



**Издатель**

ФГБОУ ВО «Петрозаводский государственный университет»  
Российская Федерация, г. Петрозаводск, пр. Ленина, 33

Научный электронный журнал

# ПРИНЦИПЫ ЭКОЛОГИИ

<https://ecopri.ru>

## № 2 (40). Июнь, 2021

**Главный редактор**

А. В. Коросов

**Редакционный совет**

В. Н. Большаков  
А. В. Воронин  
Э. В. Ивантер  
Н. Н. Немова  
Г. С. Розенберг  
А. Ф. Титов  
Г. С. Антипина  
В. В. Вапиров  
А. М. Макаров

**Редакционная  
коллегия**

Т. О. Волкова  
Е. П. Иешко  
В. А. Илюха  
Н. М. Калинкина  
J. P. Kurhinen  
А. Ю. Мейгал  
J. B. Jakovlev  
B. Krasnov  
A. Gugolek  
В. К. Шитиков  
В. Н. Якимов

**Службы поддержки**

А. Г. Марахтанов  
Е. В. Голубев  
С. Л. Смирнова  
Н. Д. Чернышева  
М. Л. Киреева

**ISSN 2304-6465**

**Адрес редакции**

185910, Республика Карелия, г. Петрозаводск, ул. Ленина, 33.

E-mail: [ecopri@petsu.ru](mailto:ecopri@petsu.ru)

<https://ecopri.ru>





УДК 630\*41

# ПРОБЛЕМЫ ДИАГНОСТИКИ АВАРИЙНОСТИ ДЕРЕВЬЕВ В УРБАНИЗИРОВАННОЙ СРЕДЕ

**РУМЯНЦЕВ**  
Денис Евгеньевич

*доктор биол. наук, Мытищинский филиал МГТУ им.  
Баумана (МО, Мытищи, 1-я Институтская, д. 1, ЛТ-2),  
dendro15@list.ru*

**ФРОЛОВА**  
Вера Алексеевна

*кандидат сельскохозяйственных наук, Мытищинский  
филиал МГТУ им. Баумана (МО, Мытищи, 1-я Институтская,  
д. 1, ЛТ-6), frolova.vera@gmail.com*

## Ключевые

### слова:

аварийные  
деревья, ядровая  
гниль,  
фитопатология,  
лесопатология

## Рецензент:

Е. В. Колтунов

## Получена:

23 ноября 2020  
года

## Подписана к печати:

24 июня 2021  
года

**Аннотация.** Выявление аварийных деревьев является актуальной практической задачей, которая в первую очередь значима для условий урбанизированной среды. Методическая база для решения данной задачи начала формироваться достаточно давно, но в силу биологических ограничений данный вопрос не может быть решен однозначно и в настоящее время. В статье рассматриваются существующие подходы к выявлению аварийных деревьев, обсуждаются биологические предпосылки их использования и возможные ограничения. Показано, что аварийность деревьев может обуславливаться рядом экологических и физиологических условий, среди которых наиболее велико практическое значение уровня развития скрытой стволовой гнили. Однако парусность кроны и характер ветровой нагрузки на ствол дерева в ландшафтном комплексе могут обуславливать разную аварийность ствола при одинаковом уровне динамической ветровой нагрузки. Аварийность дерева слабо связана с его лесопатологическим состоянием, для полноценного выявления аварийных деревьев возможна только инструментальная диагностика. Обсуждаются методы инструментальной диагностики, методы снижения аварийности. В качестве характерного примера приводятся результаты выявления аварийных деревьев в одном из парков Московской области по данным диагностики уровня развития стволовой гнили с помощью бурава Пресслера.

© Петрозаводский государственный университет

## Введение

Диагностика аварийных деревьев – ответственное и сложное мероприятие. Прежде всего потому, что это вероятностный процесс. Упасть может любое дерево, однако вероятность этого события может быть разной. В 1823 г. известный американский писатель Джеймс Фенимор Купер опубликовал роман «Пионеры, или У истоков Саскуиханны» (Купер, 1981). Он любопытен как исторический документ, отражающий практические представления тех лет о механизмах устойчивости стволов деревьев: «Внезапное падение дерева – самое опасное явление в лесу, потому что его нельзя предусмотреть, – сказал Мармадюк. – Оно происходит не из-за сильного ветра и не по какой-либо другой видимой причине. Причина падения деревьев, судья Темпл,

совершенно очевидна, – сказал шериф, – дерево состарилось, постепенно ослабело от морозов, подгнило, и его центр тяжести уже не приходится на середину основания дерева – в таком случае оно непременно падает... Не подходи близко к корням гнилого дерева, и ты в безопасности» (Купер, 1981). С момента написания романа Купера прошло уже почти 200 лет, но с тех пор мало что изменилось. Деревья все также продолжают падать и приносить разрушения, иногда и с опасными для здоровья людей последствиями. И все также единственным способом борьбы с этой угрозой является избегание соседства с потенциально аварийными деревьями, их своевременное выявление и удаление.

Актуальность выявления аварийных деревьев хорошо демонстрируют последствия урагана в Москве и Московской области 29 мая 2017 г. Ураганом были причинены сильные разрушения построек, повреждения автотранспорта, помимо этого более 40 человек обратились в медицинские учреждения с сильными травмами, число слабых травм не поддается учету, но самое главное, были и смертельные исходы. Основной причиной этих разрушительных действий были упавшие деревья, и в первую очередь деревья, пораженные гнилью в сильной степени.

Действующие «Правила санитарной безопасности в лесах» (2017) стали подразумевать выявление при лесопатологическом обследовании насаждений такой категории деревьев, как аварийные (балл 7). К ним относятся «деревья со структурными изъянами (наличие дупел, гнилей, обрыв корней, опасный наклон), способными привести к падению всего дерева или его части и причинению ущерба населению или государственному имуществу и имуществу граждан». Данная по сути верная характеристика при практической интерпретации может допускать разночтения в трактовках при определении категории состояния конкретного дерева. Это делает актуальным совершенствование, детализацию методик выявления аварийных деревьев.

Деревья являются необходимым компонентом урбанизированной среды, выполняя важные экосистемные функции (Румянцев, Фролова, 2019; Wolf et al., 2020). Полностью избавиться от них в городской среде мы никогда не сможем, и поэтому регулярное формирование аварийных деревьев является и будет являться «неизбежным злом» для городского коммунального хозяйства. Потребность в выявлении аварийных деревьев существует, во многих случаях она предписана законодательно.

Целью данного обзора является анализ существующих методов выявления аварийности деревьев и биологических предпосылок для их применения. Данный обзор актуален, т. к. общепринятой методики выявления аварийных деревьев, по нашему мнению, в настоящее время не существует.

## **Материалы**

Материалы статьи базируются на обзоре литературных источников, а также многолетнем опыте диагностики аварийных деревьев с помощью нескольких методов: визуальных, с использованием бурава Пресслера, с использованием специализированного оборудования фирмы РИННТЕХ (приборы РЕЗИСТОГРАФ, АРБОТОМ). Исследования выполнялись на объектах Москвы и Московской области в рамках лесопатологического обследования и/или судебно-ботанических экспертиз. Сопряженное использование принципиально разных методов позволило установить особенности их работы при диагностике и очертить приблизительные рамки их адекватного биологически обоснованного применения. Зачастую диагностика состояния дерева выполнялась уже после установления факта его падения, как правило, сопряженного с материальным ущербом (чаще всего разрушением автотранспорта).

Отдельным объектом, на основе которого выполнено одно из наших исследований (приведенное в качестве характерного примера практической диагностики аварийности деревьев в урбанизированной среде), является парк в окрестностях г. Красногорска Московской области. Объект расположен на территории

бывшей усадьбы Опалиха-Алексеевское в микрорайоне Опалиха г. Красногорска. В 1670-х гг. Опалиха – вотчина дьяка Литвинова, в начале XVIII в. – Чаадаевых. Материалы Генерального межевания сообщают, что в 1768 г. село находилось в собственности генерал-майора Николая Егоровича Николева. Здесь уже сложилась усадьба, был построен деревянный господский дом, рядом с ним вырыты пруды и разбит регулярный сад с плодовыми деревьями. Сохранился составленный в это время план имения, на котором господская усадьба показана напротив крестьянских дворов, а также отмечены большие копаные пруды площадью почти 2 десятины. При Николаеве был построен флигель на каменном фундаменте с башенкой, в котором действовала небольшая домовая церковь. Затем, после смены ряда владельцев, в 1825 г. усадьбу приобрел князь Николай Борисович Юсупов, который являлся владельцем соседнего имения Архангельское.

Село Опалиха-Алексеевское занимало удобное положение около тракта, который шел из Москвы в Ново-Иерусалимский монастырь и далее на Волоколамск. После Октябрьской революции землю национализировали. До 1923 г. во флигеле размещался клуб, затем детская колония «Васильки». В 1930-х гг. старые постройки были снесены, на месте деревянного дома было возведено здание пансионата Коммунистического университета трудящихся Востока, переданное затем Международному обществу помощи рабочим. В 1942 г. здесь был госпиталь, а в 1945 г. – дом отдыха «Опалиха». По результатам выполнявшихся ранее сотрудниками компании НПК «Спецлесозащита» дендрохронологических исследований было установлено, что возраст наиболее старых деревьев в парке составляет более 200 лет.

## **Традиционные методы исследований**

Теория вопроса устойчивости стволов деревьев уходит в глубину веков. Пожалуй, первым значимым постулатом этой теории были представления о рациональной конфигурации балки, сформулированные Галилео Галилеем в 1638 г. (Раздорский, 1955). На основании выведенных им формул, выражающих сопротивление изгибу балок различного сечения, Галилей пришел к заключению, что «сопротивление двух цилиндров из одного и того же материала, имеющих один и тот же вес и одинаковую длину – один из которых полый, а другой массивный, относится как их диаметры». Из этого следует, что у полый балки без увеличения веса сохраняется то же сопротивление и полотрубчатая конструкция, поэтому является более рациональной для тел, подвергающихся статическому изгибу под действием силы тяжести.

В качестве примера реализации этой концепции в природе Галилей приводит стебель злаков: «Если бы соломина злака, поддерживающая колос, более тяжелый, нежели весь стебель, была произведена при том же количестве материала, но была бы сплошной, то она являлась бы гораздо менее сопротивляющейся изгибу и излому». В свете изложенных выкладок наличие в ядре дерева гнили не кажется существенным изъяном, более того, оно может рассматриваться как фактор, увеличивающий механическую устойчивость ствола! На первый взгляд этот вывод противоречит всей дендрологической практике, но следует иметь в виду, что он справедлив лишь для стебля, испытывающего статическую нагрузку под действием силы тяжести. Важным условием справедливости вывода является также строгая центрированность полости в стволе дерева относительно вектора действия силы тяжести.

С практической точки зрения описанные закономерности важны для понимания того, что иногда в городской застройке либо в глубине лесных насаждений обнаруживаются деревья с чрезвычайно развитой ядровой гнилью, которые существуют с ней уже долгие годы. По-видимому, стечение обстоятельств обуславливает то, что их стволы испытывают преимущественно статическую нагрузку и почти не преимущественно от доли поздней древесины в годичном кольце. У хвойных доля поздней древесины наиболее велика у основания ствола и непрерывно убывает по направлению к вершине. Это имеет для дерева большое значение: для ствола вероятность излома под действием порывов ветра значительно возрастает в направлении от верха к низу. Повышенная прочность ствола в районе корневой шейки



достигается как за счет общего утолщения ствола, так и за счет увеличения прочности древесины из-за увеличения доли поздней древесины в годичном кольце. Современные представления об устойчивости столов растений были подытожены немецким физиком Франком Ринном (Rinn, 2005, 2006).

Ф. Ринн отмечает, что тот, кто судит об устойчивости дерева, полностью опираясь на свой опыт либо свои внутренние ощущения, может в определенных случаях правильно оценить состояние дела и прийти к правильным выводам. Однако подобная оценка распространена среди непрофессионалов (совет общины или суд). Кроме того, т. к. даже совершенно здоровые деревья могут ломаться, то в принципе никакая методика измерений не может гарантировать абсолютной безопасности. Также верно и то, что никакой конкретный метод и никакой прибор не могут сами по себе, не доводя дело до разрушения дерева, обеспечить получение точного результата. По мнению Ринна, дерево ломается, когда сила (или изгибающий момент), воздействующая из-за ветра, слишком велика и древесина ствола не может устоять при подобной нагрузке. Так называемый изгибающий момент (сила, умноженная на длину плеча рычага) определяется из значений скорости ветра  $v$ , площади (поверхности) кроны  $A$ , плеча воздействия силы  $l$  (расстояния от центра тяжести кроны до ствола), плотности воздуха и так называемого коэффициента (лобового) сопротивления  $c_w$ :

$$B = F \times l = c_w \times 1/2 \times \delta \times v^2 \times A \times l.$$

Сопротивление дерева этой нагрузке зависит от размера и формы поперечного сечения ствола и прочности древесины. Точная взаимозависимость между разрушающей нагрузкой, площадью поперечного сечения, формой сечения, прочностью древесины и пределом прочности на растяжение может быть исключительно сложной. Так называемый момент сопротивления должен воспроизводить реакцию поверхности и формы поперечного сечения, для округлых дуплистых стволов (с круглой, концентричной внутренней полостью) при внешнем диаметре  $D$  и диаметре внутренней полости  $d$  имеем:

$$W = 3.14 \times (D^4 - d^4) / (32 \times D).$$

Чем более пустотелое дерево и чем больше вскрыто его поперечное сечение, тем скорее оно сломается. Но свою роль здесь играют не только форма и размер поперечного сечения, свойства материала (древесины) также имеют решающее значение. Так, к примеру, древесина какого-то одного дерева может быть вдвое более стойкой к излому, чем древесина другого дерева той же породы.

Таким образом, по мнению Ринна, изгибающему моменту под воздействием ветра ( $B$ ) противостоят момент сопротивления ( $W$ ) и прочность древесины ( $\sigma$ ). При обследовании дерева следует выяснить, достаточны ли момент сопротивления и прочность его древесины для того, чтобы выдержать нагрузки, обусловленные изгибающим моментом из-за воздействия ветра. Следовательно, независимо от того, насколько точно может быть исследована древесина конкретного ствола и определена его прочность, расчет его запаса прочности никогда не может быть точнее определения воздействующего ветрового изгибающего момента, т. е. ветровой нагрузки. Это означает, что конечный результат любого расчета и определения запаса прочности обременен по крайней мере погрешностями, обусловленными ветровой нагрузкой, вне зависимости от точности измерений. Даже ядерно-спиновые томографические снимки серии поперечных сечений ствола и точное измерение предела прочности на растяжение образцов древесины из ствола не могут изменить это положение. Так как совершенно невозможно, как показано выше, хотя бы раз надежно оценить ветровую нагрузку, то также в принципе невозможно выдать рассчитываемые с ее учетом точное значение запаса прочности и надежные его оценки. Поэтому, по нашему мнению, подобные расчеты при сегодняшнем состоянии науки бесполезны. Следовательно, при правовом рассмотрении все лица, ответственные за состояние дерева, должны иметь в виду эту очевидную неопределенность, если дело касается оценки запаса прочности, поскольку дерево

является сложным объектом, ветровая нагрузка на него – неопределенной.

При соотношении толщина остаточной стенки к радиусу менее одной трети вероятность излома дерева при определенных условиях сильно возрастает, а именно тогда и только тогда, когда, к примеру, сохраняется наличие цельной кроны при ниспадающей ветровой нагрузке в месте расположения, либо приходится считаться с внезапными увеличениями ветровой нагрузки (например, в связи с эффектом всасывания из-за появления новых построек или же высвобождения свободных пространств), либо процессы разрушения древесины протекают быстрее, чем происходит дальнейшее развитие дерева после его подлечивания.

Таким образом, точных критериев связи процента гнили в стволе и вероятности падения дерева в настоящее время, по мнению Ф. Ринна, вывести нельзя. Остается использовать различные косвенные оценки, точность которых может быть либо приемлемой, либо неприемлемой в зависимости от конкретных целей исследования и/или экспертизы.

Характерным примером, отражающим современные реалии выявления аварийных деревьев, являются результаты исследований авторитетных воронежских ученых-лесопатологов (Царалунга и др., 2020). В рамках обследования насаждений вдоль Большой Воронежской экологической тропы ими были проведены исследования по определению качественных и количественных характеристик патологий на деревьях, которые не учитываются в инструктивных документах, но фактически определяют эти деревья как аварийные. Кроме стволовых гнилей и опасного наклона ствола, рекомендованных инструкциями, учитывались деревья с комлевыми дуплами, раковыми опухолями на стволе, расщеплением ствола и усохшими скелетными ветвями. Собранный материал и его анализ показали, что в случае учета таких патологий количество деревьев, относимых к категории аварийных, может возрасти на 62 %. Среди дополнительных патологий лидируют комлевые дупла. Указано, что кроме данных патологий, характерных для дубравных древостоев, есть еще ряд фатальных для деревьев патологий, встречающихся в других типах насаждений. Сделан вывод, что современная методика выделения аварийных деревьев несовершенна, поскольку не учитывает значительное количество древесных патологий, которые увеличивают вероятность облома или вывала дерева, чем однозначно делает такие деревья аварийно опасными.

Как отмечает М. Е. Ткаченко, «беспорядочная рубка может вызвать катастрофические последствия в лесу» (Ткаченко, 1955). Изреживание увеличивает скорость ветра. Деревья, устойчивые в древостое, при меньших пределах максимальной возможной скорости ветра после изреживания подвержены ветровалу и бурелому. Эти общеизвестные в лесоводстве сведения, основанные на эмпирических наблюдениях, подтверждены и более строгими исследованиями, демонстрирующими, что вероятность падения отдельного дерева в насаждении под действием ветра зависит от числа его ближайших соседей и относительной высоты дерева над пологом насаждения (Филенкова и др., 2011).

## **Оригинальные методы исследований**

Не вызывает сомнений, что аварийные деревья в городе необходимо выявлять и удалять. Какими же предпосылками нужно руководствоваться при этом? С биологической точки зрения причины падения дерева, точнее пусковые механизмы падения, могут быть разными. Перечисленные ниже причины отчасти взаимосвязаны и могут дополнять друг друга, но практический механизм, запустивший падение дерева, в каждом случае отличается.

Группы причин падения деревьев:

1. Сильное развитие гнили в стволе дерева.
2. Сильное развитие гнили в корнях дерева.
3. Резкое изменение полноты насаждения, несоответствие между формой ствола и архитектурой кроны и существующим в настоящее время уровнем динамической ветровой нагрузки.

4. Резкое поднятие уровня грунтовых вод, отмирание значительной части корневой системы в результате анаэробнозиса.

5. Повреждение корневой системы при строительстве.

При выявлении аварийных деревьев в первую очередь необходимо определить деревья, пораженные гнилью. Основные внешние признаки присутствия гнили в столе дерева:

- 1) наличие дупла с загнившими стенками;
- 2) наличие табачных сучьев;
- 3) наличие плодовых тел грибов-трутовиков.



Рис. 1. Аномальное утолщение ствола ели в комлевой части свидетельствует о развитии ядровой гнили (вероятно, корневая губка)

Fig. 1. Abnormal thickening of the trunk of the spruce in the clump part indicates the development of heart rot (probably root sponge)





Рис. 2. Плодовое тело трутовика Швейница у комля лиственницы свидетельствует о поражении корневой системы дерева гнилью  
Fig. 2. The fruit body of the polypore of Shveynitsa in the larch clump indicates that the root system of the tree is affected by rot

Косвенными признаками, говорящими о возможном присутствии в стволе гнили, являются:

- 1) патологическое утолщение комлевой части ствола;
- 2) растрескивания коры и смолотечения по стволу дерева;
- 3) суховершинность, изреженность кроны, бледная окраска хвои.

Согласно приложению 4а к действующим «Правилам создания, содержания и охраны зеленых насаждений города Москвы», установить пораженность гнилями «можно по образцам древесины, взятым с помощью приростного бурава или простукиванием ствола обухом топора. В последнем случае гулкий, нечистый звук будет свидетельствовать о наличии в стволе гнили (как правило, в последней стадии)» (Правила создания..., 2002–2018). Последний способ мы рекомендуем использовать только людям с хорошим музыкальным слухом и большим опытом практической работы. Следует отметить, что действующие правила также предписывают удалять деревья с наклоном ствола от 45°. Диагностика гнили с помощью бурава, по нашему опыту работы, это наиболее надежный, простой и, что немаловажно, действенный способ определения факта наличия гнили и оценки уровня ее развития (рис. 3).



Рис. 3. Отбор керна древесины для диагностики гнили в стволе дерева  
Fig. 3. Wood core sampling for the diagnosis of rot in the tree trunk

Аналогичную возможность (определение процента здоровой и гнилой древесины по радиусу) дают приборы типа резистографа. Разница заключается в том, что образец древесины мы наблюдаем непосредственно, а работая с резистографами различного типа, получаем косвенные оценки динамики плотности древесины (даже не сами показатели плотности), на основании которых судим о наличии в стволе гнили и уровне ее развития.

Еще более косвенные оценки уровня развития гнили получают с помощью различного рода томографов. Резистограф позволяет оценивать состояние ствола, измеряя сопротивление его участкам пробуриванию тонким сверлом (по мере деструкции древесины под действием возбудителя гниения ее сопротивление пробуриванию снижается). Импульсный томограф оценивает состояние ствола на основе данных о скорости прохождения звука в разных участках ствола (по мере деструкции древесины под действием возбудителя гнили снижается ее звукопроводимость).

Технология работы с резистографом и Арботом подробно описана в статье А. В. Анциферова (2020). Данные приборы безусловно являются полезным инструментом исследований, но их применение, как и применение любого методического подхода в науке, имеет ограничения. Главным из них является биологически обусловленное варьирование плотности здоровой (не пораженной гнилью) древесины.



Резистограф в ходе работы измеряет не саму плотность древесины, а количество электричества, затрачиваемое на прохождение сверла на каждом участке ствола. Естественно, что чем глубже входит сверло в ствол, тем сильнее увеличивается поверхность трения сверла о древесину и тем больше электричества тратится на просверливание древесины. Поэтому гниль выявляют по резкому отклонению плотности древесины от линии тренда затрат электричества, но не по некоторым количественным критериям. В этом может скрываться методическая неточность, когда сверло попадает на участок древесины с широкими годичными кольцами пониженной плотности, поэтому результаты интерпритации работы резистографа в наиболее ответственных случаях необходимо вести с учетом данных визуального обследования керна, отобранного буровом Пресслера, с помощью которого гниль выявляется непосредственно и достоверно.

Аналогично Арботом при определенных режимах работы может ввести неопытного исследователя в заблуждение. Древесина ствола в поперечном сечении варьирует по плотности. Как правило, у хвойных наблюдается следующая закономерность: в центре ствола расположены широкие годичные кольца с малой долей поздней древесины (малая плотность), а на периферии, около коры, расположены узкие годичные кольца с большим процентом поздней древесины (высокая плотность). С учетом того, что работа Арботом построена не на четких количественных показателях скорости прохождения звука по древесине (что затруднено по биологическим причинам), а на анализе относительных значений, при определенных условиях может складываться ошибочное мнение о наличии в ядре древесины, подвергнувшейся деструкции. Однозначно данный вопрос в спорных случаях может быть разрешен с помощью отбора керна древесины.

На практике исходным материалом, используемым при работах, связанных с массовой диагностикой гнили, должен быть дендрологический план, отражающий распределение в пространстве всех деревьев, чей диаметр на момент выполнения геодезической съемки превышал 10 см. Каждое дерево на плане должно быть пронумеровано. К плану составляется перечетная ведомость, в которой отражены вид дерева, диаметр на высоте 1.3 м, высота и состояние дерева. Для диагностики наличия гнили в стволе дерева, как правило, керны отбираются на высоте 1.3 м с помощью бурава Пресслера. С каждого учетного дерева отбирается по 1 керну по произвольно выбранному радиусу. Образовавшиеся в стволе отверстия заделываются садовым варом.

С помощью рулетки измеряется длина окружности каждого дерева. Далее керны упаковываются в бумажные пакеты, на которые наносится номер учетного дерева, обозначается его порода, дата отбора керна и зафиксированная длина окружности. Керны направляются в лабораторию, там проводится их обработка. Для этого на основе длины окружности керна рассчитывается средний радиус ствола на высоте отбора керна. На отобранных кернах измеряется длина участков здоровой древесины, затем рассчитывается процент гнили.

Для оценки степени пораженности ствола ядровой гнилью с использованием бурава Пресслера рекомендуется следующий алгоритм:

1. Отбирается керн древесины.
2. Измеряется длина участка здоровой древесины на керне (X).
3. Измеряется длина окружности ствола в месте отбора керна (L).
4. Определяется радиус ствола (R) по формуле  $R = 0.16 * L$ .
5. Определяется процент гнили в стволе (Y) по формуле  $Y = ((R - X)/R) * 100 \%$ .

По результатам диагностики необходимо принять решение о судьбе дерева.

Пример результатов выполненных расчетов приведен в табл. 1.

Таблица 1. Развитие гнили в стволе дерева по данным анализа

№ дерева по перечетной ведомости	Порода дерева	Длина окружности на высоте отбора керна, см	Средний радиус окружности, см	Измеренный радиус здоровой древесины, см	Процент стволовой гнили относительно здоровой, %
12	липа	172	27,39	23,0	гнили нет
16	липа	185	29,46	13,0	55,9
20	липа	176	28,03	25,0	10,8

Для деревьев, расположенных в черте населенных пунктов либо на участках, предназначенных для рекреации, предлагаются следующие приержки:

1. Если ядровая гниль занимает более 80 %, необходимо удаление дерева.
2. Если ядровая гниль занимает от 40 до 79 %, дерево представляет угрозу падения. Если такое дерево расположено рядом с жилыми постройками, социально значимыми объектами инфраструктуры, то его рекомендуется также удалить.
3. Если ядровая гниль занимает от 5 до 39 %, угроза падения дерева в ближайшие годы невелика.

Рекомендуется следить за развитием гнили, а также производить лечение заболевания хирургическими и терапевтическими методами, возможно, снизить парусность кроны за счет кронирования дерева. Практика ухода за зелеными насаждениями показала, что важным фактором оценки угрозы падения дерева может быть также уровень окольцовывания ствола гнилью, раком, механическими повреждениями. Известный отечественный фитопатолог И. В. Журавлев (1964) у хвойных пород относит к потенциально аварийным деревья с окольцовыванием ствола от 50 до 70 %, у лиственных пород – деревья с окольцовыванием ствола от 60 до 85 %.

Прогноз развития гнили в стволе дерева и время перехода его в разряд аварийных теоретически можно оценить. Например, в работе А. С. Матвеева-Мотина и И. А. Алексеева (1963) приводятся данные о средней скорости роста гнилей в % от площади сечения ствола. Для серно-желтого трутовика на дубе этот показатель равен 0.4–1.8 %, для ложного трутовика – 0.2–0.7 %, для ложного трутовика на осине – 2.5–3.8 %. Следует отметить, что дерево в этот период тоже растет и общая площадь сечения ствола увеличивается параллельно с увеличением площади сечения гнили. Так как прирост древесины варьирует во времени (варьирует от года к году, закономерно меняется с возрастом) и прирост гнили также, вероятно, должен варьировать, то моделирование такого рода процессов представляет исследовательский интерес, но далеко от возможности практического применения.

В качестве характерного примера применения рассматриваемого метода диагностики аварийности деревьев на основе кернов, отобранных буровом Пресслера, рассмотрим результаты исследований в одном из подмосковных парков. Объектом исследования служил парк «Опалиха», расположенный в Красногорском районе Московской области. Целью работы являлась диагностика развития стволовых гнилей в старовозрастном парке г. Красногорска (микрорайон Опалиха) на материале выборки деревьев, которые, согласно плану застройки, будут расположены поблизости от объектов социальной инфраструктуры.

Для достижения поставленной цели были сформулированы следующие задачи:

1. На основе предоставленных материалов таксации произвести отбор кернов древесины с 1000 деревьев, расположенных в значимых для проекта будущей застройки местах.
2. В лаборатории провести анализ кернов на наличие гнили, выполнить расчеты процентного содержания гнили в стволе деревьев.
3. Проанализировать распределение гнилей в исследуемой выборке, дать рекомендации по удалению отдельных деревьев.

Работа выполнялась в увязке с планами технического задания, сформулированного согласно договору по экспертизе для научно-производственной

компании «Спецлесозащита». Осенью 2016 г. на территории объекта исследования производился отбор кернов древесины. Исходными материалами, использованными при работе, был дендрологический план, отражающий распределение в пространстве всех деревьев, чей диаметр на момент выполнения геодезической съемки превышал 10 см. Каждое дерево на плане было пронумеровано. К плану прилагалась перечетная ведомость, в которой были отражены вид дерева, диаметр на высоте 1.3 м, высота и состояние дерева. С использованием данных материалов нами выполнялась диагностика наличия гнили в стволе дерева. Для этого керны отбирались на высоте 1.3 м с помощью бурава Пресслера. С каждого учетного дерева отбиралось по одному керну по произвольно выбранному радиусу. Образовавшиеся в стволе отверстия заделывались садовым варом.

Специалисты городского зеленого хозяйства Московской области на практике признают аварийным дерево, которое содержит не менее 50 % стволовой гнили. Таким образом, для целей диагностики аварийности дерева и принятия решения о его судьбе не требуется определять параметры гнили с точностью до нескольких процентов. Та точность, которую дает один керн, отобранный с помощью бурава Пресслера, является более чем достаточной для принятия решения о дальнейшей судьбе дерева.

Некоторые деревья имели визуальные признаки аварийности. Так, на рис. 4 изображено дерево клена остролистного с выраженным наклоном ствола и плодовыми телами трутовика. На рис. 5 – дерево клена остролистного с наклоном ствола и обширным дуплом. Такие деревья назначались для диагностики в первую очередь.





Рис. 4. Дерево клена с наклоном ствола и плодовыми телами трутовиков  
Fig. 4. Maple tree with the slope of the trunk and fruit bodies of polypore





Рис. 5. Дерево клена с наклоном ствола и обширным дуплом  
Fig. 5. Maple tree with the slope of the trunk and a large hollow

Несмотря на то, что многие деревья имели в стволе развитую ядровую гниль, состояние их кроны (ассимиляционного аппарата) было очень хорошим, примером чему служит дерево, изображенное на рис. 6.





Рис. 6. Общий вид кроны у дерева клена, пораженного ядровой гнилью  
Fig. 6. General view of the crown of a maple tree affected by heart rot

В процессе полевых работ с помощью рулетки измерялась длина окружности каждого дерева. Далее отобранные керны упаковывались в бумажные пакеты, на которые наносился номер учетного дерева, обозначалась его порода, дата отбора керна и зафиксированная длина окружности. Керны поступали в лабораторию дендрохронологии Мытищинского филиала МГТУ им. Н. Э. Баумана, где проводилась их обработка. Для этого на основе длины окружности керна рассчитывали средний радиус ствола на высоте отбора керна. На отобранных кернах измерялась длина участков здоровой древесины, рассчитывался процент гнили.

По результатам обработки кернов была составлена обобщенная таблица, отражающая количество деревьев разных пород и количество аварийных деревьев (деревьев с высоким уровнем гнили) (табл. 2).

Таблица 2. Распределение деревьев по породам и степени аварийности

Порода	Количество учетных деревьев	Средний диаметр	Процентная доля в выборке	Количество деревьев с гнилью более 50 %
Тополь	5	38	0.5	0

Береза	59	42	5.9	5
Дуб	61	37	6.1	5
Ель	168	34	16.8	12
Ива	8	47	0.8	0
Клен	115	30	11.5	10
Липа	634	33	63.4	48
Осина	9	30	0.9	0
Сосна	13	45	1.3	1
Туя	5	30	0.5	0
Черемуха	1	32	0.1	0
Яблоня	2	10	0.2	1
Ясень	4	39	0.4	1

По результатам исследования 1000 деревьев было установлено, что 82 из них имеют гниль более 50 % от исследованного радиуса ствола. Если в дальнейшем в насаждении планируется проводить рубки, которые снизят его полноту, то выявленные деревья должны рассматриваться как потенциально аварийные. Изменение полноты насаждения приведет к увеличению динамической ветровой нагрузки на оставшуюся часть древостоя и формированию бурелома деревьев, пораженных гнилью в сильной степени.

Если проанализировать распределение аварийных деревьев по породам, то можно заключить следующее.

Во-первых, среди исследованных пяти тополей не было обнаружено ни одного аварийного. Этот факт идет вразрез с общепринятыми представлениями. Так, по опыту работ НПК «Спецлесозащита» до 90 % обращений граждан по вопросу экспертизы внезапно упавшего на машину аварийного дерева связано с родом Тополь. Причина несоответствия в том, что в урбанизированной среде тополь получает механические повреждения, через которые легче, чем другие породы, заражается гнилью, многие тополя испытывали в течение своей жизни обрезку ветвей, что могло послужить заражению гнилью. Тополя лесопарка не получали механических повреждений, не подвергались обрезки, поэтому оказались здоровыми.

Во-вторых, среди аварийных деревьев преобладает липа, на втором месте ель и клен, затем дуб и береза. Если посчитать процент аварийных деревьев для этих пород, то окажется следующее: липа – 8 %; клен – 9 %; ель – 7 %, дуб – 8 %, береза – 8 %. Таким образом, все рассматриваемые породы имеют практически идентичную долю аварийных деревьев, нельзя назвать породу, которая отличалась бы особой «аварийностью». Рассматривать другие породы не имеет смысла из-за незначительной их представленности в выборке, иначе получится, например, что для яблони характерна аварийность 50 %, что абсурдно.

Наиболее подробный материал для исследований закономерностей распространения гнилей дает липа мелколистная, в нашей выборке присутствует 634 дерева, что составляет 63.4 % объема выборки по количеству деревьев.

Прежде всего можно проверить версию о том, что уровень поражения гнилью связан с диаметром дерева. Для нее имеются два биологических обоснования: во-первых, больший диаметр характерен для более старых деревьев, у которых больше отмерших сучьев и выше риск заражения, во-вторых, для деревьев с более широкими годичными кольцами, в древесине которых гниль развивается легче. Нами был рассчитан коэффициент корреляции между средним радиусом ствола и процентом гнили в стволе дерева, его значение составило 0.26. Это говорит о том, что существует достоверная положительная связь между диаметром дерева и его пораженностью

гнилью, однако по тесноте эта связь очень слабая. Следовательно, на заражение дерева гнилью и развитие гнили в стволе влияют много факторов, среди которых, вероятно, значим индивидуальный полиморфизм по иммунитету к уровню развития гнили и поливариантность онтогенеза в зависимости от световой обстановки (разная интенсивность образования сухих ветвей у экземпляров одинакового возраста и диаметра).

Второй вопрос, который представляет несомненный интерес, – это распределение деревьев с разным уровнем развития гнили в выборке. Уровень развития гнили приблизительно менее 15 % лежит за пределами точности наших измерений из-за геометрических эффектов строения ствола. С практической точки зрения он не важен, т. к. деревья, имеющие гниль 15 %, в любом случае не подлежат удалению. В нашей выборке оказалось 291 условно здоровое дерево, т. е. 54 % выборки деревьев можно считать пораженными ядровой гнилью. Анализируя выборку, возможно оценить процент разных категорий деревьев согласно следующим критериям:

Категория 1. Если гниль занимает 80 %, необходимо удаление дерева.

Категория 2. Если гниль занимает от 40 до 79 %, дерево представляет угрозу падения.

Категория 3. В случае, когда гниль занимает от 5 до 39 %, угроза падения дерева в ближайшие годы невелика. Требуется следить за развитием гнили.

Если анализировать распределение деревьев с разным уровнем гнили в выборке, то можно понять, что 260 деревьев относятся к категории 3, т. е. не представляют угрозу падения. Вместе с условно здоровыми деревьями они составляют 86 % исследуемой выборки. Следовательно, подавляющая часть исследованных деревьев не требует удаления.

К категории 2 относится 76 деревьев, или 12 % выборки. Это деревья, статус которых не определен и зависит от режима ведения хозяйства (фактор снижения полноты насаждения, фактор наличия поблизости объектов социальной инфраструктуры).

Очень небольшое число деревьев (5 шт., или 0.7 %) требуют немедленного удаления даже в том случае, если застройка участка производиться не будет и территория будет функционировать в качестве рекреационного лесопарка.

Для более полного восприятия эти же данные могут быть представлены несколько в ином виде. Непрерывный ряд изменчивости гнили был разбит на дискретные интервалы: от 15 до 25, от 25.1 до 35, от 35.1 до 45, от 45.1 до 55, от 55.1 до 65, от 65.1 до 75, от 75.1 до 85, от 85.1 до 95. Для каждого из интервалов было определено число деревьев, полученное распределение отражает график на рис. 7.

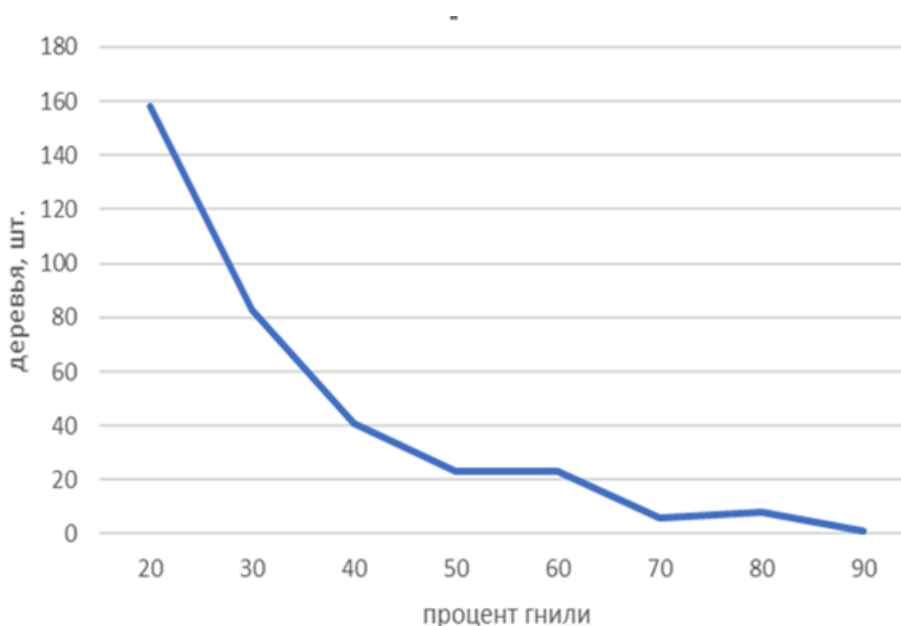


Рис. 7. Встречаемость деревьев с разным уровнем развития гнили  
Fig. 7. Occurrence of trees with different levels of rot development

Из графика на рис. 7 видно, что наблюдается четкая зависимость: чем выше уровень развития гнили, тем меньше деревьев присутствует в насаждении. Вероятно, это связано с тем, что с возрастанием развития гнили возрастает риск гибели дерева в результате бурелома.

Полученная зависимость носит экспоненциальный характер, она очень хорошо описывается уравнением вида  $y = 314.54e^{-0.63x}$ . Это уравнение показывает зависимость с высокой точностью: коэффициент детерминации, характеризующий точность аппроксимации исходной кривой, заданной функцией, равен 0.92, что значит, что функция описывает 92 % наблюдаемой изменчивости.

Таким образом, в результате выполненного исследования нами были установлены некоторые закономерности изменчивости уровня развития гнили в стволах деревьев на достаточно крупной выборке на примере липы мелколистной, а также даны практические рекомендации по уходу за насаждением (удаление аварийных деревьев), рекомендации по уходу за деревьями при двух режимах ведения хозяйства – застройке части территории парка и создании вписанного в ландшафт парка комплекса социальной инфраструктуры либо при функционировании парка как рекреационной зоны с минимальным вмешательством человека в области преобразования существующих насаждений.

## Обсуждение

Подведем краткий итог обзору теории устойчивости ствола дерева. Причиной падения деревьев чаще всего является динамическая нагрузка. Динамическую нагрузку на ствол дерева создают преимущественно порывы ветра. Сила воздействия ветра пропорциональна при прочих равных условиях парусной поверхности тел. Парусность кроны дерева обусловлена, с одной стороны, ее площадью, с другой стороны, ее плотностью. Существенным фактором устойчивости ствола является высота дерева, которая определяет длину плеча рычага, точкой опоры которого является район корневой шейки, т. е. место закоривания ствола дерева корневой системой для удержания его в вертикальном положении. Варьирование перечисленных факторов создает объективные трудности для выработки четких критериев определения аварийности дерева, например на основании процента развития гнили по площади поперечного сечения ствола дерева. В зависимости от вида дерева и условий роста древесина его ствола может обладать разными физико-

механическими свойствами. В зависимости от условий роста ствол может иметь разную высоту и архитектуру, что существенно для расчета величины момента силы динамической нагрузки. В зависимости от характера ландшафта, окружающего ствол дерева, ветровые потоки могут по-разному распределяться в пространстве. Таким образом, теоретические данные показывают, что, с одной стороны, наличие гнили в стволе влияет на его механическую прочность, с другой стороны, высокоточная оценка геометрических параметров развития гнили в стволе очень мало дает с точки зрения приращения точности выявления аварийного дерева, т. к. существуют иные весомые переменные этой функции, не поддающиеся столь же точной прямой оценке.

Перспективы развития исследований в рассматриваемом направлении, на наш взгляд, могут быть связаны с накоплением эмпирического материала, что может быть выполнено только сообществом специалистов и в региональном аспекте. Если каждый специалист, столкнувшийся с фактом падения дерева, будет фиксировать процент гнили в стволе в районе корневой шейки, вид дерева, длину ствола, вид возбудителя гнили (если возможно определить по плодovому телу), уровень окольцовывания ствола гнилью (если оно было и если это возможно определить), а также иные особенности, важные с его точки зрения, а затем публиковать эти данные, тогда будет накоплен первичный массив эмпирического материала в региональном аспекте. Только после осуществления этого этапа возможно приблизиться к формированию объективных методик оценки аварийности деревьев в урбанизированной среде российских городов. Важно подчеркнуть, что в основе диагностики аварийности деревьев в первую очередь лежат биологические закономерности, которые отличаются динамичностью изменения во времени и вариацией в зависимости от экологических условий. Поэтому в зависимости от целей работы (исследование, лесопатологическое обследование, судебная экспертиза) для диагностики выявления аварийных деревьев могут использоваться разные визуальные и инструментальные методы.

## **Заключение или выводы**

Подводя итог обзору, можно сформулировать следующие основные выводы.

В настоящее время отсутствует единое законодательство, которое определяло бы технологии мониторинга и ухода за деревьями в урбанизированной среде. Однако, в силу единства биологических закономерностей развития древесных растений, существующие документы являются до известной степени взаимодополняющими. Вопросы мониторинга древесных растений в урбанизированной среде детально проработаны в «Правилах создания, содержания и охраны зеленых насаждений и природных сообществ г. Москвы» (2002–2018). В соответствии с ними, гнилевые болезни относятся к числу наиболее опасных болезней древесных пород в городских насаждениях. Согласно приложению 4а указанных Правил, установить пораженность стволов деревьев гнилями «можно по образцам древесины, взятым с помощью приростного бурава».

В настоящее время нет четких критериев, связывающих аварийность дерева с процентом развития гнили в его стволе. Если каждый специалист, столкнувшийся с фактом падения дерева, будет фиксировать процент гнили в стволе в районе корневой шейки, вид дерева, высоту его ствола, вид возбудителя гнили (если возможно определить по плодovому дереву), уровень окольцовывания ствола гнилью, а также другие особенности, важные с его точки зрения, и в итоге публиковать эти данные, тогда будет накоплен первичный массив материала. Только после осуществления этого этапа возможно будет приблизиться к формированию более объективных методик оценки аварийности деревьев в урбанизированной среде.

Характерным примером, иллюстрирующим практические аспекты диагностики аварийности деревьев путем определения уровня развития гнили в стволе дерева, являются результаты одного из выполненного нами исследований. На территории подмосковного парка было обследовано 1000 деревьев. В результате было установлено, что 82 из них имеют гниль более 50 % от исследованного радиуса ствола.



Если в дальнейшем в рассматриваемом насаждении планируется проводить рубки, которые снизят его полноту, то выявленные деревья должны рассматриваться как потенциально аварийные. Изменение полноты насаждения приведет к увеличению динамической ветровой нагрузки на оставшуюся часть древостоя и формированию бурелома деревьев, пораженных гнилью в сильной степени.

## **Библиография**

Анциферов А. В. Судебные экспертизы по установлению причин падения деревьев // Теория и практика судебной экспертизы. 2020. Т. 15, № 2. С. 62–69.

Журавлев И. В. Защита зеленых насаждений от болезней . Л.: ВЗЛТИ, 1964. 88 с.

Купер Дж. Ф. Пионеры, или У истоков Саскуиханны . М.: Машиностроение, 1981. 415 с.

Матвеев-Мотин А. С., Алексеев И. А. Скрытые пороки древесины и методы их распознавания . М.: Гослесбумиздат, 1963. 208 с.

Правила создания, содержания и охраны зеленых насаждений города Москвы . М.: Департамент природопользования и охраны окружающей среды, 2002–2018. 138 с.

Правила санитарной безопасности в лесах . Утверждены постановлением Правительства Российской Федерации от 20 мая 2017 г. № 607. URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_217315/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_217315/)

Раздорский В. Ф. Архитектоника растений . М.: Советская наука, 1955. 431 с.

Румянцев Д. Е., Фролова В. А. Методологические подходы к изучению разнообразия экосистемных услуг зеленых насаждений в мегаполисе // Международный научно-исследовательский журнал. 2019. № 10–2 (88). С. 28–34.

Ткаченко М. Е. Общее лесоводство . М.; Л.: Гослесбумиздат, 1955. 599 с.

Филенкова Н. В., Суховольский В. Г., Захаров Ю. В., Овчинникова Н. Ф. Кластерная модель ветроустойчивости деревьев с учетом ближайших соседей // Хвойные бореальной зоны. 2011. Т. XXVIII. № 1–2. С. 91–96.

Царалунга В. В., Царалунга А. В., Короткая А. В. Проблема выявления и назначения в рубку аварийных деревьев на территории Гослесфонда // Лесотехнический журнал. 2020. № 3 (39). С. 86–94.

Rinn F. Arbotom. 3-D Tree Impulse tomograph. Version 1.67 for Microsoft Windows 98, 2000, XP. User Manual. Heidelberg: Rinntech, 2005. 43 p.

Rinn F. DECOM Scientific. Software for Evaluation of RESISTOGRAPH® — Micro-Drill Resistance Measurements. Version 2.16 for Microsoft Windows 98, 2000, XP. User Manual. Heidelberg: Rinntech, 2006. 45 p.

Wolf K. L., Lam S. T., McKeen J. K., Richardson G. R. A., van den Bosch M., Bardekjian A. Urban trees and human health: a scoping review // Environmental Research and Public Health. 2020. Vol. 17 (12). P. 4371–4401.



# THE PROBLEM OF DIAGNOSING THE ACCIDENT RATE OF TREES IN AN URBAN ENVIRONMENT

**RUMYANTSEV**  
**Denis Evgenyevich**

*PhD, Mytishchi branch of N.E. Bauman Moscow State Technical University (Moscow region, Mytishchi, 1st Institutskaya, 1, LT2), dendro15@list.ru*

**FROLOVA**  
**Vera Alekseevna**

*PhD, Mytishchi branch of N.E. Bauman Moscow State Technical University (Moscow region, Mytishchi, 1st Institutskaya, 1, LT6), frolova.vera@gmail.com*

**Keywords:**

emergency trees,  
sound rot,  
phytopathology,  
forest pathology

**Reviewer:**

E. Koltunov

**Received on:**

23 November  
2020

**Published on:**

24 June 2021

**Summary:** Identification of emergency trees is an urgent practical task, which is primarily important for the conditions of the urban environment. The methodological basis for solving this problem began to form quite a long time ago, but due to biological limitations, this issue cannot be solved unambiguously at the present time. The article considers the existing approaches to the identification of emergency trees and discusses the biological prerequisites for their use and possible limitations. It is shown that the accident rate of trees can be caused by a numbers of environmental and physiological factors, among which the greatest practical significance has the level of development of hidden stem rot. However, the crown windage and the nature of the wind load on the tree trunk in a landscape can cause different accidents of the trunk at the same level of dynamic wind load. The accident rate of a tree is poorly related to its pathological condition, for the full identification of emergency trees, only instrumental diagnostics is possible. Methods of instrumental diagnostics, as well as methods to reduce the accident rate of trees are discussed. As a typical example, the results of the identification of emergency trees in one of the parks of the Moscow region are presented according to the diagnostic data of the level of trunk rot development using the Pressler increment borer.