

УДК 630.812

UDC 630.812

**ЭФФЕКТИВНЫЙ СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ
ГИСТОЛОГИЧЕСКОГО СОСТАВА
ДРЕВЕСИНЫ****EFFECTIVE METHOD OF WOOD
HISTOLOGICAL STRUCTURE DEFINITION**

Неделина Надежда Юрьевна
аспирант
*Воронежская государственная лесотехническая
академия, Воронеж, Россия*

Nedelina Nadezhda Jurievna
postgraduate student
*Voronezh State Academy of Forestry and technologies,
Voronezh, Russia*

В статье дан обзор методов определения гистологического состава древесины разных типов. Обсуждаются особенности строения хвойных, лиственных рассеяннососудистых и кольцесосудистых пород

In the article, the review of method of histological structure definition of different wood types is given. The particularity of softwood, hardwood diffuse-porous and ring-porous structure is discussed

Ключевые слова: ГИСТОЛОГИЧЕСКИЙ СОСТАВ, ДРЕВЕСИНА, ИНТЕГРАЦИОННЫЙ ОКУЛЯР, МИКРОСРЕЗЫ, АНАТОМИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ, ТРАХЕИДА, ВОЛОКНО

Keywords: HISTOLOGICAL STRUCTURE, WOOD, INTEGRATION OCULAR, MICROSECTIONS, ANATOMIECAL ELEMENTS, TRACHEID, FIBER

Древесные породы делятся на три группы: хвойные, лиственные рассеяннососудистые и лиственные кольцесосудистые. Хвойные породы являются голосеменными растениями, менее развитыми в эволюционном отношении, чем представители покрытосеменных лиственных рассеяннососудистых и кольцесосудистых пород. Древесина хвойных пород отличается простым строением и радиальным расположением основных элементов. Древесина лиственных пород характеризуется большим набором высокоспециализированных элементов и их переходных форм. Сильное развитие отдельных элементов, особенно сосудов, смещают соседние клетки, вследствие чего древесина лиственных пород не имеет того правильного строения, которое характерно для древесины хвойных пород.

Для анализа гистологического состава древесины выбрали типичных представителей хвойных и лиственных пород – сосну обыкновенную, березу повислую и дуб черешчатый. Образцы древесины среднеслойные, по числу годичных слоев в 1см (сосна – 5,5; береза – 6,0; дуб – 8,0).

Древесина даже самого элементарного строения представляет собой сложный конгломерат тканей, различных по физиологическому значению и той роли, которую они играют в установлении механических, физических и технических свойств, характеризующих древесину. Во многих случаях бывает важно определить процентное содержание каждой ткани. Определение гистологического состава древесины всегда считалось наиболее трудоемким и ответственным анатомическим анализом в древесиноведении. Проблемы, возникающие при проведении анализа, связаны в ряде случаев со значительной шириной годичных слоев, с большим разнообразием тканей древесины. В этом случае необходимо использовать небольшие увеличения микроскопа, при которых в поле зрения помещался бы весь годичный слой древесины по его толщине на значительном протяжении по окружности ствола. С другой стороны, в пределах одной ткани, в частности механической, отдельные клетки представлены мелкими, иногда различными по структуре переходными элементами древесины. Для их идентификации и установления объемного содержания необходимо переходить на большие увеличения микроскопа, обладающие высоким разрешением структуры.

В историческом плане можно выделить три этапа развития методов определения гистологического состава древесины. Наиболее древним считается планиметрический метод, когда на микрофотографии годичного слоя древесины планиметром определяли площадь однородных клеточных структур. Это была очень трудоемкая работа и недостаточно точная, так как в ряде случаев приходилось измерять площадь отдельных клеток. Определение соотношения тканей у одного годичного слоя занимало до 12 часов рабочего времени [1].

Затем в анатомии использовали линейно-палеточный метод, апробированный А.А. Яценко-Хмелевским [6]. Данный метод заимствован из петрографии, где он применялся при анализе минералогического состава горных пород. В петрографии этот метод сводится к пересечению поверхности породы системой линий и последующему измерению отрезков линий, приходящихся на долю каждого минерала. При изучении древесины, состав которой значительно проще, чем состав большинства горных пород, применение линейного метода представляет меньше трудностей, чем в петрографии. Сущность работы по этому методу заключается в нанесении на объект на равном удалении друг от друга линий, у которых известна общая длина и на них измеряют в отдельности протяженность расположенных на них тканевых структур. Наиболее целесообразно передвигать постепенно линейку от ранней границы к поздней так, чтобы ею были пересечены все зоны годичного слоя. При этом расстояние между последовательными положениями линейки должно быть строго одинаково, а линейку всегда надо располагать параллельно границе годичного слоя. Чем ближе будет расстояние между линиями, тем больше времени отнимет измерение, тем выше точность. Метод более производителен, чем первый, но также сложен и трудоемок. На каждый анализ уходит 2–3 часа.

Производительность линейного метода повышается при использовании палетки, когда измерительные линии наносят на прозрачный целлулоидный лист (рис. 1). При использовании палетки не нужно изготавливать микрофотографии, что при массовых анализах существенно экономит время и средства.

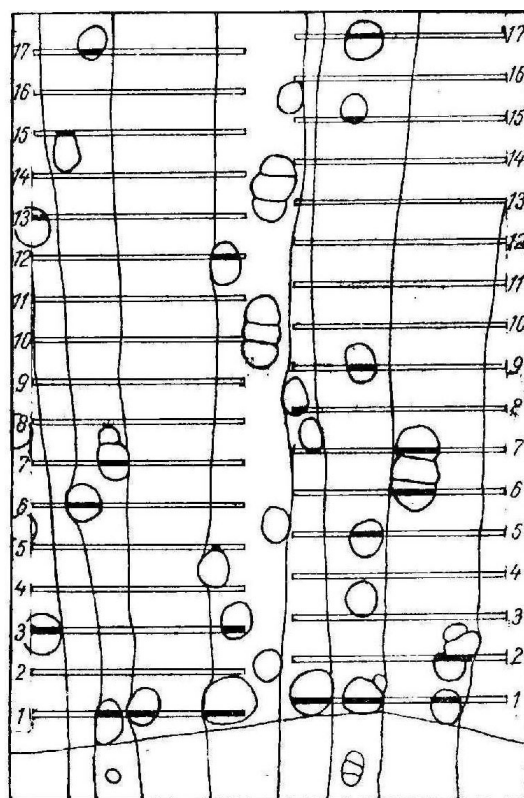


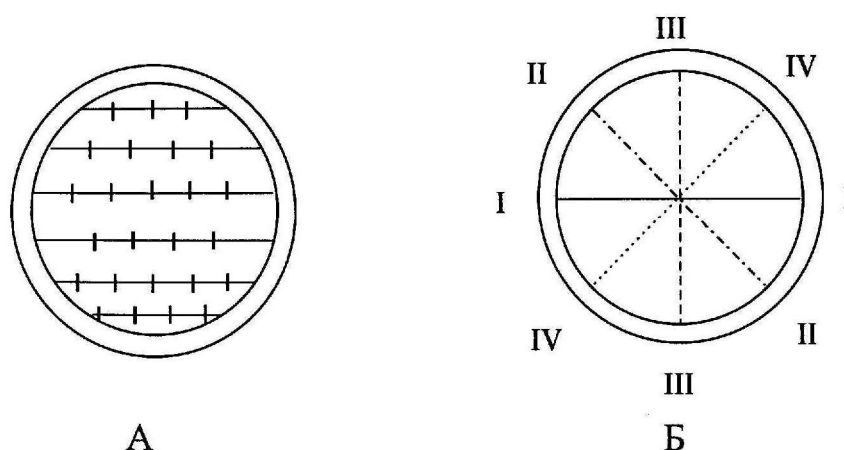
Рисунок 1. Последовательные положения измерительной микрометрической палетки при определении под микроскопом процентного содержания элементов древесины (линейно-палеточный метод А.А. Яценко-Хмелевского)

В абсолютном большинстве случаев показатели физических и механических свойств древесины определяются по стандартным методикам на образцах $20 \times 20 \times 30$ мм, содержащих у взрослых деревьев несколько десятков годичных слоев. При сравнении показателей плотности древесины с показателями ширины годичного слоя, процента поздней древесины, при изучении наследуемости этих признаков такой прием неправилен, так как нарушается правило методологии отбора единого элементарного объема образца древесины. В данном случае таким единым элементарным объемом древесины является годичный слой, представляющий собой законченное образование комплекса растительных тканей за один вегетационный период. Годичные слои древесины – образования метамерные, т.е. повторяются ежегодно. Следовательно, признаки макро- и микроструктуры, плотность древесины при

комплексном изучении совокупности признаков должна определяться по годичным слоям [2].

Немецкие исследователи Хёстер и Шпринг для определения гистологического состава растительных тканей предложили принципиально новый точечный метод анализа, использованный нами применительно к годичным слоям древесины. Оборудование для осуществления данного метода состоит из точечного интеграционного окуляра и электрического счетчика структурных элементов крови, выпускаемого фирмами медоборудования.

Точечный интеграционный окуляр (рис. 2) изготовляли сами, используя тонкое оргстекло, которое вырезали по диаметру окуляра микроскопа. На диск оргстекла наносили лезвием на равном расстоянии 6 параллельных линий, на которых в шахматном порядке располагали 25 точек-засечек в следующей последовательности: 3, 4, 5, 4, 5, 4. В одном поле зрения производится подсчет 100 точек, с распределением их по учитываемым элементам древесины, при четырех положениях линий окуляра (горизонтальное, $+45^{\circ}$, вертикальное, $+45^{\circ}$), что достигается поворотом окуляра вокруг продольной оси.



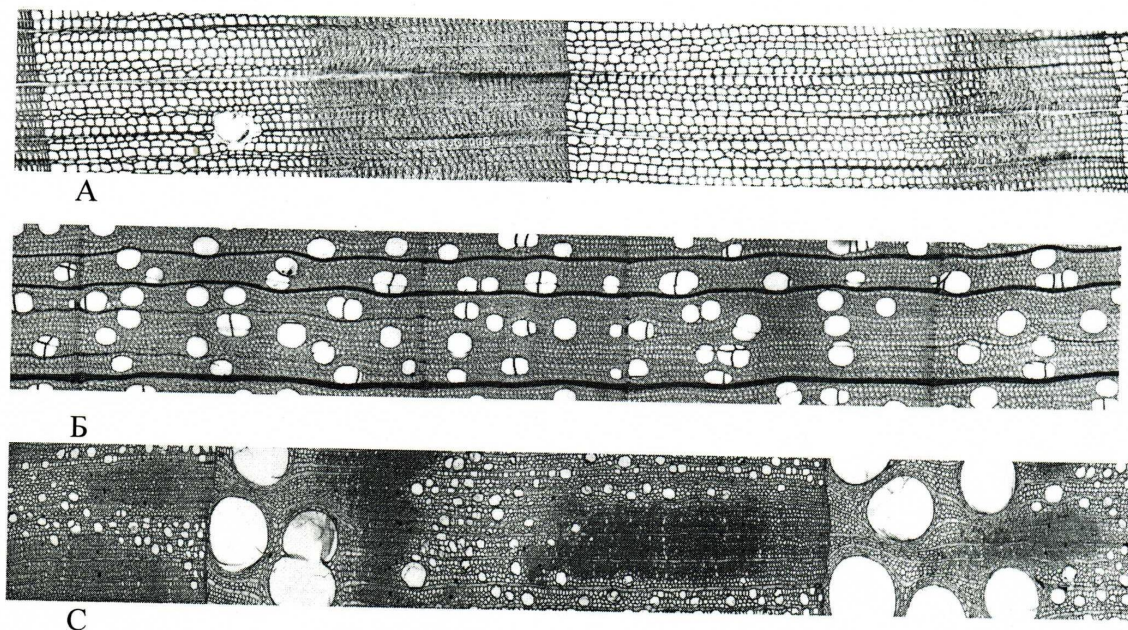
А – точечный интеграционный окуляр в I-м положении; Б – четыре положения линий окуляра при подсчете точек в одном поле зрения

Рисунок 2. Порядок работы с точечным интеграционным окуляром

Результаты подсчета точек фиксируются на счетчике структурных элементов крови, переименованных применительно к элементам древесины. Фиксация точек на клавишах счетчика производится без отрыва глаз наблюдателя от микроскопа.

Всего вдоль годичного слоя проводили подсчет элементов древесины в 10 полях зрения, что обеспечивало 1000 учетных точек на микроструктуру одного годичного слоя. Точность определения гистологического состава древесины по данному методу составляет около 1 %, а его производительность в 2–3 раза выше линейного.

Микросрезы (рис. 3) готовили на микротоме и использовали для приготовления временных (помещенных в глицерин) и постоянных (в канадский бальзам) микропрепаратов [5].



А – сосна обыкновенная; Б – береза повислая; С – дуб черешчатый

Рисунок 3. Образцы среднеслойной древесины (поперечный срез)

Древесина хвойных пород отличается простым, примитивным строением. Водопроводящие элементы представлены здесь замкнутыми прозенхимными клетками с окаймленными порами – трахеидами. Специализированные механические (опорные) ткани отсутствуют, их функцию совмещают поздние трахеиды, так как хвойные породы – вечнозеленые, участие древесной паренхимы ограничено. Гистологический состав древесины сосны обыкновенной приведен в таблице 1, а в таблице 2 показаны размеры анатомических элементов.

Таблица 1 – Процентное соотношение элементов древесины сосны

Ранние трахеиды	Поздние трахеиды	Вертикальный смоляной ход	Сопровождающая паренхима	Сердцевинные лучи
67,5	26,2	0,8	0,5	5,0

Таблица 2 – Размеры элементов древесины сосны, мкм

Элементы древесины	Ранние трахеиды	Поздние трахеиды	Вертикальный смоляной ход, диаметр	Сердцевинный луч	Древесная паренхима
Поперечник					
Танген-тальный	34,8±0,87	31,6±0,79	156±3,9	8,2±0,21	20,5±0,51
Радиальный	39,8±0,99	18,6±0,46	160±4,1		22,3±0,56

Древесина хвойных пород имеет относительно правильное строение и состоит из ограниченного числа анатомических элементов. Основную ее массу (93,7 %) составляют расположенные радиальными рядами вытянутые клетки с кососрезанными концами, называемые трахеидами. На радиальных стенках трахеид располагаются поры, через которые они сообщаются с соседними клетками. В пределах годичного слоя различают ранние и поздние трахеиды. Ранние трахеиды образуются ранней весной и в начале лета, имеют тонкие оболочки (2,4±0,06 мкм) с порами, широкие

полости и служат для проведения воды с растворенными минеральными веществами. У ранних трахеид размер в радиальном направлении ($39,8 \pm 0,99$ мкм) больше, чем в тангентальном ($34,8 \pm 0,87$ мкм). Концы ранних трахеид имеют закругленную форму. Поздние трахеиды образуются в конце лета, имеют узкие полости и толстые клеточные оболочки, поэтому выполняют механическую функцию, придавая древесине прочность. Размер по радиальному направлению ($18,6 \pm 0,46$ мкм) меньше, чем по тангентальному ($31,6 \pm 0,79$ мкм). Количество пор на стенках ранних трахеид примерно в 3 раза больше, чем на стенках поздних трахеид. Трахеиды являются мертвыми клетками. В стволе растущего дерева только вновь образующийся годичный слой содержит живые трахеиды.

Сердцевинные лучи у хвойных пород очень узкие ($8,2 \pm 0,21$ мкм), однорядные, слабозаметные или вовсе не заметные простым глазом. Они состоят, преимущественно, из паренхимных клеток. Смоляные ходы — особенность строения древесины хвойных пород. Они представляют собой клетки, вырабатывающие и хранящие смолу. Различают вертикальные и горизонтальные смоляные ходы, которые образуют единую смоляную систему. Вертикальный смоляной ход образован из выделительных (эпителиальных), выстилающих полость хода клеток сопровождающей паренхимы и мертвых обкладочных клеток. Горизонтальный смоляной ход расположен в сердцевинном луче и не имеет отдельно сопровождающей паренхимы.

В отличие от хвойных, лиственные древесные породы являются покрытосеменными, сосудистыми растениями, более развитыми в эволюционном отношении. Древесина лиственных характеризуется наличием более совершенных водопроводящих элементов-сосудов и высокоспециализированных механических элементов — древесных

волокон. По расположению сосудов в пределах годичного слоя различают рассеянососудистые и кольцесосудистые древесные породы. Рассеянососудистые отличаются равномерным расположением обычно мелких сосудов по всему годичному слою. У кольцесосудистых древесных пород очень крупные сосуды сосредоточены в ранней части годичного слоя, а в поздней части присутствуют мелкие сосуды. Древесина лиственных пород отличается более сложным строением, так как содержит большее количество анатомических элементов. В таблице 3 представлен гистологический состав древесины березы, а в таблице 4 – размер ее анатомических элементов.

Таблица 3 – Процентное соотношение элементов древесины березы

Сосуды	Сосудистые трахеиды	Волокнистые трахеиды	Волокна либриформа	Паренхима	Сердцевинные лучи
24,5	7,4	24,2	37,8	1,6	6,5

Таблица 4 – Размеры элементов древесины березы, мкм

Элементы древесины	Сосуды	Сосудистые трахеиды	Волокнистые трахеиды	Волокна либриформа	Сердцевинные лучи	Паренхима
Пореречник						
Тангентальный	70,5±1,76	13,3±0,33	21,1±0,53	21,2±0,53	1-рядные- 3,1±0,08	22,3±0,55
Радиальный	71,9±1,79	23,2±0,58	21,7±,054	29,3±0,51	2-рядные- 6,7±0,16 3-рядные- 11,1±0,27	6,7±0,16

Основной объём древесины березы повислой составляют сосуды и сосудистые трахеиды, волокнистые трахеиды волокна либриформа,

паренхимные клетки. Ранняя и поздняя древесина не отличаются. Сосуды – это система клеток, служащих в растущем дереве для проведения воды с растворенными в ней минеральными веществами из корней к листьям. У березы крупных сосудов нет, а мелкие (в среднем $71,2 \pm 1,78$ мкм) располагаются равномерно по всему годичному слою одиночно или собраны в небольшие радиальные группы по два – три. Сосуды занимают 24,5 % объема древесины. Они представляют собой длинные трубки от 2...10 см до нескольких метров. Сосуды состоят из отдельных члеников с лестничной перфорацией поперечной стенки.

Сосудистую трахеиду можно рассматривать как промежуточный элемент между типичной трахеидой и члеником сосуда. По форме и расположению пор напоминают членики мелких сосудов. Волокнистая трахеида, в свою очередь, представляет собой переходный элемент от трахеиды к волокну либриформа; она имеет форму довольно длинного волокна с заостренными концами, толстую оболочку и малую полость; поры на стенках мелкие, окаймленные, большей частью с отверстием щелевидной формы. Волокна либриформа представляют собой длинные клетки с заостренными концами, с толстыми оболочками и узкими полостями. Стенки волокон либриформа всегда одревесневшие, имеют узкие каналы – щелевидные поры. Волокна либриформа – наиболее прочные элементы древесины, выполняют механические функции.

Сердцевинные лучи у березы развиты сильнее, чем у хвойных. По ширине сердцевинные лучи у березы узкие, 1...3-рядные, многочисленные, на границе годичного слоя слегка расширяются. Древесная паренхима у березы немногочисленна (1,6 %). Она сосредоточена в конце годичного слоя (терминальная древесная паренхима) и представлена 1–2 рядами сильно сплюснутых толстостенных клеток.

Дуб имеет пористую структуру с ярко выраженными крупными сосудами. Эти сосуды являются наиболее развитыми водопроводящими

элементами и характеризуются также очень короткими члениками с простой перфорацией. Таким образом, кольцесосудистые (дуб) являются наиболее эволюционно развитыми древесными породами. Древесина дуба состоит из: сосудов, сосудистых трахеид, волокнистых трахеид, волокон либриформа, лучевой и тяжелой паренхимы. Гистологический состав древесины дуба приведен в таблице 5, а размеры его анатомических элементов в таблице 6.

Таблица 5 – Процентное соотношение элементов древесины дуба

Крупные сосуды	Мелкие сосуды	Широкий сердцевинный луч	Узкий сердцевинный луч	Сосудистые трахеиды	Волокнистые трахеиды	Волокна либриформа	Паренхима
7,6	10,9	8,5	1,2	24,0	8,0	35,5	4,3

Таблица 6 – Размеры элементов древесины дуба, мкм

Элементы древесины	Крупные сосуды	Мелкие сосуды	Сосудистые трахеиды	Волокнистые трахеиды	Волокна либриформа	Серцевинные лучи
Поперечник						
Тангентальный	251,3±6,2 8	41,0±1,0 2	16,6±0,41	16,8±0,42	13,6±0,34	1-рядные – 11,5±0,28
Радиальный	293,0±7,3 2	44,4±1,1 1	24,4±0,61	15,5±0,38	13,6±0,34	Многорядные -177,8±4,44

Механическую функцию выполняют волокна либриформа и волокнистые трахеиды. Водопроводящие ткани состоят из сосудов и

сосудистых трахеид. Паренхимные клетки образуют сердцевинные лучи и древесную паренхиму.

У дуба крупные сосуды ($293,0 \pm 7,32$ мкм) расположены в ранней древесине в один, два, три ряда кольцом вдоль границы годичного слоя. Мелкие сосуды поздней зоны собраны в радиальные группы (язычки пламени) и вместе с древесной паренхимой принимают форму треугольников, обращенных вершиной к внутренней части годичного слоя. Перфорации сосудов простые, округлые или овальные, многие сосуды закупорены тилами.

Волокнистые и сосудистые трахеиды лиственных пород, в отличие от трахеид хвойных пород, имеют меньшую длину. От волокон либриформа волокнистые трахеиды отличаются несколько меньшей толщиной стенок ($2,6 \pm 0,06$ мкм), но главным образом наличием ясно окаймленных пор, в то время как у волокон либриформа поры простые. Волокна либриформа представляют собой мертвые прозенхимные клетки с заостренными концами. Они имеют 5...6-угольную форму, толстую стенку ($4,5 \pm 0,11$ мкм) и очень малую внутреннюю полость, располагаются между сосудами. Среди волокон либриформа встречаются более светлые, вторичная оболочка которых содержит мало лигнина, это желатинозные волокна. Наличие большего или меньшего числа волокон либриформа в древесине определяет ее твердость и плотность.

По ширине сердцевинные лучи имеют от одного ($11,5 \pm 0,28$ мкм) до нескольких десятков рядов клеток ($177,8 \pm 4,44$ мкм). Узкие сердцевинные лучи плавно изгибаются около крупных сосудов, широкие лучи на границе годичного слоя слегка расширяются. Клетки древесной паренхимы многоугольной формы с тонкими стенками, располагаются в поздней

древесине диффузно или собраны в тангенциальные однорядные полоски (метатрахеальная паренхима).

В заключение необходимо отметить, что метод, используемый нами при определении гистологического состава, позволяет в короткий срок при минимальной погрешности определить точное процентное соотношение анатомических элементов в древесине, содержание плотной массы древесины и полостей клеток и количественное соотношение между ранней поздней древесиной, на которое оказывает влияние климатические условия и видовые особенности растения. Это дает возможность более ясно представить себе структуру древесины, выявить ее влияние на физические и механические свойства и наметить пути создания эффективных технологических процессов переработки древесины.

Список литературы

1. Вихров В.Е. Строение и физико-механические свойства древесины дуба. М.: АН СССР, 1954. – 262 с.
2. Косиченко Н.Е. Влияние генотипа – среды на формирование микроструктуры стебля и диагностика технических свойств, роста и устойчивости древесных растений: Дисс. ... док. биол. наук. Воронеж, 1999. 298 с.
3. Косиченко Н.Е. Формирование структуры и плотности древесины в онтогенезе // Строение, свойства и качество древесины 2000: Матер. 3 Межд. симп. 11–14 сентября 2000 г. – Петрозаводск: Ин-т леса кафедра НЦ РАН, 2000. С. 58–61.
4. Уголев Б.Н. Древесиноведение с основами лесного товароведения. М.: ГОУ ВПО МГУЛ, 2007. 351 с.
5. Фурст Г.Г. Методы анатомо-гистохимического исследования растительных тканей. М.: Наука, 1979. 155 с.
6. Яценко-Хмелевский А.А. Основы и методы анатомического исследования древесины. М.: Изд-во академии наук СССР, 1954. 337 с.