

УДК 712.41:581.2:620.179.16
DOI 10.36305/2019-1-150-31-38

ОЦЕНКА ФИТОПАТОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ МЕТОДОМ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ДИАГНОСТИКИ

Олег Игоревич Коротков¹, Владимир Николаевич Герасимчук¹,
Владимир Александрович Беляков³, Юлия Анатольевна Гавриленко²,
Дарья Сергеевна Гардт², Софья Алексеевна Канаева²,
Георгий Валерьевич Кутайцев², Илья Олегович Логачев²

¹Никитский ботанический сад – Национальный научный центр РАН
298648, Республика Крым, г. Ялта, пгт Никита, Никитский спуск, 52
E-mail: gerasimchuk_vova@mail.ru

²Образовательный центр «Сириус»

³Образовательный Фонд «Талант и Успех»
354349, Краснодарский край, г. Сочи, Олимпийский проспект, д. 40

С использованием комплекса акустической ультразвуковой томографии ARBOTOM® ABT05-S оценено состояние тканей древесины стволов деревьев *Cupressus sempervirens* 'Stricta', *Morus nigra* L., *Magnolia grandiflora* L., *Carpinus orientalis* Mill., произрастающих на территории парка Образовательного центра «Сириус» (г. Сочи). Выявлено, что данные виды характеризуются значительной дифференциацией по степени поражения трутовыми грибами. Низкий уровень фитопатогенного повреждения наблюдался у *Carpinus orientalis*. Стволовая древесина *Morus nigra* характеризовалась наиболее высокими показателями фитопатогенной деградации. Негативное воздействие трутовых грибов, является одним из наиболее значительных факторов, снижающих жизненные функции и уменьшающих срок жизни многих видов древесных растений. Фитопатогенное повреждение древесины и формирование стволовой гнили и пустот оказывает влияние на рост и развитие растений, сокращая их жизненный период, а также может приводить к гибели и падению дерева, что в пределах городской среды представляет потенциальную опасность для человека.

Ключевые слова: *Cupressus sempervirens* 'Stricta'; *Morus nigra*; *Magnolia grandiflora*; *Carpinus orientalis*; ультразвуковая томография; ткани древесины; фитопатогенное повреждение; ОЦ «Сириус»

Введение

Оценка жизненного состояния растений, уровня их толерантности и адаптивного потенциала при воздействии лимитирующих факторов среды, являются важными направлениями исследований в области интродукции видов, повышения качества зеленых насаждений урбаноценозов и создания благоприятной и безопасной городской среды. Как в природе, так и в городской среде деревья подвержены воздействию различных факторов. Помимо абиотических факторов на рост и развитие растений существенное влияние оказывают биотические, например, воздействие микроорганизмов, трутовых грибов, насекомых и прочих вредителей, причем фитопатогенное повреждение древесины ствола относится к наиболее часто встречающимся болезням древесных растений, оказывающим непосредственное влияние на их жизненные функции (Герасимчук и др., 2018). Отличием между деревьями, произрастающими в естественной и искусственной среде, является наличие в последней специфических условий и воздействий, обусловленных деятельностью человека. Данная специфика условий, а также их несоответствие биоэкологическим требованиям вида может привести к более серьезным и стремительно развивающимся фитопатогенным деструкциям древесины и последствиям их возникновения.

Исследование внутренних структур ствола древесных растений позволяет своевременно обнаружить фитопатогенное поражение тканей и определить

расположение и степень развития деструкций. Один из методов диагностики – ультразвуковая томография, являющаяся наиболее точным и эффективным методом, в свою очередь не повреждающим исследуемое растение.

Целью работы были исследования фитопатологического состояния древесных растений, широко применяемых в садово-парковом строительстве и в городском озеленении. Данные деревья произрастают на территории образовательного центра «Сириус» и должны удовлетворять основным критериям: декоративность и безопасность. Своевременный мониторинг их состояния позволяет обеспечить их выполнение.

Объекты и методы исследований

Обследование древесных растений проводилось на территории парка образовательного центра «Сириус» в два этапа: первый, состоявшийся в январе 2019 года, второй – в июле того же года в рамках образовательной программы «Большие вызовы». В продолжение первого этапа было изучено состояние двух деревьев вида кипарис вечнозелёный пирамидальный (*Cupressus sempervirens* 'Stricta'); во втором этапе были изучены шелковица черноплодная (*Morus nigra* L.), магнолия крупноцветковая (*Magnolia grandiflora* L.), граб восточный (*Carpinus orientalis* Mill.).

Граб восточный, или грабинник (*Carpinus orientalis* Mill.)

Семейство: Betulaceae

Небольшое листопадное дерево, достигающее в высоту 5-7 м. Ствол диаметром до 25 см, искривленный и ребристый. Крона густая, яйцевидная или округлая. Молодые ветви и черешки листьев мохнато-волосистые. Данный вид светолюбив и засухоустойчив. В природе ареал вида охватывает Балканы, Крым, Кавказ, Малую Азию и Иран. Рекомендуются для использования в парках и скверах, для создания густых стриженных изгородей, для озеленения промышленных территорий. Деревья устойчивы к различным техногенным нагрузкам (https://howlingpixel.com/i-ru/Граб_восточный).



Carpinus orientalis Mill.

Магнолия крупноцветковая (*Magnolia grandiflora* L.)

Семейство: Magnoliaceae

Вечнозеленое дерево высотой до 50 м, относительно быстрорастущее на богатых, глинистых, сырых, хорошо-дренированных почвах прибрежных равнин и нагорий не выше 150 м над уровнем моря. Светолюбива, устойчива к вредителям, болезням и ветру, не долговечна на известковых почвах. В природе ареал вида охватывает юго-восточные штаты США (от Северной Каролины до Флориды и Техаса). Как декоративное растение выращивается в Грузии, Крыму, Средней Азии, южных районах Краснодарского края России. В



Magnolia grandiflora L.

условиях естественного ареала редко формирует чистые насаждения, чаще растёт вместе с хвойными и широколиственными видами. Довольно хорошо выносит условия города (<https://c-c-o.ru/enciklopediya/magnoliya-krupnocvetkovaya-magnolia-grandiflora/>).

Кипарис вечнозелёный пирамидальный (*Cupressus sempervirens* 'Stricta')

Семейство: Cupressaceae

Вечнозеленое хвойное дерево высотой 20-30 м. Растёт весьма быстро, продолжительность жизни составляет до 2000 лет. Хорошо переносит продолжительную засуху и кратковременные понижения температуры, светолюбив, малотребователен к почве. Имеет красивую пирамидальную форму кроны, поэтому широко используется для озеленения парков, скверов, аллей и даже автомагистралей, т.к. устойчив к высокой загазованности воздуха (<https://fermilon.ru/sad-i-ogorod/derevo/kiparis-vechnozelenyy-piramidalnyy.html>).



Cupressus sempervirens 'Stricta'

Шелковица черноплодная (*Morus nigra* L.)

Семейство: Moraceae

Листопадное дерево высотой до 10-13 м. Листья длиной 10-20 см и шириной 6-10 см, опушенные снизу. Плоды съедобные, сладкие на вкус. Некоторые деревья доживают до 500 лет. Листья дерева служат источником питания для тутовых шелкопрядов, которых используют для производства шелка. Шелковица чёрная происходит из Юго-Западной Азии, широко распространилась на запад и на восток. Наиболее широко она распространена в Иране, Афганистане, Таджикистане, Узбекистане и Северной Индии (<http://flower.onego.ru/kustar/moris.html>).



Morus nigra L.

Для обследования вышеназванных видов древесных растений на предмет фитопатогенного поражения тканей и развития деструкций древесины провели анализ существующих методов. Были изучены принципы действия электрической, ультразвуковой томографии и томографии с применением георадара; термографии, устройства для измерения сопротивления ствола Resistograph (Левинский *и др.*, 2015 ; Divos, Szalai, 2002).

Термография, георадарная и электрическая томография не были выбраны нами по причине значительных погрешностей получаемых результатов и сложности их применения. Использование устройства Resistograph было признано нецелесообразным, т.к. дает точечную проекцию, а также наносит существенные повреждения исследуемым древесным растениям. Метод ультразвуковой томографии с использованием импульсного томографа ARBOTOM® ABT05-S, выбранный для исследования, отличается своей точностью и наглядностью результатов,

универсальностью, простотой применения и безопасностью для деревьев (Герасимчук и др. 2018).

Принцип работы импульсного томографа основан на создании звуковых импульсов и фиксации их скорости прохождения через древесину. В данном случае скорость коррелирует с плотностью древесины, а значит и ее состоянием. Все данные выводятся на экран компьютера, где сразу будет создана цветная томограмма в виде графического изображения, показывающая деструкции древесины.

Для выявления повреждений использовался импульсный томограф ARBOTOM® АВТ05-S. В состав комплекса входят: многофункциональные сенсоры (24 шт.), соединительные кабели, компьютер (ноутбук), кейс с аккумуляторным модулем (Arbotom, 2012).

С целью выявления особенностей распределения фитопатогенных повреждений в объеме ствола ультразвуковое сканирование тканей древесины проводили в разных вариантах – на высоте 20, 80, 100 и/или 120 см. На каждое дерево монтировалось от 7 до 9 датчиков. Датчики прибора были закреплены на штифты, монтированные в стволы деревьев на одной высоте от поверхности земли и через равное расстояние относительно друг друга (рис 1). Датчики соединялись последовательно с помощью специальных кабелей, после чего в цепь был включен блок питания и компьютер с заранее установленной на нём программой «Arbotom v2».

Затем был осуществлен ввод данных в программные окна (рис.2) о названии проекта, расположении объекта исследования, о виде древесного растения (или о типе древесины), о времени проведения эксперимента и нулевой (северной) точке отсчета. Далее были введены данные о количестве датчиков, высоте их расположения, их позиции относительно друг друга по окружности ствола, погрешности радиуса (Radius-Difference) - для придания натуральной формы окружности ствола.

При подаче питания к датчикам прибора проверялась правильность соединения в цепи, после чего запускалась программа считывания акустического сигнала. Каждому датчику, согласно их последовательности, подавался сигнал на сенсорную часть датчика (Shock bolt), после чего звуковой импульс распространяется от сенсора по креплению (штифту) и проходит через древесину до достижения остальных, закрепленных на стволе дерева датчиков, включенных в цепь. После запуска программы и считывания сигнала, программа составляет таблицу с информацией о времени прохождения звукового сигнала через древесину до остальных датчиков цепи, синтезирует график линий и томографическое изображение среза древесины. Анализ полученных результатов осуществлялся с помощью сопоставления скоростей прохождения и расшифровки значений графиков согласно цветовой шкале.



Рис. 1 Датчики, закрепленные на *Morus nigra*
Fig. 1 Sensors attached to *Morus nigra*

Arbotom - ARBOTOM 2.08b (c) 1999-2017 Frank Rinn / RINNTECH.

File Measurement View Options Help

Distances [cm] Bursters [s] Velocities [m/s] Delta [°] Lines 2D 3D Mechanical Radius Notes/GPS Statistics

Project: Tree: Tree species: Please select tree!

Location:

No.	Sensor ID	Height [cm]	Pos [cm]	Pos information	Pos offset [cm]	Diameter [cm]	Radius-Off [cm]	Bending [%]	Level
1		0,00	0,00	Level 1 circumference	0,00	0,00	0,00	100	1
2		0,00	0,00	Pos offset -> Sensor 2		0,00	0,00	100	1
3		0,00	0,00	Pos offset -> Sensor 3		0,00	0,00	100	1
4		0,00	0,00	Pos offset -> Sensor 4		0,00	0,00	100	1
5		0,00	0,00	Pos offset -> Sensor 5		0,00	0,00	100	1
6		0,00	0,00	Pos offset -> Sensor 6		0,00	0,00	100	1
7		0,00	0,00	Pos offset -> Sensor 7		0,00	0,00	100	1
8		0,00	0,00	Pos offset -> Sensor 8		0,00	0,00	100	1
9		0,00	0,00	Pos offset -> Sensor 9		0,00	0,00	100	1
10		0,00	0,00	Pos offset -> Sensor 10		0,00	0,00	100	1
11		0,00	0,00	Pos offset -> Sensor 11		0,00	0,00	100	1
12		0,00	0,00	Pos offset -> Sensor 12		0,00	0,00	100	1
13		0,00	0,00	Pos offset -> Sensor 13		0,00	0,00	100	1
14		0,00	0,00	Pos offset -> Sensor 14		0,00	0,00	100	1

Рис. 2 Таблица ввода дендрометрических данных
Fig. 2 - Table for dendrometrical data

Результаты и их обсуждение

В результате проведенного маршрутного обследования территории парка образовательного центра «Сириус» был определен таксономический состав древесно-кустарниковых растений, состоящий из 106 видов из 104 родов, относящихся к 52 семействам. Ботаническая коллекция произрастает на территории площадью 52 тыс. м² (<https://sochisirius.ru/botanical-info>). Для исследования были выбраны вышеописанные древесные растения, представленные одним аборигенным (*Carpinus orientalis*) и тремя интродуцированными видами, произрастающими в различных почвенно-климатических условиях.

Были получены и проанализированы графики линий и томограммы *Cupressus sempervirens* 'Stricta' на высоте 20 см, *Morus nigra* – 20 см и 120 см (рис 3, 4), *Magnolia grandiflora* – 20 см, *Carpinus orientalis* – 80 см и 100 см. Существенные деструкции древесины были обнаружены у шелковицы черноплодной (на высоте 120 см), затем по данным анализам были сделаны предположения о причинах развития выявленных внутристволовых гнилей и пустот и о принципах избегания их развития – на примере неповрежденных особей.

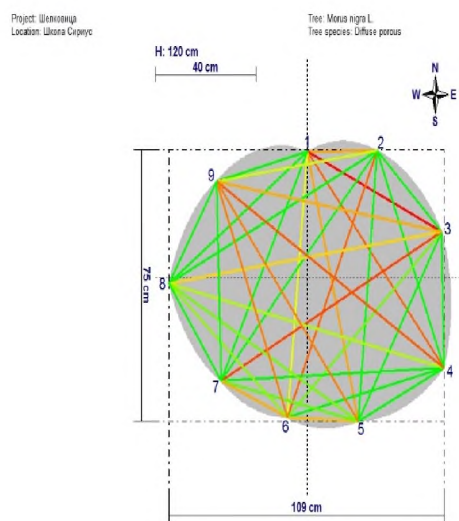


Рис. 3 График линий *Morus nigra* (h 120 cm)

Fig. 3 Line graph of *Morus nigra* (h 120 cm)

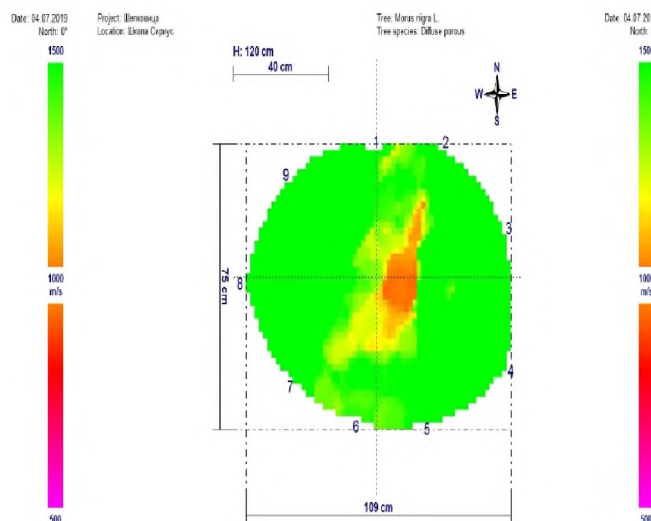


Рис. 4 Томограмма *Morus nigra* (h 120 cm)

Fig. 4 Tomogram of *Morus nigra* (h 120 cm)

Таким образом, после анализа данных, удалось сделать следующие предположения:

1) При обследовании *Cupressus sempervirens* 'Stricta' не было выявлено существенных по степени развития деструкций древесины (рис 5, 6). Незначительные повреждения одного из деревьев могут объясняться чрезмерным увлажнением почвы. Для избегания дальнейшего развития стволовых гнилей были предложены коррекция режима полива и создание приствольных кругов под проекцией кроны деревьев.

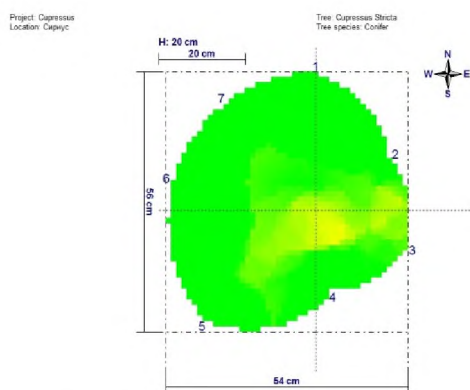


Рис. 5 Томограмма *Cupressus sempervirens* 'Stricta' (h 20 cm)

Fig. 5 Tomogram of *Cupressus sempervirens* 'Stricta' (h 20 cm)

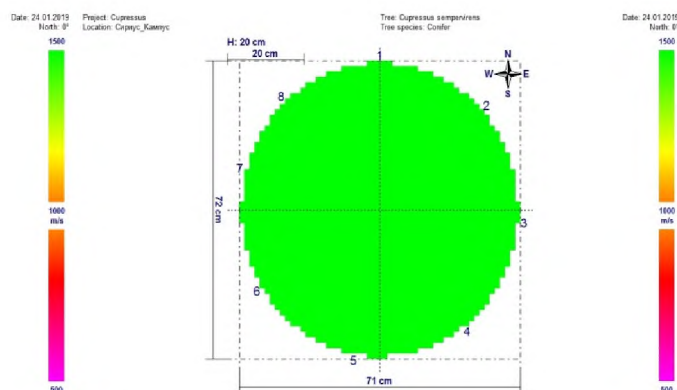


Рис. 6. Томограмма *Cupressus sempervirens* (h 20 cm)

Fig. 6 Tomogram of *Cupressus sempervirens* (h 20 cm)

2) Наиболее здоровая древесина при анализе была выявлена у *Carpinus orientalis* (рис 7), несмотря на внешние повреждения (дупло, ходы насекомых, сухобокость), что может свидетельствовать о том, что поражению гниlostными образованиями более подвержены некоторые виды древесных растений, интродуцированные в не оптимальные почвенно-климатические зоны.

3) Негативно сказываются на состоянии древесины и провоцируют её фитобактериальное поражение неправильные высадка и формирование деревьев, спил ветвей, что заметно на примере *Morus nigra*, в стволе которой гниль развивалась не по причине внешнего повреждения (сухобокость), а из-за высадки шелковицы на регулярно и обильно орошаемом участке, а также образования трещины между сросшимися стволами дерева (одним, вовремя не удалённым) и последующего накопления влаги на поверхности древесины, а значит, создания благоприятных условий для развития трутовых грибов.

4) Необходим подбор/создание почвенных и поливных условий, характерных для произрастания определенного вида древесных растений в естественной среде, для их эффективной акклиматизации на новой территории. Данное предположение доказывается примером *Magnolia grandiflora* (рис 8), высаженной на умеренно орошаемом участке, что соответствует условиям её естественного ареала (на юго-востоке США (от Северной Каролины до Флориды и Техаса)).

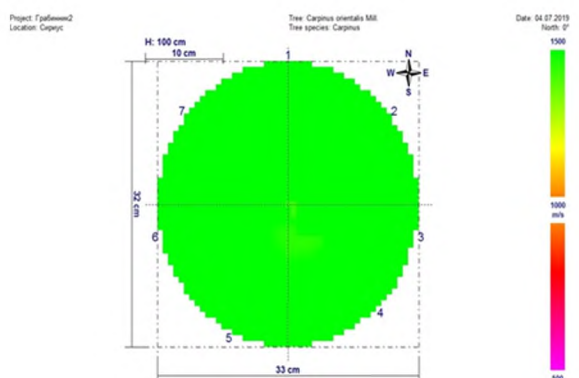


Рис. 7 Томограмма *Carpinus orientalis* (h 100 cm)

Fig. 7 Tomogram of *Carpinus orientalis* (h 100 cm)

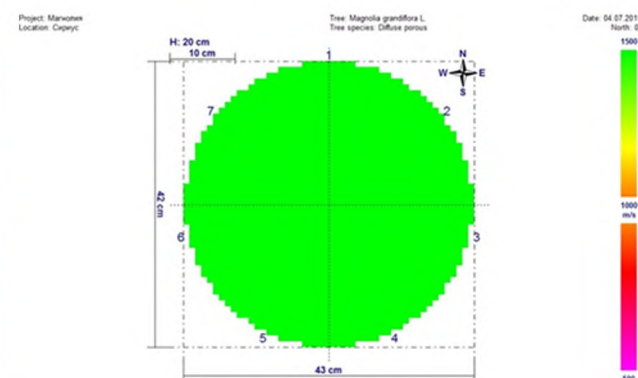


Рис. 8 Томограмма *Magnolia grandiflora* (h 20 cm)

Fig. 8 Tomogram of *Magnolia grandiflora* (h 20 cm)

Заключение

С использованием комплекса акустической ультразвуковой томографии ARBOTOM® ABT05-S, была проведена оценка состояния древесины стволов деревьев *Cupressus sempervirens* *Stricta*, *Morus nigra*, *Magnolia grandiflora*, *Carpinus orientalis*. В результате удалось выяснить, что данные виды различаются по степени поражения трутовыми грибами. Низкий уровень фитопатогенного повреждения наблюдался у *Carpinus orientalis*, т.к. он является аборигенным видом, обладающим высоким адаптивным потенциалом. Стволовая древесина *Morus nigra* характеризовалась наиболее высокими показателями фитопатогенного поражения, т.к. современные условия его произрастания в большей степени различны с условиями естественного ареала вида. Было установлено, что особи, подвергавшиеся повреждению внешних слоёв древесины при воздействии естественных физических факторов среды и/или ненормативного вмешательства человека также подвержены поражению гифами трутовых грибов, деструкции древесины ствола.

Фитопатогенное поражение древесины является одним из факторов, снижающих жизненные функции и срок жизни многих древесных растений. Подобное повреждение древесины провоцирует образование стволовой гнили и пустот и может приводить к гибели растений, что в условиях урбанизированной среды является потенциальной опасностью для человека.

Литература / References

Ботанический сад Образовательного центра «Сириус». – URL: <https://sochisirius.ru/botanical-info> – Дата обращения: 11.07.2019.

[Sirius Botanical Garden. Available at: <https://sochisirius.ru/botanical-info> (accessed: 19.09.2019)]

Герасимчук В.Н., Плугатарь Ю.В., Коба В.П., Панельбу В.В. Ультразвуковая диагностика состояния растений некоторых видов рода *Cupressus* L. коллекционных насаждений НБС-ННЦ // Биотехнология как инструмент сохранения биоразнообразия растительного мира (физиолого-биохимические, эмбриологические, генетические и правовые аспекты: материалы VIII международной конференции (Ялта, 1-5 октября 2018 г.). – Симферополь: ИТ «Ариал», 2018. – С. 34-35.

[Gerasimchuk V.N., Plugatar Yu.V., Koba V.P., Papelbu V.V., Ultrasound diagnostics of a state of some species of the genus *Cupressus* L. collection plantings of the NBG]

Граб восточный. – URL: https://howlingpixel.com/i-ru/Граб_восточный – Дата обращения: 11.07.2019.

[Hornbeam Eastern; art Howling Pixel. Available at: <https://howlingpixel.com/i-ru/Граб> (accessed: 19.09.2019)]

Кипарис вечнозеленый пирамидальный. – URL: <https://fermilon.ru/sad-i-ogorod/derevo/kiparis-vechnozelenyy-piramidalnyy.html> – Дата обращения: 11.07.2019.

[Evergreen Pyramidal Cypress. Available at: <https://fermilon.ru/sad-i-ogorod/derevo/kiparis-vechnozelenyy-piramidalnyy.html> (accessed: 19.09.2019)]

Левинский Ю.Б., Лавров М.Ф., Семенова С.А. Новый методологический подход к исследованию распределения плотности по сечению и высоте ствола в древесине (на примере древесины лиственницы даурской, произрастающей в Якутии) // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. – 2015. – Вып. 1(77). – С. 55-60.

[Levinsky Yu.B., Lavrov M.F., Semenova S.A. New methodological approach to the study of the density distribution in the cross section and height of the barrel in the wood (for example wood of *Larix dahurica* grown in Yakutia)].

Магнолия крупноцветковая. – URL: <https://c-c-o.ru/enciklopediya/magnoliya-krupnocvetkovaya-magnolia-grandiflora/> – Дата обращения: 11.07.2019.

[*Magnolia grandiflora* (*Magnolia grandiflora* Available at: <https://c-c-o.ru/enciklopediya/magnoliya-krupnocvetkovaya-magnolia-grandiflora/> (accessed: 19.09.2019)]

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.

[Melnichuk I.A., Yassin Soliman Y.M., Cherdantseva O.A. Diagnostics of the internal state of *Tilia cordata* Mill trees. with the use of a set of instruments acoustic ultrasound tomography "Arbotom". Department of garden and landscape construction of S.M. Kirov Saint-Petersburg State Forest Technical University].

Шелковица черноплодная. – URL: <http://flower.onego.ru/kustar/moris.html> – Дата обращения: 11.07.2019.

[Mulberry (*Morus*). Available at: <http://flower.onego.ru/kustar/moris.html> (accessed: 19.09.2019)].

Arbotom Manual – Tree-dimensional Impulse Tomograph for Examination of Trees and Timber. Rinntech, Germany, 2012.

Divos E., Szalai L. Tree evaluation by acoustic tomography. // Proceedings of the 13th International Symposium on Nondestructive Testing of Wood (August 19-21, 2002). Berkeley: CA, 2002. – P. 251-256.

Статья поступила в редакцию 06.09.2019

Korotkov O.I., Gerasimchuk V.N., Belyakov V.A., Gavrilenko Y.A., Gardt D.S., Kanaeva S.A., Kutaytsev G.V., Logachev I.O. Assessment of phytopathological state of woody plants by ultrasound diagnostics // Plant Biology and Horticulture: theory, innovation. 2019. № 1 (150). P. 31-38.

The state of the wood trunk tissue of trees *Cupressus sempervirens* 'Stricta', *Morus nigra* L., *Magnolia grandiflora* L., *Carpinus orientalis* Mill., growing in the Park of the Educational center "Sirius" (Sochi) was determined with the use of complex acoustic ultrasound tomography ARBOTOM® ABT05-S. It was revealed that these species were characterized by a significant differentiation in the degree of damage to bracket fungi. Low level of phytopathogenic damage was observed in *Carpinus orientalis*. The trunk wood of *Morus nigra* was characterized by the highest rates of phytopathogenic damage. The negative impact of bracket fungi is one of the most significant factors that reduce vital functions and reduce the life of many species of woody plants. Phytopathogenic damage to wood and trunk rot formation and voids have an impact on the growth and development of plants, reducing their life time, and can lead to death and fall of a tree, which within the urban environment is a potential danger to people.

Keywords: *Cupressus sempervirens* 'Stricta'; *Morus nigra*; *Magnolia grandiflora*; *Carpinus orientalis*; ultrasonic imaging; tissue wood plant pathogenic damage; EC "Sirius"