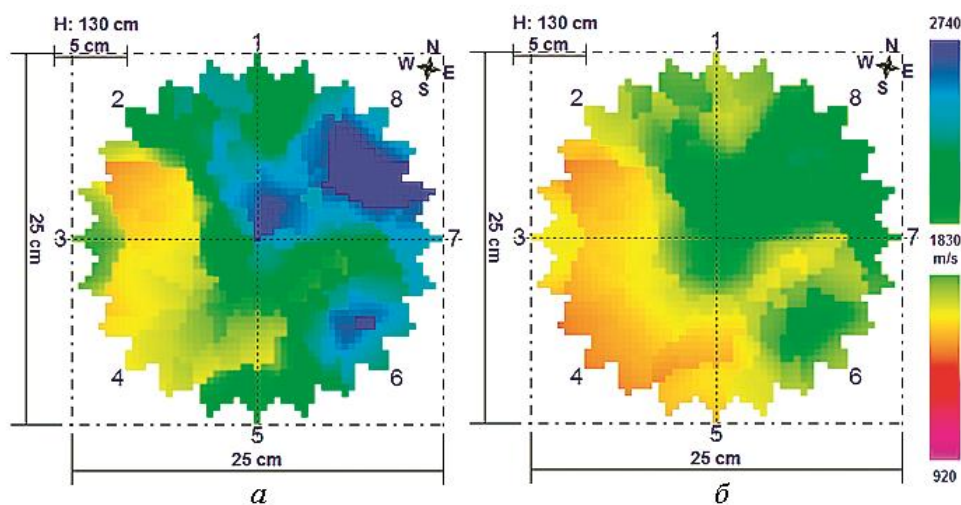


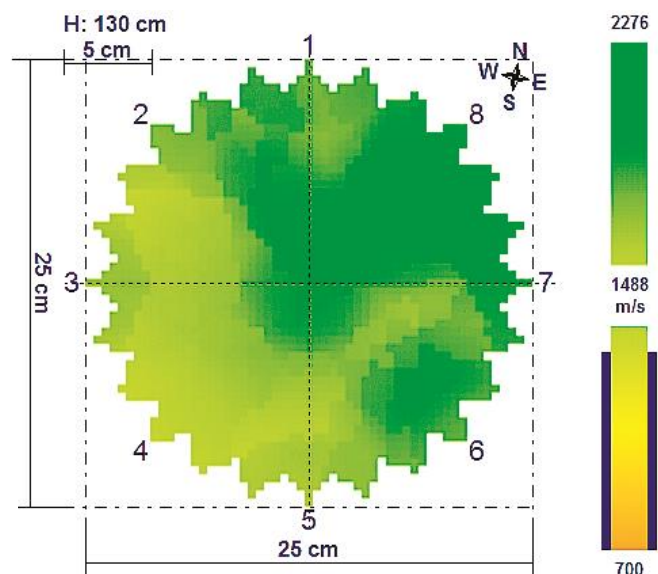
Рис. 1. Изображение акустической томографии поперечного сечения ствола сосны при активированной (*а*) и деактивированной (*б*) опции «Use better mean value»

Существует еще одна особенность интерпретации результатов акустической томографии – это автоматическая или ручная градуировка цветов из набора для всех скоростей прохождения импульсов. При автоматической градуировке цвета (активирована опция «Auto min./Auto max.») красный цвет на 2-D изображении не будет означать наличие гнили или полости. Разноцветие

изображения будет указывать на неоднородность структуры древесины. Поэтому, данная опция предпочтительна при анализе качественных характеристик здоровой древесины. Если же анализируется наличие и развитие деструкции древесины, необходима ручная градуировка цветов из набора для всех скоростей прохождения импульсов (рис. 2).

При этом задается определенный диапазон значений скоростей прохождения звуковой волны в здоровой и деструктированной древесине. В данном случае красный цвет будет означать наличие гнили или пустот. Сложность возникает в установлении соответствия скорости прохождения звука в древесине к степени ее разрушения. Таблицы скоростей распространения звука для различных пород деревьев ещё не сформированы.

Рис. 2. Изображение акустической томографии поперечного сечения ствола сосны при ручной градуировке цвета (скорость прохождения звукового импульса в древесине, подверженной деструкции, принимаем равной 700 м/с)



Следовательно, необходимо выработать конкретные методы интерпретации результатов, полученных с помощью Арботома, для создания каталога типичных скоростей распространения звука в древесине различных пород деревьев, для различных условий произрастания конкретной древесной породы, а также для других целей. В научных работах необходимо указывать опции программы, задействованные для получения значений скоростей распространения звуковых импульсов в древесине, чтобы их можно было использовать для дальнейшего сопоставления результатов, полученных разными исследователями.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мельничук И.А., Йассин М.Й.С., Черданцев О.А. Диагностика внутреннего состояния деревьев *Tilia Cordata* Mill. с использованием комплекса аппаратуры акустической ультразвуковой томографии «Арботом» // Вестн. РУДН. Сер. Агрономия и животноводство. 2012. № 55. С. 25–32.

2. Силкин П.П., Екимова Н.В. Теоретическая оценка влияния содержания кальция в клеточных стенках годовичных колец хвойных на результаты рентгеновской денситометрии // Лесн. журн. 2012. № 3. С. 25–30. (Изв. высш. учеб. заведений).
3. Bucur V. Nondestructive characterization and imaging of wood. Springer, Berlin, 2003. P. 246–252.
4. Catena A. Thermography reveals hidden tree decay // Arb. J. 2003. 27. P. 27–42.
5. Deflorio G. Wood decay dynamics in the sapwood of trees – in vitro and in vivo studies on the role of the wood substrate in decay development. Goettingen Cuvillier, 2006. P. 158–164.
6. Deflorio G., Fink S. Detection of incipient decay in tree stems with sonic tomography after wounding and fungal inoculation // Wood Sci Technol. 2008. 42. P. 117–132.
7. 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.
8. Lonsdale D. Principles of tree hazard assessment and management. Stationery Office Ltd, Publications Centre, London, 1999. P. 38–46.
9. Luo J., Yang X. Study on the correlation between mechanical characteristics and nondestructive testing of stress wave in larch logs // Advanced Materials Research. 2012. 433–440. P. 2135–2141.
10. Rinn F. Technische Grundlagen der Impuls-Tomographie. Baumzeitung 8, 2003. P. 29–31.
11. Rust S., Gocke L. PICUS sonic tomograph – a new device for nondestructive timber testing. In: Backhaus G.F., Balder H., Idczak E. (Eds.) // International Symposium on Plant Health in Urban Horticulture, Braunschweig, Germany, 2000. P. 67–74.
12. Schwarze FWMR, Fink S. Ermittlung der Holzzersetzung am lebenden Baum // Neue Landschaft. 1994. 39. P. 182–193.
13. Shigo A. Microorganisms isolated from wounds inflicted on red maple, paper birch, American beech, and red oak in winter, summer and autumn // Phytopathol. 1976. 66. P. 559–563.
14. 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.
15. Yang X.a, Luo J. Study on stress wave non-destructive testing of bending resistance characteristics of logs // World Automation Congress Proceedings. 2012. N 6321170. P. 496–502.

Поступила 23.04.14

UDC 674.032.475.4

### About Interpretation Methods of Acoustic Tomography Results of Pine Wood

*O.N. Tyukavina, Candidate of Agriculture, Associate Professor*

Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 17, Arkhangelsk, 163002, Russia; e-mail: tyukavina@agtu.ru

Acoustic tomography is based on measurements of the propagation time of sound impulses. Velocity of sound impulses characterizes the state of the wood. Acoustic tomography is used for wood assessment and to determine the quality of the wood. Because the sound wave propagates more rapid in high density wood. The main objective of this work was to

develop interpretation methods of the Arbotom results to estimate the quality of the wood. The object of research is pine, because it is less amenable to fungal diseases than other species of trees and it is a valuable specie. Acoustic tomography was carried with the Arbotom machine at tree height 130 cm above ground. From 6 to 12 sensors was used, depended on the diameter of the tree. Healthy wood quality was evaluated on the average velocity of sound transmission between sensors. In order to reduce the influence of external damage of stem (mechanical damage, winterkilling cracks) on the average velocity of sound transmission in wood, data from neighboring sensors was excluded. Different options, proposed by the software, were analyzed while result processing. The option «Use better mean value» overstates of the velocity of sound in 2 -D image, so it was we deactivated. It is necessary to activate automatic color calibration in 2 -D image for clearer picture of changes in the structure of wood in the cross-section. Then the scale will not be fixed ("floating"), that shows minimum and maximum value, found in the cross-section of wood. In this case, the red color indicates on change in the wood structure but it does not indicate decay. Therefore, option activation by the software must be considered and certain options must be selected in interpreting the results of acoustic tomography, collected by Arbotom. Methods of interpreting of the acoustic tomography results must be indicated in researches to exclude differences in results, received other researchers.

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

#### REFERENCES

1. Mel'nichuk I.A., Yassin M.Y.S., Cherdantsev O.A. Diagnostika vnutrennego sostoyaniya derev'ev *Tilia Cordata* Mill. s ispol'zovaniem kompleksa apparatury akusticheskoy ul'trazvukovoy tomografii «Arbotom» [Diagnosis of Internal State of Trees *Tilia Cordata* Mill. with Using Complex of Acoustic Equipment of Ultrasonic Tomography «Arbotom»]. *Vestnik Rossiyskogo universiteta druzhby narodov. Seriya: Agronomiya i zhivotnovodstvo*, 2012, no. 55, pp. 25–32.
2. Silkin P.P., Ekimova N.V. Teoreticheskaya otsenka vliyaniya sodержaniya kal'tsiya v kletochnykh stenkakh godichnykh kolets khvoynykh na rezul'taty rentgenovskoy densitometrii [Theoretical Assessment of Effect of Calcium Content in the Cell Walls of Annual Rings of Coniferous Species on the x-ray Densitometry Results]. *Lesnoy zhurnal*, 2012, no. 3, pp. 25–30.
3. Bucur V. Nondestructive characterization and imaging of wood. *Springer*, Berlin, 2003, pp. 246–252.
4. Catena A. *Thermography reveals hidden tree decay*. 2003, pp. 27–42.
5. Deflorio G. Wood decay dynamics in the sapwood of trees – in vitro and in vivo studies on the role of the wood substrate in decay development. *Cuvillier*, Goettingen, 2006, pp. 158–164.
6. Deflorio G., Fink S. Detection of incipient decay in tree stems with sonic tomography after wounding and fungal inoculation. *Wood Science Technology*, 2008, no. 42, pp. 117–132.
7. Liang, S., Fu, F. Relationship analysis between tomograms and hardness maps in determining internal defects in Euphrates poplar. *Wood Research*, 2012, no. 57 (2), pp. 221–230.
8. Lonsdale D. *Principles of tree hazard assessment and management*. London, 1999, pp. 38–46.

9. Luo J., Yang X. Study on the correlation between mechanical characteristics and nondestructive testing of stress wave in larch logs. *Advanced Materials Research*, 2012, no. 433–440, pp. 2135–2141.

10. Rinn F. Technische Grundlagen der Impuls-Tomographie. *Baumzeitung*, 2003, 8, pp. 29–31.

11. Rust S., Gocke L. PICUS sonic tomograph – a new device for nondestructive timber testing. In: Backhaus G.F., Balder H., Idczak E. (Eds.), *International Symposium on Plant Health in Urban Horticulture*, Braunschweig, Germany, 2000, pp. 67–74.

12. Schwarze FWMR, Fink S. Ermittlung der Holzzersetzung am lebenden Baum. *Neue Landschaft* 39, 1994, pp. 182–193.

13. Shigo Al. Microorganisms isolated from wounds inflicted on red maple, paper birch, American beech, and red oak in winter, summer and autumn. *Phytopathol*, 1976, N 66, pp. 559–563.

14. 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, N 18 (3), pp. 221–225.

15. Yang X.a , Luo J. Study on stress wave non-destructive testing of bending resistance characteristics of logs. *World Automation Congress Proceedings*, N 6321170, 2012, pp. 496–502.

Received on April 23, 2014