

## ДРЕВЕСИНА КАК ХИМИЧЕСКОЕ СЫРЬЕ. ИСТОРИЯ И СОВРЕМЕННОСТЬ II. АНАТОМИЯ ДРЕВЕСИНЫ КАК ФАКТОР ЕЕ ХИМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ

Г.Н. Кононов, В.Д. Зайцев

МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), 141005, Московская обл., г. Мытищи, ул. 1-я Институтская, д. 1

kononov@mgul.ac.ru

Проанализирована история изучения анатомии и морфологии древесных растений. Рассмотрены особенности строения основных анатомических элементов, свойственных древесине лиственных и хвойных древесных пород. Приведены сведения о влиянии особенности строения анатомических элементов на свойства волокнистых полуфабрикатов и получаемых из них различных видов бумаги и картона. Показано влияние строения древесины различных пород на свойство углей, получаемых в результате их пиролиза. Охарактеризованы особенности процессов проникновения жидких реагентов в древесину как природную гетерокапиллярную систему.

**Ключевые слова:** древесина, сердцевина, ядро, заболонь, луб, анатомические элементы, клеточные стенки

**Ссылка для цитирования:** Кононов Г.Н., Зайцев В.Д. Древесина как химическое сырье. История и современность. II. Анатомия древесины как фактор ее химической активности // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2020. Т. 24. № 6. С. 103–112. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-6-103-112

*«Древесина представляет сложное вещество, как в анатомическом, так и в химическом отношении»  
Л. Уайз, 1926 г.*

В химических технологиях переработки древесины большое внимание традиционно уделялось особенностям строения и функциональной активности соединений, образующих клеточную стенку. Однако активность древесинного вещества в различных химико-технологических процессах обусловлена не только химическим строением компонентов лигноуглеводного комплекса, но и особенностями анатомического строения растительных тканей.

Анатомическое строение растений интересовало человека издавна. Современник Платона и Аристотеля — древнегреческий философ Теофраст — впервые описал анатомическое строение стеблей растительных организмов, охарактеризовав их макростроение и выделив сердцевину, древесину и кору.

Дальнейшие исследования строения растений продолжились только с изобретением микроскопа, что позволило подробнее изучить древесные ткани и их клеточное строение. Впервые наличие клеток зафиксировал английский физик Р. Гук, который в труде «Микрография или физиологическое описание мельчайших тел, исследованных с помощью мельчайших стекол», опубликованной в 1665 г., описал пробковые ткани, исследованные с помощью сконструированного им же микроскопа, при этом обнаружив полости в их структурах, которые назвал клетками.

Основоположниками анатомии растений как науки являются итальянский ученый М. Мальпиги и английский ученый Н. Грю. Оба, работая

самостоятельно, представили доклады по анатомии растений в Лондонском королевском обществе в 1671 г. М. Мальпиги описал строение коры, стебля, ветвей, почек и т. д., а также строение и форму сосудов, названных им трахеями. Н. Грю ввел в научный оборот термин «растительная ткань», разделив клетки и ткани на прозенхимные (от греч. *proton* — возле и *enchyma* — налитое, наполняющее) и паренхимные (от греч. *para* — рядом) [1].

### Цель работы

Продолжение рассмотрения методов компонентного анализа лигноуглеводного комплекса древесины на историческом фоне изучения химического строения ее основных компонентов [2].

### Клеточные элементы древесины

В начале XIX в. в связи с совершенствованием микроскопической техники познания в анатомии растений продвинулись вперед. К настоящему времени строение древесных растений изучено достаточно подробно и многие накопленные знания являются неоспоримыми.

Основными клеточными элементами древесины хвойных древесных растений являются трахеиды. Трахеиды (от лат. *tracheia* — дыхательное горло) — вытянутые прозенхимные клетки со слегка суженными и обычно тупыми окончаниями. Трахеиды представляют собой продольную систему древесины, а на торцевых срезах они располагаются концентрическими рядами — годичными кольцами, представляющими собой

продолжение таких же рядов клеток камбиальной зоны [3]. Живые паренхимные клетки в хвойной древесине немногочисленны, так как хвойные породы накапливают часть питательных веществ в хвое. Паренхимные клетки представляют собой округлые или многогранные тонкостенные клеточные элементы, составляющие основу сердцевинных лучей (лучевая паренхима), сердцевины, камбия, прикамбиальной зоны и луба (вертикальная паренхима). К живым клеткам относятся эпителиальные клетки, выстилающие внутреннюю поверхность таких образований, как смоляные ходы, и продуцирующие физиологическую смолу. Смоляные ходы характерны только для хвойных древесных пород, в лиственных их нет. Различают вертикальные и горизонтальные смоляные ходы, последние иногда располагаются в многорядных сердцевинных лучах. Смоляные ходы заполнены физиологической смолой, выполняющей роль антисептика при ранении дерева.

Древесина лиственных пород в отличие от древесины хвойных пород состоит из большого количества анатомических элементов и их переходных форм, расположенных менее упорядоченно. Проводящую функцию у лиственных пород выполняют в первую очередь сосуды, а также трахеиды (волокнистые или сосудистые).

Сосуды — специализированные водопроводящие элементы, занимают довольно большую часть объема ствола [4]. Сосуды представляют собой длинные вертикальные трубки, состоящие из члеников — отдельных коротких клеток с широкими полостями и тонкими стенками [5]. Анатомические элементы лиственных пород трансформировались из анатомических элементов древних голосеменных растений, их отличительной особенностью является наличие таких специализированных водопроводящих элементов, как сосуды [6]. Сосуды образовались путем срастания нескольких трахеид с последующим исчезновением клеточных стенок между ними. Внутри сосудов иногда образуются выросты — тиллы, содержащие большое количество таннинов. Промежуточным элементом между трахеидой и сосудом принято считать сосудистую трахеиду — неперфорированную клетку с признаками и механического волокна, и сосуда [7]. Сосудистые трахеиды — элементы, которые являются переходной формой между типичными трахеидами и сосудами и содержатся в древесине в небольшом количестве, но обнаруживаются не у всех пород.

Волокна либриформа (от лат. «libri» — лыко и «forma» — вид) образуют механическую ткань, занимая наибольшую долю древесины ствола лиственных пород. Представляя собой типичные клетки древесины лиственных, они в процессе

эволюционного развития образовались из трахеид голосеменных древесных растений. В этом эволюционном процессе совершенно отчетливо прослеживаются два направления: 1) утолщение клеточных стенок; 2) увеличивающаяся редукция окаймленных пор в них [7].

Паренхимных клеток в лиственной древесине значительно больше, чем в хвойной (иногда более 30 %) и сосредоточены они в основном в сердцевинных лучах. В древесине тропических лиственных пород иногда присутствуют образования, называемые камедными ходами (аналогичные смоляным ходам хвойных), полости которых заполнены веществами углеводного характера — камедями.

Основные анатомические элементы хвойных и лиственных древесных растений представлены на рис. 1 и 2 [4], а их характеристики в табл. 1–3 [8].

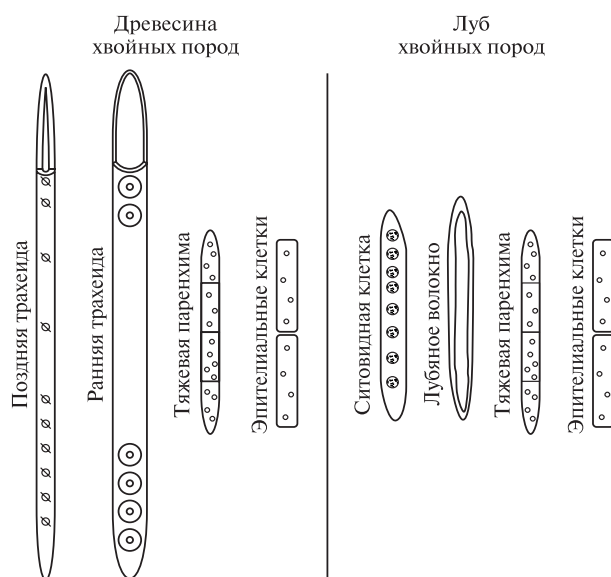


Рис. 1. Основные анатомические элементы хвойных пород  
Fig. 1. The main anatomical elements of conifers

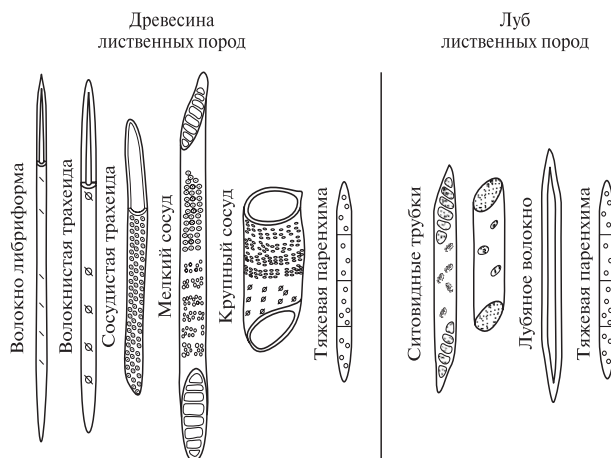


Рис. 2. Основные анатомические элементы древесины лиственных пород  
Fig. 2. The main anatomical elements of hardwood

Т а б л и ц а 1

## Содержание анатомических элементов древесины относительно объема (%)

The content of the anatomical elements of wood by volume, %

Анатомические элементы		Хвойная древесина		Лиственная древесина	
		пределы колебаний	среднее значение	пределы колебаний	среднее значение
Волокна	трахеиды	89...96	92	–	–
	волокна либриформа	–	–	36...76	56
Сосуды		–	–	10...34	22
Сердцевинные лучи		5...7,5	6,2	11...28	15
Вертикальная паренхима		1...2	1,3	2...12	7
Смоляные ходы		0,1...0,9	0,5	–	–

Т а б л и ц а 2

## Содержание анатомических элементов древесины относительно площади поперечного сечения (%)

The content of anatomical elements of wood from the cross-sectional area, %

Вид	Волокна	Сосуды	Сердцевинные лучи	Вертикальная паренхима	Смоляные ходы
Ель европейская	<b>95,3</b>	–	4,7	–	0,5
Сосна обыкновенная	93,1	–	5,5	1,4	0,5
Береза бородавчатая	64,8	24,7	10,5	–	–
Осина	60,9	26,4	12,7	–	–
Дуб черешчатый	44,3	<b>39,5</b>	16,2	–	–
Бук европейский	37,4	31,0	<b>27,0</b>	4,6	–
Хлопковое дерево	29,7	7,7	21,3	<b>41,3</b>	–

*Примечание.* Максимальные значения величин выделены жирным шрифтом.

Т а б л и ц а 3

## Размеры анатомических элементов древесины

Dimensions of anatomical elements of wood

Вид	Трахеиды		Волокна либриформа		Членики сосудов	
	длина, мм	ширина, мкм	длина, мм	ширина, мкм	длина, мм	ширина, мкм
Ель европейская	3,4 (1,1...6,0)	31 (21...40)	–	–	–	–
Сосна обыкновенная	3,1 (1,8...4,5)	35 (14...46)	–	–	–	–
Береза бородавчатая	–	–	1,2 (0,8...1,6)	28 (20...36)	0,84	–
Осина	–	–	1,0 (0,4...1,9)	18 (10...27)	0,67	–
Секвойя гигантская	6,1 (2,9–9,3)	57 (50–65)	–	–	–	–
Нисса лесная	–	–	1,8 (0,8...2,7)	26 (20...32)	1,11	–
Ликвидамбар смолоносный	–	–	1,7 (1,0...2,5)	30 (20...40)	1,32	–
Дуб скальный	–	–	1,1 (0,6...1,6)	20 (10...30)	0,2	(15...500)

Стенки прозенхимных клеточных элементов и хвойных (трахеиды), и лиственных (волокна либриформа, членики сосудов) не являются сплошными, в них присутствуют отверстия округлой

или щелевидной формы (простые поры), либо отверстия с клапаном, т. е. окаймленные поры. Окаймленная пора — это камера, внутри которой на пористой мембране (маргинальная зона)

расположен клапан (торус), закрывающий поочередно отверстия (порус) с одной или с другой стороны, уравнивая давление жидкости между соседними клетками.

## Анатомия коры

Строение коры коренным образом отличается от строения древесины. Большинство клеток луба — живые. В их состав входят ситовидные клетки, ситовидные трубки и паренхимные клетки округлой формы.

В лубе проводящими элементами являются относительно узкие ситовидные клетки, с заостренными концами, расположенные вертикальными рядами. В листовых породах аналогичную функцию выполняют ситовидные трубки, состоящие из отдельных элементов. Стенки ситовидных клеток и элементов ситовидных трубок перфорированы, поперечные перегородки элементов ситовидных трубок (ситовидные пластинки) имеют крупные поры. Ситовидные клетки и элементы ситовидных трубок — это живые клетки с плазматическим содержимым, но без ядра. Содержимое клеток связано тонкими плазматическими нитями (плазмодесмами), которые проходят через поры.

Паренхимные клетки округлой формы образуют основную массу ткани флоэмы. Они образуют как вертикальную, так и лучевую паренхиму. Лубяные лучи являются непосредственным продолжением сердцевинных лучей и выполняют функцию проведения продуктов метаболизма в радиальном направлении. На некотором расстоянии от камбия радиальное расположение лучей нарушается, они принимают волнистый вид, и в результате увеличения числа клеток могут расширяться и во внешней части луба принимать аркообразную форму.

Луб хвойных пород пронизывают смоляные ходы, окруженные эпителиальными клетками.

К прозенхимным клеткам луба относятся лубяные волокна, представляющие собой длинные (1...3 мм) толстостенные клетки с заостренными перекрывающимися друг друга концами, которые располагаются тангенциальными рядами, и каменистые клетки (склереиды) многогранной формы. Луб хвойных пород содержит значительно меньше лубяных волокон (пихта — 5 %), чем каменистых клеток (сосна — 26 %). Луб, листовых пород более однороден по содержанию — лубяных волокон (ива — 23 %) и каменистых клеток (бук — 24 %). В лубе заметны сезонные изменения размеров клеток, аналогичные образованию ранней и поздней древесины, и временные, связанные с их старением, подобно образованию ядровой древесины. Стенки лубяных волокон в основном состоят из целлюлозы и гемицеллюлоз.

Внешний слой коры (корка) представляет собой в основном мертвую ткань, для которой

характерно сплющивание ситовидных клеток и трубок и расширение клеток вертикальной паренхимы. Этот процесс называется облитерацией. Облитерированную флоэму прерывают имеющие неправильную форму слои перидермы, которая содержит вновь образовавшиеся камбиальные клетки. Перидерма состоит из трех слоев: пробкового камбия — феллогена, феллемы — слоя пробковых клеток, образованных феллогеном с внешней стороны, феллодермы — слоя клеток, в том числе и паренхимных, образованных феллогеном с внутренней стороны. Стенки пробковых клеток тонкие и состоят из трех слоев: наружного лигнифицированного, внутреннего целлюлозного и срединного, содержащего специфические для пробковой ткани вещества — суберин, таннины, а в полостях весенних клеток корки березы содержится мелкозернистое вещество белого цвета — бетулин (лат. *Betula* — береза) [8].

## Лигнификация клеточной стенки и ее строение

Характерная особенность растительных клеток — рост путем растяжения — связана с наличием способной к растяжению прочной оболочки и центральной вакуоли, объем которой в процессе жизнедеятельности может многократно увеличиваться. Это приводит к образованию чрезвычайно вытянутых в одном направлении прозенхимных клеток. Их длина превышает диаметр в десятки, а иногда и в сотни раз. В процессе роста таких клеток наряду с увеличением их длины происходит утолщение их клеточной оболочки за счет отложения в них продуктов метаболизма, в том числе и гидрофобного характера (в первую очередь лигнина). Лигнификация клеточной оболочки обуславливает постепенное отмирание прозенхимной клетки, превращая ее в древесное волокно со сложным слоистым строением клеточной стенки.

С помощью электронного микроскопа была открыта тонкая структура клеточных стенок древесных клеток (рис. 3). На ранней стадии развития клетки — сразу после ее деления и в период роста — протоплазма находится внутри тонкой оболочки, называемой первичной стенкой (*P*). Ее толщина в сухом состоянии не превышает 30 нм, а в природном (набухшем) — 100 нм, но многократно увеличивается в процессе роста клетки.

Межклеточное вещество, соединяющее соседние клетки после прекращения их роста в древесную ткань, носит название истинной срединной пластинки (*M*). В связи с незначительной толщиной первичных стенок даже мертвых клеток и истинной срединной пластинки между ними их часто рассматривают вместе и называют сложной срединной пластинкой (*P + M + P*) (см. рис. 3).



По окончании роста клетки ее стенка утолщается в результате откладывания продуктов биосинтеза во вторичную стенку ( $S$ ). Вторичная стенка состоит из трех слоев:  $S_1$  — наружного,  $S_2$  — среднего и  $S_3$  — внутреннего, отличающихся оптическими свойствами и толщиной (табл. 4).

Межклеточное вещество истинной срединной пластинки имеет однородную структуру и состоит преимущественно из лигнина. Первичная и слои вторичной стенки построены из разнонаправленных целлюлозных волоконцев (фибрилл). Промежутки между ними заполнены гемицеллюлозами и лигнином. Очень тонкая третичная стенка (и гранулярный слой) образуется при отмирании протопласта, и содержит вещество, находящиеся в нем.

### Анатомия древесины и ее химико-технологические свойства

Анатомическая структура используемой древесины оказывает влияние на свойства получаемых из нее волокнистых полуфабрикатов, а значит, на свойства бумаги и картона, изготовляемых на их основе.

С производством волокнистых полуфабрикатов неразрывно связана диффузия различных реагентов в толщу клеточной стенки древесины. На скорость варочных процессов при получении целлюлозы оказывает большое влияние анатомическая структура древесины и морфология древесных волокон.

Первоначальное проникновение варочных растворов в древесину происходит через открытые концы люменов перерезанных анатомических элементов, главным образом трахеид у хвойной и сосудов у лиственной древесины, находящихся на поверхности щепы. Дальнейшее распространение растворов в полости глубже расположенных трахеид у хвойных осуществляется через окаймленные поры, чему способствуют также смоляные ходы и сердцевинные лучи.

Наблюдая за морфологическими изменениями в процессе варки древесины исследователи [10] приходят к выводу о том, что в результате воздействия сульфитной варочной кислоты прежде всего разрушается истинная срединная пластинка, о чем свидетельствует ее набухание и более быстрая по сравнению со слоями клеточной стенки делигнификация.

Микроскопическое исследование В. Бюхнера [10] позволило ему сделать вывод о том, что при сульфитной варке делигнификация в сложной срединной пластинке происходит интенсивнее, чем во вторичной стенке. В сульфатной же целлюлозе, полученной из хвойной древесины, обнаружено значительное количество равномерно распределенного в клеточной стенке остаточного лигнина.

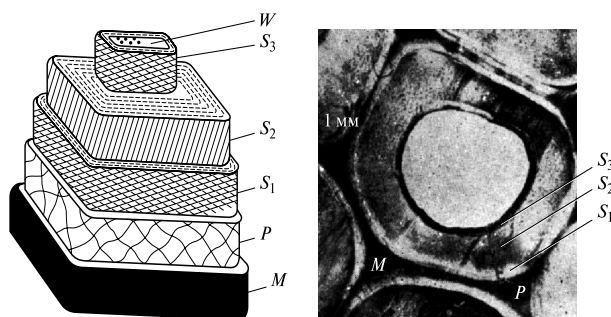


Рис. 3. Схема строения и микрофотография клеточной стенки древесной клетки [9]:  $M$  — срединная пластинка;  $P$  — первичная оболочка;  $S_1$  — наружный слой вторичной оболочки;  $S_2$  — средний слой вторичной оболочки;  $S_3$  — внутренний слой вторичной оболочки;  $W$  — наросты

Fig. 3. Scheme of the structure and micrograph of the cell wall of a wood cell [9]:  $M$  — middle plate;  $P$  — primary shell;  $S_1$  — outer layer of the secondary shell;  $S_2$  — middle layer of the secondary shell;  $S_3$  — inner layer of the secondary shell;  $W$  — growths

Т а б л и ц а 4

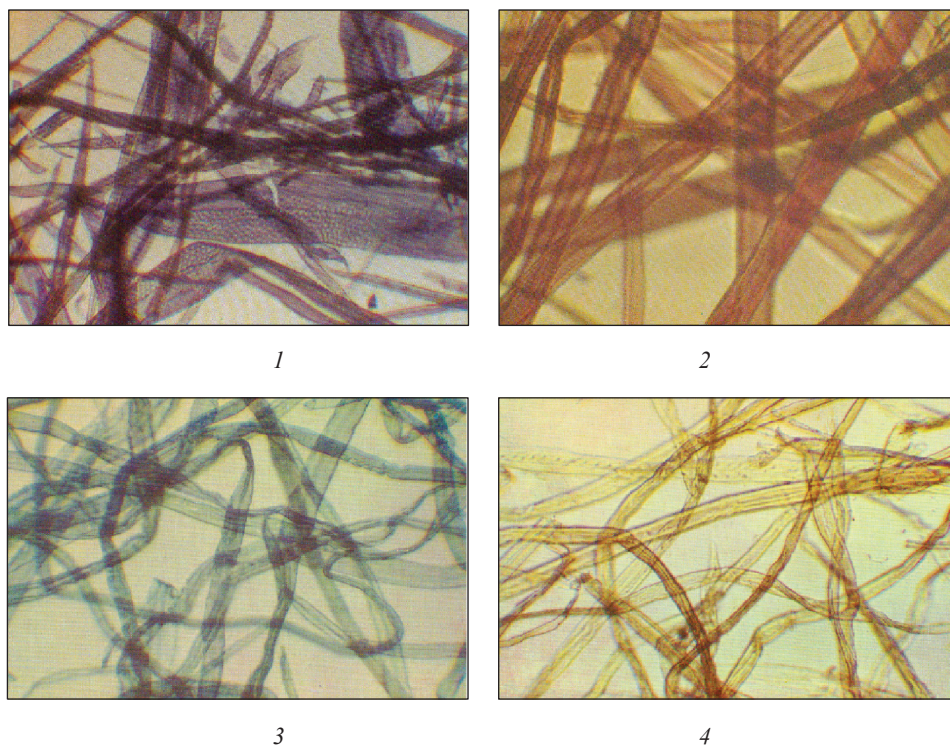
#### Толщина и соотношение слоев стенок весенних трахеид ели

#### Thickness and ratio of wall layers of spring tracheids of spruce

Слой	Толщина, мкм	Соотношение (%) слоев, %
$P$	0,23...0,34	7,0...14,2
$S_1$	0,12...0,35	5,2...10,8
$S_2$	1,77...3,68	73,3...84,0
$S_3$	0,1...0,15	2,7...4,2

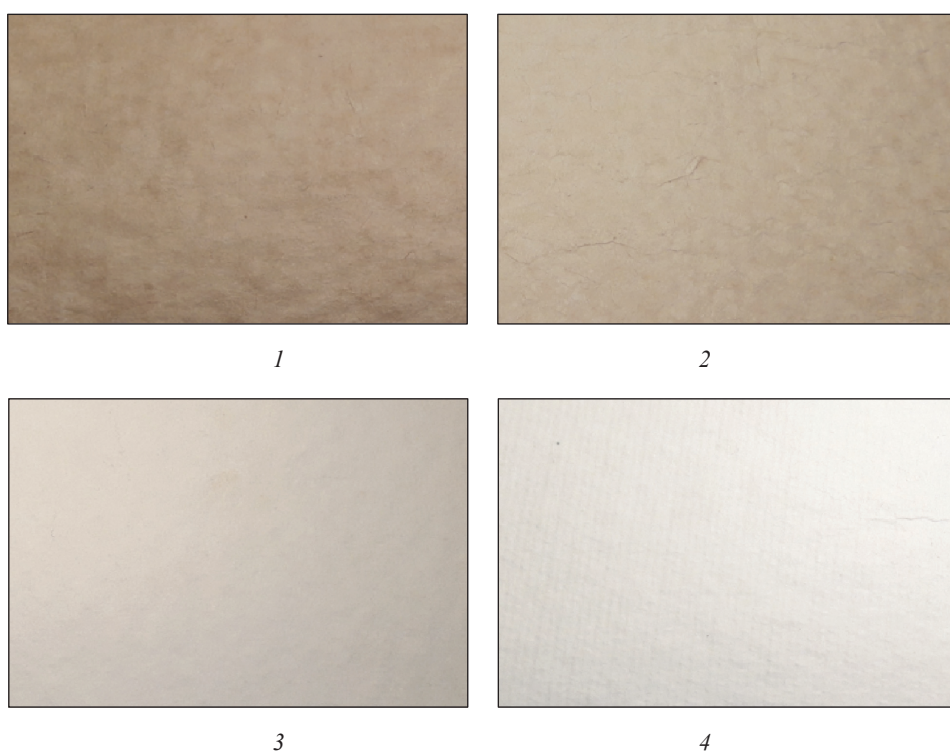
В результате различных условий варки сульфатная и сульфитная целлюлозы отличаются распределением остаточного лигнина в волокнах. Как отмечает Ю.Н. Непенин [17], у сульфатной целлюлозы как лигнин, так и гемицеллюлозы распределены равномерно по толщине клеточной стенки волокна и относительно трудно доступны, чем и объясняется сложность отбеливания, плохая реакционная способность и нелегкий размол сульфатной целлюлозы. У сульфитной целлюлозы остаточный лигнин и гемицеллюлозы сосредоточены в наружном слое вторичной стенки и поэтому более доступны действию химических реагентов и механическому воздействию при размолу (рис. 4, 5) [11].

Различия в бумагообразующих свойствах технических целлюлоз, полученных делигнификацией древесины, обусловлены прежде всего особенностями их морфологического строения и размерами волокон. Важной характеристикой волокон, влияющих на прочностные свойства целлюлозы является их гибкость. О ней можно косвенно судить по отношению длины волокна к ширине [12].



**Рис. 4.** Микрофотографии волокон целлюлозы: 1 — сульфатная небеленая лиственная; 2 — сульфитная небеленая лиственная; 3 — сульфатная беленая хвойная; 4 — сульфатная беленая хвойная

**Fig. 4.** Micrographs of cellulose fibers: 1 — sulfate unbleached deciduous; 2 — sulfite unbleached deciduous; 3 — sulfate bleached coniferous; 4 — sulfate bleached coniferous



**Рис. 5.** Внешний вид целлюлозы смешанных пород: 1 — сульфатная небеленая; 2 — сульфитная небеленая; 3 — сульфатная беленая; 4 — сульфатная беленая

**Fig. 5.** The appearance of cellulose mixed rocks: 1 — sulfate unbleached; 2 — sulfite unbleached; 3 — sulfate bleached; 4 — sulfate bleached



Волокна трубчатого строения способствуют получению пухлых видов бумаги, обладающих повышенной впитывающей способностью. Из волокон ленточного строения обычно получается плотная прочная бумага с сомкнутой поверхностью. Кроме того, такие волокна, даже не размолотые, позволяют получить бумагу с относительно высокими показателями механической прочности. Целлюлоза с трубчатым строением требует больше времени фибриллирования волокон. Толстостенные волокна (толщина стенки 6...8 мкм) легче фибриллируются, а тонкостенные (1,5...2 мкм) более подвержены поперечной рубке.

Волокна твердых лиственных пород древесины, как правило, обеспечивают непрозрачность, пухлость, воздухопроницаемость и впитывающую способность бумаги. Волокна мягких лиственных пород, наоборот, придают бумаге относительно более высокую прозрачность, плотную структуру и высокие показатели сопротивления разрыву.

Волокна большинства лиственных пород при размоле достаточно хорошо сохраняют трубчатую форму в отличие от хвойных, которые становятся плоскими и похожими на ленту, поэтому они придают пухлость бумажному листу.

Главная особенность лиственной целлюлозы — наличие сосудов. Они обладают пониженной прочностью, имеют повышенную жесткость и характеризуются небольшой способностью к сцеплению. В связи с этим при формировании бумажного листа связь волокно — сосуд является довольно слабой, а находящиеся на поверхности частицы сосудов могут с легкостью оторваться от поверхности бумаги, что создает трудности при прохождении бумаги через печатные формы [12].

Пиролиз древесины — это разложение ее основных компонентов под действием высоких температур без доступа кислорода воздуха. В результате подобного воздействия на компоненты лигнотуголеводного комплекса образуется твердый остаток, жидкие и газообразные продукты. Влияние анатомической структуры связано с удалением продуктов распада из зоны пиролиза. При обуглероживании парогазовая смесь из внутренних слоев клеточной стенки движется наружу через полости таких анатомических элементов, как сердцевинные лучи, сосуды, смоляные ходы и т. д. Если рассматривать этот процесс на примере пиролиза древесины сосны и ели, то при прочих равных условиях, уголь из сосны получается более прочным и более качественным, чем еловый. Сердцевинные лучи и смоляные ходы у сосны крупнее, чем у ели, поэтому при пиролизе древесины сосны образующиеся парогазовые продукты легко удаляются из внутренних слоев

древесины, не оказывая заметного давления на стенки клеточных элементов. Для древесины ели этот нежелательный эффект можно избежать с помощью нанесения отверстий на исходной древесной заготовке (рис. 6, 7) [13].

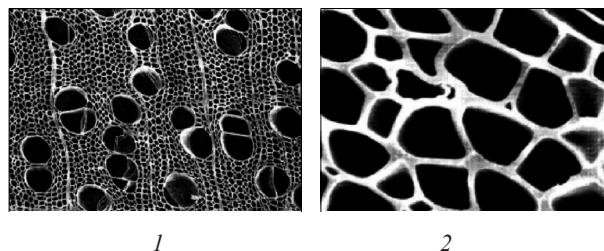


Рис. 6. Микрофотографии древесного угля из березы [14]: 1 — при увеличении 200×; 2 — при увеличении 2000×

Fig. 6. Micrographs of birch charcoal [14]: 1 — with an increase in 200×; 2 — with an increase of 2000×

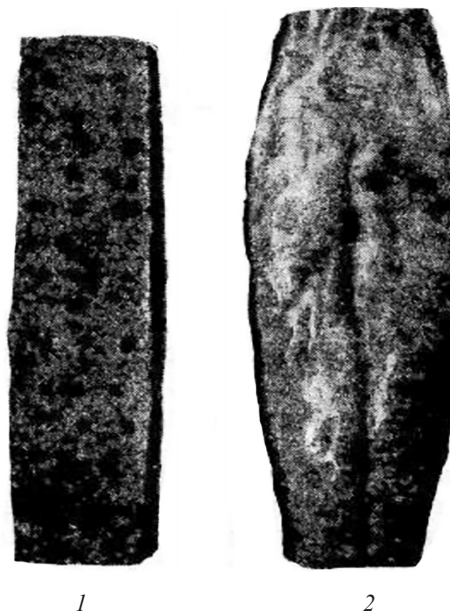


Рис. 7. Внешний вид елового угля, полученного с отверстиями (1) и без отверстий (2) [14]

Fig. 7. Appearance of spruce coal obtained with holes (1) and without holes (2) [14]

Анатомическая структура оказывает также влияние на массоперенос и скорость извлечения экстрактивных веществ из древесины. Так, через единицу площади поперечного сечения массоперенос массы смолистых веществ в 8–9 раз больше, чем через единицу площади боковой поверхности. Скорость извлечения канифоли из торцевой поверхности в 5 раз больше, чем через тангенциальную поверхность, и в 16 раз больше, чем через радиальную [15].

Ядровая древесина лиственных пород менее проницаема, чем заболонная, поскольку сосуды в ней часто перекрыты тилловыми наростами, выступающими через капилляры клеточных стенок.

В ядровой части древесины хвойных пород поры клеточных стенок трахеид часто засмолены или лигнифицированы, вследствие чего проницаемость древесины часто ухудшается. Ранняя древесина, имеющая более широкие люмены и более тонкие перфорированные стенки клеток, пропитывается лучше, чем поздняя.

В живом древесном растении вода с растворенными в ней соединениями движется вдоль ствола, значит, древесина лучше всего приспособлена для проведения воды вдоль ствола. Капиллярная система может быть эффективной для сквозного проведения жидкости поперек волокон в том случае, когда она является достаточно крупной и преодоление в ней сил поверхностного натяжения возможно небольшим внешним давлением. В древесине с более мелкой капиллярной системой происходит глубокое увлажнение образца за счет сил капиллярного поднятия, но преодолеть эти силы небольшое внешнее давление не может.

Микроскопические исследования подтверждают наиболее активное участие сердцевинных лучей, трахеид поздней зоны годичных слоев и горизонтальных смоляных ходов в проведении растворов окрашенных веществ. Вблизи к увлажняемой поверхности окрашиваются почти все ранние и поздние трахеиды, затем начинают встречаться неокрашенные участки трахеид, а далее оказываются окрашенными лишь сердцевинные лучи, которые являются наиболее активными проводниками [16].

Продвижение воды в древесине ядра как вдоль, так и поперек волокон оказывается затруднительным по сравнению с продвижением в древесине заболони. В некоторых лиственных породах эта разница объясняется тиллообразованием. У хвойных, как известно, тиллообразование отсутствует, однако у них есть открытые поры в трахеидах заболони и закрытые — в трахеидах ядра. Влияние анатомического строения древесины на ее проницаемость — важный фактор, влияющий на интенсивность тех или иных технологических процессов химической и механической переработки древесины, в частности гидротермическую обработку, пропитывание, модифицирование, пьезотермическую обработку и т. д. [16–21].

## Выводы

1. Древесина лиственных и хвойных пород обладает системой разнообразных анатомических элементов, выполняющих различные функции.

2. Анатомическое строение древесины характеризуется некоторыми особенностями, влияющими на получение из нее различных полупродуктов.

3. Проницаемость древесины различных пород является следствием ее анатомического строения и имеет важное значение в технологических процессах.

## Список литературы

- [1] Косиченко Н.Е. История анатомии древесины и коры. Воронеж: ВГЛТА, 2002. 76 с.
- [2] Кононов Г.Н., Зайцев В.Д. Древесина как химическое сырье: история и современность. I. Лигноуглеводный комплекс древесины как объект изучения // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2020. Т. 24. № 1. С. 74–89. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-1-74-89
- [3] Лотова Л.И. Ботаника: Морфология и анатомия высших растений. М.: ЛЕНАНД, 2018. 512 с.
- [4] Леонтьев Л.Л. Древесиноведение и лесное товароведение. СПб.: Лань, 2017. 416 с.
- [5] Уголев Б.Н. Древесиноведение и лесное товароведение. М.: МГУЛ, 2007. 351 с.
- [6] Атлас древесины и волокон для бумаги / Под ред. Е.С. Чавчавадзе. М.: Ключ, 1992. 336 с.
- [7] Жизнь растений. В 6 т. Т. IV. Мхи, плауны, хвощи, папоротники, голосеменные растения / Под ред. А.А. Федерова. М.: Просвещение, 1978. 447 с.
- [8] Кононов Г.Н. Дендрохимия. Химия, нахождение и биохимия компонентов клеток, тканей и органов древесных растений. В 2-х т. Т. I. М.: МГУЛ, 2015. 480 с.
- [9] Химия древесины / под ред. М.А. Иванова. М.: Лесная промышленность, 1982. 400 с.
- [10] Бейнарт И.И., Ведерников Н.А. Клеточная стенка древесины и ее изменения при химическом воздействии. Рига: Зинатне, 1972. 510 с.
- [11] Бобров А.И., Мутовина М.Г., Бондарева Т.А., Малышкина В.К. Производство волокнистых полуфабрикатов из лиственной древесины. М.: Лесная пром-сть, 1984. 248 с.
- [12] Фляте Д.М. Свойства бумаги. СПб.: Лань, 2012. 384 с.
- [13] Бронзов О.В., Уткин Г.К., Кислицын А.Н., Морозова О.В., Василевская С.И. Древесный уголь. Получение, основные свойства, области применения древесного угля. М.: Лесная пром-сть, 1979. 137 с.
- [14] Юрьев Ю.Л. Древесный уголь. Справочник. Екатеринбург: Сократ, 2007. 184 с.
- [15] Выродов В.А., Кислицын А.Н., Глухарева М.И. Технология лесохимических производств. М.: Лесная пром-сть, 1987. 352 с.
- [16] Баженов В.А. Проницаемость древесины жидкостями и ее практическое значение. М.: Издательство академии наук СССР, 1952. 93 с.
- [17] Непенин Н.Н., Непенин Ю.Н. Технология целлюлозы. В 3-х т. Том 3. Очистка, сушка и отбелка целлюлозы. Прочие способы получения целлюлозы. М.: Экология, 1994. 592 с.
- [18] Аксенов П.А. Метаболическая активность и гистометрические характеристики структурных элементов древесины // Лесной комплекс в цифровой экономике. Тезисы докладов международного симпозиума, МФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2–5 декабря 2019 г. 2019. С. 60–61.
- [19] Мануковский А.Ю., Курдюков Р.П., Насонова Ю.Ю. Процессы Водопоглощения Древесины // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика, 2014. Т. 2. № 2–3 (7–3). С. 98–102.
- [20] Гриб В.М. Особенности строения корневых систем сосны обыкновенной и их влияние на качество лесовосстановления // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал, 2015. № 2 (344). С. 37–49.
- [21] Снегирева С.Н., Плехина Н.А., Елфимов И.С. Влияние условий произрастания на микроструктуру древесины кольцесосудистых пород // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2017. Т. 5. № 1 (27). С. 108–112.



## Сведения об авторах

**Кононов Георгий Николаевич** — канд. техн. наук, доцент МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), чл.-кор. РАЕН, уч. секретарь секции «Химия и химическая технология древесины» РХО им. Д.И. Менделеева, kononov@mgul.ac.ru

**Зайцев Владислав Дмитриевич** — аспирант МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), kelertak@bk.ru

Поступила в редакцию 31.08.2020.

Принята к публикации 30.09.2020.

## WOOD AS A CHEMICAL RAW MATERIAL. HISTORY AND MODERNITY

### II. WOOD ANATOMY AS A FACTOR OF ITS CHEMICAL ACTIVITY

**G.N. Kononov, V.D. Zaytsev**

BMSTU (Mytishchi branch), 1, 1st Institutskaya st., 141005, Mytishchi, Moscow reg., Russia

kononov@mgul.ac.ru

The article is devoted to the history of studying the anatomy and morphology of woody plants, structural features of the basic anatomical elements inherent in deciduous and coniferous wood. Information is provided on the influence of the structural features of anatomical elements on the properties of fibrous semi-finished products and various types of paper and cardboard obtained from them. The influence of the wood structure of various species on the property of coals obtained as a result of their pyrolysis is shown. The features of the processes of penetration of liquid reagents into wood as a natural heterocapillary system are considered.

**Keywords:** wood, heart, core, sapwood, bast, anatomical elements, cell walls

**Suggested citation:** Kononov G.N., Zaytsev V.D. *Drevesina kak khimicheskoe syr'e. Istoriya i sovremennost'. II. Anatomiya drevesiny kak faktor ee khimicheskoy aktivnosti* [Wood as a chemical raw material. History and modernity. II. Wood anatomy as a factor of its chemical activity]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2020, vol. 24, no. 6, pp. 103–112. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-6-103-112

## References

- [1] Kosichenko N.E. *Istoriya anatomii drevesiny i kory* [The history of the anatomy of wood and bark]. Voronezh: VGLTA, 2002, 76 p.
- [2] Kononov G.N., Zaitsev V.D. *Drevesina kak khimicheskoe syr'e: istoriya i sovremennost'. I. Lignouglevodnyy kompleks drevesiny kak ob'ekt izucheniya* [Wood as a chemical raw material: its history and modernity. I. Lignoharbohydrate complex of wood as an object of study]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2020, vol. 24, no. 1, pp. 74–89. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-1-74-89
- [3] Lotova L.I. *Botanika: Morfologiya i anatomiya vysshih rasteniy* [Botany: Morphology and anatomy of higher plants]. Moscow: Lenand, 2018, 512 p.
- [4] Leont'ev L.L. *Drevesinovedenie i lesnoe tovarovedenie* [Wood science and forest commodity science]. St. Petersburg: Lan', 2017, 416 p.
- [5] Ugolev B.N. *Drevesinovedenie i lesnoe tovarovedenie* [Wood science and forest products]. Moscow: MSFU, 2007, 351 p.
- [6] *Atlas drevesiny i volokon dlya bumagi* [Atlas of wood and paper fibers]. Ed. E.S. Chavchavadze. Moscow: Klyuch, 1992, 336 p.
- [7] *Zhizn' rasteniy. V VI tomah. Tom IV. Mhi, plauny, hvoshchi, paprotniki, golosemnyye rasteniya* [Plant life. In VI volumes. Volume IV Mosses, crowns, horsetails, ferns, gymnosperms]. Ed. A.A. Fyoderov. Moscow: Education, 1978, 447 p.
- [8] Kononov G.N. *Dendrohimiya. Himiya, nanohimiya i biogehimiya komponentov kletok, tkaney i organov drevesnykh rasteniy* [Dendrochemistry. Chemistry, nanochemistry and biogeochemistry of components of cells, tissues and organs of woody plants. In two volumes. Volume I]. Moscow: MSFU, 2015, 480 p.
- [9] *Himiya drevesiny* [Chemistry of wood] Ed. M.A. Ivanov. Moscow: Forest industry, 1982, 400 p.
- [10] Beynart I.I., Vedernikov N.A. *Kletochnaya stenka drevesiny i eyo izmeneniya pri himicheskoy vozdeystvii* [The cell wall of wood and its changes during chemical exposure]. Riga: Knowledge, 1972, 510 p.
- [11] Bobrov A.I., Mutovina M.G., Bondareva T.A., Malysheva V.K. *Proizvodstvo voloknistykh polufabrikatov iz listvennoy drevesiny* [Production of fibrous semi-finished products from hardwood]. Moscow: Forest industry, 1984, 248 p.
- [12] Flyate D.M. *Svoystva bumagi* [Paper properties]. St. Petersburg: Lan', 2012, 384 p.
- [13] Bronzov O.V., Utkin G.K., Kislicyn A.N., Morozova O.V., Vasilevskaya S.I. *Drevesnyy ugol'. Poluchenie, osnovnyye svoystva, oblasti primeneniya drevesnogo uglya* [Charcoal. Obtaining, basic properties, areas of application of charcoal]. Moscow: Forest industry, 1979, 137 p.
- [14] Yur'ev Yu.L. *Drevesnyy ugol'. Spravochnik* [Charcoal. Directory]. Yekaterinburg: Sokrat, 2007, 184 p.
- [15] Vyrodov V.A., Kislicyn A.N., Gluhareva M.I. *Tekhnologiya lesokhimicheskikh proizvodstv* [Technology of forest chemical production]. Moscow: Forest industry, 1987, 352 p.

- [16] Bazhenov V.A. *Pronicaemost' drevesiny zhidkostyami i ee prakticheskoe znachenie* [The permeability of wood to liquids and its practical significance]. Moscow: Publishing House of the Academy of Sciences of the USSR, 1952, 93 p.
- [17] Nepenin N.N., Nepenin Yu.N. *Tekhnologiya tsellyulozy* [Cellulose technology]. Ochistka, sushka i otbelka tsellyulozy. Prochie sposoby polucheniya tsellyulozy [Cleaning, drying and bleaching of cellulose. Other methods for producing cellulose]. In 3 vol. Vol 3. Moscow: Ekologiya [Ecology], 1994, 592 p.
- [18] Aksenov P.A. *Metabolicheskaya aktivnost' i gistometricheskie kharakteristiki strukturnykh elementov drevesiny* [Metabolic activity and histometric characteristics of structural elements of wood]. Lesnoy kompleks v tsifrovoy ekonomike. Tezisy dokladov mezhdunarodnogo simpoziuma [Forestry complex in digital economy. Abstracts of the international symposium], MF MSTU named after N.E. Bauman, December 2–5, 2019, pp. 60–61.
- [19] Manukovskiy A.Yu., Kurdyukov R.P., Nasonova Yu.Yu. *Protsessy Vodopoglashcheniya Drevesiny* [Processes of Water Absorption of Wood]. Aktual'nye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika [Actual directions of scientific research of the XXI century: theory and practice], 2014, v. 2, no. 2–3 (7–3), pp. 98–102.
- [20] Grib V.M. *Osobennosti stroeniya kornevykh sistem sosny obyknovennoy i ikh vliyanie na kachestvo lesovosstanovleniya* [Features of the structure of the root systems of Scots pine and their impact on the quality of reforestation]. Lesnoy Zhurnal (Russian Forestry Journal), 2015, no. 2 (344), pp. 37–49.
- [21] Snegireva S.N., Plyukhina N.A., Elfimov I.S. *Vliyanie usloviy proizrastaniya na mikrostrukturu drevesiny kol'tsesosudistykh porod* [The influence of growing conditions on the microstructure of wood of ring-vascular species]. Aktual'nye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika [Actual directions of scientific research in the XXI century: theory and practice], 2017, t. 5, no. 1 (27), pp. 108–112.

## Authors' information

**Kononov Georgiy Nikolaevich** — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor of the BMSTU (Mytishchi branch), Corresponding Member of the Russian Academy of Natural Sciences, the Scientific Secretary of section «Chemistry and engineering chemistry of wood» RHO of D. I. Mendeleev, kononov@mgul.ac.ru

**Zaytsev Vladislav Dmitrievich** — Graduate student of BMSTU (Mytishchi branch), kelertak@bk.ru

Received 31.08.2020.

Accepted for publication 30.09.2020.