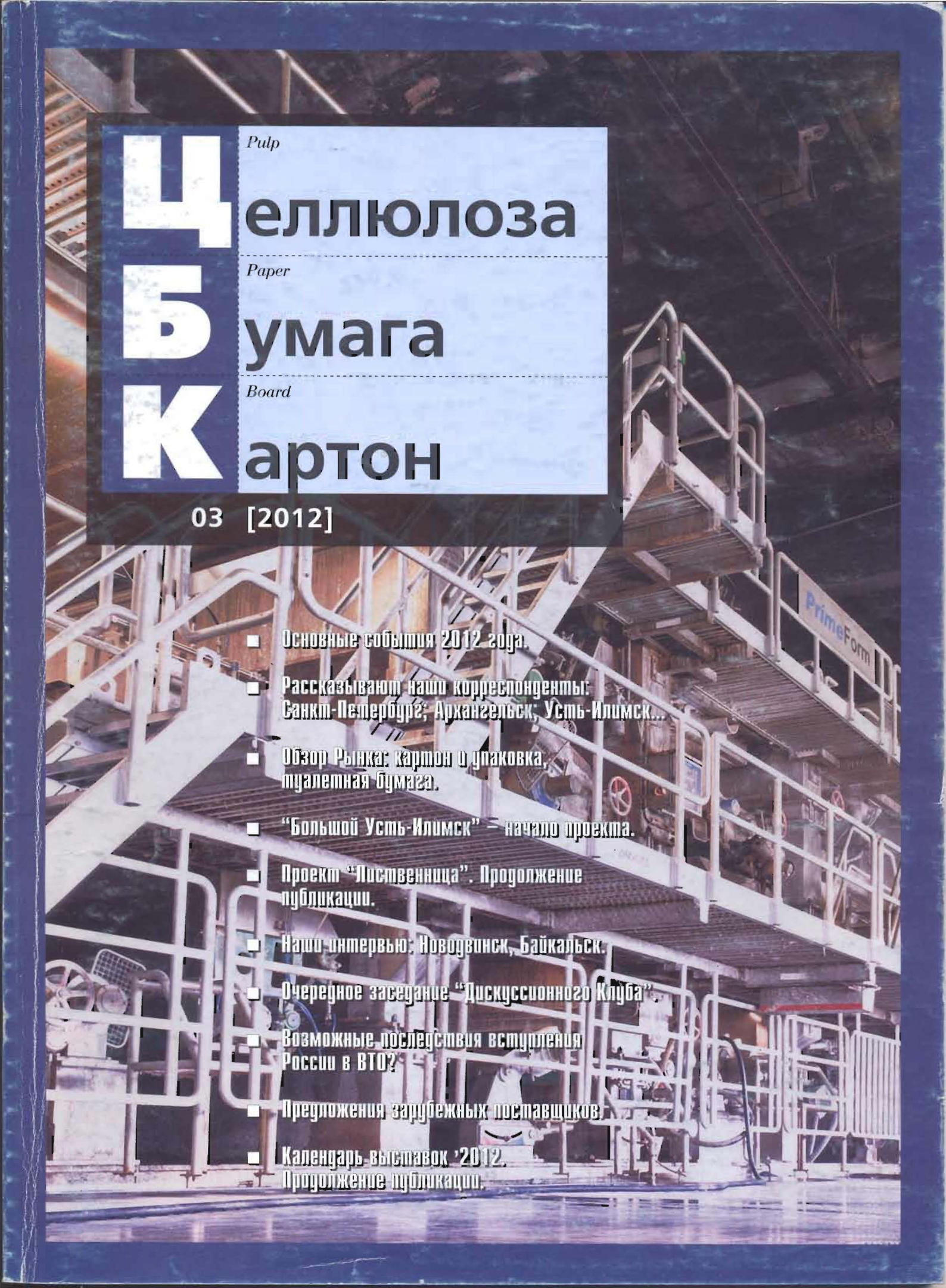




Ц

Pulp

еллюлоза

Б

Paper

умага

К

Board

артон

03 [2012]

- Основные события 2012 года.
- Рассказывают наши корреспонденты: Санкт-Петербург; Архангельск; Усть-Илимск...
- Обзор Рынка: картон и упаковка, туалетная бумага.
- "Большой Усть-Илимск" – начало проекта.
- Проект "Лиственница". Продолжение публикации.
- Наши интервью: Нововинск, Байкальск.
- Очередное заседание "Дискуссионного Клуба".
- Возможные последствия вступления России в ВТО?
- Предложения зарубежных поставщиков.
- Календарь выставок '2012. Продолжение публикации.

Проект «Лиственница»¹. Свойства древесины лиственницы и сосны и влияние на них удаления водорастворимых веществ

Э. Л. Аким, Л. К. Молотков,
Н. Н. Сапрыкина, М. В. Коваленко,
Ю. Г. Мандре, Л. Г. Махотина,
А. Д. Сергеев, Ю. Н. Заяц,
Н. В. Виноградов, Д. С. Казымов,
И. Н. Абрамов, А. А. Таразанов

Из хвойных пород наибольшее использование в промышленности и быту получила древесина сосны вследствие ее широкого распространения и уникальных потребительских свойств (доступность, легкая обрабатываемость и красивая текстура древесины).

Лиственница также широко распространена на огромной территории в таежной части РФ, но используется значительно менее разнонаправленно, чем сосна.

При сравнении отдельных физиологических и морфологических свойств сосны и лиственницы использовались литературные данные [1-7]. При сравнении физических свойств, анатомического строения и химическо-

го состава использовались результаты анализов опытных образцов, заготовленных в Иркутской области. Исследования проводились в СПб ГТУ РП и в Институте высокомолекулярных соединений РАН на сканирующем электронном микроскопе SUPRA 55VP-32-49 фирмы «Carl Zeiss», по ранее изложенным методикам [8, 9]. Общие характеристики некоторых объектов изучения приведены в табл. 1, а их электронные микрофотографии на рис. 1-25.

Лиственница (*Larix* spp.) и сосна (*Pinus* spp.) принадлежат к одному семейству Pinaceae L. и являются одними из самых распространенных хвойных древесных растений Северного полушария. В род «лиственница» входит около 20-ти видов. В Российской Федерации хозяйственное значение имеет лиственница сибирская (*Larix sibirica* L.) и лиственница даурская (*Larix dahurica* T.). Последняя также известна как лиственница Гмелина (*L. gmelinii*).

Лиственница сибирская занимает огромный ареал. Она растет на европейском Северо-Востоке, Урале, в За-

падной Сибири, южно-сибирских горах, на западной окраине Среднесибирского плоскогорья и в Прибайкалье. На севере лиственница сибирская доходит до полярного предела распространения лесов.

Лиственница даурская образует обширные леса в Восточной Сибири, начиная с Забайкалья, в Читинской, Амурской областях и Якутии.

Много лиственницы в Магаданской области, на Камчатке и на острове Сахалин.

В род «сосна» входит около 100 видов. В Российской Федерации от западных до восточных границ широко распространена сосна обыкновенная, или лесная (*Pinus silvestris*) и сосна сибирская (сибирский кедр, *Pinus sibirica*), которая также имеет обширный ареал, простирающийся от верховьев реки Вычегды на северо-востоке европейской части РФ и до верховьев реки Алдан в Восточной Сибири.

Лиственница и сосна формируют древостой в различных условиях произрастания – от заболоченных торфянистых почв до хорошо дренированных и богатых гумусом почв, где лиственни-

¹Проект «Разработка инновационной технологии комплексной переработки древесины лиственницы» осуществляется при финансовой поддержке Минобрнауки России. Проект вышел победителем открытого публичного конкурса по отбору организаций на право получения субсидий на реализацию комплексных проектов по созданию высокотехнологичного производства в целях государственной поддержки развития кооперации российских высших учебных заведений и организаций реального сектора экономики. Инициатором проекта «Лиственница» выступило ОАО «Группа «Илим», совместно с Санкт-Петербургским государственным технологическим университетом растительных полимеров.

ца образует древостой с запасом древесины в спелом возрасте до 1000 м³/га, а сосна – 400-500 м³/га. На почвах низкой производительности лиственница и сосна формируют древостой с запасом древесины 40-80 м³/га. В Сибири лиственница, а также и сосна образуют как чистые, так и смешанные древостой, одно- и разновозрастные.

Лиственница и сосна - породы светолюбивые, отличаются долговечностью до 300-400 лет (лиственница) и до 250-300 лет (сосна).

Спелые и перестойные древостой сосны и особенно лиственницы устойчивы к низовым пожарам, которые в условиях сибирской тайги имели и имеют место почти ежегодно в результате естественных причин (грозы), а в последние десятилетия в значительной степени в результате человеческого фактора. Устойчивость к низовым пожарам у лиственницы и сосны связана с мощным корковым слоем коры в комлевой части деревьев. У лиственницы объем коры достигает 18-25 % от объема древесины. У сосны объем коры у комлевых бревен почти вдвое меньше (10-12 %), но и он надежно защищает лубяную и камбиальную зоны стволов от перегрева. В молодом возрасте у деревьев сосны и лиственницы корковый слой коры сравнительно тонкий. У сосны он оранжевого цвета пленкообразный, а у лиственницы мелко трещиноватый буро-серого цвета.

При многих схожих свойствах (широчайший ареал произрастания, светолюбие, быстрый рост, долговечность, способность формировать различные древостой по составу и возрасту в различных экологических условиях) у лиственницы и сосны имеются и существенные различия.

У пыльцы лиственницы отсутствуют воздушные мешки, что затрудняет ее распространение и обмен генофондом между отдельными популяциями. У сосны пыльца снабжена двумя воздушными мешками, что способствует ее переносу ветром на громадные расстояния. Это обеспечивает, с одной стороны,

Таблица 1.

Некоторые объекты трех сечений древесины лиственницы и сосны

№ рисунка	Вид древесины	Вид препарата		
		Торцевой срез	Радиальный разрез (скол)	Тангентальный разрез (скол)
		Диапазон увеличений препаратов		
1	Лв. заб.	65		
2	С. заб.	500		
3	С. заб.		2990	
4	С. заб.			200
5	С. заб.		1000	
6	Лв. ядро	63		
7	С. заб.	500		
8	С. заб.		200	
9	Лв. ядро		2520	
10	Лв. ядро			5030
11	С. заб.			500
12	С. ядро			5000
13	С. заб.	2000		
14	С. заб.	5000		
15	Л. ядро			2060
16	С. заб.		5000	
17	С. заб.			20000
18	Лв. ядро			9590
19	С. заб.		500	
20	Лв. ядро		1010	
21	С. ядро		10000	
22	Лв. ядро		15000	
23	Лв. заб.		15000	
24	С. заб.		5000	
25	С. заб.		10000	

Таблица 2.

Характеристика трахеид лиственницы и сосны на примере одного годичного слоя в заболони 100-летних деревьев

Вид трахеид	Диаметр трахеид в радиальном направлении, мкм	Ширина полости трахеид в радиальном направлении, мкм	Толщина стенки трахеид, мкм
Древесина сосны			
Ранние	37,3 (22+48)	31,7 (17+41)	2,3+3,3
Поздние	21,4 (13+28)	14,3 (12+21)	3,1+4,4
Древесина лиственницы			
Ранние	48,4 (40,0+54,5)	40,7 (29,1+47,3)	2,7+3,0
Поздние	21,2 (17,3+25,4)	4,0 (1,8+7,3)	7,0+9,6

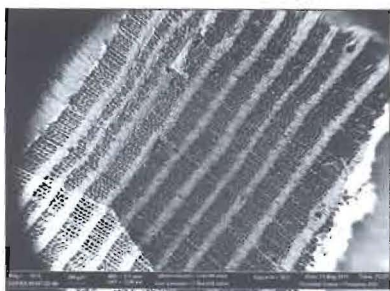


Рис. 1. Торцевой срез. Лиственница.
Заболонь.
Масштаб — 200 мкм

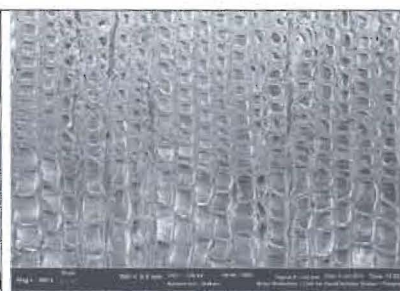


Рис. 2. Торцевой срез. Сосна. Заболонь.
Масштаб — 20 мкм



Рис. 3. Радиальный разрез. Сосна.
Заболонь.
Масштаб — 10 мкм



Рис. 4. Тангентальный разрез. Сосна.
Заболонь.
Масштаб — 100 мкм

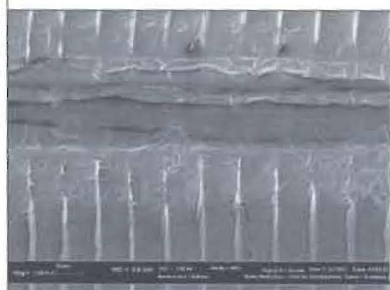


Рис. 5. Радиальный разрез. Сосна.
Заболонь.
Масштаб — 20 мкм

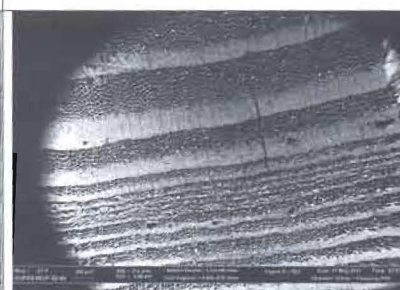


Рис. 6. Торцевой срез. Лиственница.
Ядро.
Масштаб — 200 мкм

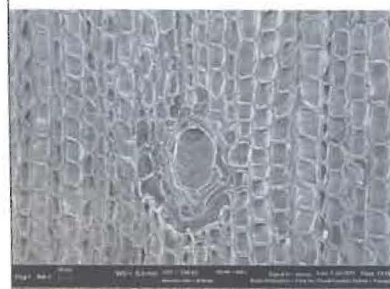


Рис. 7. Торцевой срез. Сосна. Заболонь.
Масштаб — 20 мкм



Рис. 8. Радиальный разрез. Сосна. Заболонь.
Масштаб — 100 мкм

устойчивость признаков вида у очень отдаленных друг от друга популяций, а с другой стороны, передачу и распространение вновь приобретенных полезных свойств.

Хвоя у лиственницы расположена на укороченных побегах пучками по 20-40 штук в каждом. У сосны на укороченных побегах расположены по две хвоинки. Продолжительность жизни хвои у сосны 2-4 года (на востоке ареала до 8-ми лет). Лиственница образует хвою весной и сбрасывает ее осенью. Высокая продуктивность семян с 20 лет у лиственницы и низкая их всхожесть (20 %). Высокая всхожесть семян у сосны (до 90 %), но более редкое (раз в 3-4 года) плодоношение.

В благоприятных условиях местообитания лиственница превосходит по росту в высоту и диаметру сосну и ель. Быстрый рост лиственницы объясняется более продолжительным сезоном роста, который составляет 80 дней против 40-45 дней роста сосны и ели.

Лиственница устойчива в городских условиях и доживает до 300 лет и более.

Сосна чувствительна к дыму, копоти и газам и в городах она медленно растет и постепенно отмирает.

Древесина лиственницы и сосны характеризуется четко выраженными годовыми слоями. У лиственницы и сосны ранняя часть годовых слоев сформирована тонкостенными трахеидальными волокнами с большой полостью и поздними толстостенными с овальной или щелевидной полостью у лиственницы (рис. 1), и с квадратной или прямоугольной полостью у сосны (рис. 2).

Внутри годовичного слоя у сосны ранние трахеиды постепенно переходят в поздние, а у лиственницы в спелой древесине характер перехода ранних трахеид в поздние резкий в пределах одной клетки.

У лиственницы высокая базисная плотность древесины (480-560 кг/м³), в то время как у сосны она значительно меньше (330-460 кг/м³).

Плотность древесины лиственницы и сосны зависит от содержания поздней древесины, толщины оболочек ранних и поздних трахеид и величины люмена.

У сосны содержание поздней древесины в годичных слоях составляет 10-30 %, а у лиственницы 14-50 %.

Минимальное ее количество у обеих пород содержится в ювенильной части ствола, т. е. в его центральной части.

Поздние трахеиды лиственницы существенно отличаются от поздних трахеид сосны по толщине оболочки (более чем в 2 раза) и ширине полос-тей у трахеид (у лиственницы полости трахеид меньше в 3 раза).

Трахеиды же ранней части годичного слоя у сосны и лиственницы по ширине полости трахеид и толщине их оболочки подобны (табл. 2).

Следует также отметить, как у лиственницы, так и у сосны очень широкую изменчивость размерных характеристик трахеид в отдельных их рядах даже в пределах одного годичного слоя.

Вследствие различий в строении поздних трахеид у лиственницы и сосны, плотность древесины лиственницы, состоящей из поздних трахеид значительно больше ($860-1250 \text{ кг/м}^3$), чем у сосны ($720-780 \text{ кг/м}^3$). Плотность же древесины, образованной ранними трахеидами у сосны и лиственницы изменяется в одинаковых пределах и составляет $300-380 \text{ кг/м}^3$.

В ядровой части ствола у лиственницы содержится значительное количество водорастворимых веществ (8-30 %) и относительно небольшое количество смолистых веществ (0,8-1,8 % – петролейный эфир). У сосны наоборот, относительно высокий процент (2,5-3,8 %) смолистых веществ (петролейный эфир) и небольшое количество (2-4 %) водорастворимых веществ. Среди последних у лиственницы преобладает арабиногалактан (до 80 %) и в значительном количестве содержится дигидрокверцетин (до 2 % от массы древесины). У сосны в ядровой части ствола содержится пиносильвин (до 2 % от массы древесины).



Рис. 9 Радиальный разрез. Лиственница. Ядро.
Масштаб — 10 мкм



Рис. 10 Тангентальный разрез. Лиственница. Ядро.
Масштаб — 2 мкм

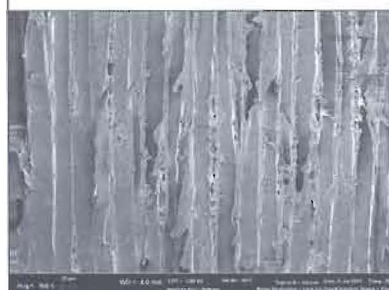


Рис. 11. Тангентальный разрез. Сосна. Заболонь.
Масштаб — 20 мкм



Рис. 12. Тангентальный разрез. Сосна. Ядро.
Масштаб — 2 мкм



Рис. 13. Торцевой срез. Сосна. Заболонь.
Масштаб — 10 мкм

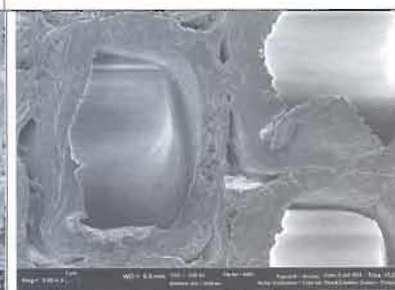


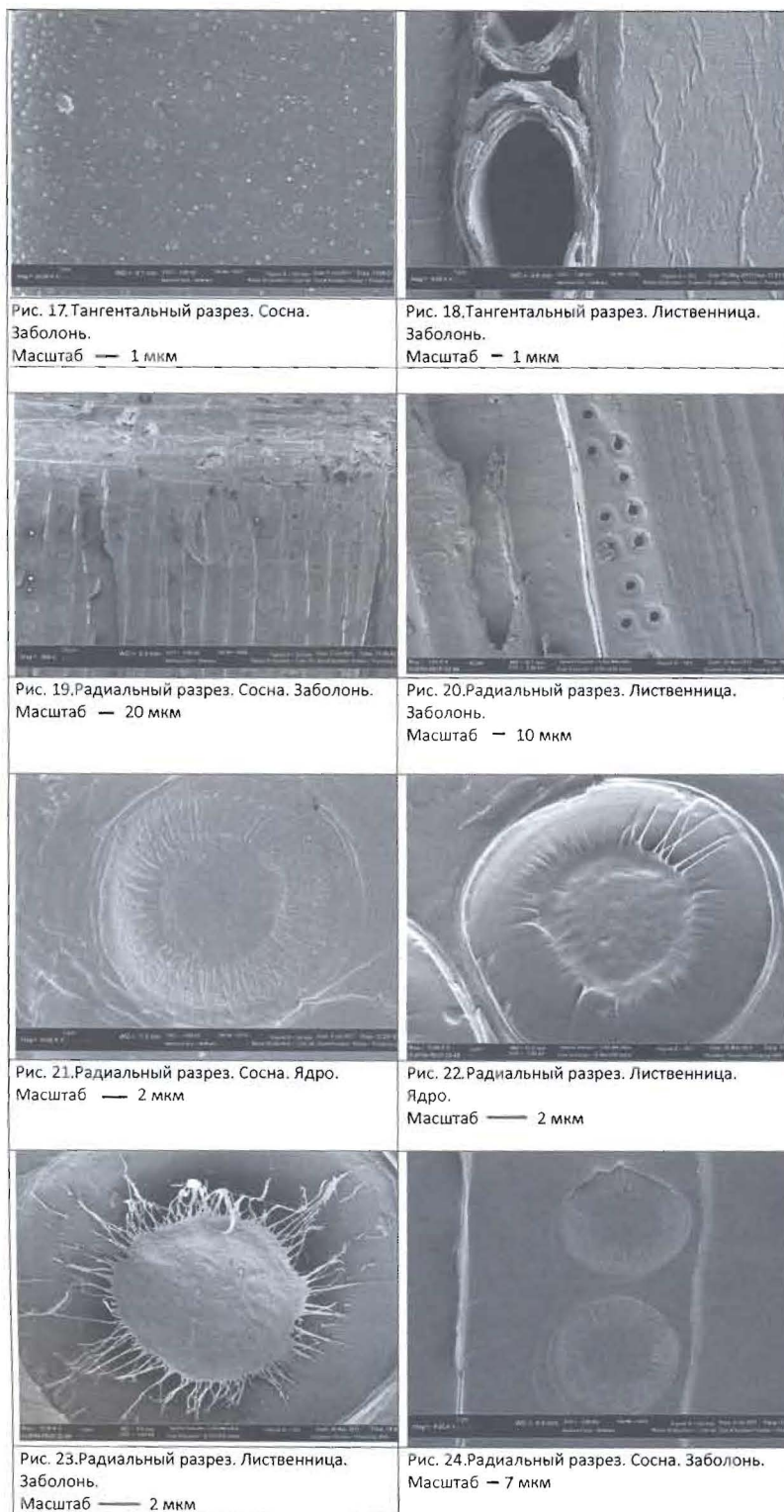
Рис. 14. Торцевой срез. Сосна. Заболонь.
Масштаб — 2 мкм



Рис. 15. Тангентальный разрез. Лиственница. Ядро.
Масштаб — 20 мкм



Рис. 16. Радиальный разрез. Сосна. Заболонь.
Масштаб — 2 мкм



Для древесины ядра лиственницы характерна относительно высокая влажность (60-100 %), а у сосны влажность древесины ядра составляет 28-32 %.

В отличие от сосны в коре лиственницы в промышленном количестве содержатся дубильные вещества.

В объеме древесины трахеиды у лиственницы и сосны занимают 90-93 %, на сердцевинные лучи приходится у лиственницы 6,5-8,0 %, а у сосны 5-6 % ее объема. Смоляные каналы с окружающими их паренхимными клетками занимают менее 1 % объема древесины у лиственницы, а у сосны на их долю приходится от 1,5 до 5,0 % ее объема.

Серцевинные лучи у лиственницы и сосны однорядные и состоят из вытянутых в радиальном направлении клеток (4-12 у сосны, до 18 клеток у лиственницы). Крайние клетки сердцевинных лучей являются лучевыми трахеидами с редкими окаймленными порами (рис. 3).

Через сердцевинные лучи проходят горизонтальные смоляные каналы. У сосны они встречаются довольно часто и нередко в сдвоенном виде (рис. 4, 5).

У лиственницы в сдвоенном виде, а иногда и по три в ряд, встречаются только вертикальные смоляные каналы. Расположены они, в основном, в поздней древесине (рис. 1), а у сосны вертикальные смоляные каналы проходят через ряды ранних трахеид (рис. 7). Все вертикальные смоляные каналы у сосны и лиственницы сопряжены с клетками сердцевинных лучей.

В месте контакта клеток сердцевинных лучей с трахеидами расположены типичные для сосны оконцевые поры. Одна клетка сердцевинного луча, одна трахеида, одна пора. На пересечении клеток сердцевинных лучей с поздними трахеидами расположены также оконцевые поры, но они в 3-4 раза меньше по сравнению с порами ранних трахеид (рис. 8). У лиственницы в месте контакта этих клеток расположены несколько (от 2-х до 6-ти) окаймленных с щелевидным отверсти-

Таблица 3.

Изменение химического состава древесины лиственницы и сосны при удалении водорастворимых веществ

Относительная высота ствола	Содержание основных компонентов, %														
	Целлюлоза						Лигнин						Водорастворимые вещества		
	Исходная древесина			Древесина без водорастворимых веществ			Исходная древесина			Древесина без водорастворимых веществ			Исходная древесина		
	Лиственница	Сосна	Δ	Лиственница	Сосна	Δ	Лиственница	Сосна	Δ	Лиственница	Сосна	Δ	Лиственница	Сосна	Δ
0	41,6	48,8	7,2	50,1	50,7	0,6						17,0	3,7	13,3	
0,1	44,9	49,5	4,6	51,9	51,6	0,3	25,2	26,1	0,9	29,1	27,2	1,9	13,5	4,1	9,4
0,2	46,3	49,9	3,6	51,9	51,8	0,1	23,8	26,2	2,4	26,7	27,2	0,5	10,8	3,6	7,2
0,3	46,7	49,5	2,8	52,6	51,2	1,4	24,9	26,3	1,4	28,0	27,2	0,8	11,2	3,4	7,8
0,4	46,7	50,1	3,4	52,2	52,0	0,2	25,2	26,7	1,5	28,2	27,7	0,5	10,6	3,8	6,8
0,5	46,8	49,7	2,9	51,9	51,7	0,2	25,1	26,3	1,2	27,8	27,3	0,5	9,8	3,8	6,0
0,6	45,7	47,9	2,2	51,3	50,3	1,3	25,3	26,7	1,4	28,4	28,0	0,4	11,0	4,7	6,3
0,7	45,4	47,4	2,0	51,2	50,2	1,0	25,0	26,6	1,6	28,2	28,2	0,0	11,3	5,6	5,7
0,8	44,0	45,5	1,5	49,7	47,7	2,0	25,1	26,4	1,3	28,4	27,7	0,7	11,5	4,7	6,8
Среднее квадратичное (s)		3,72				1,01			1,52			0,84			8,02

ем и округлых простых пор (рис. 9).

Между оболочками клеток сердцевинных лучей и прилегающими к ним оболочками трахеид у лиственницы имеются межклеточные полости, которые проходят в радиальном направлении от центра к периферии ствола дерева (рис. 10). Через эти полости, вероятно, осуществляется газообмен между атмосферой и функционирующими клетками сердцевинных лучей.

В древесине сосны таких межклеточных полостей нет (рис. 11, 12).

У сосны межклеточные полости имеют место между оболочками трахеид т. е. оболочки трахеид контактируют между собой не полностью (рис. 13, 14). У лиственницы межклеточные полости между стенками трахеид не обнаружены.

У лиственницы и сосны строение оболочек у ранних и поздних трахеид, в основном, одинаковое. Хорошо выражена сложная срединная пластинка, первичный слой, состоящий из сетки макрофибрилл (рис. 15), вторичный мощный слой, состоящий из почти вертикально направленных в спелой древесине пучков макрофибрилл, и внутренний слой, состоящий из пучков макрофибрилл, направленных по-

чти под прямым углом к оси волокна (рис. 16). У сосны поверхность внутреннего слоя оболочек трахеид покрыта шаровидными образованиями. Предположительно так называемый «бородавчатый слой» (рис. 17).

У лиственницы, в отличие от сосны, на поверхности внутреннего слоя оболочек поздних трахеид имеется масса «червеобразных» утолщений, направленных по длине волокна (рис. 18), что, вероятно, способствует его упрочнению.

Окаймленные поры у сосны и лиственницы единично встречаются на радиальных стенках оболочек поздних трахеид и в большом количестве (до 40-60 шт.) находятся на радиальных стенках ранних трахеид, особенно на их концах. У сосны окаймленные поры расположены по длине трахеиды в один ряд, а у лиственницы часто в два ряда (рис. 19, 20).

У лиственниц и сосны в ядровой древесине отверстия окаймленных пор перекрыты торусом (рис. 21, 22). В заболонной древесине торус находится в среднем положении внутри окаймленной поры. У лиственницы он как бы висит на отдельных тяжах из макро-



Рис. 25 Радиальный разрез. Сосна. Заболонь. Масштаб — 2 мм

фибрилл (рис. 23), а у сосны торус висит внутри окаймленной поры на частой сетке из макро- и микрофибрилл (рис. 24, 25).

Ранее было отмечено, что древесина лиственницы резко отличается от древесины сосны по содержанию экстрактивных веществ, растворимых в горячей воде. Экстрактивные вещества не являются структурными элементами древесного вещества, основу которых составляет целлюлоза и лигнин. Как видно из данных, представленных в табл. 3, при определении целлюлозы и лигнина в древесинах лиственницы и сосны, из которых были удалены

водорастворимые экстрактивные вещества, существенных отличий между двумя породами выявлено не было. Относительная разница составила лишь 1-3 % и не выходит за пределы погрешности определений. Основное отличие в химическом составе однородной по возрасту древесины сосны и лиственницы – различное содержание экстрактивных веществ. Поэтому при предварительном удалении водозастраиваемых веществ открывается возможность совместной переработки этих пород. Тем самым открываются новые перспективы переработки сибирских пород древесины.

Следует, однако, отметить, что при сходном химическом составе древесины сосны и лиственницы после экстракции морфологическая структура целлюлозы в этих породах несколько отличается. Этот вопрос заслуживает дополнительного изучения.

Заключение

Приведенные выше сведения о свойствах двух самых распространен-

ных в РФ древесных пород, характеризующие их биологические, морфологические свойства и химических состав, позволяют заключить, что основное различие между ними заключается в строении и представленности поздних трахеид в годичных слоях и в содержании водорастворимых веществ в древесине.

При удалении водорастворимых экстрактивных веществ химический состав древесины двух пород становится однороден, что открывает возможности использовать оптимальные технологические режимы для их отдельной или совместной химической переработки.

Список литературы

1. Дылис Н. В. Лиственница. М.: Лесная промышленность, 1981, 96 с.
2. Побединский А. В. Сосна. М.: Лесная промышленность, 1979, 128 с.
3. Лиственница. Труды Сибирского технологического института. Сборник 39, Красноярск, 1964, 466 с.
4. Вихров В. Е. Строение и физико-механические свойства ранней и поздней древесины сибирской лиственницы. АН СССР. Труды института леса, т. IV, 1949, с. 174-194.

5. Дзыга Н. В. Свойства ранней и поздней древесины лиственницы. Труды Сибирского технологического института, Красноярск, 1994, с. 1-4.

6. Жизнь растений в шести томах. Т. 4. Мхи, плауны, хвощи, папоротники, голосеменные растения, М.: Просвещение, 1978, 448 с.

7. ГСССД. Древесина. Химико-технологические свойства древесины зоны хозяйственного освоения БАМ., М., 1986.

8. Аким Э. Л., Молотков Л. К., Сапрыкина Н. Н., Коваленко М. В., Мандре Ю. Г., Махотина Л. Г., Сергеев А. Д., Виноградов Н. В. «Проект лиственница». Электронно-микроскопические исследования анатомического строения древесины лиственницы. Целлюлоза. Бумага. Картон. № 7, 2011, с. 2-7.

9. Аким Э. Л., Молотков Л. К., Сапрыкина Н. Н., Коваленко М. В., Мандре Ю. Г., Махотина Л. Г., Сергеев А. Д., Виноградов Н. В. Ю.Н. Заяц. «Проект лиственница». Электронно-микроскопические исследования арабиногалактана в древесине лиственницы. Целлюлоза, бумага, картон. № 10, 2011, с. 26-32.