

# **Физические свойства**

# Внешний вид древесины

## *Цвет*

Цвет – определенное зрительное восприятие.

Колориметрия (от латинского "колор" – цвет) – наука о цветовых измерениях.

*Цветовой тон* определяется длиной волны  $\lambda$  чистого спектрального цвета.

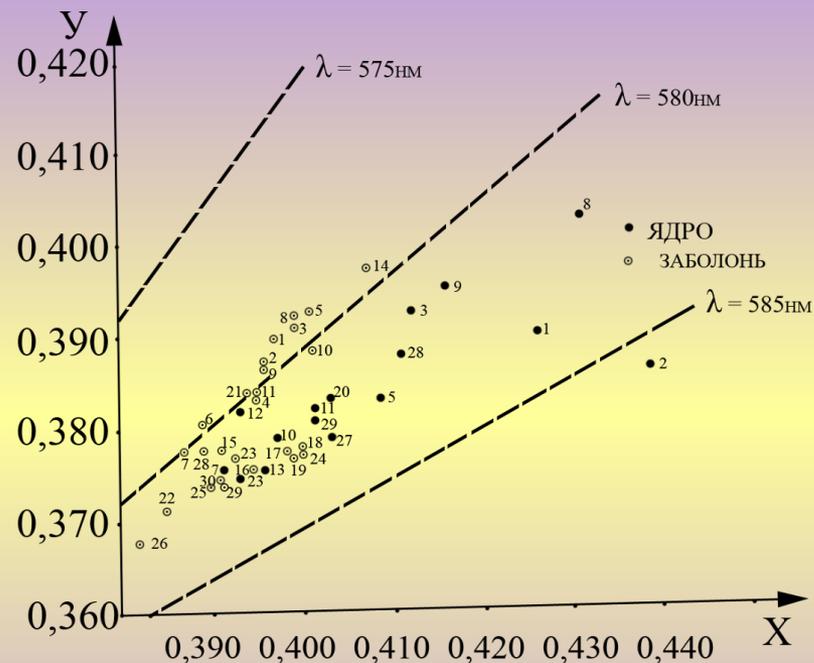
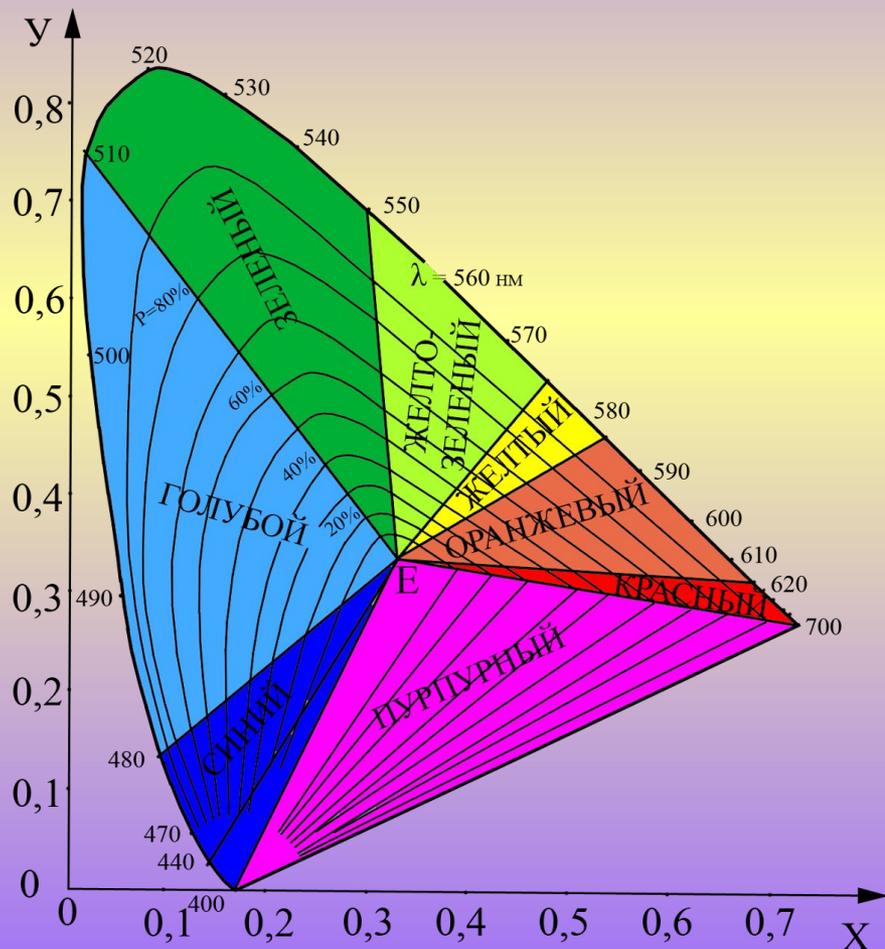
*Чистота цвета*  $P$  характеризует степень разбавления цвета белым и может изменяться от 100 % до нуля.

*Светлота* определяется коэффициентом отражения  $\rho$ .

Для белых поверхностей  $\rho$  близок к единице, для черных приближается к нулю.

Характеристики цвета древесины можно установить, используя фотоэлектрические колориметры или атлас цветов.

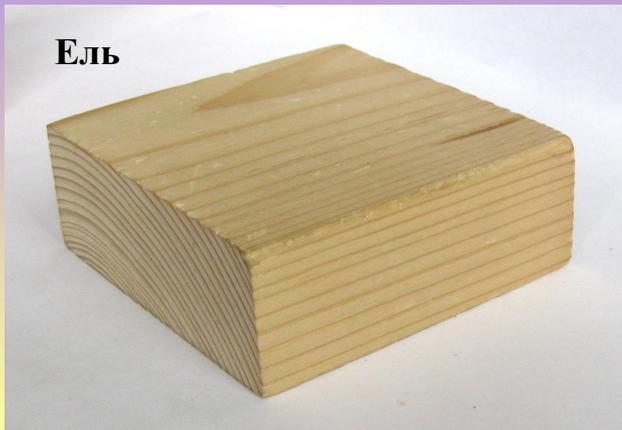
# ЦВЕТОВАЯ ДИАГРАММА (а) И ФРАГМЕНТ ЕЁ (б) С ДАННЫМИ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ПОРОД



- |                 |                      |                  |
|-----------------|----------------------|------------------|
| 1. Лиственница  | 11. Ильм             | 21. Явор         |
| 2. Тис          | 12. Вяз              | 22. Лещина       |
| 3. Сосна        | 13. Бархатное дерево | 23. Грецкий орех |
| 4. Ель          | 14. Самшит           | 24. Ольха        |
| 5. Кедр         | 15. Граб             | 25. Липа         |
| 6. Пихта        | 16. Груша            | 26. Осина        |
| 7. Фисташка     | 17. Клён             | 27. Ива          |
| 8. Белая акация | 18. Береза           | 28. Черёмуха     |
| 9. Дуб          | 19. Бук              | 29. Рябина       |
| 10. Ясень       | 20. Платан           | 30. Хурма        |

# Цвет древесины зависит от породы и условий произрастания.

**Ель**



**Амарант — *Peltogyne venosa* — amaranth, purpleheart**

Поперечный разрез



фото: Г. Горбачевой

**Самшит**



**Сапели — *Entandrophragma cylindricum* — sapele**

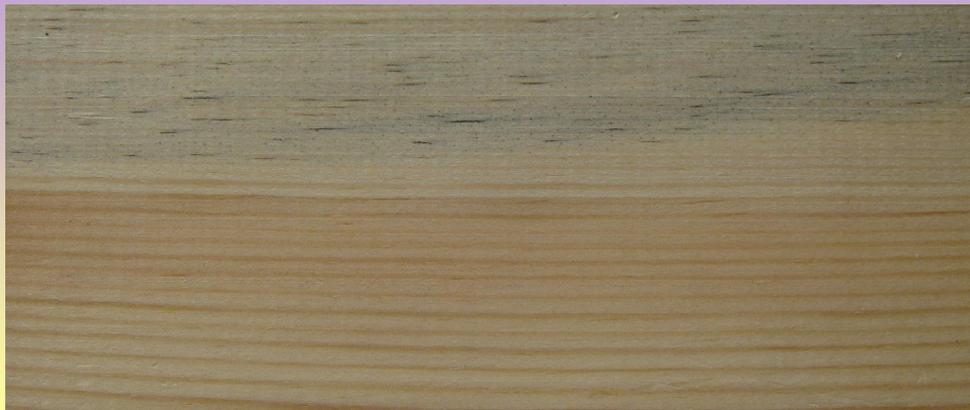
Радиальный разрез



фото: Г. Горбачевой

Древесина изменяет цвет при поражении ее грибами.

**Заболонные грибные окраски (синевая, розовая и коричневая окраска, сосна)**



**Грибные ядровые пятна и полосы**



В речной воде древесины дуба сильно темнеет в результате соединения дубильных веществ с солями железа.

Дуб мореный



Дуб



Цвет древесины изменяется после сплава, при пропаривании и высокотемпературной сушке.

## *Блеск*

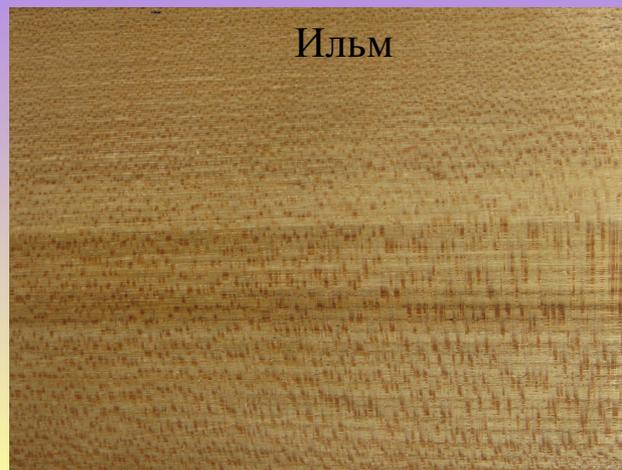
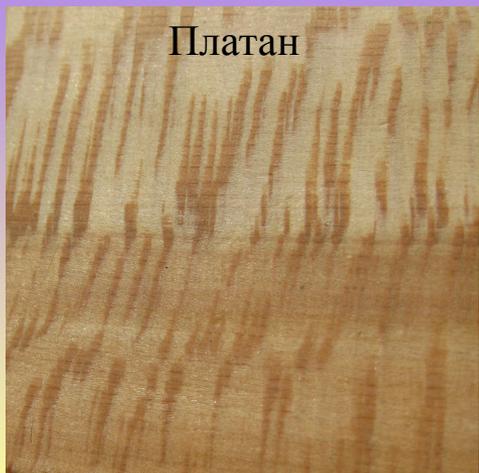
Блеск – способность направленно отражать световой поток.

Наибольший блеск наблюдается при освещении зеркальных поверхностей.



Степень блеска зависит от колориметрических характеристик древесины и ее белизны. Она определяется с помощью блескомера.

Блеск древесине придают сердцевинные лучи.



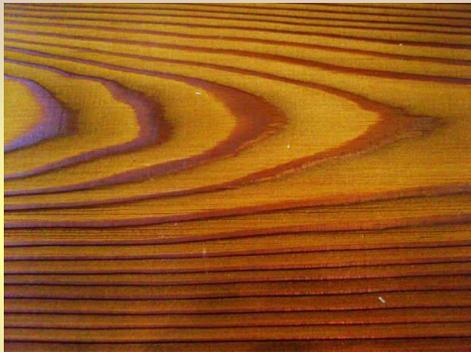
Блеск древесины зависит от состояния поверхности материала и характера освещенности.



# Текстура

Текстура – рисунок, образующийся на поверхности древесины в следствие перерезания анатомических элементов.

Лиственница



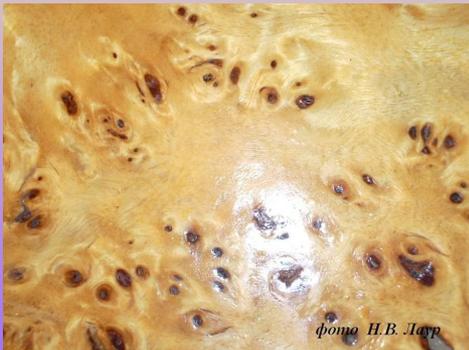
Бук



Дуб



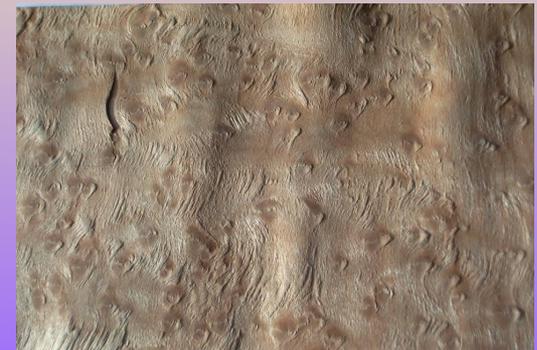
ТОПОЛЬ (каповая древесина)



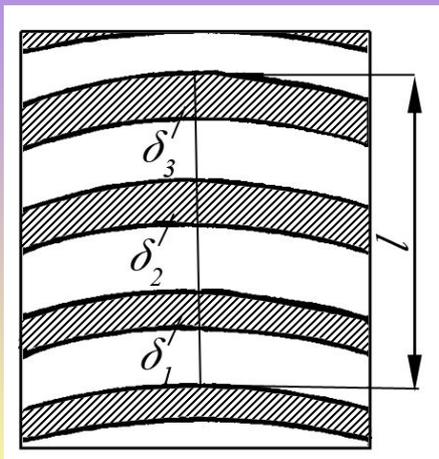
Карельская береза



Клён явор. Текстура «птичий глаз»



## Макроструктура



Ширина годовичных слоев ( $n$ ) – число годовичных слоев, приходящееся на 1 см отрезка, отмеренного по радиальному направлению на торцовой поверхности образца.

$$n = \frac{N}{l}$$

$N$  – число целых годовичных слоев на участке измерения;  
 $l$  – длина участка измерения, см.

Степень равностойности – оценивают по разнице в числе годовичных слоев на двух таких соседних участках длиной по 1 см.

Содержание поздней древесины определяется соотношением в процентах между суммарной шириной зон поздней древесины и общей протяженностью (в радиальном направлении) участка измерения, включающего целое число слоев.

$$m = \frac{100 \sum \delta}{l}$$

$\sum \delta$  – общая ширина поздних зон, мм;

$l$  – общее протяжение тех годовичных слоев, в которых измерялась ширина поздней зоны, мм.

Равноплотность древесины характеризуется равномерностью распределения механических тканей по ширине годовичного слоя.

# Влажность древесины; свойства, связанные с ее изменением

## *Вода в древесине*

$$\text{Влажность } W = \frac{\text{масса воды}}{\text{масса абсолютно сухой древесины}} \times 100\%$$

Методы определения влажности: прямые и косвенные.

К прямым относится весовой метод.



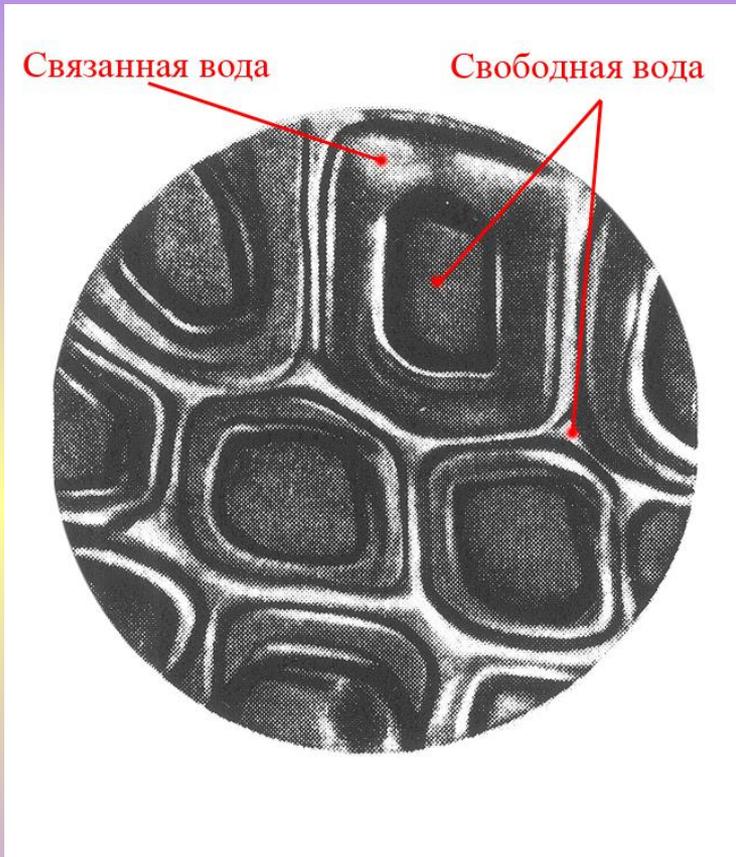
$$W = \frac{100(m - m_0)}{m_0}$$

$m$  – масса образца влажной древесины, г;

$m_0$  – масса образца абс. сух. древесины, г.



## Формы воды в древесине



Предел насыщения клеточных стенок  $W_{п.н.}$  – это максимальная влажность клеточных стенок, достигаемая при увлажнении древесины в воде.

$$W_{п.н.} = \left( \frac{1}{\rho_{\text{б}}} - \frac{1}{\rho_{\text{о}}} \right) \rho_{\text{в}} 100, \quad W_{п.н.} = 30\%$$

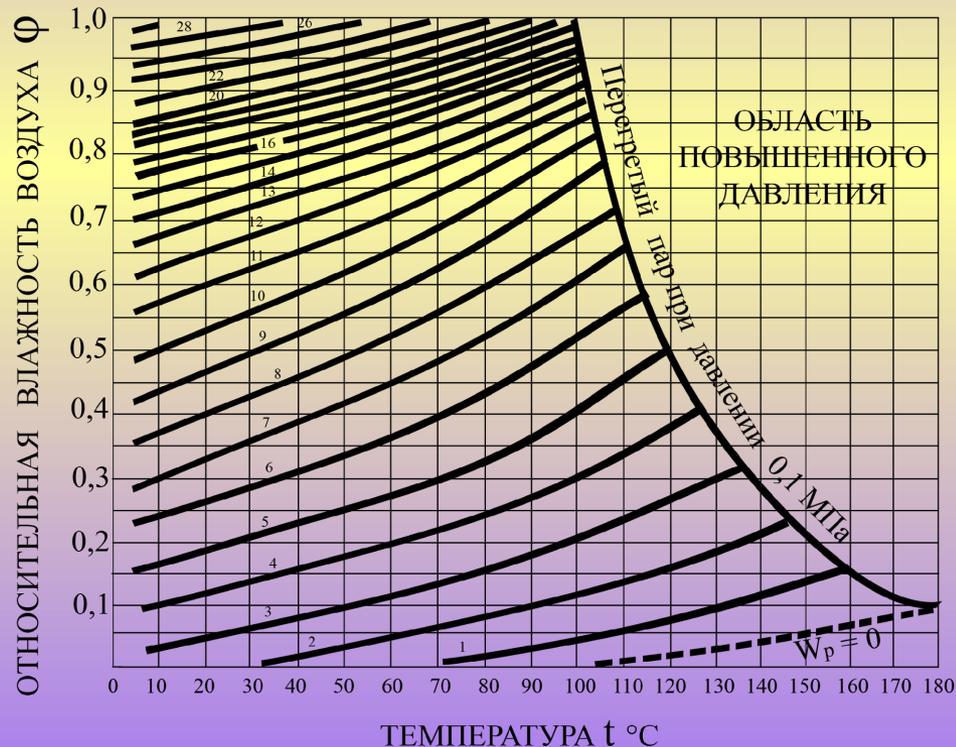
$\rho_{\text{б}}$  и  $\rho_{\text{о}}$  – соответственно базисная плотность древесины и плотность абс. сух. древесины, г/см<sup>3</sup>;  
 $\rho_{\text{в}}$  – плотность связанной воды, г/см<sup>3</sup>.

*Предел гигроскопичности* – это максимальная влажность клеточных стенок, достигаемая при сорбции паров воды из воздуха; характеризуется отсутствием воды в полостях клеток и равновесием влажности клеточных стенок с воздухом, приближающимся к насыщенному состоянию.

*Устойчивая влажность* – влажность древесины, достигаемая при длительной выдержке в воздухе определенного состояния.

*Равновесная влажность* – влажность измельченной древесины, практически одинаковая при сорбции и десорбции.

## ДИАГРАММА РАВНОВЕСНОЙ ВЛАЖНОСТИ



*Нормализованная влажность* – равновесная влажность древесины, соответствующая  $t = 20 \pm 2$  °С и  $\phi = 65 \pm 5$  % и в среднем равна 12 %.

### Степени влажностного состояния древесины

Состояние древесины	Условия достижения	Влажность, $W$ , %
Мокрая древесина	Длительное нахождение в воде	> 100
Свежая (свежесрубленная) древесина	Сохранение влажности растущего дерева	50–100
Древесина атмосферной сушки (воздушно-сухая)	Сушка или выдержка на открытом воздухе	15–20
Древесина камерной сушки (комнатно-сухая)	Сушка в камерах или выдержка в отапливаемом помещении	8–12
Абсолютно сухая древесина	Сушка при $t = 103 \pm 2$ °С	0

## Усушка древесины

Под усушкой понимают уменьшение линейных размеров и объема древесины при удалении из нее связанной воды.

Полная (максимальная усушка)  $\beta_{\max}$  происходит при удалении из древесины всего количества связанной воды. Ее величину, в процентах, вычисляют по формуле:

$$\beta_{\max} = \frac{a_{\max} - a_{\min}}{a_{\max}} \times 100$$

$a_{\max}$  – размер образца при влажности, равной или выше предела насыщения клеточных стенок, мм;

$a_{\min}$  – размер образца в абсолютно сухом состоянии, мм.

Частичная усушка древесины  $\beta_w$  происходит при высыхании ее до какой-либо заданной влажности и ее величину, в процентах, определяют по формуле:

$$\beta_w = \frac{a_{\max} - a_w}{a_{\max}} \times 100$$

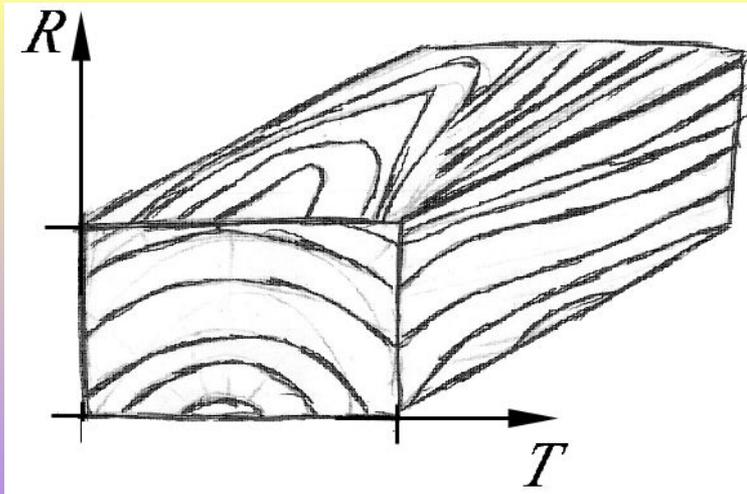
$a_w$  – размер образца при влажности  $W$ , мм.

Коэффициент усушки  $K_\beta$  в процентах на 1 % влажности древесины вычисляют по формулам:

$$K_\beta = \frac{\beta_{\max}}{W_{\text{пн}}}, \quad K_\beta = \frac{\beta_w}{W_{\text{пн}} - W}$$

$W_{\text{пн}}$  – предел насыщения клеточных стенок, равный 30 %.

$W$  – конечная влажность образца, %.



Полная усушка древесины наиболее распространенных отечественных лесных пород:

- в тангенциальном направлении составляет 8–10 %,
- в радиальном направлении 3–7 %,
- вдоль волокон 0,1–0,3 %.

Полная объемная усушка находится в пределах 11–17 %.

# Внутренние напряжения

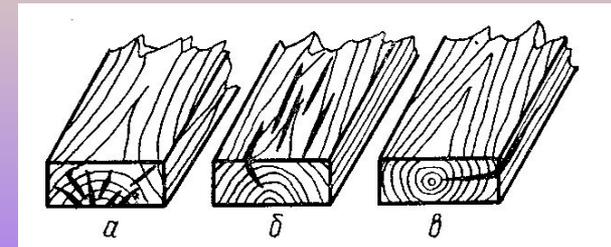
Причины внутренних напряжений – неравномерное распределение влаги по толщине материала в процессе сушки.

$$\overline{\sigma}_{полн} = \overline{\sigma}_{вл} + \overline{\sigma}_{ост}$$

$\overline{\sigma}_{вл}$  – влажностные напряжения вызваны неоднородной усушкой материала. Они исчезают при выравнивании влажности в доске.

$\overline{\sigma}_{ост}$  – остаточные напряжения обусловлены появлением в древесине неоднородных остаточных деформаций. Они остаются в высушенном материале.

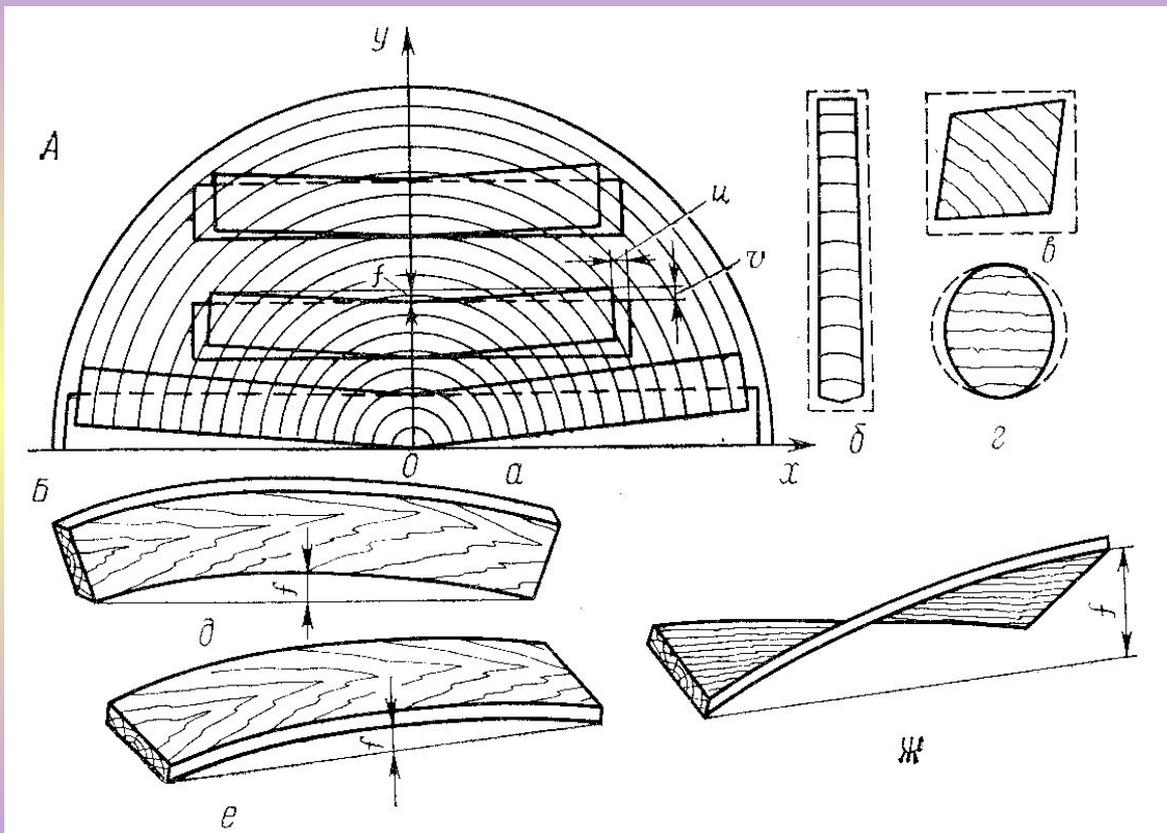
Если напряжение достигает предела прочности древесины на растяжение поперек волокон, появляются трещины.



*a* – торцовые; *б* – пластевые;  
*в* – кромочные

# Коробление древесины

Коробление древесины – изменение заданной формы пиломатериалов и заготовок при сушке, а также выпилке и хранении.



*A* – поперечная: *a* – желобчатая; *б* – трапецевидная; *в* – ромбовидная; *г* – овальная;  
*Б* – продольная: *д* – по кромке; *е* – по пласти; *ж* – крыловатость

## Разбухание древесины

Под разбуханием понимают увеличение линейных размеров и объема древесины при повышении содержания связанной воды.

Полное (максимальное разбухание)  $\alpha_{\max}$  в процентах, вычисляют по формуле:

$$\alpha_{\max} = \frac{a_{\max} - a_{\min}}{a_{\min}} \times 100$$

$a_{\max}$  – размер образца при влажности  $W \geq W_{\text{пн}}$ , мм;

$a_{\min}$  – размер образца в абсолютно сухом состоянии, мм.

Частичное разбухание древесины  $\alpha_w$ , в процентах, определяют по формуле:

$$\alpha_w = \frac{a_w - a_{\min}}{a_{\min}} \times 100$$

$a_w$  – размер образца при влажности  $W$ , мм.

Коэффициент разбухания  $K_\alpha$ , в процентах на 1 % влажности древесины, определяют по формулам:

$$K_\alpha = \frac{\alpha_{\max}}{W_{\text{пн}}}, \quad K_\alpha = \frac{\alpha_w}{\Delta W}$$

$W_{\text{пн}}$  – предел насыщения клеточных стенок, равный 30 %.

$\Delta W$  – диапазон изменения влажности при разбухании, %.

Полное разбухание древесины наиболее распространенных отечественных лесных пород:

- в тангенциальном направлении составляет 8–10 %,
- в радиальном направлении 3–7 %,
- вдоль волокон 0,1–0,3 %.

Полное объемное разбухание находится в пределах 11–17 %.



## Плотность древесины

Плотность материала характеризуется отношением его массы к объему и имеет размерность в системе СИ ( $\text{кг/м}^3$ ).

Плотность древесинного вещества представляет собой массу единицы объема материала, образующего клеточные стенки.

Плотность древесинного вещества  $\rho_{\text{д.в.}}$ ,  $\text{г/см}^3$ , в абсолютно сухом состоянии можно вычислить по формуле:

$$\rho_{\text{д.в.}} = \frac{m_{\text{д.в.}}}{V_{\text{д.в.}}} \quad \rho_{\text{д.в.}} = 1,53 \text{ г/см}^3$$

$m_{\text{д.в.}}$  – масса древесинного вещества, г;

$V_{\text{д.в.}}$  – объем древесинного вещества,  $\text{см}^3$

Плотность абсолютно сухой древесины:

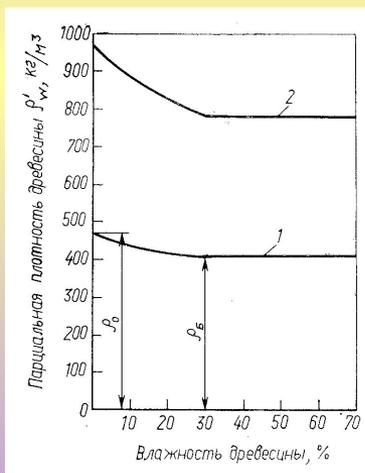
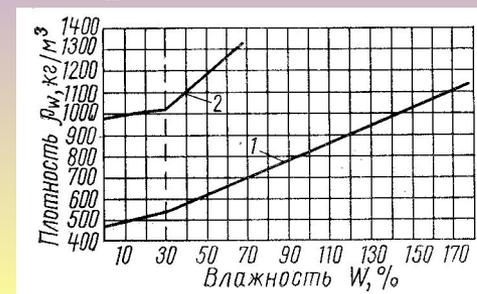
Плотность абсолютно сухой древесины:

$$\rho_0 = \frac{m_0}{V_0}$$

$m_0$  и  $V_0$  – соответственно масса и объем образца древесины при  $W = 0 \%$ .

Плотность влажной древесины  $\rho_w$  выражается отношением массы образца при данной влажности  $m_w$  к его объему при той же влажности  $V_w$ :

$$\rho_w = \frac{m_w}{V_w}$$



Парциальная плотность древесины  $\rho'_w$  определяется отношением массы абсолютно сухого образца  $m_0$  к его объему при данной влажности  $V_w$ :

$$\rho'_w = \frac{m_0}{V_w}$$

Базисная плотность древесины  $\rho_0$  рассчитывается как отношение массы абсолютно сухого образца  $m_0$  к его объему при влажности, равной или выше предела насыщения клеточных стенок  $V_{\max}$ :

$$\rho_0 = \frac{m_0}{V_{\max}}$$

Плотность при нормализованной влажности выражается отношением массы образца при влажности  $W = 12\%$  к его объему при той же влажности  $V_{12}$ :

$$\rho_{12} = \frac{m_{12}}{V_{12}}$$

По плотности древесины при 12 % влажности породы можно разделить на три группы:

а) породы с малой плотностью (плотность 540 и менее): из хвойных – сосна, ель (все виды), пихта (все виды), кедр (все виды), можжевельник обыкновенный; из лиственных – тополь (все виды), липа (все виды), ива (все виды), осина, ольха черная и белая, каштан посевной, орех белый, серый и маньчжурский; бархат амурский;

б) породы средней плотности (плотность 550–740): из хвойных – лиственница (все виды), тис; из лиственных – береза повислая, пушистая, желтая и черная; бук восточный и европейский, вяз, груша, дуб летний, восточный, болотный, монгольский; ильм, карагач, клен (все виды), лещина, орех грецкий, платан, рябина, хурма, яблоня, ясень обыкновенный и маньчжурский;

в) породы высокой плотности (плотность 750 и выше): акация белая и песчаная, береза железная, гледичия каспийская, глоговина, гикори белый, граб, дзельква, дуб каштанolistный и араксинский, железное дерево, земляничное дерево, кизил, маклюра, саксаул белый, самшит, фисташка, хмелеграб.

Среди иноземных пород очень малую плотность имеет бальза (плотность  $120 \text{ кг/м}^3$ ), очень высокую плотность – бакаут (плотность  $1300 \text{ кг/м}^3$ ).

Бальза



Бакаут

# Тепловые свойства

К тепловым свойствам древесины относятся *теплоемкость, теплопроводность, температуропроводность* и *тепловое линейное расширение*.

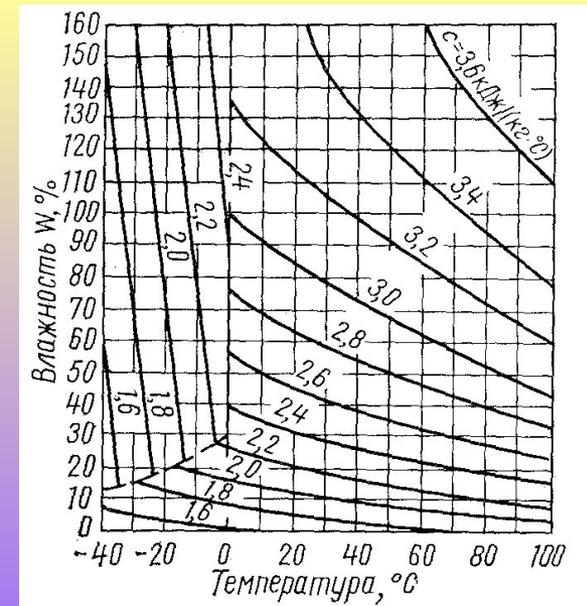
*Теплоемкость* – способность древесины аккумулировать тепло.

Показатель теплоемкости – удельная теплоемкость  $C$ , кДж/кг·град – количество теплоты, необходимое для нагревания 1кг массы материала на 1 К (или на 1°C).

Удельная теплоемкость древесины не зависит от породы.

$C=1,55$  кДж/кг·°С для абсолютно сухой древесины при 0 °С.

Влияние температуры и влажности на теплоемкость древесины отражает диаграмма П.С. Серговского.



Теплопроводность древесины характеризует ее способность проводить тепло.

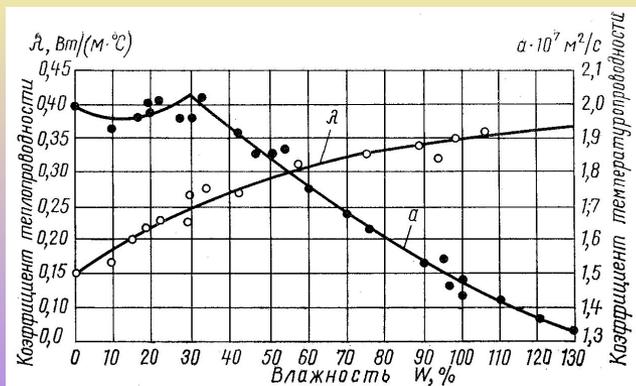
Показателем этого свойства является коэффициент теплопроводности  $\lambda$ , Вт/м·°С, который численно равен количеству теплоты, проходящему в единицу времени через стенку из данного материала площадью 1м<sup>2</sup> и толщиной 1м при разности температур на противоположных сторонах стенки в 1°С.

Коэффициент теплопроводности древесины  $\lambda$  зависит от ее температуры, влажности, породы, а также направления потока тепла относительно волокон.

$$\lambda =$$

$$\lambda_{\text{НОМ}} \cdot K_{\rho} \cdot K_{\chi}$$

$\lambda_{\text{НОМ}}$  – номинальное значение коэффициента теплопроводности по диаграмме;  
 $K_{\rho}$  – коэффициент, учитывающий влияние базисной плотности древесины;  
 $K_{\chi}$  – коэффициент, учитывающий влияние направление теплового потока.



Зависимость коэффициентов теплопроводности и температуропроводности древесины от влажности (по Г.С. Шубину и Э.Б. Щедриной). Сосна ( $\rho_0 = 360 \text{ кг/м}^3$ ), тепловой поток в радиальном направлении, температура  $t = 25 \text{ °C}$

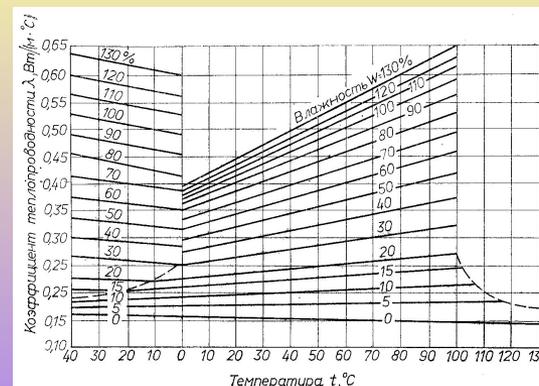


Диаграмма коэффициента теплопроводности древесины березы ( $\rho_0 = 500 \text{ кг/м}^3$ ), тепловой поток в радиальном направлении

*Температуропроводность* характеризует скорость изменения температуры древесины при нестационарном теплообмене (нагревании или охлаждении).

*Коэффициент температуропроводности*  $a$ , м<sup>2</sup>/с, определяет инерционность древесины, т.е. ее способность выравнивать температуру.

$$a = \frac{\lambda}{c\rho}$$

$\rho$  – плотность древесины, кг/м<sup>3</sup>.

Влияние влажности на температуропроводность древесины поперек волокон иллюстрирует график.

*Тепловое расширение древесины* происходит при ее нагревании.

Тепловое расширение поперек волокон в 10 – 15 раз больше, чем вдоль волокон, в тангенциальном направлении в 1,5 – 1,8 раза выше, чем в радиальном.

*Коэффициент теплового линейного расширения древесины*  $\alpha'$ , 1/°С – изменение единицы длины тела при нагревании его на 1°С.

Коэффициент линейного расширения вдоль волокон древесины составляет 1/3 – 1/10 коэффициентов теплового расширения металлов, бетона и стекла.

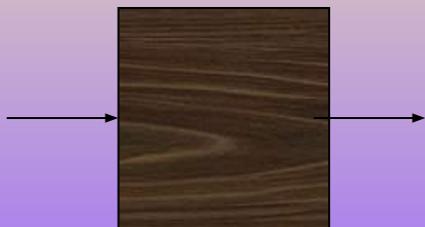
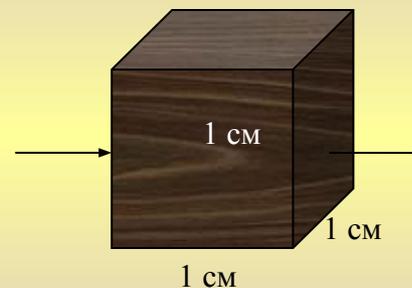
# Электрические свойства

К электрическим свойствам относятся электропроводность, электрическая прочность, диэлектрические и пьезоэлектрические свойства древесины.

*Электропроводность* – способность древесины проводить электрический ток, находится в обратной зависимости от электрического сопротивления.

Полное сопротивление образца, размещенного между двумя электродами, определяется как результирующее двух сопротивлений – объемного и поверхностного.

Объемное сопротивление характеризует препятствие прохождению тока сквозь толщу образца. Показатель – удельное объемное сопротивление (Ом·см); численно равен сопротивлению при прохождении тока через две противоположные грани кубика размером  $1 \times 1 \times 1$  см из древесины.



Поверхностное сопротивление характеризует сопротивление прохождению тока по поверхности образца. Показатель измеряется в Омах и численно равен сопротивлению квадрата любого размера на поверхности образца древесины при подведении тока к электродам, ограничивающим две противоположные стороны квадрата.

Электрическая прочность – способность древесины противостоять пробое, т.е. снижению сопротивления при больших напряжениях.

Электрическую прочность  $E_{np}$ , кВ/мм, вычисляют по формуле:

$$E_{np} = \frac{U_{np}}{h}$$

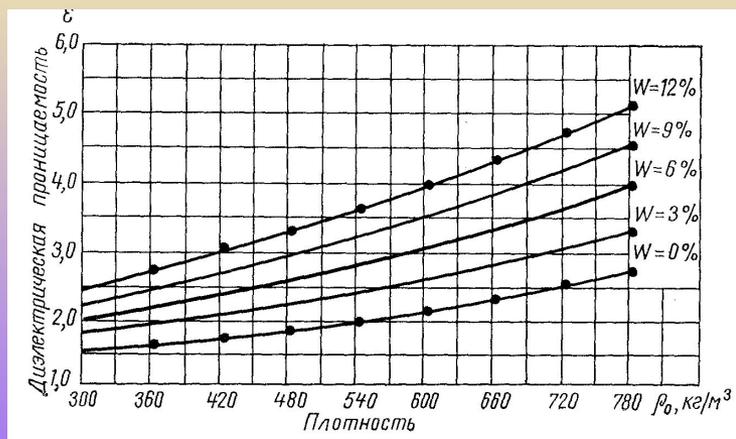
$U_{np}$  – эффективное пробивное напряжение, кВ;

$h$  – толщина образца в рабочей зоне, мм.

Диэлектрические свойства древесины проявляются в переменном электрическом поле.

Показатели диэлектрических свойств – диэлектрическая проницаемость  $\epsilon$  и тангенс угла диэлектрических потерь  $\text{tg } \delta$ .

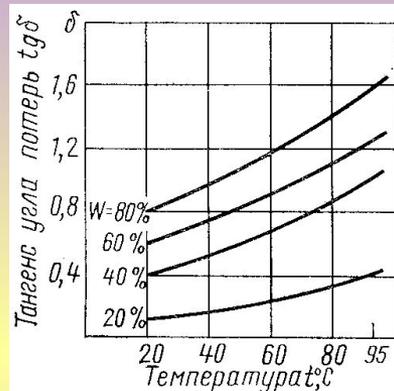
$$\epsilon = \frac{\text{емкость конденсатора с прокладкой из древесины}}{\text{емкость конденсатора с воздушным зазором между электродами}}$$



Зависимость диэлектрической проницаемости  $\epsilon$  древесины поперек волокон (частота  $f = 5$  МГц) от плотности при разной влажности  $W$  (по Р. Петерсону)

*Тангенс угла диэлектрических потерь* определяет долю подведенной мощности, которая вследствие дипольной поляризации древесины поглощается ею и превращается в тепло.

Показатель  $K = \varepsilon \cdot \operatorname{tg} \delta$ , называется *коэффициентом потерь*.



Зависимость тангенса угла диэлектрических потерь древесины ели поперек волокон от температуры и влажности при частоте  $f = 3$  МГц (по А.А. Горяеву)

### *Пьезоэлектрические свойства*

Явление, связанное с поляризацией диэлектрика (появлением электрических зарядов под действием механических напряжений), носит название прямого пьезоэлектрического эффекта.

Носитель пьезоэффекта в древесине – целлюлоза. Наибольший пьезоэлектрический эффект наблюдается при сжимающей и растягивающей нагрузках под углом  $45^\circ$  к волокнам.

Пьезоэлектрический эффект используется при разработке неразрушающих методов контроля качества древесины.

# Звуковые свойства

Скорость распространения звука  $C$ , м/с, определяется из соотношения:

$$C = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

$E$  – динамический модуль упругости, Н/м<sup>2</sup>;  $\rho$  – плотность древесины, кг/м<sup>3</sup>.

Скорость распространения звука, м/с, в древесине можно установить по резонансной частоте вынужденных продольных колебаний образца согласно уравнению

$$C = 2l f_0$$

– длина образца, м;

– резонансная частота, Гц.

Скорость распространения звука – можно также определить импульсным ультразвуковым методом.

$$C = \frac{l}{\tau}$$

$\tau$  – время, с, распространения упругой продольной волны по длине образца  $l$ , м.

