

Министерство образования и науки Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Оренбургский государственный университет»

Кафедра пищевой биотехнологии

А.В. Быков, Л.В. Межуева, Л.А. Быкова

# **МИКРОСКОПИЧЕСКИЕ И ОПТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КАЧЕСТВА ДРЕВЕСИНЫ**

Рекомендовано к изданию Редакционно-издательским советом федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Оренбургский государственный университет» в качестве методических указаний для студентов, обучающихся по программе высшего профессионального образования по направлению подготовки 240100.62 Химическая технология

Оренбург  
2012

УДК 676.03/.04, 676.014

ББК 35.76-1

Б 95

Рецензент – профессор, доктор технических наук А.П. Иванова

**Быков, А.В.**

Б95 Микроскопические и оптические методы определения качества древесины : методические указания к лабораторным работам / А.В. Быков, Л.В. Межуева, Л.А. Быкова; Оренбургский гос. ун-т. – Оренбург : ОГУ, 2012 . – 34 с.

В методических указаниях представлены теоретические сведения о структуре различных пород древесины, изложены методы микроскопического и оптического определения показателей качества, используемых в химической технологии древесины.

Методические указания предназначены для студентов, обучающихся по программе высшего профессионального образования 240100.62 Химическая технология изучающих дисциплину химическая технология переработки древесины.

УДК 676.03/.04, 676.014

ББК 35.76-1

© Быков А.В.,  
Межуева Л.В.  
Быкова Л.А., 2012  
© ОГУ, 2012

## Содержание

Введение.....	4
1 Лабораторная работа № 1 «Микроскопические и оптические методы определения качества древесины».....	6
1.1 Цель работы.....	6
1.2 Общие положения.....	6
1.3 Микроскопическое исследование древесины и целлюлозных волокон..	7
1.4 Методика мацерации древесной ткани.....	15
1.5 Методика исследования срезов древесины хвойных пород.....	16
1.6 Методика исследования срезов древесины лиственных пород.....	21
1.7 Микроскопическое и гистохимическое исследование целлюлозных волокон.....	26
1.8 Идентификация целлюлозных волокон из различных растительных тканей.....	27
1.9 Идентификация целлюлозных волокон, полученных разными методами варки .....	28
1.10 Идентификация небеленых целлюлоз из древесины хвойных и лиственных пород.....	29
1.11 Методика определения равномерности провара технических целлюлоз.....	31
1.12 Методика определения равномерности отбеливания целлюлозы.....	32
1.13 Задание к лабораторной работе.....	33
1.14 Контрольные вопросы .....	33
Список использованных источников .....	34

## Введения

Древесина представляет собой уникальный постоянно возобновляемый источник химического сырья, значение которого в комплексной химической переработке непрерывно возрастает. Наиболее важной отраслью химической и химико-механической переработки древесины является производство технической целлюлозы и других волокнистых полуфабрикатов. Волокнистые полуфабрикаты целлюлозно-бумажного производства применяют для выработки бумаги и картона, а целлюлозу для химической переработки используют в производстве искусственных волокон, пленок и др. В России большое развитие получили также гидролизные производства как составная часть микробиологической промышленности. Не потеряла до настоящего времени своего значения старейшая отрасль химической переработки древесины—лесохимические производства. Быстрыми темпами развивается химико-механическая переработка древесины — производство древесностружечных, древесноволокнистых плит и древесных пластиков. Перспективное направление составляет модификация древесины. Химия древесины — наука, изучающая структуру, состав и свойства древесной ткани, строение и взаимодействие компонентов, входящих в древесный комплекс, и превращения, происходящие с этими веществами при химической и химико-механической переработке древесного сырья. Неотъемлемой частью химии древесины является анализ, в широком смысле включающий определение химического состава, а также выделение ее отдельных компонентов, их очистку и характеристику.

При переработке технической целлюлозы на бумагу и картон, а также в химической переработке к целлюлозе предъявляются определенные требования, в связи с чем проводятся специальные анализы технической целлюлозы и других волокнистых полуфабрикатов. Важную роль при химической переработке целлюлозы играет ее реакционная способность.

Поведение древесины в процессах химической и химико-механической переработки (при варке и отбелке целлюлозы, гидролизе древесины, изготовлении древесно-плитных материалов и др.) определяется не только химическим составом древесины и свойствами ее отдельных компонентов, но и анатомическим строением древесины. В результате этого возникает необходимость микроскопического исследования древесины и целлюлозных волокон.

# **1 Лабораторная работа № 1 «Микроскопические и оптические методы определения качества древесины»**

## **1.1 Цель работы**

1.1.1 Изучить методы микроскопического исследования древесины разных пород.

1.1.2 Провести подготовку пробы древесины разных пород.

1.1.3 Определить структуру древесины разных пород.

1.1.4 Определить качество отбеленной древесины.

## **1.2 Общие положения**

Производство волокнистых полуфабрикатов в целлюлозно-бумажной промышленности и разработка новых технологий комплексной химической переработки всей биомассы дерева невозможны без глубокого изучения микроскопического (анатомического) и субмикроскопического строения древесины и целлюлозных волокон. Под древесиной понимают главную часть ствола дерева, освобожденную от коры (луба и корки). С биологической точки зрения древесина (ксилема)—продукт деятельности камбия (вторичной меристемы), состоящего из определенных клеточных элементов. Клетки одинакового строения, выполняющие одну и ту же функцию, образуют ткани. Различают три основных типа тканей: проводящие, механические и запасающие. Большинство клеток древесины направлено вдоль оси ствола и только клетки сердцевинных лучей расположены в радиальном направлении.

Сложное анатомическое строение древесины существенно различается как у разных древесных пород, так и в пределах одного дерева. Строение ствола дерева и древесины довольно подробно описано в ряде монографий и руководств [4]. В данном методическом указании приведены описания препаратов древесины некоторых хвойных и лиственных пород, используемых

в отечественной целлюлозно-бумажной промышленности, а также основные гистохимические реакции целлюлозных волокон, полученных из древесины различными методами варки и отбели.

### **1.3 Микроскопическое исследование древесины и целлюлозных волокон**

#### **1.3.1 Основные методы анатомического анализа древесных тканей и целлюлозных волокон**

Основными методами анатомического анализа древесины и целлюлозных волокон являются: микроскопический, гистохимический и метод мацерации тканей. Все исследования проводятся с помощью микроскопа при увеличении 70 X или 120 X и в отдельных случаях, особенно при определении вида волокон по морфологическим признакам, при увеличении 200X или 500X.

Микроскопический метод (метод оптической микроскопии) заключается в изготовлении очень тонких, прозрачных срезов и их исследовании в проходящем свете с помощью оптического микроскопа. Этот метод позволяет изучить строение древесины и определить породный состав по диагностическим признакам. Гистохимический (микрхимический) метод основан на способности древесного волокна давать определенную окраску при взаимодействии специфических химических реагентов с каким-либо компонентом клеточной стенки. Подбирая соответствующие реагенты, можно различать по окраске волокнистые полуфабрикаты, изготовленные различными методами варки и отбели, например сульфатную целлюлозу от сульфитной, беленую от небеленой.

Для выявления различий в породном составе древесины возможности гистохимического метода ограничены. С его помощью можно только отличать древесину хвойных пород от древесины лиственных, для чего чаще всего

используют реакцию Мейле, которую проводят не на волокне, а на древесной щепе.

Древесную щепу помещают в стакан, заливают свежеприготовленным 1 %-ным раствором  $KMnO_4$  в таком объеме, чтобы покрыть щепу, выдерживают в течение 2 мин и сливают. Добавляют достаточный объем 12 %-ного раствора  $HCl$ , выдерживают в течение 1 мин и сливают. Затем щепу покрывают избыточным количеством 1%-ного раствора  $NH_4OH$ . Древесина лиственных пород окрашивается в красный цвет с разными оттенками, древесина хвойных пород желтеет.

Метод мацерации тканей заключается в разделении древесной ткани на составляющие ее анатомические элементы (клетки) и последующем определении их размеров: длины, толщины (ширины, диаметра) и толщины клеточной стенки.

В научно-исследовательских лабораториях для изучения субмикроскопической структуры стенки древесного волокна, ее изменений при различных технологических процессах получения и переработки целлюлозы широко используют различные физические методы: микроскопию в поляризованном свете, которую применяют, например, для исследования волокон с высокой степенью молекулярной ориентации, обладающих двойным лучепреломлением; микроскопию в ультрафиолетовом свете, позволяющую изучать распределение лигнина в клеточной стенке; электронную микроскопию. Последний метод наиболее эффективен в сочетании с другими методами исследования структуры, особенно с рентгенографией и электронографией.

По способу исследования объектов электронные микроскопы можно разделить на следующие типы:

- просвечивающие, в которых исследуемый объект просвечивается пучком электронов, создающим затем на экране или фотопластинке соответствующее изображение;



- растровые (сканирующие), в которых изображение создается электронами, отраженными исследуемой поверхностью, причем пучок электронов сканирует поверхность подобно лучу в телевизионном кинескопе;
- отражательные, в которых аналогично отражательному металломикроскопу изображение получается за счет потока электронов, отраженных от поверхности рассматриваемого объекта;
- эмиссионные, в которых изображение формируется электронами, испускаемыми поверхностью самого исследуемого объекта.

Для исследования древесины и целлюлозных волокон при помощи электронного микроскопа применяют прямые и косвенные методы. К прямым методам относятся метод подготовки объектов необходимой толщины диспергированием (механическим, ультразвуковым и гидролитическим) и метод ультратонких поперечных и продольных срезов, к косвенным — получение реплик с поверхности образцов древесины, целлюлозных волокон или их срезов.

В настоящее время наряду с усовершенствованием просвечивающих (трансмиссионных) электронных микроскопов находит все более широкое применение растровая (сканирующая) электронная микроскопия. Растровый микроскоп отличается большой универсальностью и благодаря высокой глубине фокуса дает возможность с достаточной резкостью наблюдать поверхности образцов в трех измерениях. Для исследования в растровом микроскопе объекты готовят с помощью замораживания, травления или непосредственно изучают объект без специальной подготовки.

### 1.3.2 Микроскопическое исследование срезов древесины

Для микроскопического изучения строения древесины пользуются тремя срезами в трех взаимно перпендикулярных плоскостях: поперечным и двумя продольными — радиальным (в плоскости радиуса, под прямым углом к

границам годичных слоев) и тангенциальным, параллельным касательной окружности дерева (рисунок 1.1).

Древесина как хвойных, так и лиственных пород на поперечном сечении состоит из концентрических годичных слоев (годичных колец). Эти слои можно различать благодаря образованию ранней (весенней) и поздней (осенней) древесины. Ранняя древесина менее плотная и более темная. Годичные слои хорошо различимы в древесине хвойных и кольце-сосудистых лиственных пород и мало заметны у рассеяно-сосудистых. Ширина годичного слоя составляет от 1 до 10 мм и зависит от породы деревьев и условий роста: чем лучше условия роста, тем шире годичный слой.

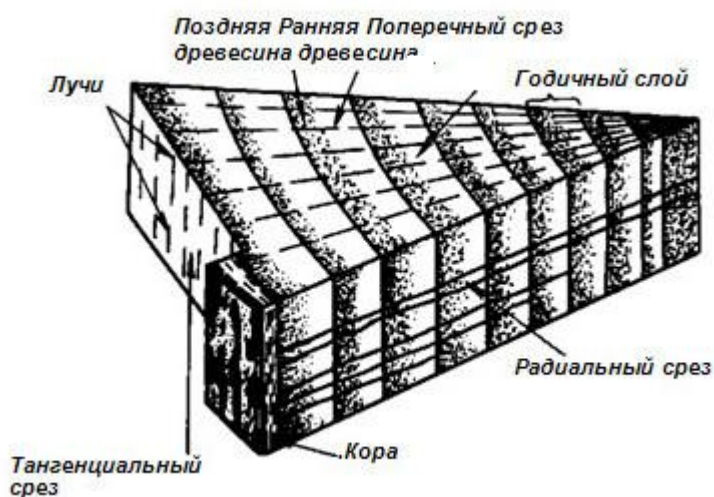


Рисунок 1.1 - Схема строения древесины с ориентацией срезов

На радиальном срезе также можно заметить годичные слои, а на тангенциальном они отсутствуют, так как разрез может пройти только в какой-то одной части годичного слоя — в ранней или поздней древесине.

Микроскопическое исследование срезов древесины позволяет изучать ее анатомические элементы (механические волокна, проводящие элементы, сердцевинные лучи и др.). Отдельные анатомические элементы и их диагностические признаки изучают также используя метод мацерации древесной ткани.

### 1.3.3 Подготовка препаратов и работа с микроскопом

Для приготовления препаратов к исследованию в микроскопе необходимы предметные и покровные стекла, препаровальные иглы, копыце, стеклянные капельницы, чашки Петри, кристаллизаторы, ситечки и фильтровальная бумага. Предметные стекла—стеклянные пластинки прямоугольной формы размером 75X25 мм, толщиной от 1 до 1.2 мм. Покровные стекла — тонкие стеклянные пластиночки размером 18X18, 20X20 мм. Предметные и покровные стекла должны быть чистыми, перед употреблением их протирают кусочком мягкой ткани, хранят в специальных коробочках.

**Подготовка срезов.** Изготовление срезов древесины проводят вручную остро отточенной бритвой или на специальных приборах — микротомах и ультрамикротомах. Первый метод, хотя и имеет большую давность, но не потерял своего значения до настоящего времени. Основные его преимущества перед работой на микротомах — это быстрота и простота в приготовлении среза.

Получение срезов древесины на микро- или ультрамикротоме требует сложных методов фиксации и резки материала. Подготовка срезов состоит в последовательном проведении следующих операций: обезвоживания; пропитки; полимеризации; заточки блока; изготовления ножа; резки; освобождения от полимеризата; окраски; промывки; фиксации. Этот метод используют главным образом для приготовления ультратонких срезов для электронной микроскопии [1,2].

Толщина изготавливаемых срезов для оптической микроскопии должна быть в среднем от 0,02 до 0,03 мм. Для более точных исследований — до 0,0005 мм.

Методика подготовки срезов вручную [3]. Для изготовления срезов древесины вручную применяют опасную бритву, имеющую одну совершенно плоскую сторону, без выемки или лезвия безопасной бритвы. Исследуемый

образец древесины цилиндрической или прямоугольной формы вырезают из кусочка ствола острым ножом или скальпелем. Перед резкой образец древесины кипятят в течение 30 мин, а иногда и нескольких часов в воде с последующим переносом его в холодную воду или остыванием в том же сосуде, в котором проводилось кипячение. Это необходимо для удаления из древесины пузырьков воздуха и получения образца с определенной твердостью. Свежесрубленная древесина в большинстве случаев режется без всякой подготовки, но при этом ее необходимо держать в воде. Фиксированные образцы (выдержанные длительное время в этаноле, формалине или других реагентах) тщательно промывают водой в течение некоторого времени, чтобы удалить фиксирующий материал.

Образец мокрой древесины помещают между двумя кусочками пробки или бузины и для образования ровной поверхности срезают древесину острым ножом. Затем поверхность древесины смачивают водой и осторожно с нее снимают бритвой слои вместе с пробкой. Бритву также все время смачивают водой или спиртом, держат наискось, плоской стороной вниз, острием от себя и протягивают через объект скользящим движением, свободно и легко. Нельзя при этом прижимать локти к туловищу или опираться ими на стол, так как это лишит руки свободы движения. Если бритва врезалась в древесину слишком глубоко, лучше вынуть ее во избежание поломки. Срезы должны получаться очень маленькими (от 1 до 2 мм<sup>2</sup>) и совсем прозрачными. Полученные срезы снимают с лезвия очень осторожно мягкой кисточкой, переложив бритву в левую руку и не выпуская объект. Для проверки качества срезы переносят в заранее приготовленную каплю воды на предметном стекле и просматривают при малом увеличении микроскопа. Если срезы плохие, то их выбрасывают и делают новые.

**Подготовка препаратов.** Из полученных срезов готовят временные или постоянные препараты. Изучать древесину и целлюлозные материалы с помощью микроскопа через воздушную прослойку нецелесообразно, так как вследствие отражения лучей света от боковых частей материала его контуры

будут видны очерченными слишком темными линиями. Поэтому исследуемый материал заключают в какую-либо жидкость, которая уменьшает отражение лучей и увеличивает прозрачность.

Для более контрастного выявления особенностей строения анатомических элементов на срезах древесины до заключения их в ту или иную среду проводят окрашивание. Наиболее часто для окраски применяют 1%-ный водный раствор сафранина или комбинацию красителей: сафранин и водный синий; хризоидин и водный синий либо светлый зеленый. Срезы помещают в ванночку с красителем и выдерживают в нем в течение 5 мин, затем избыток красителя отмывают водой, глицерином или спиртом.

**Приготовление временных препаратов.** Каплю воды наносят пипеткой или стеклянной палочкой на середину чистого сухого предметного стекла, препаровальными иглами переносят в нее срез и накрывают покровным стеклом. Покровное стекло прикладывают к предметному под острым углом так, чтобы оно касалось края капли; после этого его осторожно опускают. Капли жидкости, выступающие по краям покровного стекла, удаляют слегка смоченной фильтровальной бумагой, подводя ее к одному краю покровного стекла. Если жидкости под стеклом мало, ее добавляют, приподняв покровное стекло, или наносят каплю воды вплотную к краю покровного стекла. При резком опускании покровного стекла в жидкости остаются пузырьки воздуха, заметные под микроскопом, в виде черных резко очерченных кружков, которые мешают изучению объекта в микроскопе.

Временные препараты могут быть использованы для исследований только на одном занятии. Долго сохранять их невозможно, так как вода быстро испаряется.

**Приготовление постоянных препаратов.** Для сохранения препарата в течение длительного времени окрашенные срезы древесины заключают не в воду, а в глицерин- желатиновую смесь или в пихтовый (канадский) бальзам. Перед заделкой срезы обезвоживают.

В случае приготовления глицерин-желатиновых препаратов воду и избыток красителя из срезов удаляют тщательной промывкой глицерином с его отсасыванием. Эту операцию можно проводить на воронке фильтрующей обратной (с пористой стеклянной пластинкой) типа ВФОТ диаметром 10...20 мм.

Для приготовления глицерин-желатина взвешивают 10 г сухого желатина помещают в стакан и заливают 60 см<sup>3</sup> дистиллированной воды. После набухания прибавляют 70 см<sup>3</sup> чистого глицерина и несколько кристалликов фенола. Смесь подогревают на водяной бане до полного перемешивания веществ. Если смесь остается мутной, ее фильтруют в горячем виде через стеклянную конусообразную воронку с бумажным фильтром. Глицерин-желатин можно хранить в пробирке или колбе, закрытых пробкой с пропущенной через нее стеклянной палочкой. Перед употреблением глицерин-желатин нагревают на водяной бане до расплавления.

Глицерин-желатин (одну-две капли) стеклянной палочкой наносят на срез, предварительно помещенный на предметное стекло. Чтобы глицерин-желатин сразу не застыл на холодном предметном стекле, его слегка подогревают на спиртовке. На теплую каплю накладывают покровное стекло, также прогретое на пламени спиртовки, и кончиком иглы осторожно прижимают стекло, равномерно распределяя глицерин-желатину. Когда среда остынет, края покровного стекла можно обвести лаком, чтобы предотвратить высыхание желатина. Этот способ приготовления препаратов достаточно простой, но срезы со временем обесцвечиваются.

Для заключения среза в бальзам процесс обезвоживания осуществляется значительно сложнее, так как ксилол, в котором растворен бальзам, совершенно не смешивается с водой. Вода (даже малейшие следы), оставшаяся в срезе, образует муть (эмульсию). Обезвоживание проводят водным этанолом восходящей концентрации: 40 %-ным в течение 1 мин; 70 и 96 %-ными — по 2 мин. Для удаления последних следов воды срез обрабатывают двумя каплями фенол-ксилола (ксилол с прибавлением от 5% до 10 % кристаллического

фенола) в течение 3 мин и после просветления для удаления фенола срез промывают в чистом ксилоле.

Для заключения препарата в бальзам одну-две капли его раствора в ксилоле наносят стеклянной палочкой на срез и накладывают покровное стекло. Слегка надавливая на покровное стекло препаровальной иглой, удаляют из под него избыток бальзама и пузырьки воздуха. Выступивший вокруг покровного стекла бальзам удаляют нагретым копыцем или перочинным ножом. Через несколько дней бальзам у краев стекла подсохнет и препарат может быть окончательно вычищен бензином.

Все операции по заключению в бальзам и глицерин-желатин могут быть проведены непосредственно на предметном стекле. Обычно на одно предметное стекло помещают рядом три среза: поперечный срез располагают слева, а продольные (радиальный и тангенциальный)—справа один под другим. За ходом обработки следят при малом увеличении микроскопа или в штативной лупе, не покрывая срезы покровным стеклом. Готовые постоянные препараты хранят в коробочках в вертикальном положении.

#### **1.4 Методика мацерации древесной ткани**

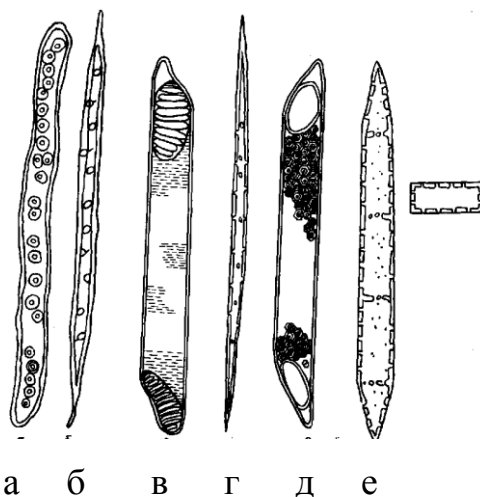
Мацерацию древесной ткани осуществляют разрушением межклеточного вещества в результате делигнификации сильными окислителями. Наиболее часто в качестве окислителей используют 10 или 20 %-ные растворы хромовой кислоты или концентрированную азотную кислоту (плотностью  $1,4 \text{ г/см}^3$ ) с добавлением небольшого количества хлората калия (бертолетовой соли).

Мацерацию древесины азотной кислотой осуществляют следующим образом: кусочек древесины толщиной в спичку и длиной от 10 до 20 мм вырезают из той или иной части ствола дерева, помещают в пробирку, заливают от 3 до 4  $\text{см}^3$  концентрированной азотной кислоты и вносят кристаллик бертолетовой соли. Пробирку нагревают на небольшом пламени спиртовки при слабом кипении в течение от 3 до 4 мин. Чтобы не произошло

выброса смеси, необходимо нагревание проводить осторожно по всей поверхности пробирки. Нагревание прекращают при первых признаках мацерации, т.е. при появлении в жидкости отдельных волокон и их пучков. После охлаждения мацерированную древесину промывают дистиллированной водой путем многократного декантирования. Из полученных мацерированных волокон готовят препараты по указанной выше методике и исследуют с помощью оптического микроскопа.

### 1.5 Методика исследования срезов древесины хвойных пород

Древесина хвойных пород имеет сравнительно простое строение и состоит главным образом из ранних и поздних трахеид, которые занимают свыше 90 % ее объема (рисунок 1.2). Ранние трахеиды (рисунок 1.2, а), образующиеся весной и летом, имеют тонкие стенки и широкие полости и являются водопроводящими элементами. На радиальных стенках трахеид находятся многочисленные окаймленные поры, обеспечивающие движение восходящего тока из клетки в клетку. Поздние трахеиды — толстостенные с узкими полостями (рисунок 1.2, б).



а — ранняя (весенняя) трахеида; б — поздняя (осенняя) трахеида; в — элементарный сосуд со сложной перфорацией; г — волокно либриформа; д — элементарный сосуд с простой перфорацией; е — ларенхимный тяж и паренхимная клетка

Рисунок 1.2 - Анатомические элементы древесины хвойных и лиственных пород



Они длиннее ранних, имеют меньшее число пор и выполняют механическую и частично запасующую функции. Длина трахеид от 2,6 до 5,0 мм. Радиальный размер ранних трахеид составляет в среднем 40 мкм, поздних — 20 мкм. Живая паренхимная ткань представлена паренхимой сердцевинных лучей. В древесине некоторых хвойных (сосна, ель, лиственница) имеются смоляные ходы (вертикальные и горизонтальные). Они представляют собой межклеточные каналы, выстланные по периферии паренхимными клетками.

Анатомическое строение древесины хвойных пород рассмотрим на примере древесины сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris*). Схема строения древесины сосны представлена на рисунке 1.3.

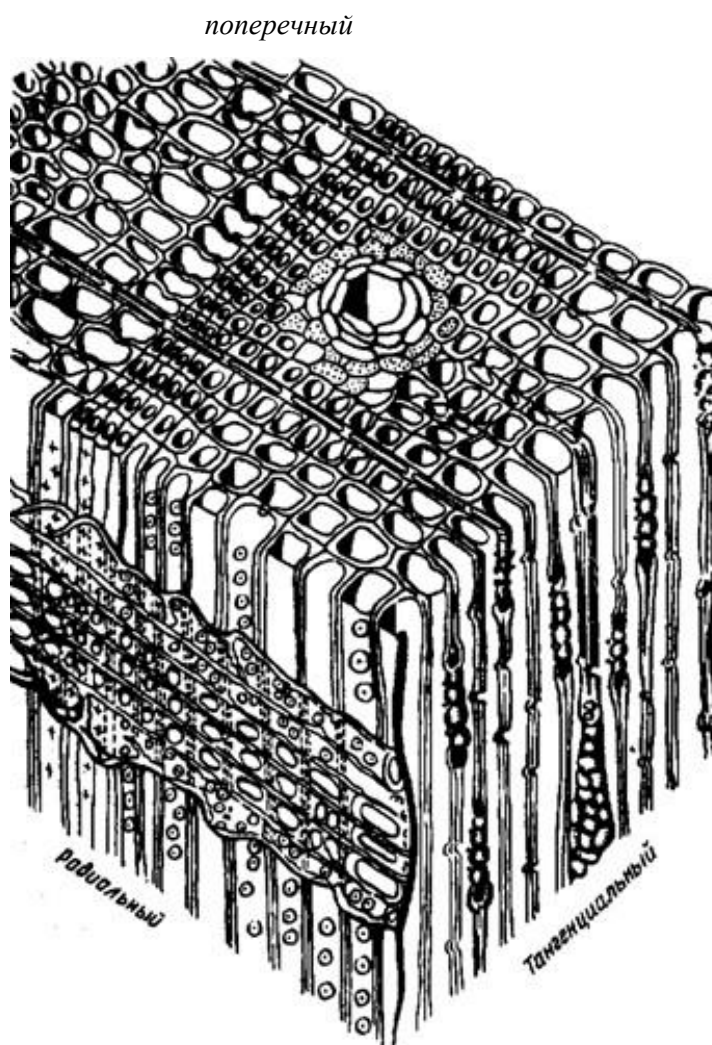


Рисунок 1.3 - Схема анатомического строения древесины сосны

**Поперечный срез древесины.** Рассматривая поперечный срез, следует найти все слагающие древесину клетки — тонкостенные ранние и толстостенные поздние трахеиды. Трахеиды должны быть расположены правильными рядами и иметь форму, близкую к прямоугольнику. Срединные пластинки будут отчетливо видны как тонкие линии, расширяющиеся в местах сближения трех-четырех клеток. Не составляет труда обнаружить границу годичного слоя — границу между поздними трахеидами предыдущего года и ранними трахеидами следующего. Необходимо рассмотреть сердцевинные лучи. Они узкие, большей частью однорядные, пересекают годичные слои по радиусу. Следует разыскать среди трахеид вертикальные смоляные ходы, которые, как правило, находятся в поздней части годичного слоя. На поперечном срезе хорошо видны их округлые каналы, окруженные живыми клетками эпителия. Диаметр смоляного хода примерно равен поперечнику четырех трахеид. Эпителий смоляных ходов сосны состоит из тонкостенных клеток. При изготовлении препаратов эти клетки сминаются или рвутся, на срезах они часто видны в виде отверстия с неровными краями. Однако в препарате всегда можно найти смоляные ходы и в хорошем состоянии.

**Радиальный срез.** На радиальном срезе нужно найти хорошо заметные годичные слои, включающие ранние трахеиды с широкими полостями и поздние толстостенные трахеиды с узкими полостями. При рассмотрении среза можно заметить, что весенние трахеиды в радиальном направлении по размеру больше, чем в тангенциальном, концы трахеид слегка закруглены. На стенках трахеид видны многочисленные окаймленные поры. Осенние трахеиды на радиальном разрезе меньше, чем на тангенциальном; концы их заострены. Обратить внимание на немногочисленность пор. Они малозаметны и у некоторых трахеид вообще отсутствуют. Поэтому окаймленные поры в поздних трахеидах лучше рассматривать на тангенциальном срезе. Окаймленные поры на препарате найти очень легко, так как такая пора на радиальной стенке ранней трахеиды представлена в виде двух хорошо заметных окружностей, вписанных одна в другую. Большая окружность — это

дно камеры поры, меньшая — отверстие (порус). Между большой и малой окружностями при большом увеличении можно видеть ясно выраженный торус, в виде несколько размытого с неровными краями кружка.

На радиальном срезе следует разыскать вертикальный смоляной ход, проходящий параллельно трахеидам. Если срез прошел точно по оси смоляного хода, то на препарате виден канал, по периферии которого располагаются тонкостенные эпителиальные клетки, а за ними находятся клетки сопровождающей паренхимы. Чаще всего радиальный срез проходит по касательной к смоляному ходу, поэтому на разрезе канала видны только довольно крупные прямоугольные тонкостенные паренхимные клетки, сопровождающие смоляной ход.

Далее следует рассмотреть сердцевинные лучи, проходящие перпендикулярно трахеидам и вертикальным смоляным ходам и включающие несколько слоев паренхимных клеток (высота сердцевинного луча). Верхние и нижние слои клеток сердцевинного луча состоят из горизонтальных лучевых трахеид, имеющих одревесневшие клеточные стенки, снабженные мелкими окаймленными порами. Внешняя поверхность стенок лучевых трахеид гладкая, внутренняя — с характерными зубчатыми утолщениями, придающими этим клеткам ажурный вид. Горизонтальные трахеиды, как и ранние вертикальные, выполняют водопроводящую функцию. Внутренние ряды состоят из живых паренхимных длинных клеток с гладкими стенками и служат для распределения органических веществ по радиусу ствола и хранения запасных питательных веществ.

Особое внимание необходимо обратить на пересечение вертикальной трахеиды с клеткой луча, называемое полем перекреста. Характер и число пор на поле перекреста имеют основное диагностическое значение. На радиальном срезе сосну обыкновенную легко отличить от других хвойных пород по наличию одной крупной оконцевой поры на поле перекреста. На препарате видно, что паренхимные клетки луча довольно длинные, занимают до десятка

полей перекреста, поэтому на одной клетке луча встречается до 10 и более оконцевых пор.

Среди сердцевинных лучей следует попытаться найти горизонтальный смоляной ход. Если срез прошел по оси смоляного хода, то в центре сердцевинного луча хорошо виден канал с крупными тонкостенными эпителиальными клетками, а за ними — паренхимные клетки сердцевинного луча. Если срез прошел по касательной к оси смоляного хода, то на срезе просматриваются только эпителиальные клетки.

**Тангенциальный срез.** На тангенциальном срезе годичных слоев не видно, так как срез проходит только в какой-то одной части годичного слоя — в ранней или поздней древесине. Необходимо заметить, что трахеиды на тангенциальных стенках — без окаймленных пор; окаймленные поры видны в виде утолщений на рассеченных радиальных стенках. Параллельно длинным стенкам трахеид почти во всех препаратах можно найти вертикальные смоляные ходы, которые имеют тот же вид, что и на радиальном срезе. Серцевинные лучи, разрезанные поперек, имеют вид полосок. На этом срезе луча следует подсчитать число клеток по высоте (слойность) и по ширине (рядность). Большинство лучей однорядные многослойные (от 2 до 15 слоев). Встречаются и широкие сердцевинные лучи (двух- или многорядные) с горизонтальными смоляными ходами. Канал смоляного хода выстлан эпителиальными клетками и окружен паренхимными клетками сердцевинных лучей.

По анатомическому строению древесины ель и лиственница очень сходны между собой. На полях перекреста сердцевинных лучей с трахеидами как у ели, так и у лиственницы имеется от 4 до 6 мелких пицеоидных пор. Смоляные ходы немногочисленные. Эпителиальные клетки толстостенные и по своей форме отличаются от эпителиальных клеток сосны. Однако древесина лиственницы отличается от древесины ели резким переходом от ранней части к поздней в пределах одного годичного» слоя, а также большей шириной ранних трахеид и двурядным расположением в них окаймленных пор.

Древесину пихты легко отличить от древесины других хвойных пород отсутствием смоляных ходов и наличием в поле перекреста двух — четырех таксоидионных пор. Переход ранних трахеид в поздние в пределах годичного слоя, как правило, постепенный. Сердцевинные лучи однорядные, многослойные (от 4 - 20 слоев).

Таким образом, основными диагностическими признаками при определении породного состава древесины хвойных пород являются: строение, форма и число пор на поле перекреста сердцевинных лучей с трахеидами; присутствие или отсутствие в древесине смоляных ходов; однорядное или двурядное расположение окаймленных пор. Диагностические признаки наиболее легко установить на радиальном срезе, но лучше рассматривать все три среза.

### **1.6 Методика исследования срезов древесины лиственных пород**

Древесина лиственных пород по сравнению с древесиной хвойных имеет наиболее сложное строение (рисунок 1.4). Механическую функцию выполняют волокна либриформа и волокнистые трахеиды. Водопроводящие ткани состоят из сосудов и сосудистых трахеид. Паренхимные клетки образуют сердцевинные лучи и вертикальную (тяжевую) паренхиму. В древесине лиственных пород (умеренной климатической зоны) отсутствуют смоляные ходы.

Волокна либриформа представляют собой мертвые, сильно вытянутые по длине прозенхимные клетки с заостренными концами и толстыми одревесневшими стенками (см. рисунок 1.2, *г*). Длина волокон либриформа колеблется от 0,3 до 2,6 мм. Поры на стенках немногочисленные, узкие, щелевидные. Наличие большего или меньшего числа волокон либриформа в древесине определяет ее твердость и плотность.

## Поперечный

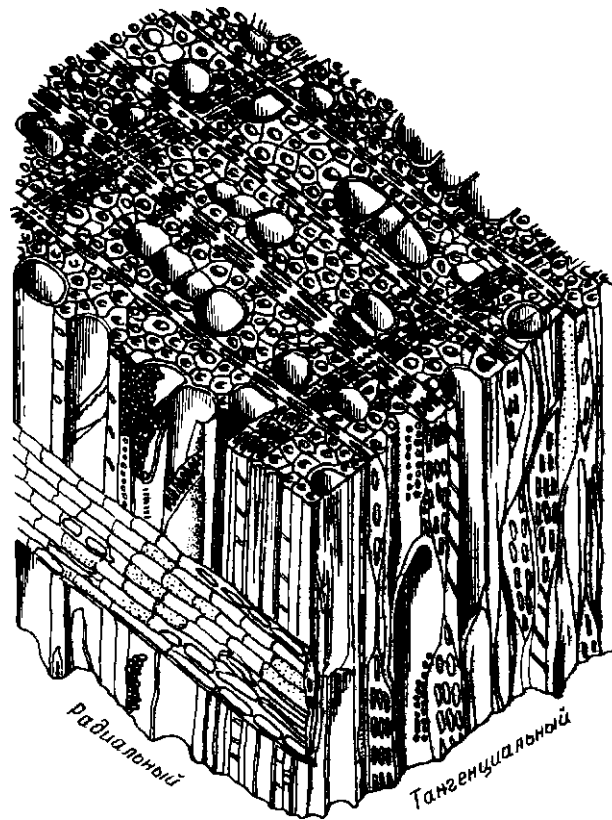


Рис. 1.4. Схема анатомического строения древесины березы

Сосуды представляют собой трубки длиной около 2 см, а в отдельных породах до 10 см и более. Сосуды состоят из элементарных сосудов (члеников), разделенных между собой перфорационными пластинками. Тип перфорационных пластинок (простая или лестничная) является постоянным и характерным для каждой породы и может служить для их распознавания (см. рисунок 1.2, в, д) У отдельных видов (липы, дуба, ясеня) крупные сосуды ( $d$  — 0,2...0,5 мкм) расположены в ранней древесине в один, два, три ряда кольцом вдоль границы годичного слоя. Поэтому их древесину называют кольцесосудистой или кольцепоровой. У березы, осины, ольхи, ивы крупных сосудов нет, а мелкие ( $t/2 = 0,016...0,2$  мкм) располагаются равномерно по всему годичному слою радиальными группами по два-три и больше. Древесину этих пород относят к типу рассеянно-сосудистой. Диагностическое значение имеют также форма и размеры пор в стенках сосудов.

Волокнистые и сосудистые трахеиды лиственных пород, в отличие от трахеид хвойных пород, имеют меньшую длину, редко превышающую 0,5 мм. От волокон либриформа они отличаются более заметной полостью, меньшей толщиной оболочки, а также наличием мелких окаймленных пор. Сосудистые трахеиды имеют большую полость и большее число пор, чем волокнистые, и выполняют водопроводящую роль.

Паренхимные клетки в древесине лиственных пород образуют, кроме сердцевинных лучей, вертикальную (тяжевую) паренхиму, располагающуюся обычно около крупных сосудов и являющуюся запасующей тканью. Клетки паренхимы имеют форму удлинённых четырехгранных призм. Обычно эти клетки соединяются вместе и образуют продолговатые паренхимные тяжи, разделенные поперечными перегородками. Верхняя и нижняя клетки имеют по одному заостренному концу (см. рисунок 1.2, е).

Анатомическое строение древесины лиственных пород рассмотрим на примере древесины березы бородавчатой (*Betula verrucosa*) (рисунок 1.4).

**Поперечный срез.** Рассматривая поперечный срез, следует прежде всего определить границу годичного слоя по двум-трем рядам сплюснутых в тангенциальном направлении волокон либриформа. Основную часть годичного слоя представляют собой волокна либриформа. В поперечном разрезе — это мелкоклетчатая ткань с заметно утолщенными стенками и узкими полостями. Далее необходимо найти сосуды, хорошо заметные среди либриформа своими более крупными отверстиями. Они примерно одинакового диаметра (некрупные) располагаются более или менее равномерно по всему годичному слою радиальными группами по два-три. Однако встречаются как одиночные сосуды, так и группы по шесть-восемь сосудов. Очертание одиночных сосудов овальное, а в группах — многоугольное.

Следует обратить внимание на сердцевинные лучи — узкие полоски, пересекающие поперек годичные слои древесины. Они видны на срезе в виде одного-двух или реже трех-четырех рядов клеток. Клетки вертикальной

паренхимы и трахеиды очень небольшие и найти их на поперечном срезе без дополнительного окрашивания почти невозможно.

**Радиальный срез.** На срезе как при малом, так и при большом увеличении хорошо наблюдается граница годичного слоя в виде двух-трех рядов сплюснутых клеток либриформа. Волокна либриформа на радиальном срезе — длинные клетки с заостренными концами, равномерно утолщенными стенками и довольно узкими полостями. Наряду с волокнами либриформа встречаются волокнистые трахеиды с едва заметными окаймленными порами. Обратите внимание, что у сосудов отчетливо видны лестничные перфорации между отдельными члениками. На тонких стенках некоторых сосудов можно наблюдать очень мелкие окаймленные поры.

На радиальном срезе нужно попытаться обнаружить и клетки вертикальной паренхимы в виде удлинённых тяжей. Затем следует рассмотреть сердцевинные лучи, вытянутые перпендикулярно волокнам либриформа и сосудам. Если срез прошел строго вертикально и рассек весь луч по его высоте, нужно сосчитать число слоев (от 1 до 50). В местах полей перекреста между сосудами и сердцевинными лучами находятся полуокаймленные поры, форма которых подобна форме окаймленных пор сосудов.

**Тангенциальный срез.** На этом срезе граница годичного слоя не наблюдается. Волокна либриформа видны, как и на радиальном срезе, в виде узких толстостенных клеток с заостренными концами. В их стенках можно найти щелевидные поры. У сосудов необходимо найти остатки лестничной перфорации и хорошо просматриваемые многочисленные мелкие, сомкнутые, реже сближенные окаймленные поры. По ширине сосуда насчитывается до 12-18 рядов пор.

При рассмотрении среза обратить внимание на веретенообразную форму поперечного разреза сердцевинных лучей. Высота их различна и может быть очень большой, ширина же невелика. Лучи часто однорядные, но встречаются трехрядные и редко четырехрядные.



**Анатомическое строение осины и дуба.** По строению древесина осины близка к древесине березы. Основная масса древесины осины также состоит из толстостенных волокон либри- форма, в стенках которых имеются мелкие щелевидные косо расположенные поры. Граница годичного слоя выражена неясно. Обе породы имеют сосуды диаметром от 0,06 до 0,1 мм. Однако у осины они более многочисленные, образуют радиальные группы, состоящие из двух — пяти сосудов. Одиночные сосуды встречаются редко.

Основным диагностическим признаком, позволяющим различать древесину осины и березы, является строение сосудов (см. рисунок 1.2). У осины сосуды имеют простые перфорационные пластинки с одним округлым отверстием, а у березы, как уже отмечалось, перфорационные пластинки лестничные. На стенках сосудов осины наблюдаются крупные, округлые супротивные или очередные поры. По ширине сосуда насчитывается до шести — восьми рядов пор. Сердцевинные лучи у осины в большинстве случаев однорядные, узкие; по высоте насчитывается до 30 клеток. Волокнистые и сосудистые трахеиды в древесине осины отсутствуют.

Древесина дуба является примером древесины лиственных пород кольцесосудистого типа. В ранней древесине имеются крупные сосуды, располагаемые кольцом вдоль границы годичного слоя. В некоторых сосудах видны обрывки тилл. Тилла — вырост протопласта паренхимной клетки, проникший через пару пор в полость смежного сосуда. Мелкие сосуды находятся в поздней древесине, имеют радиальное расположение, т. е. группы этих сосудов вытянуты параллельно сердцевинным лучам. Водо- проводящую функцию в древесине дуба, кроме сосудов, выполняют сосудистые трахеиды, располагающиеся как в поздней, так и ранней древесине. Волокна либриформа с сильно утолщенными оболочками и небольшими полостями. В поперечном разрезе они многогранные и плотно сомкнутые. Большинство сердцевинных лучей древесины однорядные, но имеются немногочисленные многорядные. Они могут содержать до 30 рядов клеток. Клетки вертикальной паренхимы

нередко окружают сосуды и образуют прослойки среди либриформа. Они отличаются тонкими оболочками и относительно большими полостями.

## **1.7 Микроскопическое и гистохимическое исследование целлюлозных волокон**

Микроскопическое исследование целлюлозных волокон давно уже вошло в практику не только научно-исследовательских институтов, но и заводских лабораторий целлюлозно-бумажной промышленности. Эти исследования позволяют достаточно глубоко изучить вид волокнистых полуфабрикатов, особенности их структуры, изменения размеров волокон и содержания отдельных химических веществ в клеточных стенках при различных химических воздействиях в процессах как получения, так и переработки технических целлюлоз и других полуфабрикатов в бумагу, картон, искусственные волокна, пленки и т. д.

При микроскопическом анализе волокнистых полуфабрикатов используют гистохимический метод, основанный, как уже отмечалось, на получении специфических окрасок древесных и целлюлозных волокон. Для окраски применяют некоторые неорганические и органические красители — малахитовый зеленый (дигидрокарбонат меди —  $\text{Cu}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3$ , конго красный, сафранин, фуксин и др., а также перманганат калия и специальные реактивы — хлор-цинк-йод, смесь нитрата кальция и иода и др.

**Приготовление препаратов окрашенных волокон.** Из технической целлюлозы и других волокнистых полуфабрикатов готовят только временные препараты с заключением в растворы реагентов, дающих специфическую окраску, или в воду.

На предметное стекло из капельницы наносят одну-две капли дистиллированной воды, в которую помещают очень небольшое количество исследуемого образца. При помощи препаровальных игл целлюлозные волокна тщательно разделяют и равномерно распределяют на предметном стекле. После

этого целлюлозные волокна осушают фильтровальной бумагой и на слегка влажные волокна наносят две-три капли красителя или другого реагента. Волокна хорошо перемешивают и накрывают покровным стеклом. Покровное стекло прикладывают к предметному под острым углом так, чтобы оно касалось края капли жидкости и после этого его осторожно опускают. Капли жидкости, выступающие по краям покровного стекла, удаляют слегка смоченной фильтровальной бумагой, подводя ее к одному краю покровного стекла. Приготовленный препарат закрепляют на предметном столике микроскопа и приступают к его изучению.

### **1.8 Идентификация целлюлозных волокон из различных растительных тканей**

Одним из наиболее распространенных реактивов для качественной идентификации целлюлозных волокон является хлор-цинк-иод. Он относится к такому типу реагентов, которые образуют с основным компонентом (целлюлозой) волокон окрашенные соединения, цвет которых зависит не от цвета реактива, а от свойства волокна. По окраске можно различить волокна хлопковой и древесной целлюлозы разного выхода, а также волокна древесной массы. К недостаткам раствора хлор-цинк-иода можно отнести получение различной краски (синяя или фиолетовая) в зависимости от рецепта его приготовления и ее неустойчивость на волокнах вследствие быстрого улетучивания иода из раствора. Поэтому препараты целлюлозных волокон следует готовить и рассматривать под микроскопом за сравнительно короткое время.

Небольшой образец увлажненной целлюлозы помещают на предметное стекло, тщательно раздвигают препаровальными иглами и осушают фильтровальной бумагой. На слегка влажные волокна наносят две-три капли хлор-цинк-иода, хорошо перемешивают и покрывают покровным стеклом. Для получения насыщенной окраски волокон хлор-цинк-иод дают в избытке,

который затем удаляют слегка увлажненной фильтровальной бумагой, подводя ее к одному краю покровного стекла.

Препараты непосредственно после их изготовления рассматривают в хорошо освещенном поле зрения микроскопа, получим достаточно резкое изображение волокон. При окраске хлор-цинк-йодом волокна принимают следующие цвета: хлопковые — винно-красный; волокна технической древесной целлюлозы — сине-фиолетовый; волокна древесной массы — золотисто-зеленый. По истечении некоторого времени волокна изменяют окраску, причем древесная целлюлоза принимает темно-синюю окраску, хлопковые волокна синеют, а древесная масса становится бледной, почти бесцветной.

Для получения раствора хлор-цинк-иода (реактива Херцберга) сначала готовят два раствора: 50 г хлорида цинка растворяют в 25 см<sup>3</sup> дистиллированной воды при нагревании, затем раствор охлаждают (плотность полученного раствора 1,75...1,82 г/см<sup>3</sup>); 5,25 г иодида калия растворяют в 12,5 см<sup>3</sup> дистиллированной воды. Далее растворы смешивают, для этого к 40 см<sup>3</sup> первого раствора при непрерывном перемешивании по каплям добавляют 14 см<sup>3</sup> второго раствора. Полученную смесь переливают в сухой высокий цилиндр, на поверхность раствора опускают небольшой кристаллик иода и цилиндр закрывают стеклянной притертой пробкой. Раствор оставляют на 24 ч в защищенном от света месте и после отстаивания осадка сливают в бутылку из темного стекла с притертой пробкой. Готовый раствор хлор-цинк-иода хранят не более 6 мес в темном месте.

### **1.9 Идентификация целлюлозных волокон, полученных разными методами варки**

Гистохимические реакции позволяют также идентифицировать волокнистые полуфабрикаты, изготовленные из древесины хвойных и лиственных пород разными методами варки (сульфатными или сульфитными).

Это обусловлено тем, что в различных процессах варки химический состав волокон в результате частичной их делигнификации, а также некоторого удаления гемицеллюлоз и экстрактивных веществ, изменяется неодинаково. Подбирая соответствующие реактивы, окрашивающие тот или другой компонент волокна, становится возможным различать волокнистые полуфабрикаты под микроскопом по внешнему виду, окраске и диагностическим (морфологическим) признакам. Для этих целей в настоящее время разработан ряд методик [4], отдельные из них приведены ниже. Следует отметить, что большинство методик не дает однозначной идентификации волокна и требует обязательной проверки результатов на заведомо известных образцах целлюлозных волокон. Особенно затруднительна идентификация целлюлоз по породному составу, так как окраски, возникающие при обработке тем или иным реагентом, являются очень близкими по оттенку. Поэтому для четкого разделения волокон из разной древесины необходимо учитывать диагностические признаки. Очень трудно различать по методу варки и беленые целлюлозные волокна.

#### **1.10 Идентификация небеленых целлюлоз из древесины хвойных и лиственных пород**

Для идентификации небеленых сульфитных и сульфатных целлюлозных волокон, полученных как из древесины хвойных, так и лиственных пород, используют различные методики. В основе ряда методик лежит окрашивание волокон растворами малахитового зеленого и основного фуксина, приготовленных по различным рецептам. Оба красителя взаимодействуют с остаточным лигнином, который в зависимости от метода варки имеет разные строение и состав.

Методика анализа небеленых целлюлоз из древесины хвойных пород. На предметное стекло помещают небольшой образец целлюлозы и обрабатывают двумя-тремя каплями смеси растворов малахитового зеленого, основного

фуксина и соляной кислоты. Волокна тщательно раздвигают и перемешивают. Обработку производят в течение одной минуты. Окрашенные волокна переносят на ситечко и промывают водой до бесцветных промывных вод. Волокна небеленой сульфитной целлюлозы окрашиваются в темно-малиновый или фиолетовый цвет, хорошо выделяются ярко окрашенные «глазки» — замыкающие мембраны окаймленных пор. Волокна небеленой сульфатной целлюлозы окрашиваются в сине-зеленый цвет, «глазки» отсутствуют. Приготовление растворов. Для приготовления раствора малахитового зеленого 2 г  $\text{Cu}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3$  растворяют в смеси, состоящей из 80 см<sup>3</sup> дистиллированной воды и 20 см<sup>3</sup> 96%-ного этанола. Для приготовления раствора фуксина 1 г основного фуксина растворяют в смеси 80 см<sup>3</sup> дистиллированной воды и 20 см<sup>3</sup> 96 %-ного этанола. Перед анализом растворы малахитового зеленого и фуксина смешивают в отношении 1:2 и в смесь добавляют в первую часть 0,1%-ного раствора HCl.

Методика анализа небеленых целлюлоз из древесины лиственных пород [4,5]. На предметное стекло помещают небольшой образец целлюлозы, смачивают водой, раздвигают препаровальными иглами на отдельные волокна, затем осушают их фильтровальной бумагой. На волокна последовательно наносят равные объемы (по две-три капли) растворов основного фуксина и малахитового зеленого и волокна и тщательно перемешивают. Окрашивание производят в течение 2 мин. Волокна переносят на ситечко и промывают водой от избытка красителя до бесцветных промывных вод. Волокна небеленой сульфитной целлюлозы окрашиваются в красновато-фиолетовый цвет, волокна небеленой сульфатной — в голубой.

**Приготовление растворов.** Для получения раствора фуксина 0,25 г основного фуксина и 15 см<sup>3</sup> концентрированной уксусной кислоты растворяют в 100 см<sup>3</sup> дистиллированной воды; для приготовления раствора малахитового зеленого 0,25 г  $\text{Cu}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3$ , и 15 см<sup>3</sup> концентрированной уксусной кислоты растворяют в 100 см<sup>3</sup> дистиллированной воды.

## **1.11 Методика определения равномерности провара технических целлюлоз**

Одной из разновидностей гистохимического анализа целлюлозных волокон является определение равномерности провара целлюлозы. Метод основан на микроскопическом исследовании препаратов волокон целлюлозы, окрашенных специальными химическими реагентами, взаимодействующими с лигнином: 2%-ным водным раствором малахитового зеленого, подкисленным несколькими каплями концентрированной уксусной кислоты, и 2%-ным водным раствором конго красного. Эта методика наиболее пригодна для целлюлозы средней жесткости. Равномерность провара мягкой целлюлозы определяют по интенсивности красного цвета, образующегося при окраске волокон азо-диметиланилином. Данный метод менее точен и редко применяется.

Небольшой образец целлюлозы помещают на предметное стекло, смачивают водой, расщепляют препаровальными иглами на волокна и осушают фильтровальной бумагой. Затем волокна в течение 2 мин окрашивают несколькими каплями раствора малахитового зеленого (число капель раствора красителя надо брать такое, чтобы волокна были погружены в него полностью). Окрашенные волокна переносят на ситечко, промывают водой от избытка красителя до бесцветных промывных вод, отжимают препаровальными иглами и вновь переносят на предметное стекло, где снова осушают фильтровальной бумагой. После этого на целлюлозу наносят несколько капель раствора конго красного. Окраску производят в течение 2 мин, снова волокна переносят на ситечко, промывают и отжимают. Из окрашенных волокон готовят препараты и исследуют их под микроскопом. О равномерности провара судят по окраске волокон. В неравномерно проваренной целлюлозе волокна имеют розовую и зеленую окраску. В равномерно проваренной целлюлозе окраска волокон промежуточная: розовые волокна местами окрашены в зеленоватый цвет,

зеленые волокна — в розоватый. Чем однороднее и мягче проварена целлюлоза, тем бледнее окраска розовых и зеленых волокон.

Подсчитывают в пяти препаратах волокна, имеющие розовую, зеленую и промежуточную окраску. Однородность провара выражают в процентах от общего числа волокон (не менее 300).

### **1.12 Методика определения равномерности отбеливания целлюлозы**

Метод основан на микроскопическом исследовании препаратов волокон беленой целлюлозы, окрашенных 2%-ным водным раствором малахитового зеленого, подкисленного несколькими каплями концентрированной уксусной кислоты, и 1%-ным водным раствором основного фуксина. Небольшой образец используемой целлюлозы помещают на предметное стекло, с помощью препаровальных игл расщепляют на отдельные волокна в нескольких каплях дистиллированной воды. Волокна осушают фильтровальной бумагой и наносят на них несколько капель раствора малахитового зеленого. Для закрепления красителя препарат осторожно подсушивают над электрической плиткой. Затем волокна переносят на ситечко, промывают водой до бесцветных промывных вод, отжимают препаровальными иглами и помещают на предметное стекло, где осушают фильтровальной бумагой. На промытый и высушенный образец целлюлозы наносят несколько капель раствора основного фуксина. Окраску проводят в течение 1 мин. Окрашенные волокна переносят на ситечко и промывают слабым раствором соляной кислоты ( $1 \text{ см}^3$  концентрированной соляной кислоты растворяют в  $1 \text{ дм}^3$  дистиллированной воды) до бесцветных промывных вод. Затем целлюлозу тщательно промывают водой (для удаления соляной кислоты) и отжимают. Из волокон приготавливают препараты по методике, указанной на с. 26, и исследуют их под микроскопом. Волокна хорошо отбеленной целлюлозы — бесцветны; волокна полубеленой целлюлозы — бледно-розового цвета; волокна небеленой целлюлозы — красного цвета.



Неравномерно отбеленная целлюлоза состоит из волокон, окрашенных в различные указанные выше цвета.

### **1.13 Задание к лабораторной работе**

1.13.1 Определить качественные показатели древесины разных пород используя микроскопические и оптические методы.

### **1.14 Контрольные вопросы**

1.14.1 В чем заключается сущность микроскопического анализа древесины?

1.14.2 Каким образом определяется возраст древесины?

1.14.3 Как проводится подготовка образцов древесины к микроскопическому анализу?

1.14.4 В чем сущность метода определения равномерности отбеливания целлюлозы

1.14.5 Назовите основные этапы проведения анализа небеленых целлюлоз из древесины хвойных пород

## Список использованных источников

1 Атлас ультраструктуры древесных полуфабрикатов, применяемых для производства бумаги / под ред. Н. П. Зотовой-Спановской.— М. : Лесная промышленность, 1984.—232 с.

2 Ахназарова С. Л. Оптимизация эксперимента в химии и химической технологии / С.Л. Ахназарова, В.В. Кафаров — М. : Высшая школа, 1978.- 319 с. – ISBN 5-94133-012-Х.

3 Вехов В.Н. Практикум по анатомии и морфологии высших растений / В.Н. Вехов, Л.И. Лртова, В.Р. Филин— М.: Изд-во МГУ, 1980. —192 с. - ISBN 7410-0559-4.

4 Диагностические признаки древесины и целлюлозных волокон (атлас) /Под ред. Г. М. Козубова, Н. П. Зотовой-Спановской — Петрозаводск: Карельский филиал АН СССР, 1976 — 152 с.

5 Емельянова И.З. Химико-технический контроль гидролизного производства / И.З. Емельянова.— М.: Лесная промышленность, 1976.—322 с. - ISBN 5-7695-1403-5