

Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии имени В.П. Филиппова. 2023. № 4 (73). С. 131–140.

Vestnik of Buryat State Academy of Agriculture named after V. Philipov. 2023;4(73):131–140.

Научная статья

УДК 630*416.4

doi: 10.34655/bgsha.2023.73.4.016

ДИАГНОСТИКА ВНУТРЕННЕГО СОСТОЯНИЯ ДЕРЕВЬЕВ *QUERCUS ROBUR L.* С ПРИМЕНЕНИЕМ КОМПЛЕКСА ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ МЕТОДОВ

Евгения Сергеевна Фурменкова¹, Марина Владимировна Кочергина²

^{1,2}Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова, Воронеж, Россия

¹furmenkova.eu@yandex.ru

²diamond-kmv@yandex.ru

Аннотация. Оценка состояния качества стволовой древесины является актуальной в связи с необходимостью своевременного выявления взаимосвязи между внешним проявлением признаков патологии древесных растений с их внутренним состоянием. Целью исследований являлось изучение состояния жизнеспособности растущих деревьев дуба черешчатого (*Quercus robur L.*) с использованием методов импульсной томографии и измерения сопротивления сверлению, выявление взаимосвязи между внешним проявлением признаков патологии древесных растений с их внутренним состоянием. Исследования проводились в старовозрастных участках Воронежской нагорной дубравы. Для исследования стволов древесных растений методом импульсной томографии использовалось оборудование немецкой фирмы RINNTECH-Arbotom®. Для оценки относительной плотности стволовой древесины использовался метод сверления с использованием прибора Resistograph® 4452-S. Для обследования было отобрано 12 модельных деревьев возрастом 80-120 лет. Для каждого дерева определялась высота, диаметр, возраст, форма и протяженность кроны, наличие патологических признаков. Установлено, что исследованные модельные деревья имеют внутренние пороки, которые подтверждаются данными использованных инструментальных методов. Как показали данные томограмм и резистограмм внутреннего состояния деревьев, существует взаимосвязь между наличием внешнего патологического состояния древесных растений и их внутренним состоянием. Чем выше категория состояния дерева, тем выше естественная плотность древесины и меньше деструкционных изъянов. В структуре древесины по данным томограмм визуально определяются зоны локальных деструкций. Обследование деревьев инструментальным методом при помощи Arbotom® и Resistograph® не является травматичным по сравнению с традиционным методом взятия керны. Одновременное использование нескольких инструментальных методов при оценке состояния растущего дерева повышает точность полученных данных и позволяет с большей достоверностью определить области их максимальной деструкции. На основании полученных данных обследования можно проводить точную диагностику состояния дерева и назначать оздоровительные мероприятия.

Ключевые слова: дуб черешчатый, состояние жизнеспособности, патология древесных растений, импульсная томография, сопротивление сверлению.

DIAGNOSTICS OF THE INTERNAL STATE OF TREES *QUERCUS ROBUR* L. USING A SET OF INSTRUMENTAL METHODS

Evgeniya S. Furmenkova¹ Marina V. Kochergina²

^{1,2}Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia

¹furmenkova.eu@yandex.ru

²diamond-kmv@yandex.ru

Abstract. Assessment of the quality of stem wood is relevant due to the need for timely identification of the relationship between the external signs of pathology of woody plants with their internal state. The aim of the research was to study the state of viability of growing oak trees (*Quercus robur* L.) using methods of pulse tomography and measurement of drilling resistance, to identify the relationship between the external signs of pathology of woody plants with their internal state. The research was carried out in old-age areas of the Voronezh Upland oak forest. To study the trunks of woody plants by pulse tomography, the equipment of the German company RINNTECH – Arbotom® was used. To estimate the relative density of the stem wood, the drilling method with the Resistograph® 4452-S device was used. 12 sample trees aged 80-120 years old were selected for the research. For the each tree, the height, diameter, age, shape and length of the crown, the presence of pathological signs were determined. It was found out that the studied sample trees had internal defects, which were verified by the data obtained from the used instrumental methods. The data of tomograms and resistograms of the internal state of trees have shown a relationship between the presence of an external pathological condition of woody plants and their internal state. The higher the condition category of a tree is, the higher the natural density of wood is and the fewer destructive flaws are presented. According to tomograms, zones of local destructions are visually determined in the structure of wood. The examination of trees by the instrumental methods using Arbotom® and Resistograph® devices are not so traumatic compared to the traditional method of core sampling. The simultaneous use of several instrumental methods in assessing the state of growing trees increases the accuracy of the obtained data and makes it possible to determine the areas of their maximum destruction with greater certainty. Based on the data obtained during the research, it is possible to diagnose accurately the condition of a tree and prescribe curative measures.

Keywords: petiolate oak, state of viability, pathology of woody plants, pulse tomography, resistance to drilling.

Введение. В настоящее время, чтобы объективно оценить реальное состояние дерева, необходимо использовать приборные методы, основанные на существующих принципах зависимости определенных физиологических, биологических, экологических параметров [1, 2, 3]. Таких параметров достаточно много. Нами были проведены исследования стволов дуба черешчатого методом импульсной томографии и методом измерения сопротивления сверлению [4, 5].

Метод оценки сопротивления сверлению нельзя отнести к неинвазивным, так как происходит практически сквозное проникновение сверла в толщу ствола, одна-

ко риск развития негативных последствий при таком вмешательстве значительно ниже, чем при взятии керна. Точность определения положения структурных элементов в древесине при использовании акустической томографии уступает оборудованию на основе методов сверления. Однако позволяет при этом дать более полную картину расположения элементов относительно друг друга в плоскости [4, 6].

Целью исследований являлось изучение состояния жизнеспособности растущих деревьев дуба черешчатого (*Quercus robur* L.) с использованием методов импульсной томографии и измерения сопротивления сверлению. А также выявление

взаимосвязи между внешним проявлением признаков патологии древесных растений с их внутренним состоянием.

Объекты и методы исследования. Исследования проводились в старовозрастных участках Воронежской нагорной дубравы учебно-опытного лесхоза ВГЛТУ. Воронежская нагорная дубрава является ценным рекреационным объектом, имеющим статус особо охраняемой при-

родной территории.

Для исследования стволов древесных растений дуба черешчатого (*Quercus robur L.*) методом импульсной томографии использовалось оборудование немецкой фирмы RINNTECH–Arbotom®. Для оценки относительной плотности стволовой древесины использовался метод сверления с использованием прибора Resistograph® 4452-S.



Рисунок 1. Измерение внутреннего состояния древесины *Quercus robur L.* при использовании Resistograph® 4452-S и импульсного томографа «Арботом®»

Для обследования было отобрано 12 модельных деревьев дуба черешчатого (*Quercus robur L.*). Для сравнения выбирались деревья 1, 2, 3, 4-й категорий состояния (здоровые, ослабленные, сильно ослабленные, усыхающие) согласно приложению №1 к Правилам санитарной безопасности в лесах, утвержденным постановлением Правительства РФ от 09.12.2020 г. № 2047.

Все обследованные деревья дуба имеют порослевое происхождение, сред-

ний возраст их составляет 80-120 лет. Для каждого дерева определялась высота, диаметр, возраст, форма и протяженность кроны. Из визуальных патологических признаков на деревьях нами были обнаружены водяные побеги на стволе, усохшие скелетные ветви, комлевое дупло, сучель, кап на стволе, патология формы ствола, летные отверстия стволовых насекомых, ажурность (дефолиация) кроны, плодовые тела дереворазрушающих грибов (табл. 1) [7, 8, 9].

Таблица 1 – Таксационная характеристика модельных деревьев

№ дерева / категория состояния	Возраст дерева, лет	Диаметр 1,3, см	Высота ствола, м	Наличие визуальных патологических признаков
1/1	110	60	22	-
2/1	90	35	16	-
3/1	110	41	19	-
4/2	120	57	24	Единичные водяные побеги на стволе, единичные усохшие скелетные ветви

5/2	110	54	22	Единичные водяные побеги на стволе, единичные усохшие скелетные ветви
6/2	110	43	21	Комлевое дупло, сувель, кап на стволе
7/3	110	45	21,5	Комлевое дупло, усохшие скелетные ветви
8/3	120	56	24,5	Водяные побеги на стволе, усохшие скелетные ветви, комлевое дупло
9/3	100	38	20,5	Водяные побеги на стволе, патология формы ствола, усохшие скелетные ветви
10/4	90	31	20	Комлевое дупло, усохшие скелетные ветви, летные отверстия стволовых насекомых, ажурность (дефолиация) кроны
11/4	90	34	19	Ажурность (дефолиация) кроны, патология формы ствола, комлевое дупло
12/4	120	58	23	Плодовые тела дереворазрушающих грибов, патология формы ствола, усохшие скелетные ветви

Для проведения измерения Arbotom® по периметру ствола в одной плоскости размещаются датчики, последовательно соединенные кабелями друг с другом и с батареей.

Датчики на стволе размещались на высоте 130 см. Далее наносился удар последовательно по каждому датчику, импульс которого распространялся по древесине к остальным датчикам. Скорость прохождения импульсов фиксировалась специальным программным обеспечением и преобразовывалось в графики (томограммы) [10,11]. Зеленый цвет на томограмме показывает высокую скорость распространения импульса, желтый цвет соответствует средней скорости, красный цвет – замедленной скорости.

Следующим этапом являлось получение данных методом пробуравливания модельного дерева на всю величину с использованием прибора Resistograph® 4452-S.

Резистограф (от англ. resistance – сопротивление) учитывает сопротивление при сверлении древесины. По мере продвижения ультратонкого сверла вглубь древесины Resistograph® в режиме реального времени печатает на бумажной ленте график, характеризующий изменение сопротивления в зависимости от глубины проникновения. При построении резистограмм также применяется цветовая схема: зеленым цветом выделена зона здо-

ровой древесины без поражений, желтым цветом – начальная стадия деструкции, красным цветом выделена зона древесины с разрушением межволоконных связей. Также по цвету выделены зоны коры, камбия и защитный барьер, или зона компартиментализации (способность деревьев изолировать зону повреждения от остальных тканей). Сверления проводились на высоте 130 см и в комлевой части ствола каждого модельного дерева.

Результаты исследований и их обсуждения. В качестве примера на рисунках 2-6 приведены результаты исследования четырех модельных деревьев дуба черешчатого (*Quercus robur L.*).

Анализируя резистограммы модельного дерева №1/1 без признаков ослабления (рис. 2), можно утверждать, что в древесине в районе 37-39 см глубины бурения имеется деструктивный изъян, который характеризуется как начальная стадия разрушения межволоконных связей. На данный момент это никак не проявляется на внешних диагностических признаках. Древесина с естественной плотностью составила 94%, на участок древесины с начальной стадией деструкции приходится 3%, на кору и камбий приходится, соответственно, 2 и 1%. На томограмме модельного дерева видно, что основной цветовой оттенок представлен зеленым цветом, который характеризует-

ся высокой скоростью распространения импульсов и сигнализирует о нормальной плотности древесины. В ядровой части древесины преобладают цветовые гаммы от желтого до красного, что свидетельствует о понижении плотности древесины.

Это может быть связано с тем, что у дуба черешчатого ядровая древесина менее плотная, чем заболонная (периферийная), так как доля ранней древесины преобладает над долей поздней древесины в отдельно взятом годичном кольце.

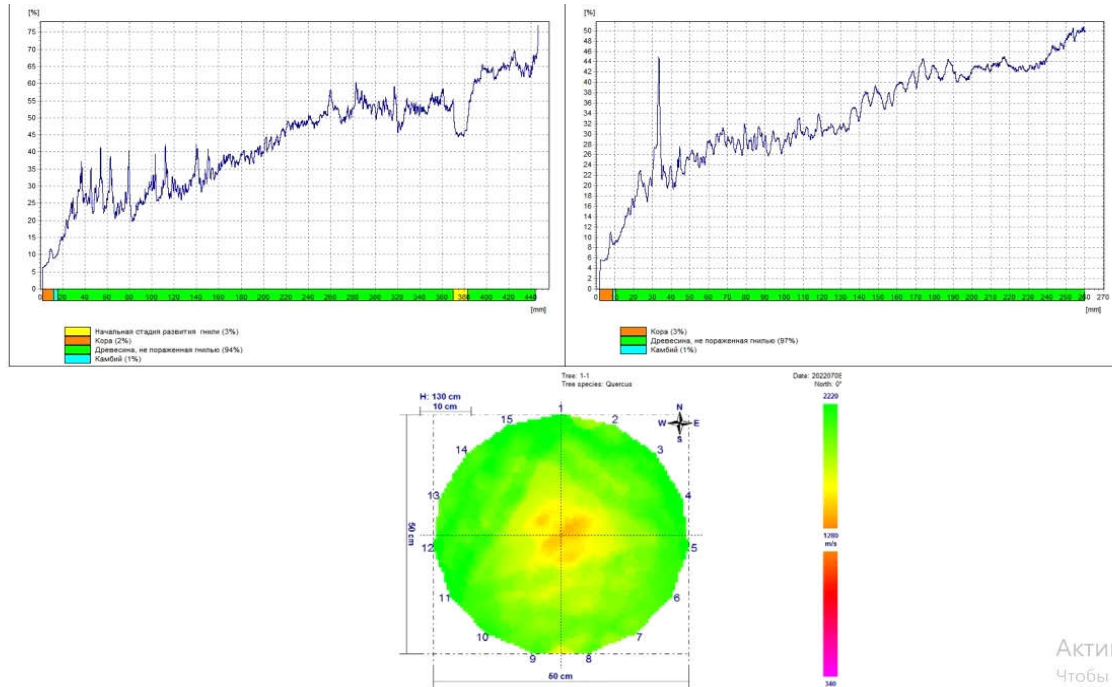


Рисунок 2. Резистогаммы (слева – на высоте 1,3 м, справа – в комлевой части ствола) и томограмма (внизу) модельного дерева № 1/1

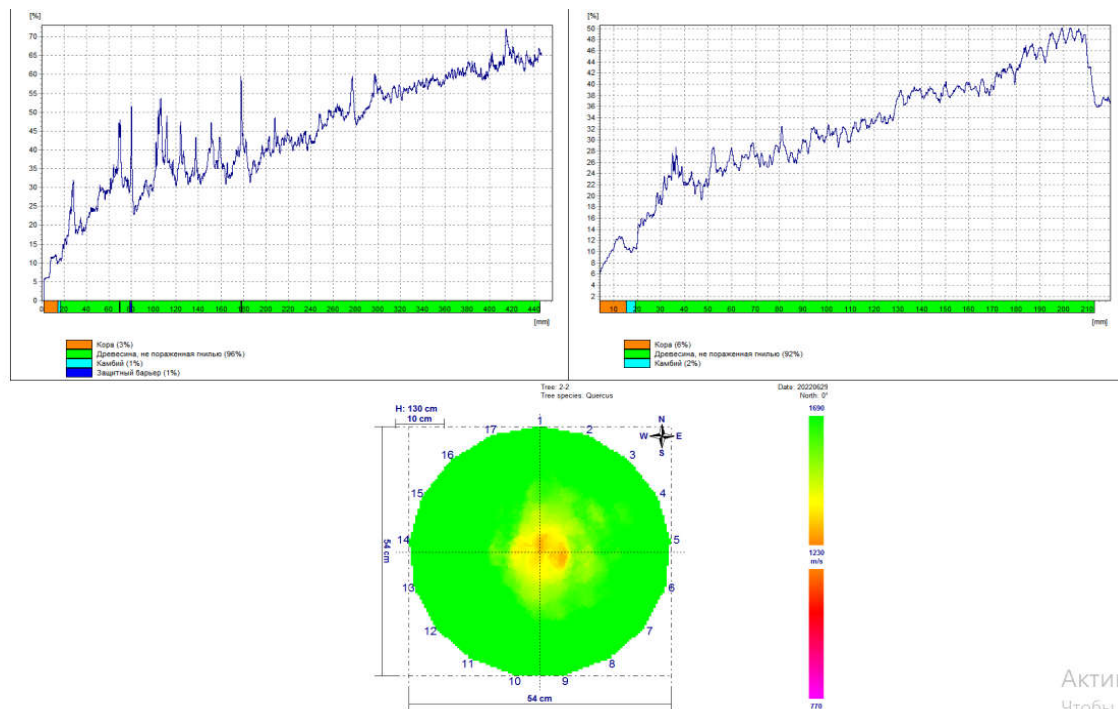


Рисунок 3. Резистогаммы (слева – на высоте 1,3 м, справа – в комлевой части ствола) и томограмма (внизу) модельного дерева № 5/2

Результаты резистогаммы и томограммы (рис. 3) модельного дерева № 5/2

второй категории санитарного состояния (ослабленное) показало, что в нем не вы-

явлены деструкционные отклонения. Однако можно увидеть на резистограмме несколько компартиментализационных пиков, которые составляют 1%. При сверлении в комлевой части ствола структурных изъянов также не было выявлено. Древесина с естественной плотностью составила от 95%, остальная доля приходится на кору и камбий. На томограммах модельных деревьев видно, что основной цветовой оттенок представлен зеленым цветом, который характеризуется высокой скоростью распространения импульсов и сигнализирует о нормальной плотности древесины. В ядровой части древесины преобладают цветовые гаммы от желтого до красного, что свидетельствует о понижении плотности древесины.

На рисунке 4 представлены резистограммы и томограмма модельного дерева № 7/3 третьей категории состояния (сильно ослабленное). Резистограмма сверления ствола на высоте 130 см по-

казывает, что внутренняя структура древесины характеризуется разрушением межволоконных связей. Доля древесины естественной плотности составляет 93%, остальная доля приходится на кору и камбий. Также наблюдаются компартиментализационные пики – 2%. В комлевой части ствола на глубине сверления от 24 до 27 см четко прослеживается процесс деструкции древесины и составляет 11%. На томограмме модельного дерева видно, что основной цветовой оттенок представлен зеленым цветом, который характеризуется высокой скоростью распространения импульсов и сигнализирует о нормальной плотности древесины. В ядровой части древесины преобладают цветовые гаммы от желтого до красного, что свидетельствует о понижении плотности древесины. Однако, по сравнению с предыдущими моделями 1 и 2 категории состояния, наличие желтой цветовой гаммы выражено сильнее.

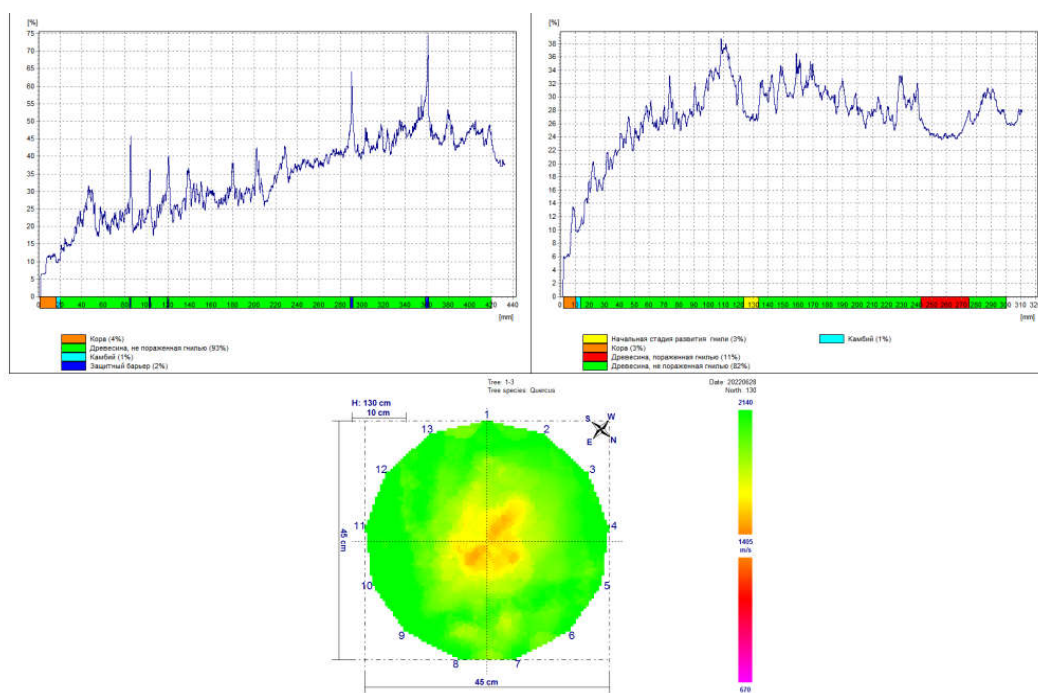


Рисунок 4. Резистограммы (слева – на высоте 1,3 м, справа – в комлевой части ствола) и томограмма (внизу) модельного дерева № 7/3

Результаты сверления ствола модельного дерева № 10/4 (рис. 5) четвертой категории санитарного состояния (усыхающее) показывают, что внутренняя структура древесины имеет четко выраженные участки разрушения межволокон-

ных связей 6%. Доля древесины естественной плотности составляет 80%, остальная доля приходится на кору и камбий. Наблюдаются также значительно выраженные компартиментализационные пики – 5%. Однако, наличие структурных

изъянов не было выявлено при сверлении в комлевой части ствола – древесина без признаков деструкции здесь составляет 97%, остальная доля приходит-

ся на кору и камбий. На томограмме в центральной части ствола преобладает красный цвет, что свидетельствует о понижении плотности древесины.

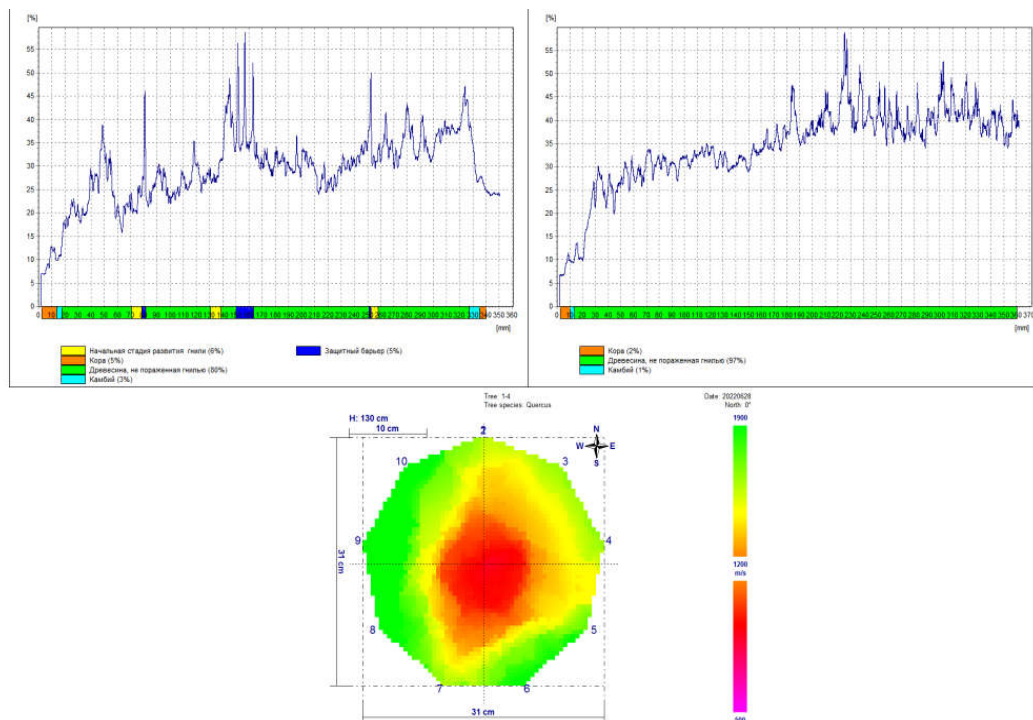


Рисунок 5. Резистогаммы (слева – на высоте 1,3 м, справа – в комлевой части ствола) и томограмма (внизу) модельного дерева № 10/4

Далее приводим результаты томограммы прохождения звукового импульса и резистогаммы сверления ствола.

Таблица 2 – Значения относительной плотности исследованных деревьев и результаты скорости звукового импульса

№ дерева	Категория состояния	Скорость прохождения звукового импульса, м/с	Древесина, не имеющая внутренней деструкции, %	Зона компартиментализации, %
1/1	1	1480	94	-
2/1	1	1350	95	-
3/1	1	1565	97	-
4/2	2	1115	97	-
5/2	2	1230	96	1
6/2	2	1235	97	-
7/3	3	1205	93	2
8/3	3	1160	95	2
9/3	3	1205	90	1
10/4	4	1200	80	5
11/4	4	1165	73	3
12/4	4	1195	74	1

Из полученных данных (табл. 2) видно, что в результате снижения категории санитарного состояния исследуемых дре-

весных растений происходит снижение скорости прохождения звукового импульса и уменьшение относительной плотно-

сти древесины.

На основании данных инструментального исследования качества стволковой древесины дуба черешчатого (*Quercus robur* L.) в возрасте 80-120 лет в условиях Воронежской нагорной дубравы можно сделать следующие **выводы**:

1. Исследованные модельные деревья дуба черешчатого (*Quercus robur* L.) имеют внешние патологические признаки, которые отмечены при визуальном обследовании деревьев. Проведенные исследования показали наличие у всех деревьев внутренних пороков, которые подтверждаются данными использованных инструментальных методов.

2. Как показали данные томограмм и резистограмм внутреннего состояния деревьев, существует взаимосвязь между наличием внешнего патологического состояния древесных растений и их внутренним состоянием. Чем выше категория состояния дерева, тем выше естественная плотность древесины и меньше деструкционных изъянов.

3. В структуре древесины, по данным томограмм, визуально определяются зоны локальных деструкций.

4. Обследование деревьев инструментальным методом при помощи Arbotom® и Resistograph® не является травматичным по сравнению с традиционным методом взятия керна.

5. Одновременное использование нескольких инструментальных методов при оценке состояния растущего дерева повышает точность полученных данных и позволяет с большей достоверностью определить области их максимальной деструкции.

6. На основании полученных данных обследования можно проводить точную диагностику состояния дерева и назначать оздоровительные мероприятия.

Список источников

1. Ковязин В.Ф., Нгуен Т.Л., Прияткин Н.С. Методика оценки санитарного состояния деревьев // Аграрный научный журнал. 2015. № 2. С.9 – 13.
2. Zhidkov V., Gornostaeva Z.

Transformation of International Standards of Nutrition due to Increasing Demand for Ecologically Clean Production // Indian Journal of Science and Technology. 2016. Vol. 9 (29). doi: 10.17485/ijst/2016/v9i29/89836. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27138092>

3. Tsaralunga V., Tsaralunga A., Furmenkova E. Improvement of tree condition diagnostics by external pathology characteristics // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Volume 226. Issue 1. 19 February 2019. International Jubilee Scientific and Practical Conference on Innovative Directions of Development of the Forestry Complex, Forestry 2018; Voronezh; Russian Federation; From October 4, 2018 to October 5, 2018. doi: 10.1088/1755-1315/226/1/012069.

4. Рунова Е.М., Гарус И.А., Мухачева А.Н. Применение инструментальных методов при оценке состояния стволов *Pinus sylvestris* L. // Лесотехнический журнал. 2020. Т. 10. № 3 (39). С. 72-85. EDN: MKWOGV. doi: 10.34220/issn.2222-7962/2020.3/8

5. Шарапов Е.С., Чернов В.Ю. Сравнительный анализ способов определения плотности древесины с помощью рентгеновского излучения и устройства для измерения сопротивления сверлению // Вестник Московского государственного университета леса. Лесной вестник. 2014. Т. 18. № 2. С. 89–95.

6. Мельничук И.А., Йассин М.Й.С., Черданцева О.А. Диагностика внутреннего состояния деревьев *Tilia cordata* Mill. с использованием комплекса аппаратуры акустической ультразвуковой томографии АРБОТОМ® // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2012. № 5. С. 25–32.

7. Царалунга В.В., Фурменкова Е.С., Крюкова А.А. Внешние признаки патологии дуба черешчатого. Воронеж : ВГЛТА, 2015. 231с.

8. Tsaralunga V.V., Tsaralunga A.V., Razinkova A.K. Comparative analysis of pathology of introduced and indigenous tree species in urban plantings of Voronezh // Indian Journal of Science and Technology. 2016. Vol 9(29). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27138033>

9. Gorobets A., Milenin A., Terekhov B. Carbon deposition by oak forests and willow communities // IOP Conference Series: Earth

and Environmental Science, Vol. 226, Issue 1, 19 February 2019. International Jubilee Scientific and Practical Conference on Innovative Directions of Development of the Forestry Complex, Forestry 2018; Voronezh; Russian Federation; from October 4, 2018; to October 5, 2018.

doi: 10.1088/1755-1315/226/1/012058.

10. Импульсно-томографная диагностика стволов в городских условиях на примере липы мелколистной / И.К. Латухина, Н.А. Бабич, А.М. Антонов, Н.О. Пастухова // Вестник КрасГАУ. 2016. № 7 (118). С. 36–40. EDN: WCYKKV

11. Тюкавина О. Н. О методах интерпретации результатов акустической томографии древесины сосны // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2015. № 4 (346). С. 61–67.

References

1. Kovyazin V. F., Nguen T.L., Priyatkin N.S. Metodika ocenki sanitarnogo sostoyaniya derev'ev // Agrarnyj nauchnyj zhurnal. 2015. № 2. S.9 – 13.

2. Zhidkov V. and Gornostaeva Z. Transformation of International Standards of Nutrition due to Increasing Demand for Ecologically Clean Production // Indian Journal of Science and Technology. 2016. Vol. 9 (29). doi: 10.17485/ijst/2016/v9i29/89836. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27138092>

3. Tsaralunga V., Tsaralunga A., Furmenkova E. Improvement of tree condition diagnostics by external pathology characteristics // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Vol. 226, Issue 1, 19 February 2019. International Jubilee Scientific and Practical Conference on Innovative Directions of Development of the Forestry Complex, Forestry 2018; Voronezh; Russian Federation; from October 4, 2018; to October 5, 2018. doi: 10.1088/1755-1315/226/1/012069.

4. Runova E.M., Garus I.A., Mukhacheva A.N. Application of instrumental methods in assessing the condition of trunks of *Pinus sylvestris* L. *Forestry Engineering Journal*. 2020. Vol. 10. No. 3 (39). Pp. 72-85. doi: 10.34220/issn.2222-7962/2020.3/8

5. Sharapov E.S., Chernov V.Y. Comparative analysis of methods for determining wood density using X-ray radiation and a device for measuring drilling resistance. *Bulletin of the Moscow State University of*

Forests – Lesnoy Vestnik. 2014. Vol. 18. No. 2. Pp. 89-95.

6. Melnichuk I.A., Yassin M.Y.S., Cherdantseva O.A. Diagnostics of the internal state of *Tilia cordata* Mill trees using the complex of acoustic ultrasound tomography equipment ARBOTOM®. *Bulletin of the Peoples' Friendship University of Russia. Series: Agronomy and animal husbandry*. 2012;5:25-32.

7. Caralunga V.V., Furmenkova E.S., Kryukova A.A. Vneshnie priznaki patologii duba chereshchatogo. Voronezh : VGLTA, 2015. 231s.

8. Tsaralunga V.V., Tsaralunga A.V., Razinkova A.K. Comparative analysis of pathology of introduced and indigenous tree species in urban plantings of Voronezh. *Indian Journal of Science and Technology*. 2016. Vol 9 (29). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27138033>

9. Gorobets A., Milenin A., Terekhov B. Carbon deposition by oak forests and willow communities [Electronic resource] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Volume 226, Issue 1, 19 February 2019. International Jubilee Scientific and Practical Conference on Innovative Directions of Development of the Forestry Complex, Forestry 2018; Voronezh; Russian Federation; From October 4, 2018 to October 5, 2018. doi: 10.1088/1755-1315/226/1/012058.

10. Latukhina I.K., Babich N.A., Antonov A.M., Pastukhova N.O. The impulse-tomography diagnostics of tree trunks in city conditions on the example of fine-leaved linden. *Bulletin of KSAU*. 2016;7 (118):36-40 (In Russ.)

11. Tyukavina O.N. On methods of interpretation of results of acoustic tomography of pine wood // News of higher educational institutions. Forest Magazine. 2015;4(346):61-67.

Информация об авторах

Евгения Сергеевна Фурменкова – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры ландшафтной архитектуры и почвоведения;

Марина Владимировна Кочергина – кандидат биологических наук, доцент кафедры ландшафтной архитектуры и почвоведения.

Information about the authors

Evgeniya S. Furmenkova – Candidate of Sciences (Agriculture), Associate Professor, Landscape Architecture and Soil Science department;

Marina V. Kochergina – Candidate of Sciences (Biology), Associate Professor, Landscape Architecture and Soil Science department.

Статья поступила в редакцию 03.11.2023; одобрена после рецензирования 24.11.2023; принята к публикации 28.11.2023.

The article was submitted 03.11.2023; approved after reviewing 24.11.2023; accepted for publication 28.11.2023.