

УДК 630\*181.351

## ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ УРБОДЕНДРОЦЕНОЗОВ Г. БРАТСКА МЕТОДАМИ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ДРЕВЕСИНЫ

Мухачева А.Н., Рунова Е.М., Гарус И.А.

ФГБОУ ВО «Братский государственный университет», Братск, e-mail: runova0710@mail.ru

В статье приводятся результаты инструментальной оценки состояния древесины модельных деревьев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) урбодендрозенозов г. Братска. Заложены три пробные площадки с количеством деревьев от 100 до 750 штук в районе Энергетик г. Братска. Возраст исследуемых деревьев – от 70 до 90 лет. На каждой пробной площадке взяты по 10 модельных деревьев для проведения комплексного инструментального исследования качества стволовой древесины на плотность и наличие гнили. Измерения производились с использованием приборов неразрушающего контроля древесины Resistograph® (метод определения сопротивления сверлению) и Arbotom® (метод импульсной томографии) фирмы Rinntech. Статистическая обработка результатов производилась методом агломеративной иерархической кластеризации с использованием алгоритма полной связи (метода дальнего соседа), в соответствии с которым степень близости оценивается по степени близости между наиболее отдаленными объектами кластеров. Согласно полученным данным внутренние пороки присутствуют во всех исследованных модельных деревьях. Следовательно, можно сделать вывод об общей угнетенности древесной растительности рассматриваемых пробных площадок. Исходя из анализа совокупности дендрограмм в общей картине распределения внутренних пороков устойчивой селективности между площадками не наблюдается. Таким образом, можно сделать вывод об относительной равнозначности условий произрастания древостоя и равномерном угнетении зеленых насаждений различных районов урбоэкосистемы города. В ходе проведения эксперимента было выявлено, что при определении состояния насаждения в целом целесообразно сопоставление данных двух приборов как по параметрам экспертной оценки (доля содержания нарушенной древесины), так и по параметрам автоматизированных измерений (данных приборов) для составления наиболее полной картины состояния.

**Ключевые слова:** деревья, состояние древесины, неразрушающие методы контроля, Resistograph®, Arbotom®

## ESTIMATION OF THE STATE OF URBODENDROCENOZES IN BRATSKA BY METHODS OF NON-DESTRUCTIVE WOOD CONTROL

Mukhacheva A.N., Runova E.M., Garus I.A.

Bratsk State University, Bratsk, e-mail: runova0710@mail.ru

The article presents the results of an instrumental assessment of the wood condition of model trees of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in urban dendrocenoses of Bratsk. Three trial areas with the number of trees from 100 to 750 pieces have been laid in the Energetik district of Bratsk. The age of the studied trees is from 70 to 90 years. On each sample area, 10 model trees were taken to conduct a comprehensive instrumental study of the quality of stem wood for density and the presence of rot. Measurements were made using Resistograph® (method for determining drilling resistance) and Arbotom® non-destructive testing of wood (method of impulse imaging) of the company Rinntech. Statistical processing of the results was performed using the agglomerative hierarchical clustering method using the full connection algorithm (the far neighbor method), according to which the degree of proximity is estimated by the degree of proximity between the most distant objects in clusters. According to the obtained data, internal defects are present in all the studied model trees, so we can conclude about the General depression of the woody vegetation of the test sites under consideration. Based on the analysis of a set of dendrograms, there is no stable selectivity between sites in the overall distribution of internal defects. Thus, we can conclude about the relative equivalence of the growing conditions of the forest stand and the uniform suppression of green spaces in various areas of the urban ecosystem of the city. During the experiment it was found that in the preparation of the assessment of plantations in General, it is advisable comparison of these two devices as the parameters of the expert assessment (proportion of broken wood), and the parameters of automated measurement (data appliances) to obtain a complete picture of the condition.

**Keywords:** trees, wood condition, non-destructive testing methods, Resistograph®, Arbotom®

Роль городских зеленых насаждений неопределима в регулировании светового, теплового, водного балансов экосистемы городов, шумо-, газо- и пылеподавлении [1–3]. При этом, чем выше загрязненность городской среды антропогенными химическими, физическими и механическими агентами, тем большую актуальность приобретает поддержание насаждений в устойчивом здоровом состоянии. Особенно важной является оценка состояния

деревьев в спелых и перестойных насаждениях, которые вступают в фазу отмирания. С учетом сложностей воспроизводства и замены древесной растительности в условиях городской застройки особую актуальность приобретает мониторинг состояния растущей древесины на корню, в том числе с применением инструментальных методов. Благодаря современным разработкам в сфере инструментальных измерений состояния древесины осуществление

подобного мониторинга стало возможным без существенных нарушений целостности исследуемых объектов [4, 5]. К таким методам неразрушающего контроля растущей древесины относятся импульсная томография и микросверление [6, 7].

Цель исследования: произвести инструментальную оценку состояния модельных деревьев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в зеленых насаждениях г. Братска с использованием методов неразрушающего контроля древесины для определения качества стволовой древесины.

#### Материалы и методы исследования

Место проведения исследования: Иркутская область, город Братск, жилой район Энергетик. В географическом отношении территория севера Иркутской области расположена в Приангарской плоскогорной лесорастительной провинции южнотаежных и подтаежных сосновых и лиственничных лесов. Климат района исследования резко континентальный и характеризуется продолжительной малоснежной холодной зимой и коротким летом. Климат района благоприятен для успешного произрастания кедра, сосны, лиственницы, ели, пихты, березы, осины и кустарников. На территории Братского района преобладают южнотаежные и подтаежные природные комплексы Средней Сибири [8]. Городские зеленые насаждения составляют ориентировочно 25,9% общей территории города Братска. Большая часть древесной растительности Братска имеет естественное происхождение, т.е. является сохраненными при проектировании и строительстве города участками лесного массива. Основу видового состава дендроценозов жилых районов города составляют: сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.), лиственница сибирская (*Larix sibirica* Ldb.), береза повислая (*Betula pendula* Roth.), осина (*Populus tremula* L.), тополь бальзамический (*Populus balsamifera*). В качестве модельного объекта была выбрана сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.).

В обследуемом районе Энергетик были заложены три пробные площади (ПП № 1, 2, 3). Пробные площади относятся к территориям с высокой антропогенной нагрузкой, так как расположены вдоль автомобильных дорог и в непосредственной близости от жилых и общественных зданий, и являются частью парков с высокой рекреационной нагрузкой. На каждой пробной площади насчитывается от 150 до 650 де-

ревьев, возраст древостоев от 60 до 90 лет. Закладка пробных площадей проводилась согласно общепринятым методикам в соответствии с ОСТ 56-69-83 «Площади пробные лесоустроительные. Методы закладки» [9]. Для каждого дерева составлялось инструментально-визуальное описание: определялись высота, обхват ствола у шейки корня (35–40 см) и на высоте груди, форма и протяженность кроны, форма ствола, наличие видимых пороков древесины. Для инструментальной оценки на каждой пробной площади были выбраны по 10 модельных деревьев. Для оценки внутреннего состояния древесины использовались: импульсный томограф Arbotom® и прибор для микросверления Resistograph® немецкой фирмы Rinntech.

Принцип действия Arbotom® основан на определении скорости прохождения импульса через древесину между датчиками. Для проведения измерения по окружности ствола размещаются последовательно соединенные датчики вибрации. Измерения проводились на высоте груди. После подключения датчиков к блоку питания и специализированному программному обеспечению производителя по каждому датчику наносится ряд ударов, после чего информация о скорости прохождения импульса между ними фиксируется компьютером. Предельное значение стандартного отклонения было установлено на границе 10%. Программное обеспечение представляет результаты в виде матричных значений, линейных графиков и плоскостных графиков (томограмм).

Принцип действия прибора Resistograph® основан на определении сопротивления древесины сверлению. Для снижения повреждений объекта исследования в конструкции Resistograph® используется ультратонкое сверло (1 мм). Для нивелирования погрешности с учетом точности профиля на каждом модельном дереве производились 2 перпендикулярных измерения, результаты которых усреднялись.

Обработка полученных данных с выделением зон деструкции производится путем визуальной оценки полученных графиков с учетом средней показателей для рассматриваемого дерева и для общей выборки, а также рисунка плотностного распределения. Прямое соотнесение показаний приборов с плотностью древесины невозможно в связи с отсутствием фиксированных градуировочных шкал.

Для статистической обработки результатов был выбран метод агломеративной иерархической кластеризации. С учетом характера выборки в качестве расстояния между объектами было принято Евклидово расстояние:

$$\rho(x, x') = \sqrt{\sum_i^n (x_i - x'_i)^2}, \quad (1)$$

где  $i$  – признаки;  $n$  – количество признаков.

Объединение кластеров производилось по алгоритму полной связи (методу дальнего соседа), в соответствии с которым степень близости оценивается по степени близости между отдаленными объектами кластеров.

### Результаты исследования и их обсуждение

Все исследованные модельные деревья являются спелыми и перестойными. Большинство деревьев имеют наклон или искривление ствола и асимметрию кроны. Часто наблюдаются видимые пороки древесины – сухобокость, механические повреждения. Высота ствола – от 19 до 25 м, диаметр ствола – от 30 до 70 см. В таблице приведены таксационные показатели трех наиболее характерных для объекта исследования деревьев.

Характер полученных томограмм говорит о неоднородном распределении плотности древесины изученных модельных деревьев. Значения скорости прохождения варьируются от 912 м/с до 2018 м/с. Максимальная частота встречаемости

приходится на диапазон 1003–1349 м/с. Содержание древесины, подвергнутой деструкции, составляет от 12% до 79% (среднее содержание составило 30%). Согласно показаниям Resistograph® среднее сопротивление сверлению модельных деревьев выборки составило 121. Содержание древесины, подвергнутой деструкции, колеблется в диапазоне от 26% до 85% (среднее содержание составило 50%). В подавляющем большинстве случаев (96% выборки) показания резистограмм отражают значительно больший процент деструкции ствола. Это является следствием неполного учета площади периферийных зон заболони при проведении профильного анализа сверлением.

В совокупности выборку можно охарактеризовать как высокорознненную. Резко выделяется по своим показателям дерево № 1: обладая максимальным содержанием гнили (78,93%) и минимальными показателями скорости прохождения импульса (11,57 м/мин), данное дерево является наиболее нарушенным в исследуемом диапазоне.

В зависимости от уровня «разреза» дендрограммы все остальные данные можно объединить либо в 4 кластера высокой плотности (максимальные расстояния в кластерах – 9,11; 11,18; 5,03; 7,96), либо в 2 разреженных кластера (максимальные расстояния – 21,15; 14,87). В распределении деревьев различных пробных площадок по кластерам не прослеживается селективности: деревья разных площадок равномерно распределены между кластерами.

Таксационная характеристика модельных деревьев\*

№ дерева	6	7	8
$D_{\text{осн}}$ , см	38	44	52
$D_{1,3}$ , см	32	38	44
$H_{\text{дер}}$ , м	21	23	23,5
Возраст деревьев	68	72	78
Видимые дефекты ствола	Сухобокость, наклон ствола	Сухобокость, наклон ствола	Сухобокость, наклон ствола
Средняя скорость импульса, м/с	936	966	1011
Среднее сопротивление сверлению, ед.	137	134	142
Содержание нарушенной древесины по данным Arbotom®, %	78	52	15
Содержание нарушенной древесины по данным Resistograph®, %	50	57	69

Примечание. \*Данные таблицы получены лично авторами статьи.

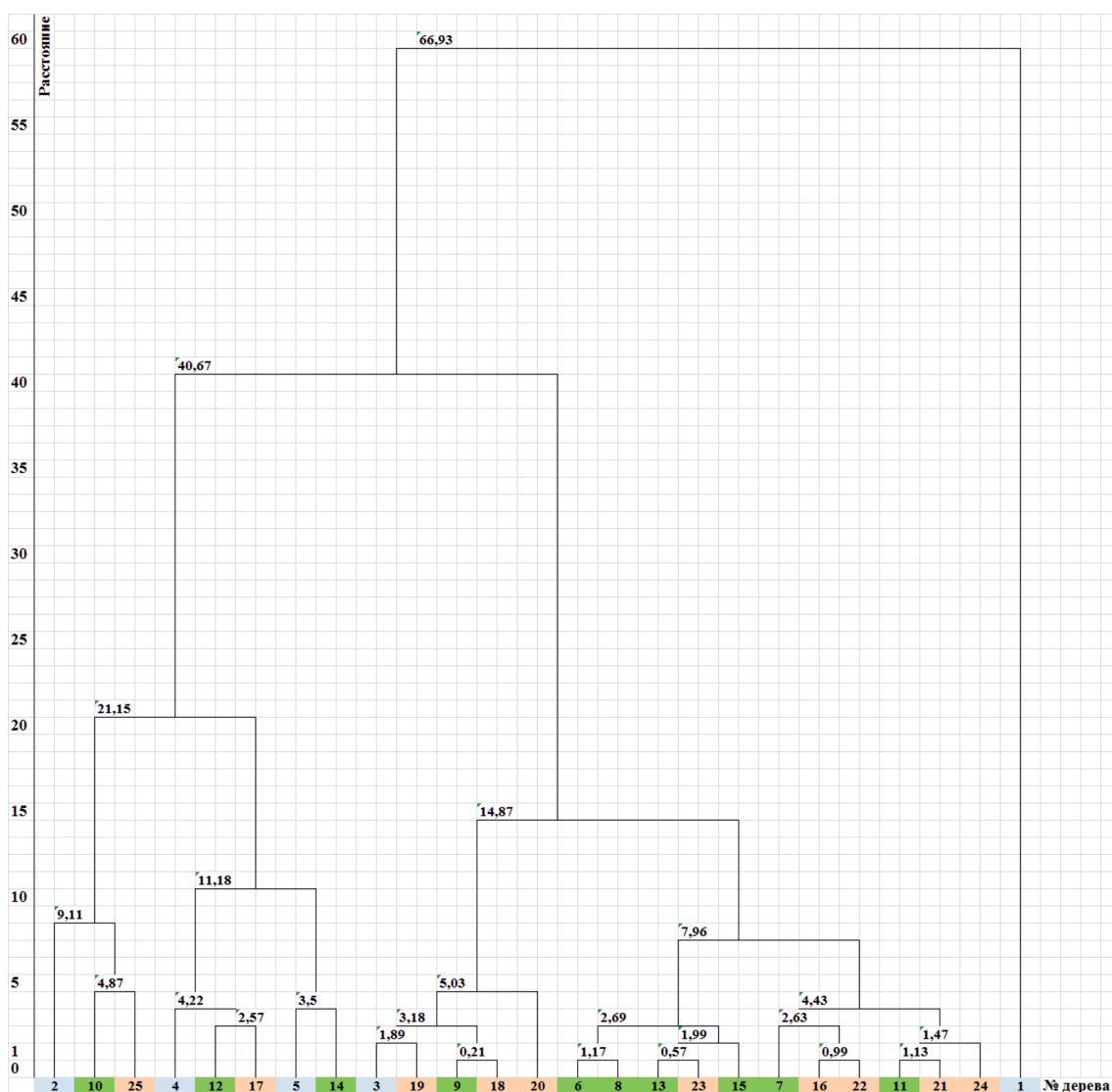


Рис. 1. Дендрограмма данных Arbotom® по параметрам содержание гнили (%) / средняя скорость импульса (м/мин) (голубой цвет – площадь № 1; зеленый – площадь № 2; розовый – площадь № 3). Данные рис. 1 получены авторами статьи

В совокупности выборку можно охарактеризовать как высокоразрозненную. В зависимости от уровня «разреза» дендрограммы все данные можно объединить либо в 4 разреженных кластера (максимальные расстояния в кластерах – 18,25; 20,62; 29,07; 37) с отделением показателей дерева № 11, либо в 2 кластера высокой плотности (максимальные расстояния – 18,25 и 21,02) и группу обособленных друг от друга значений. Наибольшим разбросом значений характеризуется площадка № 2. Это связано с наибольшими показателями сопротивления сверлению на фоне высоких показателей содержания гнили. Подобная характери-

ка, вероятнее всего, обусловлена высокой ветровой нагрузкой на стволы, связанной с разреженностью древостоя и отсутствием ветровой защиты в виде близко расположенных зданий на данной пробной площадке. В остальном в распределении деревьев различных пробных площадок по кластерам селективности не прослеживается.

Все полученные данные можно объединить в 3 плотных кластера (максимальные расстояния в кластерах – 23,39; 31,04; 20,16) с отделением показателей дерева № 1. В распределении деревьев различных пробных площадок по кластерам не прослеживается селективности.

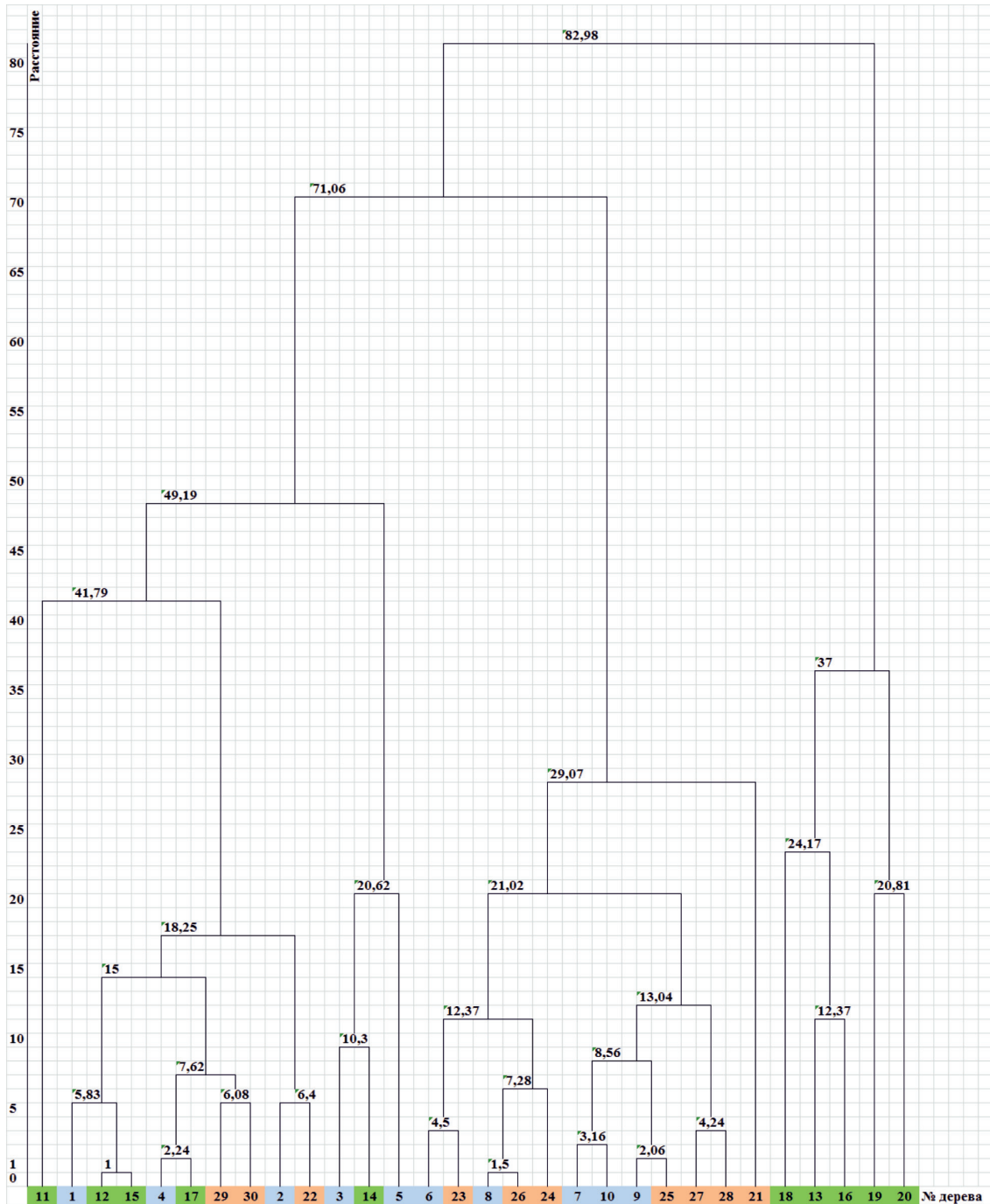


Рис. 2. Дендрограмма данных Resistograph® по параметрам по параметрам среднее сопротивление сверлению / общее содержание гнили (%) (голубой цвет – площадь № 1; зеленый – площадь № 2; розовый – площадь № 3). Данные рис. 2 получены авторами статьи

Все данные можно объединить либо в 2 относительно разрозненных кластера (максимальные расстояния в кластерах – 5,08; 7,58) с отделением показателей дерева № 10, либо в 2 плотных кластера (максимальные расстояния – 5,08; 2,86)

с отделением показателей деревьев № 10, 1, 4. Наибольшей селективностью значений характеризуется площадка № 2. Это подтверждает ранее приведенные результаты оценки данных Resistograph. Также относительно высокой селективностью

обладают данные площадки № 3. Данный факт демонстрирует, что при рассмотрении данных Arbotom / Resistograph через средние показатели влияние доли

нарушенной древесины нивелируется по сравнению с показателем естественной плотности, обусловленной особенностями произрастания.

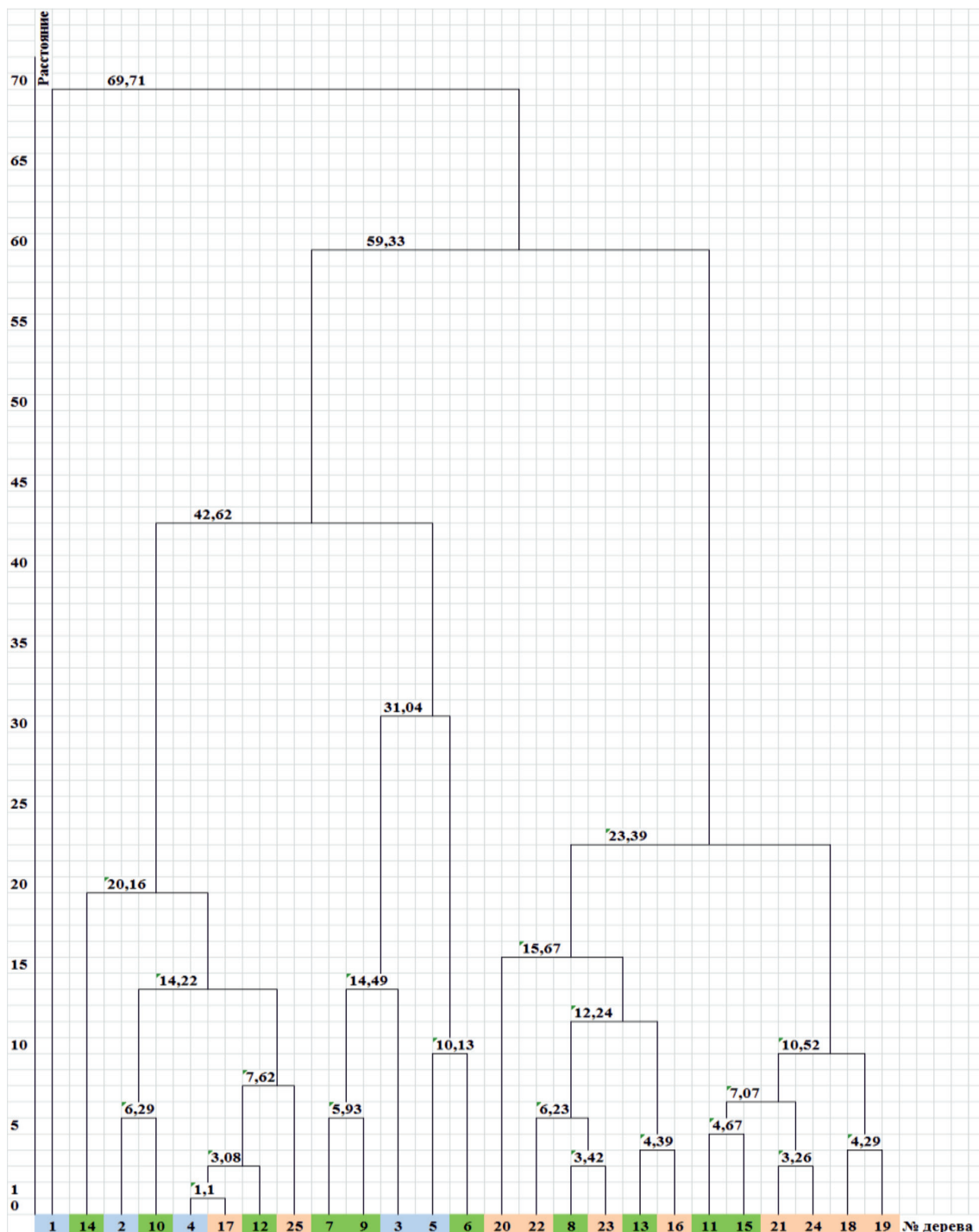


Рис. 3. Дендрограмма по содержанию деструкции Arbotom / Resistograph (%) (голубой цвет – площадь № 1; зеленый – площадь № 2; розовый – площадь № 3).  
Данные рис. 3 получены авторами статьи

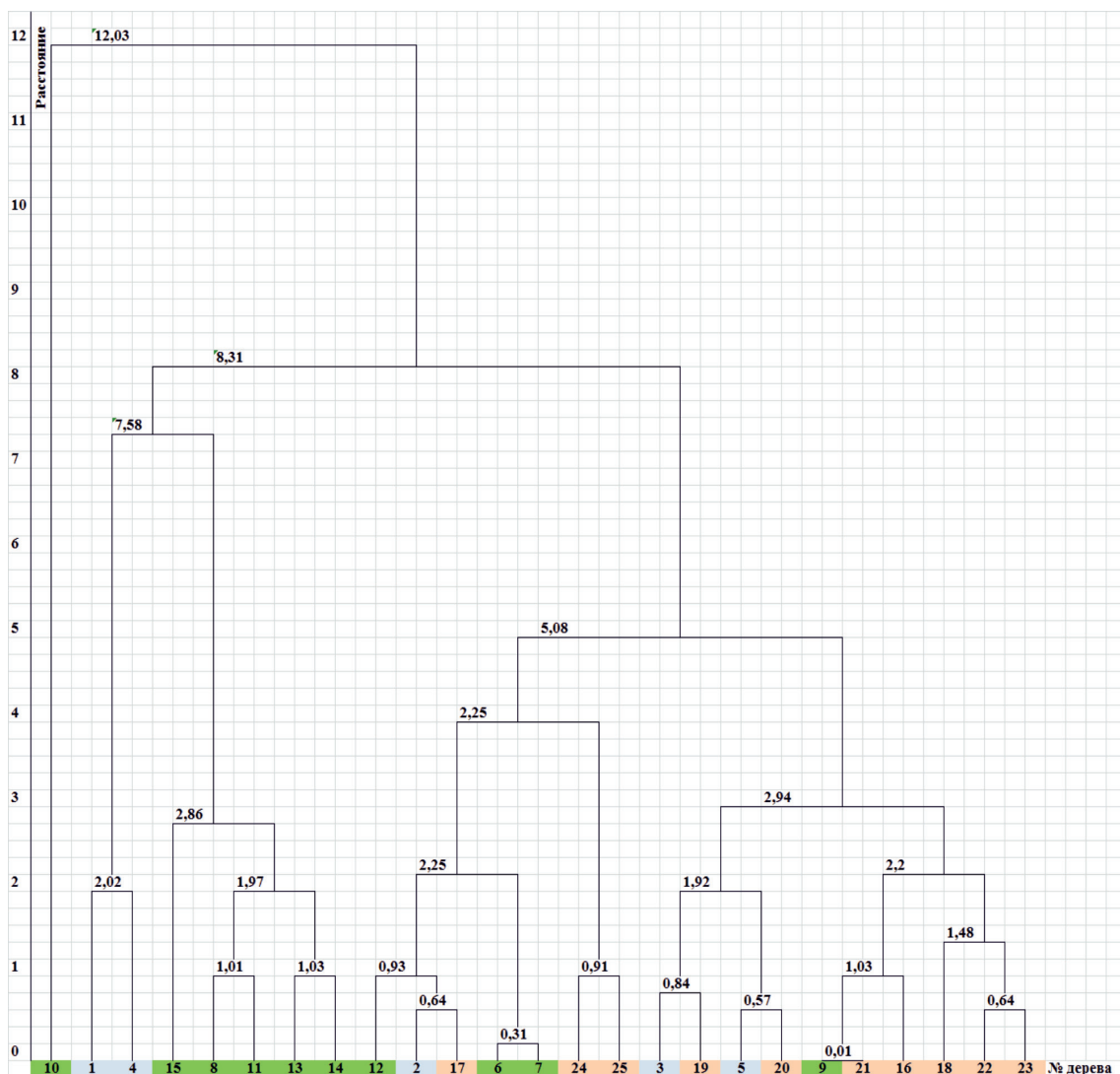


Рис. 4. Дендрограмма по среднему сопротивлению сверлению / средней скорости импульса (голубой цвет – площадь № 1; зеленый – площадь № 2; розовый – площадь № 3).  
Данные рис. 4 получены авторами статьи

### Выводы

На основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы.

1. Проведенные исследования доказали наличие внутренних пороков во всех исследованных модельных деревьях. Можно сделать вывод об общей угнетенности древесной растительности рассматриваемых пробных площадей.

2. Среди исследованных модельных деревьев заметно выделяется пробная площадь № 2 по показателю твердости древесины. Однако при этом по общей картине распределения внутренних пороков значимой селективности между площадками не на-

блюдается. Таким образом, можно сделать вывод об относительной равноценности условий произрастания древостоя и равномерном угнетении зеленых насаждений различных районов урбоэкосистемы города.

3. При составлении оценки состояния насаждения в целом целесообразно рекомендовать сопоставление данных двух приборов как по параметрам экспертной оценки (доля содержания нарушенной древесины), так и по параметрам автоматизированных измерений (данных приборов) для составления наиболее полной картины состояния дендроценоза.

4. Выполненные работы имеют большое практическое значение, так как позволяют

определять аварийные деревья, которые могут быть подвержены ветровалу и бурелому при сильных ветровых нагрузках, и проводить своевременную замену на более молодые и здоровые деревья.

#### Список литературы / References

1. Рунова Е.М., Аношкина Л.В., Гаврилин И.И. Состояние древесной растительности в урбоэкосистемах на примере Братска: монография. Изд-во БрГУ, 2017. 80 с.  
Runova E.M., Anoshkina L.V., Gavrilin I.I. State of woody vegetation in urban ecosystems on the example of Bratsk: monografiya. Izd-vo BrGU, 2017. 80 p. (in Russian).
2. Денисова Е.С. Озеленение санитарно-защитных зон нефтехимических предприятий западной Сибири. Омск: Омский государственный технический университет, 2015. 96 с.  
Denisova E.S. Greening of sanitary protection zones of petrochemical enterprises of Western Siberia. Omsk: Omskiy gosudarstvennyy tekhnicheskii universitet, 2015. 96 p. (in Russian).
3. Кругляк В.В. Адаптивные системы озеленения населенных пунктов центрального Черноземья: автореф. дис. ... докт. с.-х. наук. Волгоград, 2013. 41 с.  
Kruglyak V.V. Adaptive greening systems for settlements in the central Chernozem region: avtoref. dis. ... dokt. s.-kh. nauk. Volgograd, 2013. 41 p. (in Russian).
4. Johnstone D., Moore G., Tausz M., Nicolas M. The measurement of wood decay in landscape trees. *Arboriculture & Urban Forestry*. 2010. Vol. 36 (3). P. 121–127.
5. Чубинский А.Н., Тамби А.А., Федяев А.А., Федяева Н.Ю., Кульков А.М. Направления использования физических методов контроля структуры и свойств древесины // Системы. Методы. Технологии. 2015. № 2 (26). С. 152–158.  
Chubinsky A.N., Tambi A.A., Fedyaev A.A., Fedyaeva N.Yu., Kulkov A.M. Directions of using physical methods for controlling the structure and properties of wood // Sistemy. Metody. Tekhnologii. 2015. Vol. 2 (26). P. 152–158 (in Russian).
6. Тюкавина О.Н. Скорость прохождения звукового импульса в древесине сосны // Вестник северного (Арктического) Федерального университета. Серия: Естественные науки. Архангельск, 2014. С. 78–85.  
Tyukavina O.N. The speed of passage of a sound pulse in pine wood // Vestnik severnogo (Arkticheskogo) Federal'nogo universiteta. Seriya: Yestestvennyye nauki. Arkhangel'sk, 2014. P. 78–85 (in Russian).
7. Лавров М.Ф., Чахов Д.К., Докторов И.А. Определение качественных показателей древесины методом сверления // Вестник Московского государственного университета леса. Лесной вестник. 2014. № 5. С. 196–201.  
Lavrov M.F., Chakhov D.K., Doctors I.A. Determination of quality indicators of wood by drilling method // Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa. Lesnoy vestnik. 2014. No. 5. P. 196–201 (in Russian).
8. Географическая энциклопедия Иркутской области: общ. очерк / под ред. Л.М. Корытного; Прав-во Иркут. обл., Ин-т географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, Иркут. гос. ун-т. Иркутск: Ин-т географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2017. 336 с.  
Geographical encyclopedia of the Irkutsk region: commonly. essay / pod red. L.M. Korytnogo; Prav-vo Irkut. obl., In-t geografii im. V.B. Sochavy SO RAN, Irkut. gos. un-t. Irkutsk: In-t geografii im. V.B. Sochavy SO RAN, 2017. 336 p. (in Russian).
9. ОСТ 56-69-83. Площади пробные, лесоустроительные. Методы закладки. Введ. впервые 1984.01.01. М.: Изд-во стандартов, 1984. 61 с.