

Таблица 2 – Сравнительный анализ микобиомов корней самосева дуба черешчатого и березы бородавчатой

Количество выявленных видов грибов	Древесный вид	
	<i>Q. robur</i>	<i>B. pendula</i>
Всего операционно-таксономических единиц (ОТЕ)	11	27
в т.ч. представители отделов:		
– Аскомикота	5	14
– Базидиомикота	6	10
– нет сведений	–	3
в т. ч. по трофической специализации:		
– эктомикоризные;	8	14
– эндомикоризные;	–	1
– условно-патогенные;	–	4
– сапротрофные;	3	5
– нет сведений	–	3

Среди установленных ОТЕ на дубе 55% – представители отдела Базидиомикота, на корнях березы незначительно преобладали представители отдела Аскомикота (52%). На березе оказались не идентифицированными (не верифицированными) 3 вида, вероятно, в последующей работе видовую принадлежность некоторых из них удастся установить путем сбора и секвенирования плодовых тел, а также образцов корней растений с моноинфекцией грибов.

Литература

- Dighton, J. The Fungal Community. Its Organization and Role in the Ecosystem (Fourth Edition) / J. Dighton, J. F. White // CRC Press. – 2017. – 652 p.
- Watkinson, S. C. The Fungi / S. C. Watkinson, L. Boddy, N. Money // UK: Academic Press. – 2016. – 478 p.
- Падутов В.Е. Методы молекулярно-генетического анализа / В.Е. Падутов, О.Ю. Баранов, Е.В. Воропаев. – Минск: Юнипол, 2007. – 176 с.
- Федоров Н.И. Лесная фитопатология: учеб. для студ. специальности «Лесное хозяйство» / Н.И. Федоров. – Минск: БГТУ, 2004. – 462 с.
- Юркевич И.Д. География, типология и районирование лесной растительности Белоруссии / И.Д. Юркевич, В.С. Гельтман. – Минск: Наука и техника, 1965. – 286 с.
- Ярмолевич В.А. [и др.] Видовая структура микобиомов корней самосева и сеянцев сосны обыкновенной и ели европейской / Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Сэрыя біялагічных навук. – 2024. – Т. 69, № 3. – С. 183–197.

Работа выполнена при поддержке БРФФИ, грант №Б24-006.

УЛЬТРАЗВУКОВАЯ ТОМОГРАФИЯ СТАРОВОЗРАСТНЫХ ДЕРЕВЬЕВ В КОНТЕКСТЕ СОХРАНЕНИЯ ИСТОРИКО-КУЛЬТУРНОГО НАСЛЕДИЯ

Ярмош В.Г.¹, Звягинцев В.Б.²

¹Полесский государственный университет,
bloh.v@polessu.by

²Белорусский государственный технологический
университет, *mycolog@tut.by*

ULTRASONIC TOMOGRAPHY OF OLD-AGE TREES IN THE CONTEXT OF PRESERVATION OF HISTORICAL AND CULTURAL HERITAGE

Yarmash V. G., Zviagintsev V. B.

В статье представлены результаты обследования 45 старовозрастных деревьев с помощью импульсного томографа ARBOTOM® на территории «Негорельский учебно-опытный лесхоз» в филиале УО «Белорусский государственный технологический университет». Проанализированы: распределение зон деструкции в поперечном сечении ствола; процент деградации древесины; корреляция томографических данных с визуальными признаками патологий (морозобоины, дупла, гнили, усыхание кроны). Выявлены критические скрытые дефекты у 65% деревьев при визуальном «удовлетворительном» состоянии.

Для сохранения исторических парков, как важных объектов культурного наследия страны, необходимо проведение систематического мониторинга насаждений, который позволит оценить санитарное состояние и степень сохранности важного компонента парковых экосистем – дендрофлоры. Старовозрастные деревья наиболее подвержены развитию скрытых внутренних дефектов (гнили, дупел, трещин), которые не всегда проявляются внешне до момента критического ослабления конструкции ствола. Для эффективного и безопасного управления ценными старовозрастными экземплярами, требуются объективные, неинвазивные и точные методы диагностики. Это позволит: обоснованно назначать превентивные мероприятия (укрепление каблингом, кронирование) для продления жизни дерева; своевременно выявлять аварийно-опасные экземпляры, требующие удаления; эффективно распределять ограниченные ресурсы на уход за зелеными насаждениями.

Цель исследования: продемонстрировать потенциал, методологические особенности, ограничения и практическую ценность ультразвуковой томографии (УЗТ) для оценки состояния внутренней структуры старовозрастных деревьев как ключевого инструмента для их сохранения и управления рисками.

На данный момент применение акустической томографии является эффективным способом определения наличия деструкции древесины. Акустическая томография – это метод, который был опробован многими исследователями в области обнаружения гниения деревьев, а также определения устойчивости деревьев (Radovan Ostrovskĕ et al., 2017). Импульсный томограф основан на принципе, что скорость распространения ультразвукового сигнала в древесине зависит от ее плотности. Прибор оснащен датчиками с виброметром и электронным регулятором для прямого анализа поступающих импульсов в режиме реального времени. Простой удар молотка по датчику генерирует волны напряжения, проходящие через древесину. Время прохождения волн напряжения между датчиками регистрируется и преобразуется в скорость (Руководство, 2012). Например, древесина подверженная гниению передает ультразвуковую волну хуже, чем здоровая древесина (Nicolotti et al., 2003; Руководство, 2012; Мельничук и др., 2012; Radovan Ostrovskĕ et al., 2017). При наличии внутренней трещины в стволе дерева, акустическая томография имеет тенденцию завышать размер дефекта (Radovan Ostrovskĕ et al., 2017). Ультразвуковая томография оказалась эффективным инструментом обнаружения внутреннего распада, точное определение местонахождения положение аномалий и оценку их размера, формы, и характеристики с точки зрения механических свойств (Nicolotti et al., 2003).

Специфика старовозрастных деревьев: крупные размеры ствола (необходимость большого числа датчиков, длинные траектории); сложная морфология (неровная поверхность, наплывы, дупла, трещины); гетерогенность структуры (ядро/заболонь, реактивная древесина, внутренние рубцы, включения смолы/камеди); типичные возрастные дефекты: сложная система гнилей, крупные полости, скрытые трещины.

Преимущества УЗТ: высокое пространственное разрешение, неинвазивность, безопасность, объективность данных, количественная оценка скорости/ослабления, визуализация распределения дефектов. Недостатки УЗТ: высокая стоимость оборудования, необходимость квалификационного персонала.

Таксономическая принадлежность древесных растений определена по характерным морфологическим видовым признакам; измерение диаметра ствола на высоте 1,3 м (с точностью до 0,5 см) осуществлялось с помощью мерной вилки; категории состояния растений оценивались по внешним признакам согласно шкале категорий состояния хвойных и лиственных деревьев (Санитарные правила в лесах Республики Беларусь, 2016). Полученные данные обрабатывались методом вариационной статистики с использованием встроенных статистических функций программы MS Excel для Windows. Методика проведения анализа с помощью импульсного томографа ARBOTOM® осуществлялась в соответствии с руководством пользователя Arbotom 3D импульсный томограф для оценки деревьев (Руководство, 2012). Оценка состояния древесины с использованием импульсного томографа определялась по методике И.К. Латухиной, Н.А. Бабич, А.М. Антонова, Н.О. Пастуховой (Латухина и др., 2016).

В 2023 г. проведена оценка внутреннего состояния 45 старовозрастных деревьев, произрастающих в аллее (ясень *Fraxinus* L. – средний диаметр 70,5 см, липа *Tilia* L. – 100, 67 см, тополь *Populus* L. – 81,4 см, береза *Betula* L. – 66,78 см), на центральной поляне в ботаническом саду в филиале УО «Белорусский государственный технологический университет» «Негорельский учебно-опытный лесхоз» (пихта *Abies* Mill. – 43,88 см, псевдотсуга *Pseudotsuga* Carr. 59,0 см), в сквере д. Городище (ясень *Fraxinus* L. – 90,0 см, дуб *Quercus* L. – 80,0 см).

В результате исследования выявлены породы с наиболее высоким средним процентом деструкции: Липа *Tilia* L. (98,73%), Береза *Betula* L. (47,8%), Тополь *Populus* L. (44,1%), диаграмма внутренней структуры, усредненной по породам, представлена на рисунке 1.

Наиболее сохранные: Дуб *Quercus* L. (13,9%), Ясень *Fraxinus* L. (30,44%), Пихта сибирская (*Abies sibirica* Ledeb.) №4 (6,8%). Томография подтвердила критическое состояние Ясеня *Fraxinus* L. №5 (деструкция 80,1%, раздвоение, трещина). Высокий процент деструкции (70,5-82,1%) березы *Betula* L. соответствовал плохой визуальной оценке, морозобойные трещины были частым сопутствующим фактором. У тополя *Populus* L. преобладала деструкция в «желтой» и «оранжевой» зонах, что соответствует удовлетворительному и хорошему состоянию по томографии, но часто сопровождалось наклоном ствола, водяными побегами и усыханием ветвей. Дуб *Quercus* L. показал наилучшие результаты по томографии при незначительном усыхании кроны (15%), подтверждая устойчивость породы, морозобойные трещины не приводили к массовой деструкции. Пихты *Abies* Mill. показали высокую деструкцию (№2, 6, 11: 86,9-96,2%), совпадающую с сильным усыханием кроны (30-65%) и наличием хермеса (*Adelges* Vallot). Пихта сибирская №4 (*Abies sibirica* Ledeb.) и Псевдотсуга Мензиса №9 (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco) демонстрируют диссонанс: низкая деструкция ствола (6,8%, 10,0%) при сильном усыхании кроны (70%, 90%), что требует изучения причин усыхания.

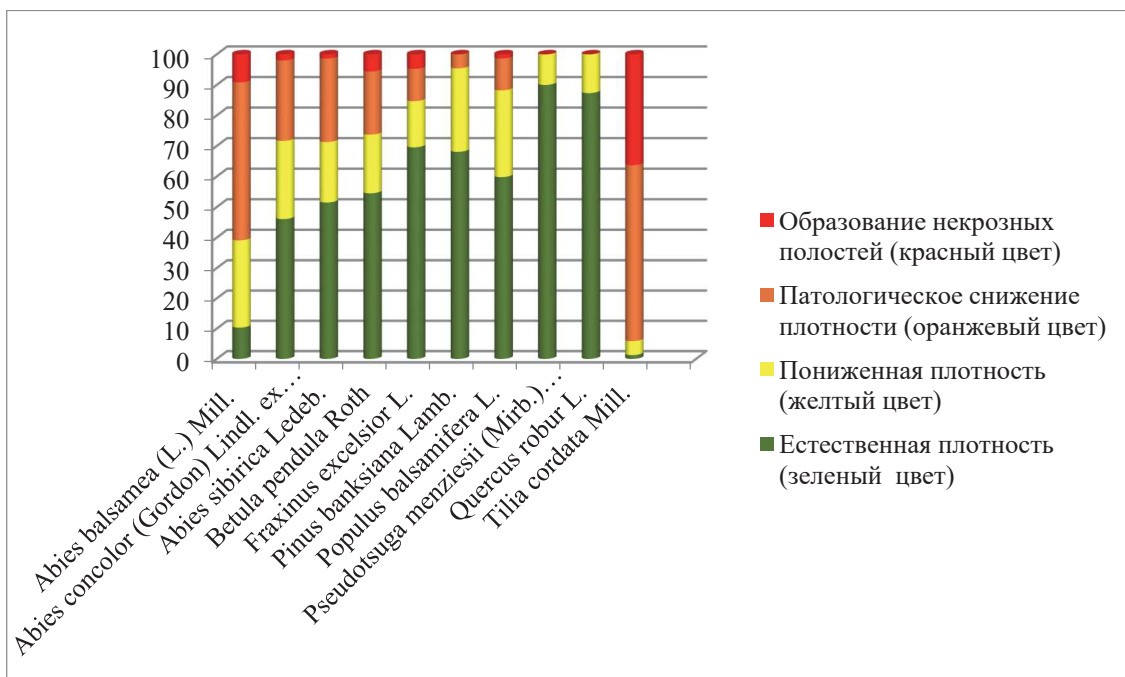


Рис. 1. Диаграмма внутренней структуры древесины различных пород

Томографическая оценка («Отлично»/ «Хорошо») в целом коррелировала с низким процентом деструкции (<35%) и категорией санитарного состояния 2 – 3. Оценка «Плохо» всегда соответствовала высокой деструкции (>54.2%) и категории 3 – 4. Оценка «Удовлетворительно» была при деструкции 35-55%, но требовала особого внимания к сопутствующим факторам (трещины, дупла, наклоны).

Неинвазивная диагностика доказала свою эффективность в выявлении скрытых дефектов (гниль, трещины, зоны разложения), не всегда очевидных при визуальном осмотре. Это позволяет точно картировать повреждения внутри ствола. Результаты томографии необходимо интерпретировать с учетом породы: у ясеня *Fraxinus* L. поражение сосудов может не отражаться в сильной стволовой деструкции; у березы *Betula* L. «красная» зона томограммы – надежный индикатор ядровой гнили; дуб *Quercus* L. показал высокую устойчивость стволовой древесины; высокое усыхание кроны у хвойных при низкой деструкции ствола требует проверки состояния корней и вершины. Томография дополняет, но не заменяет визуальный осмотр. Комбинация методов позволяет: выявить деревья с внешне сохранной кроной, но критически поврежденным стволом, представляющих аварийную опасность; обосновать необходимость санитарных рубок или укрепительных мероприятий (каблинг); оценить эффективность лечения; выявить «неочевидные» проблемы. Раннее выявление скрытых дефектов с помощью томографии позволяет проводить превентивные мероприятия, продлевая жизнь ценным старовозрастным деревьям и снижая риск внезапного падения, что экономически эффективнее ликвидации последствий. УЗТ является высокоэффективным неразрушающим методом для визуализации внутренних дефектов старовозрастных деревьев. Метод позволяет объективно оценить степень поражения и остаточную прочность ствола, что критично для управления рисками. Применение УЗТ требует учета специфики старых деревьев и преодоления методологических сложностей. Наибольшая информативность достигается при интеграции данных УЗТ с другими методами диагностики.

Литература

Application and comparison of three tomographic techniques for detection of decay in trees by /Nicolotti et al.: Three Tomographic Techniques for Detection of Decay in Trees –2003. – P. 66-78

Radovan Ostrovskэ, Marek Kobza, J6n Gažo Extensively damaged trees tested with acoustic tomography considering tree stability in urban greenery // Received: 2 August 2016 / Accepted: 13 January 2017. – Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2017.

Латухина И.К., Бабич Н.А., Антонов А.М., Пастухова Н.О. Импульсно-томографная диагностика стволов в городских условиях на примере липы мелколистной // Вестник КрасГАУ. 2016. №7, С.183-188.

Мельничук И.А., Йассин Солиман Й.М., Черданцева О.А. Диагностика внутреннего состояния деревьев *Tilia cordata* Mill. с использованием комплекса аппаратуры акустической ультразвуковой томографии «Арботом®» // Вестник РУДН, серия Агрономия и животноводство, 2012, №5, С. 25-32

Руководство пользователя Arbotom 3D импульсный томограф для оценки деревьев. Версия для Microsoft Windows 98, 2000, XP, Vista, Windows 7. – 2012. – С. 57.

Санитарные правила в лесах Республики Беларусь [Электронный ресурс]: постановление Министерства лесного хозяйства Республики Беларусь, 19 декабря 2016 г., № 79 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – Режим доступа: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=W21631603&p1=1>. – Дата доступа: 22.06.2024.