

Научная статья

УДК 632.03

DOI: 10.37482/0536-1036-2025-5-42-54

Биологическая деструкция древесины кленов в урбанизированной среде

И.А. Попкова[✉], канд. с.-х. наук, доц.; ResearcherID: [AAE-1329-2022](https://orcid.org/0000-0002-8180-5673),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8180-5673>

О.С. Залывская, д-р с.-х. наук, проф.; ResearcherID: [AAV-4901-2020](https://orcid.org/0000-0002-7520-6295),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7520-6295>

Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, наб. Северной Двины, д. 17, г. Архангельск, Россия, 163002; i.olupkina@narfu.ru[✉], o.zalyvskaya@narfu.ru

Поступила в редакцию 02.04.24 / Одобрена после рецензирования 27.06.24 / Принята к печати 28.06.24

Аннотация. Исследовано санитарное состояние кленов европейской флоры, произрастающих в условиях г. Архангельска. Процесс деструкции древесины является обычным для природных экосистем. В то же время развивающаяся в стволе гниль приводит к снижению механической прочности дерева, делая его потенциально опасным в городской среде. Интенсивность повреждений и скорость их распространения по стволу могут значительно варьироваться. Цель исследования – оценка характера деструкции древесины клена остролистного и клена Шведлера, произрастающих в дендрологическом саду им. И.М. Стратоновича, при помощи импульсного томографа «Арботом». Дендросад располагается в черте г. Архангельска. Проведено обследование таксонов по общепринятым методикам. На начальном этапе измерены биометрические характеристики деревьев и выполнена визуальная оценка их санитарного состояния. Используя томограф, произвели замеры на различных высотах ствола, что позволило получить полную картину внутренней структуры древесины и выявить возможные зоны разрушения, которые не видны при визуальном обследовании. Полученные данные показали, что клен остролистный и его разновидность имеют различия в устойчивости к внутренним гнилям. Зафиксировали наличие значительных нарушений у образцов клена остролистного, что свидетельствует о меньшей жизнеспособности данного вида. В то же время клен Шведлера характеризуется большей устойчивостью к поражениям гнилью, что может говорить о его превосходящей адаптивности к местным климатическим условиям. При помощи корреляционного анализа установлено, что взаимосвязь между возрастом кленов и скоростью прохождения импульса в древесине отсутствует. Результаты исследования могут стать основой для работ по интродукции и селекции видов кленов для северного региона, а также помогут в разработке рекомендаций по уходу за насаждениями и раннему диагностированию заболеваний деревьев. Применение импульсной томографии не только позволяет выявить уже существующие повреждения древесины, но и служит профилактическим инструментом, предотвращающим распространение болезней. Разработка программ по регулярному осмотру деревьев с использованием данной технологии может существенно повысить эффективность мероприятий по их защите.

Ключевые слова: импульсный томограф, стволовая гниль, Арботом, клен, *Acer L.*, городская среда, Архангельск



Для цитирования: Попкова И.А., Залывская О.С. Биологическая деструкция древесины кленов в урбанизированной среде // Изв. вузов. Лесн. журн. 2025. № 5. С. 42–54. <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2025-5-42-54>

Original article

Biological Degradation of Maple Wood in an Urban Environment

Irina A. Popkova[✉], Candidate of Agriculture, Assoc. Prof.; ResearcherID: [AAE-1329-2022](https://orcid.org/0000-0002-8180-5673), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8180-5673>

Olga S. Zalyvskaya, Doctor of Agriculture, Prof.; ResearcherID: [AAY-4901-2020](https://orcid.org/0000-0002-7520-6295), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7520-6295>

Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 17, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation; i.olupkina@narfu.ru[✉], o.zalyvskaya@narfu.ru

Received on April 2, 2024 / Approved after reviewing on June 27, 2024 / Accepted on June 28, 2024

Abstract. The sanitary condition of maples of the European flora growing in the conditions of the city of Arkhangelsk has been investigated. The process of wood degradation is common in natural ecosystems. At the same time, the rot developing in the stem leads to a decrease in the mechanical strength of the tree, making it potentially dangerous in an urban environment. The intensity of damage and the rate of its spread along the stem can vary significantly. The aim of the study has been to assess the nature of wood degradation of Norway maple and Schwedler maple growing in the Dendrological Garden named after I.M. Stratonovich using the Arbotom impulse tomograph. The dendrological garden is located within the city limits of Arkhangelsk. A survey of taxa has been carried out using generally accepted methods. At the initial stage, the biometric characteristics of the trees have been measured and a visual assessment of their sanitary condition has been performed. Using the tomograph, measurements have been taken at various heights of the stem, which has made it possible to obtain a complete picture of the internal structure of the wood and identify possible areas of destruction that are not visible during visual inspection. The data obtained has demonstrated that Norway maple and its variety have differences in resistance to internal rot. Significant disturbances have been recorded in Norway maple samples, indicating the lower viability of this species. At the same time, Schwedler maple is characterized by greater resistance to rot damage, which may indicate its superior adaptability to local climatic conditions. Correlation analysis has shown that there is no relationship between the age of the maples and the speed of pulse propagation in the wood. The results of the study can become the basis for work on the introduction and breeding of maple species suitable for the northern region, as well as help in developing recommendations for plant care and early diagnosis of tree diseases. The use of impulse tomography not only allows the detection of existing wood damage, but also serves as a tool to prevent the spread of diseases. Developing programs for regular inspection of trees using this technology can significantly increase the effectiveness of tree protection measures.

Keywords: impulse tomograph, stem rot, Arbotom, maple, *Acer* L., urban environment, Arkhangelsk

For citation: Popkova I.A., Zalyvskaya O.S., Biological Degradation of Maple Wood in an Urban Environment. *Lesnoy Zhurnal* = Russian Forestry Journal, 2025, no. 5, pp. 42–54. (In Russ.). <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2025-5-42-54>

Введение

Культивирование новых видов растений способствует расширению хозяйственного использования земельных ресурсов северных регионов, а также улучшению качества городской среды и повышению комфортности проживания в северных населенных пунктах [1, 18, 19].

Клены европейской флоры широко используются в озеленении благодаря своей устойчивости и долговечности в урбанизированной среде. Они обеспечивают улучшение эстетических и санитарно-гигиенических свойств городских насаждений.

Антропогенные и климатические факторы могут существенно повлиять на состояние древесины, что ослабляет деревья, делая их более восприимчивыми к болезням и вредителям [5]. Развивающаяся в стволе гниль уменьшает механическую прочность дерева и повышает риск его падения.

Гниение древесины является широко распространенным процессом в природе, которому подвергаются не только мертвая древесина, но и древесина старых и молодых растущих деревьев [3]. Исследованием данного процесса уже давно занимаются ботаники и лесоводы [2, 4, 7–9, 15–20, 22]. В условиях северного климата, где температура и осадки могут варьироваться, этот процесс проявляется особенно интенсивно. При интродукции новых видов древесных растений в северные регионы изучение их устойчивости критически важно. Непригодные для таких условий виды могут быстро деградировать. Таким образом, знание о состоянии древесины растений становится практическим инструментом для лесоводов, ботаников и работников зеленого строительства.

Гниль в древесине по расположению в стволе подразделяется на ядровую, заболонную и ядрово-заболонную [4]. В зависимости от вертикального размещения выделяют комлевую (до 2,0 м), срединную, вершинную, сквозную (по всей длине ствола) и локализованную в ветвях. Также следует отметить, что некоторые виды ксилотрофных грибов в основном разрушают целлюлозу, в то время как другие специализируются на разрушении лигнина.

Кроме стволовых гнилей, существуют также корневые и комлево-корневые гнили, которые также вызываются грибами-ксилотрофами. Эти грибы распространяются не только с помощью спор, но и через контакт пораженных и здоровых корней, что приводит к куртинному характеру развития корневых гнилей в насаждениях. Темп гниения и скорость распространения гнили по стволу не всегда являются одинаково интенсивными.

Признаки наличия гнили в стволе дерева могут включать в себя такие внешние диагностические характеристики, как сухобочины, дупла, вздутия ствола, плодовые тела ксилотрофных грибов, смолотечения и снижение линейного прироста. Тем не менее, в большинстве случаев на основании лишь этих внешних признаков невозможно достоверно оценить степень аварийности дерева.

Иногда признаки гнили могут быть видимы, но сама гниль отсутствует. В других случаях гниль может находиться в стволе, однако внешних проявлений не иметь. Для точного определения толщины остаточных стенок древесины, размеров и протяженности гнили, а также других показателей необходимо применение инструментальной диагностики внутреннего состояния дерева.

Одним из современных способов изучения внутренних разрушений ствола является импульсная томография. Многие исследователи применяли данную

технологии для установления наличия стволовых гнилей у тех или иных пород [6, 9, 11–15, 19, 22].

Оценка состояния древесной растительности, ограниченная лишь видимой областью, не всегда бывает точной. Некоторые процессы разрушения, происходящие внутри, могут довольно долго не влиять на внешний вид дерева, поэтому для более корректного анализа состояния растений необходимо проводить исследования при помощи специального оборудования на различной высоте ствола.

Характер деструкции древесины мы рассматриваем как тест-маркер устойчивости интродуцированных видов дендрофлоры в северных условиях.

Цель исследования – оценка характера деструкции древесины представителей европейской флоры *Acer platanoides* L. и его разновидности *A. var. schwedleri* К.Кос. при помощи импульсного томографа «Арботом».

Объекты и методы исследования

Исследование проводилось на территории Дендрологического сада им. И.М. Стратоновича Северного (Арктического) федерального университета им. М.В. Ломоносова, в центре г. Архангельска. Одним из самых широко распространенных родов является клен (*Acer* L.). Наиболее часто применяемый в озеленении северных городов представитель данного рода – клен остролистный и его декоративные формы и сорта [10]. В дендросаду произрастают 11 экземпляров клена остролистного и 10 экземпляров декоративной формы клена остролистного – клена Шведлера, которые выбраны для исследования. Оценивалось их санитарное состояние по методике, изложенной в постановлении Правительства РФ от 09.12.2020 № 2047 «Об утверждении Правил санитарной безопасности в лесах», фиксировались биометрические показатели (высота, диаметр ствола), возраст. Высоту измеряли при помощи лазерного высотомера-дальномера Forestry Pro, диаметр ствола – электронной мерной вилки Haglof MD II, диаметр кроны устанавливали по общепринятой методике. Для определения наличия стволовых гнилей и различных деструкций использовали импульсный томограф «Арботом» [21]. Томограмма Arbotom – это изображение поперечного сечения ствола дерева, полученное путем измерения скорости распространения звуковых волн через древесину. Скорость звука зависит от плотности древесины: более плотная древесина пропускает звук быстрее, менее плотная (например, поврежденная гнилью) – медленнее. Чем ниже скорость прохождения звуковой волны, тем выше степень разрушения. Цвета на томограмме обычно кодируют скорость звука. Часто используются следующие цвета: синий или зеленый (обычно соответствуют здоровой, плотной древесине, звук проходит быстро); желтый или оранжевый (может указывать на начальную стадию гниения или уплотнение древесины – реакционную зону, звук проходит медленнее; красный, или коричневый, или фиолетовый (обычно соответствуют зонам с деструкцией, полостями или другими дефектами), звук проходит медленно или не проходит).

Условное распределение для интерпретации результатов, выполненное по шкале предлагаемой И.А. Мельничук, М.Й.С. Йассин, О.А. Черданцевой [9]: синий цвет – естественная плотность древесины, голубой – пониженная плотность, зеленый – патологическое снижение плотности, желтый – начало

разрушения межволоконных связей, красный – образование некротных полостей; фиолетовый – наличие пустот (дупел).

Согласно методике на каждом исследуемом экземпляре в комлевой части ствола (условно 0 м) и на высоте груди (1,3 м) через равное расстояние закрепляли датчики для того, чтобы зафиксировать развитие деструкции по высоте ствола. После запуска программы и легкого простукивания по ударному штифту каждого сенсора на экран выводились томограммы, по которым строилась полная картина состояния древесины, наличия и изменения стволовых патологий (рис. 1).

*а**б*

Рис. 1. Обследование ствола: *а* – установка датчиков на высоте 1,3 м;
б – получение информации с датчиков

Fig. 1. An examination of the stem: *а* – installation of sensors at a height of 1.3m;
б – obtaining data from the sensors

Настройку графических изображений – томограмм – производили с учетом рекомендаций О.Н. Тюкавиной [14]. Математическую обработку данных выполнили при помощи пакета Microsoft Excel.

Результаты исследования и их обсуждение

По результатам визуальной оценки жизненного состояния исследуемых таксонов установлено, что 60 % экземпляров клена остролистного здоровы и 40 % сильно ослаблены. Все клены Шведлера находились в ослабленном состоянии. Для таких растений характерно наличие на стволах плодовых тел различных трутовиков, усыхание ветвей. У 25 % экземпляров отмечены дупла, у 8 % – снеголомы (табл. 1).

Анализ полученных диаграмм показал, что в древесине стволов есть различные дефекты: сниженная плотность, дупла и некротные полости.

Установлено, что 80 % исследованных кленов остролистных в возрасте 30 лет практически здоровы – участки стволов являются неповрежденными, но наблюдается патологическое уменьшение плотности древесины. У 20 % экземпляров данного вида в этом же возрасте отмечается начальная стадия развития деструкции и пониженная плотность древесины.

Таблица 1

Категории санитарного состояния кленов
The categories of maple tree condition

Наименование таксона	Возраст, лет/ количество экземпляров, шт.	Диапазон (минимум–максимум)			Категория санитарного состояния	Примечание
		высота, м	диаметр ствола, см	диаметр кроны, м		
Клен остролистный	30/10	15,5–18,5	15,2–20,1	3,6–4,0	Здоровые	Без признаков ослабления
	90/1	21,8	29,0	4,5	Сильно ослабленные	Наличие плодовых тел трутовика опаленного (<i>Bjerkandera adusta</i> (Willd.) P.Karst.), местные повреждения ствола, кора в трещинах
Клен Шведлера	77/10	22,0–25,0	12,0–22,0	3,8–4,7	Ослабленные	Местные повреждения ствола, дупла, плодовые тела трутовика ложного (<i>Phellinus igniarius</i> L. Quel.) на 1 экземпляре

На томограммах присутствуют небольшие по площади красно-фиолетовые зоны, указывающие на наличие полостей. Однако эти зоны находятся в разных секторах и на различных высотах, что не подтверждает однозначное вертикальное распространение гнили из одного очага. Это могут быть отдельные локальные очаги. Для обеих высот преобладают желтый и оранжевый цвета, указывая на снижение плотности и неоднородность древесины. Вероятность наличия локальных очагов гнили значительна на обеих высотах. Визуально повреждений на кленах не отмечено (рис. 2).

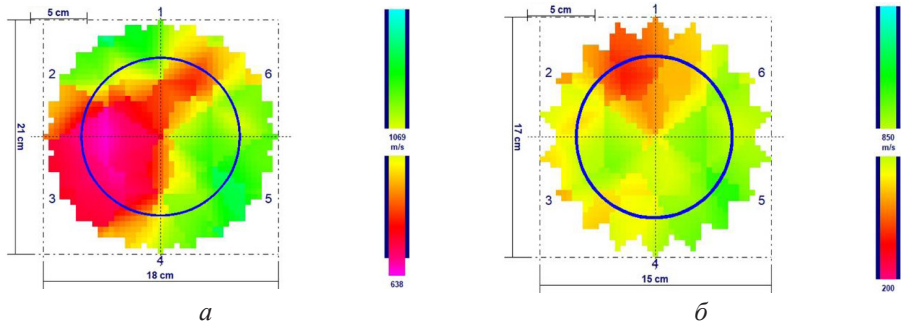


Рис. 2. Двумерные томограммы стволов клена остролистного (30 лет):
а – нулевая координатная точка; б – высота 1,3 м
Fig. 2. The two-dimensional tomograms of Norway maple stems (30 years old):
а – zero coordinate point; б – height of 1.3 m

При обследовании клена остролистного в возрасте 90 лет, с внешними признаками повреждений коры и наличием плодовых тел грибов на стволе, выявлены и внутренние повреждения древесины. Томограмма на нулевой координатной точке высоты ствола (НКТ) показывает деструктивную картину. Большая часть изображения окрашена в красный и фиолетовый цвета, что указывает

на наличие крупных полостей и обширной зоны некротизации в основании ствола. Зона с полостями занимает превосходящую часть поперечного сечения ствола, имеет неправильную форму (рис. 3, *а*).

На томограмме поперечного среза на высоте 1,3 м цветовая гамма более разнообразная, чем на НКТ. Присутствуют красный, фиолетовый, зеленый, желтый и оранжевый цвета. Полости в древесине есть, но они значительно меньше по размеру, чем на НКТ. Это говорит о том, что разрушение, вероятно, начало развиваться в основании ствола и распространилось вверх, но не на всю высоту в таком же объеме (рис. 3, *б*).

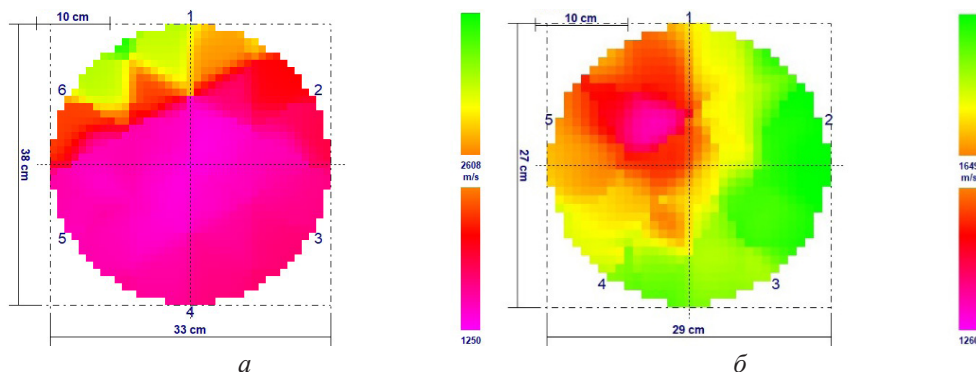


Рис. 3. Двумерные томограммы стволов клена остролистного (90 лет):
а – нулевая координатная точка; *б* – высота 1,3 м

Fig. 3. The two-dimensional tomograms of Norway maple stems (90 years old):
a – zero coordinate point; *b* – height of 1.3 m

На томограммах 90 % кленов Шведлера на НКТ высоты ствола преобладают синий и зеленый цвета, это указывает на хорошее состояние древесины в целом на данном уровне. Есть значительные зоны желтого цвета, которые свидетельствуют о сниженной плотности и неоднородности древесины. Данное обстоятельство является признаком начальной стадии гниения, но более вероятно, что это связано с особенностями строения корневой системы и корневой шейки. У основания ствола часто наблюдаются изменения в плотности древесины из-за перехода к корням. Зоны желтого цвета неоднородные, вытянутые, отмечается некоторая асимметрия, что характерно для корневой шейки (рис. 4, *а*).

На томограммах поперечного среза ствола на высоте 1,3 м у большинства экземпляров преобладают желто-зеленые цвета, с небольшими вкраплениями синего цвета. Желтая зона, занимающая большую часть изображения, указывает на снижение плотности и неоднородность древесины, либо на начальные этапы разложения. Зона неоднородности значительная. Распределение цветов более симметрично, чем на НКТ. На основании представленных томограмм нет явных признаков значимого распространения гнили вверх по стволу (рис. 4, *б*).

Еще один экземпляр клена Шведлера с плодовыми телами плоского трутовика на стволе и раковыми язвами оказался с внутренними повреждениями древесины. Томограмма поперечного среза в основании ствола имеет смешанную цветовую гамму, преобладают желтый и зеленый цвета, значительна также зона оранжевого цвета. Оранжевый цвет указывает на пониженную плотность и неоднородность древесины, возможные начальные стадии гниения. Зона неоднородности большая, неправильной формы, вытянутая (рис. 5, *а*).

На изображении поперечного среза ствола на высоте 1,3 м присутствуют синий и зеленый цвета, но значительную часть занимает оранжевый цвет, сигнализирующий о сниженной плотности древесины. Зона этого цвета, хотя не является свидетельством образования полостей, говорит об общем снижении плотности, вероятно, связанном с начальными, диффузными процессами гниения. Зоны с различной плотностью распределены более равномерно, чем на НКТ (рис. 5, б).

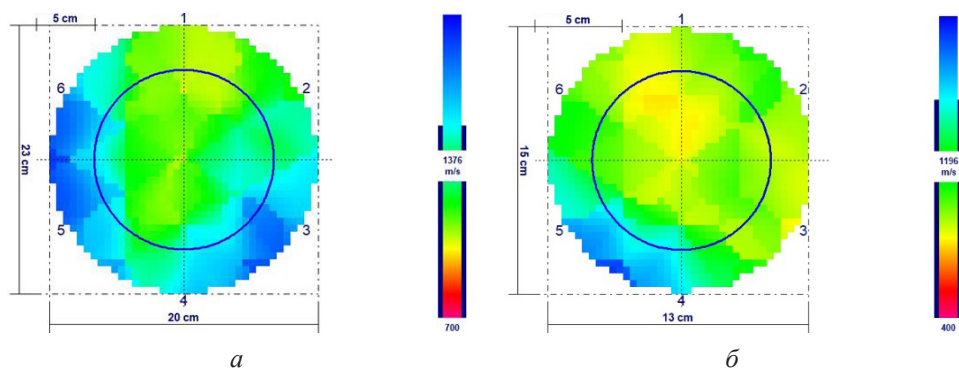


Рис. 4. Двумерные томограммы стволов клена Шведлера:
а – нулевая координатная точка; б – высота 1,3 м

Fig. 4. The two-dimensional tomograms of Schwedler maple stems:
а – zero coordinate point; б – height of 1.3 m

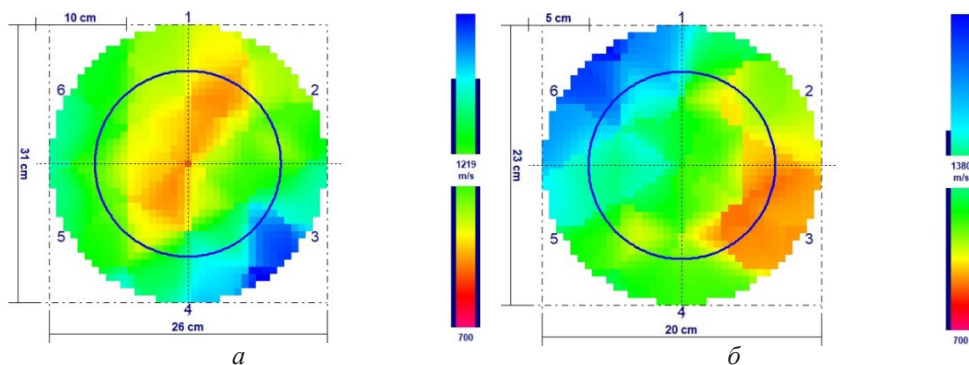


Рис. 5. Двумерные томограммы ствола клена Шведлера с наличием внешних повреждений коры: а – нулевая координатная точка; б – высота 1,3 м

Fig. 5. The two-dimensional tomograms of the stem of the Schwedler maple with external damage to the bark: а – zero coordinate point; б – height of 1.3 m

На основании изображений данного экземпляра можно сделать вывод, что у основания ствола есть явный признак проблемы – обширная зона пониженной плотности, которая с большой вероятностью является начальной стадией деструкции. Далее, вверх по стволу, наблюдается общее снижение плотности древесины и, хотя нет красных или фиолетовых зон, нельзя исключить диффузное распространение начальных стадий гниения вверх. Общее снижение плотности требует внимания. Если дерево находится в месте, где его падение может представлять опасность, необходимо принять меры предосторожности. В связи с высокой вероятностью наличия гнили в основании ствола рекомендуется рассмотреть возможность проведения резистографии.

Таким образом, наблюдаются существенные различия в состоянии древесины обследованных таксонов. Экземпляры клена остролистного находятся в значительно худшем состоянии, чем клена Шведлера.

Патологическое снижение плотности в разной степени выраженности показывают томограммы всех деревьев. Начало разрушения межволоконных связей – также распространенный признак, особенно на высоте 1,3 м у клена остролистного и на обеих высотах у клена Шведлера. Образование некротических полостей присутствует у большинства экземпляров клена остролистного, а у экземпляра в 90-летнем возрасте – в очень большом объеме в основании ствола. Наличие пустот (дупел) обнаружено только у 90-летнего клена остролистного (табл. 2).

Таблица 2

Результаты обработки импульсной томографии кленов
The results of processing impulse tomography of the maples

Наименование таксона	Возраст, лет	Диаметр ствола, см*	Скорость прохождения импульса, м/с, на высоте:			
			НКТ		1,3 м	
			max	min	max	min
Клен остролистный	30	$\frac{66}{54}$	1685	745	1399	278
	90	$\frac{38}{29}$	3967	1250	2039	1260
Клен Шведлера	77	$\frac{72}{48}$	2052	1225	2329	467

*В числителе – НКТ; в знаменателе – высота 1,3 м.

Корреляционный анализ результатов исследования позволил установить, что прямой взаимосвязи состояния внутренней части древесины растений с их возрастом нет (табл. 3).

Таблица 3

Корреляционный анализ данных импульсной томографии кленов
The correlation analysis of maple impulse tomography data

	Возраст, лет	Диаметр ствола, НКТ	Скорость распространения импульса (v), м/с		Диаметр ствола, 1,3 м	Скорость распространения импульса, м/с	
			max	min		max	min
Возраст, лет	1						
Диаметр ствола, НКТ	0,43	1					
v_{max} , м/с	-0,06	0,26	1				
v_{min} , м/с	0,33	-0,19	0,29	1			
Диаметр ствола, 1,3 м	0,44	0,94	0,10	-0,23	1		
v_{max} , м/с	-0,19	-0,25	0,13	-0,04	-0,37	1	
v_{min} , м/с	-0,07	-0,46	0,35	0,74	-0,57	0,066	1

Значения данных характеристик в табл. 3 составляют менее 1 (от -0,19 до -0,06), что говорит об отсутствии взаимосвязи между возрастом исследуемых

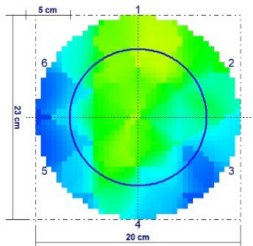
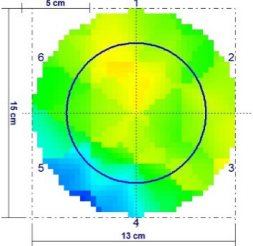
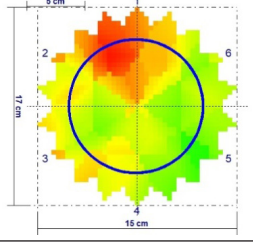
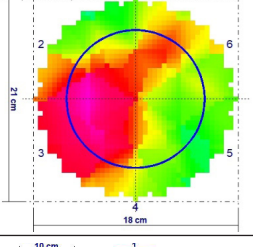
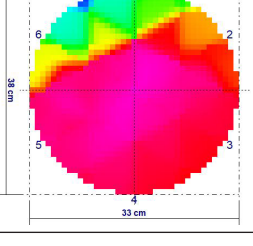
таксонов и скоростью прохождения импульса на изучаемых участках ствола или слабой взаимосвязи, носящей случайный характер (от 0,33 до 0,44).

Большинство экземпляров клена остролистного (87,5 %) в возрасте 30 лет уже имеют начальные стадии внутренних разрушений древесины.

На основе томограмм срезов поперечного сечения ствола разработана шкала поврежденности древесины гнилью (табл. 4).

Таблица 4

Шкала поврежденности древесины на основе импульсной томографии кленов
The scale of wood damage based on impulse tomography of the maples

Стадия	Характеристика	Пример томограммы
1 – здоровые	Естественная или пониженная плотность древесины, на томограмме присутствуют только синий, голубой и зеленый цвета	
2 – начальное поражение	Патологическое снижение плотности древесины, начало разрушения межволоконных связей, на томограмме преобладают зеленый и желтый цвета, повреждения охватывают до 30 % площади	
3 – ослабленные	Развитие некротических полостей, на томограмме появляются включения оранжевого и красного цветов, охватывающие до 20 % площади	
4 – сильно ослабленные	Наличие пустот, на томограмме появляются включения фиолетового цвета, занимающие до 30 % площади	
5 – критическое поражение	Наличие пустот, фиолетовый цвет на томограмме преобладает и распространяется на более чем 30 % площади	

Согласно разработанной шкале к 1-й стадии относятся экземпляры, на томограмме которых присутствует только синий, зеленый и голубой цвета, независимо от их процентного соотношения. К последующим стадиям относятся экземпляры, на томограмме которых появляются желтый, красный, оранжевый и фиолетовый цвета в различном процентном соотношении.

Основываясь на результатах оценки, полученных с помощью шкалы поврежденности древесины, установлено, что значительная доля исследуемых экземпляров клена остролистного (63 %) и клена Шведлера (90 %) характеризуется начальной степенью поражения древесины ствола. У 27 % обследованных деревьев клена остролистного выявлена деструкция древесины (3-я стадия). Оставшиеся 10 % кленов остролистных имеют критическое поражение древесины и 10 % экземпляров клена Шведлера относятся к 3-й стадии поврежденности древесины.

Выводы

1. Декоративная разновидность клена остролистного *Acer platanoides* var. *schwedleri* K.Koch (Европа) показала себя более устойчивой в северных условиях (г. Архангельск). Древесина экземпляров данного таксона в 77-летнем возрасте в 90 % случаев находится в ослабленном, и в 10 % – в сильно ослабленном состоянии, что соответствует 2-й и 3-й стадиям шкалы поврежденности древесины. Большинство экземпляров исследованного рода в возрасте 30 лет имеют признаки разрушений внутренней части ствола. Такие деревья требуют соответствующей обработки пораженных участков.

2. Исследуемые таксоны можно продолжать использовать в городском озеленении с применением необходимых агротехнических мероприятий – своевременная санитарная обрезка, зачистка и обработка механических повреждений.

3. При обнаружении признаков гнили у основания ствола рекомендуется провести резистографию для уточнения степени поражения. В случае обнаружения критических повреждений, представляющих опасность, необходимо рассмотреть возможность удаления дерева.

4. Корреляция между возрастом кленов и степенью деструкции древесины отсутствует.

5. Результаты исследования подчеркивают необходимость комплексного подхода (визуального и инструментального) к оценке состояния городских насаждений и своевременного проведения мероприятий по их поддержанию. Инструментальная диагностика деревьев с помощью прибора «Арботом» позволяет дать актуальные рекомендации по сохранению городских зеленых насаждений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Бабич Н.А., Карбасникова Е.Б., Андропова М.М., Залывская О.С., Александрова Ю.В., Гаевский Н.П. Ступенчатая интродукция видов дендрофлоры в Северо-Восточную часть Русской равнины (обзор) // Изв. вузов. Лесн. журн. 2021. № 3. С. 73–85.

Babich N.A., Karbasnikova E.B., Andronova M.M., Zalyvskaya O.S., Aleksandrova Yu.V., Gaevskiy N.P. Stepwise Introduction of Dendroflora Species to the Northeastern Part of the Russian Plain (Review). *Lesnoy Zhurnal* = Russian Forestry Journal, 2021, no. 3, pp. 73–85. (In Russ.). <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2021-3-73-85>

2. Вакин А.Т. Сердцевинная гниль ели в дачах Ржевского лесничества Тверской губернии // Изв. Ленинградск. лесн. ин-та. 1927. Вып. XXXV. С. 105–154.

Vakin A.T. Heart Rot of Spruce in the Dachas of the Rzhev Forestry of the Tver Province. *Izvestiya Leningradskogo lesnogo instituta*, 1927, iss. XXXV, pp. 105–154. (In Russ.).

3. Ванин С.И. Гниль дерева. Ее причины и меры борьбы. М.: Новая деревня, 1928. 112 с.

Vanin S.I. *Wood Rot. Its Causes and Control Measures*. Moscow, Novaya derevnya Publ., 1928. 112 p. (In Russ.).

4. Журавлев И.И. Диагностика болезней леса. М.: Сельхозиздат, 1962. 192 с.

Zhuravlev I.I. *Diagnostics of Forest Diseases*. Moscow, Sel'khozizdat Publ., 1962. 192 p. (In Russ.).

5. Захарова М.Е., Волкова О.А. Анализ антропогенных воздействий на состояние зеленых насаждений города Могилева и окрестностей // Молодой ученый. 2018. Т. 16, № 202. С. 81–83.

Zakharova M.E., Volkova O.A. Analysis of Anthropogenic Impacts on the State of Green Spaces in the City of Mogilev and its Environs. *Molodoj uchenyj* = Young Scientist, 2018, vol. 16, no. 202, pp. 81–83. (In Russ.).

6. Залывская О.С., Бабич Н.А. Импульсно-томографная диагностика состояния древесных пород в городских условиях // Хвойные бореал. зоны. 2023. Т. 41, № 1. С. 33–37.

Zalyvskaya O.S., Babich N.A. Pulse-Tomograph Diagnostics of the State of Tree Species in Urban Environments. *Khvoynye boreal'noi zony* = Conifers of the Boreal Area, 2023, vol. 41, no. 1, pp. 33–37. <https://doi.org/10.53374/1993-0135-2023-1-33-37>

7. Колесников В.П., Любарский Л.В. Дереворазрушающие грибы восточных склонов среднего Сихотэ-Алиня // Тр. Сихотэ-Алинского гос. заповедн. Владивосток, 1963. Вып. 3. С. 59–70.

Kolesnikov V.P., Lyubarskij L.V. Wood-Destroying Fungi of the Eastern Slopes of the Middle Sikhote-Alin. *Trudy Sikhote-Alinskogo gosudarstvennogo zapovednika*. Vladivostok, 1963, iss. 3, pp. 59–70. (In Russ.).

8. Мелехов И.С. Лесоводство. Вып. 1. Введение в лесоводство. Архангельск: АЛТИ, 1939. 36 с.

Melekhov I.S. *Forestry. Iss. 1. Introduction to Forestry*. Arkhangelsk, Arkhangelsk Forestry Engineering Institute Publ., 1939. 36 p. (In Russ.).

9. 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» // Вестн. РУДН. Сер.: Агрономия и животноводство. 2012. № 5. С. 25–32.

Melnichuk I.A., Iassin S., Tcherdantzeva O.A. Diagnostics of the Internal State of the *Tilia cordata* Trees Using Complex Acoustic Ultrasonic Imaging “Arbotom”. *Vestnik RUDN. Seriya: Agronomiya i zhivotnovodstvo* = RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries, 2012, no. 5, pp. 25–32. (In Russ.).

10. Попкова И.А. Интродукция видов рода *Acer* L. в дендрологическом саду им. И.М. Стратоновича: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Архангельск. 2022. 20 с.

Popkova I.A. *Introduction of Species of the Genus Acer* L. in the Dendrological Garden named after I.M. Stratonovich: Cand. Agric. Sci. Diss. Abs. Arkhangelsk, 2022. 20 p. (In Russ.).

11. Роготнева А.М. Инструментальная диагностика древесных насаждений Ленинского района г. Перми // Антропогенная трансформация природной среды. 2018. № 4. С. 238–240.

Rogotneva A.M. Instrumental Diagnostics of Green Plants of Leninsky District of Perm. *Antropogennaya transformatsiya prirodnoj sredy* = Anthropogenic transformation of Nature, 2018, no. 4, pp. 238–240. (In Russ.).

12. Румянцев Д.Е., Фролова В.А. Проблемы диагностики аварийности деревьев в урбанизированной среде // Принципы экологии. 2021. Т. 10, № 2. С. 102–119.

Rumyantsev D.E., Frolova V.A. The Problem of Diagnosing the Accident Rate of Trees in an Urban Environment. *Printsipy ekologii* = Principles of the Ecology, 2021, vol. 10, no. 2, pp. 102–119. (In Russ.). <https://doi.org/10.15393/j1.art.2021.11162>

13. Тюкавина О.Н. Скорость прохождения звукового импульса в древесине сосны // Вестн. Сев. (Арктич.) федер. ун-та. Сер.: Естеств. науки. 2014. № 2. С. 78–85.

Tyukavina O.N. Speed of Sound Impulse Propagation in Pine Wood. *Vestnik Severnogo (Arkticheskogo) federal'nogo universiteta. Seriya: Estestvennye nauki* = Bulletin of the Northern (Arctic) Federal University. Series: Natural Sciences, 2014, no. 2, pp. 78–85. (In Russ.).

14. Тюкавина О.Н. О методах интерпретации результатов акустической томографии древесины сосны // Изв. вузов. Лесн. журн. 2015. № 4. С. 61–67.

Tyukavina O.N. About Interpretation Methods of Acoustic Tomography Results of Pine Wood. *Lesnoy Zhurnal* = Russian Forestry Journal, 2015, no. 4, pp. 61–67. (In Russ.). <https://doi.org/10.17238/issn0536-1036.2015.4.61>

15. Тюкавина О.Н., Клевцов Д.Н., Дроздов И.И., Мелехов В.И. Плотность древесины сосны обыкновенной в различных условиях произрастания // Изв. вузов. Лесн. журн. 2017. № 6. С. 56–64.

Tyukavina O.N., Klevtsov D.N., Drozdov I.I., Melekhov V.I. Wood Density of Scots Pine in Different Growth Conditions. *Lesnoy Zhurnal* = Russian Forestry Journal, 2017, no. 6, pp. 56–64. (In Russ.). <https://doi.org/10.17238/issn0536-1036.2017.6.56>

16. Bieker D., Kehr R., Weber G., Rust S. Non-Destructive Monitoring of Early Stages of White Rot by *Trametes versicolor* in *Fraxinus excelsior*. *Annals of Forest Science*, 2010, vol. 67, art. no. 210. <https://doi.org/10.1051/forest/2009103>

17. Duan M., House J., Chang S.X. Understory Plant Communities Vary with Tree Productivity in Two Reclaimed Boreal Upland Forest Types in Canada. *Forest Ecology and Management*, 2019, vol. 453, art. no. 117577. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.117577>

18. Haas J.C., Street N.R., Sjödin A., Lee N.M., Högborg M.N., Näsholm T., Hurry V. Microbial Community Response to Growing Season and Plant Nutrient Optimisation in a Boreal Norway Spruce Forest. *Soil Biology and Biochemistry*, 2018, vol. 125, pp. 197–209. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2018.07.005>

19. Kersten W., Schwarze F.W.M.R. Development of Decay in the Sapwood of Trees Wounded by the Use of Decay-Detecting Techniques. *Arboricultural Journal*, 2005, vol. 28, iss. 3, pp. 151–164.

20. Kolk A., Sierota Z.Z. Badań nad Wplywem Zywicowania na Stan Zdrowotny Drzew. *Prace Instytutu Badawczego Leśnictwa*, 1979, no. 542–548, pp. 177–187. (In Pol.).

21. Rinn F. Technische Grundlagen der Impuls-Tomographie. *Baumzeitung*, 2003, no. 8, pp. 29–31. (In Germ.).

22. Yang X.a, Luo J. Study on Stress Wave Non-Destructive Testing of Bending Resistance Characteristics of Logs. *World Automation Congress Proceedings*, 2012, no. 6321170, pp. 496–502.

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Conflict of interest: The authors declare that there is no conflict of interest