

*На правах рукописи*

**ВИНОГРАДОВ НИКИТА ВИКТОРОВИЧ**

**КОМПРЕССИОННЫЕ СВОЙСТВА ДРЕВЕСИНЫ ЛИСТВЕННИЦЫ  
КАК ОСНОВА ОТЖИМНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ИЗВЛЕЧЕНИЯ  
АРАБИНОГАЛАКТАНА**

05.21.03 – технология и оборудование химической переработки биомассы  
дерева; химия древесины

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание учёной степени  
кандидата технических наук

Санкт-Петербург – 2019



## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** Одна из ключевых проблем России – рациональное природопользование и комплексное использование природных ресурсов. Лесные запасы России состоят на 58% из сосны и лиственницы (сибирской и даурской). Древесина лиственницы обладает высокой прочностью и плотностью, а также специфическим химическим составом – содержание арабиногалактана (АГ) – водорастворимого полисахарида составляет от 7 до 30%. Это не позволяло перерабатывать сибирскую и даурскую лиственницу в целлюлозу по традиционным технологиям. При использовании лиственницы только для механической переработки (в домостроительных и мебельных производствах) около половины массы древесины не использовалось. Отсутствие научно-обоснованной технологии переработки лиственницы в целлюлозу делало экономически нецелесообразной ее заготовку. Как в процессе механической переработки лиственницы, так и в процессе подготовки щепы образуется большое количество опилок, которые обычно сжигаются.

В связи с этим одна из актуальных задач для российской ЦБП – создание и реализация инновационной комплексной технологии глубокой переработки древесины лиственницы. Данная диссертационная работа проводилась в рамках реализации проекта "Разработка инновационной технологии комплексной переработки древесины лиственницы" (далее проект «Лиственница») по постановлению Правительства РФ №218. В 2014 году проект был успешно завершён. Разработана технология с предварительной экстракцией АГ горячей водой или чёрным щёлочком. При реализации этой технологии на первых ее стадиях АГ используется как биотопливо, в составе черного щелока. Однако такое его использование не является оптимальным и не может в будущем соответствовать наилучшим доступным технологиям. В рамках проекта было также показано, что АГ является перспективным продуктом для ряда отраслей промышленности и сельского хозяйства, однако его крупнотоннажные рынки еще не сформировались. Для формирования таких рынков актуальной задачей является возможность получения АГ на опытно-промышленных установках, не связанных с производством волокнистых полуфабрикатов, так как это позволит производить арабиногалактан в объемах, необходимых потребителям в конкретный момент времени. Возможным сырьем для таких установок могут являться опилки, полученные при переработке древесины лиственницы; при этом могут применяться не только экстракционные методы, но и методы отжима.

Для разработки методов извлечения АГ представлялось необходимым выяснить, как локализован АГ в морфологической структуре древесины лиственницы. В связи с тем, что изучение компрессионных свойств, особенно в сочетании с другими методами, например, растровой электронной микроскопией, позволит предложить технологические решения для создания опытных и опытно-промышленных установок для производства АГ,

необходимых для формирования перспективных рынков АГ, данная работа является актуальной.

**Цель и задачи исследования.** Целью настоящей работы явилось исследование компрессионных свойств древесины лиственницы и анализ влияния этих свойств на процессы получения АГ, а также на особенности промывки полученных из лиственницы волокнистых полуфабрикатов.

**Постановка задачи.** Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи:

1. Исследование компрессионных свойств древесины лиственницы в условиях одноосного сжатия.
2. Исследование структуры древесины лиственницы и ее морфологических особенностей.
3. Исследование свойств жидкой системы, выдавливаемой из древесины лиственницы при сжатии.
4. Анализ методов экстракции арабиногалактана (АГ) из древесины лиственницы.
5. Анализ возможной роли компрессионных свойств древесины лиственницы и полученных из нее волокнистых полуфабрикатов в процессах целлюлозно-бумажного производства, выявление тех технологических процессов и оборудования, для которых эти свойства имеют значение.

В качестве объектов исследования были взяты образцы древесины лиственницы в виде кубиков и опилок, АГ, полученный экстракцией из щепы, и древесный сок, полученный прямым отжимом из опилок и щепы лиственницы.

**Научная новизна.** С помощью компрессионного метода получена новая информация о морфологической структуре древесины лиственницы. Впервые показано, что АГ присутствует в лиственнице не в сухом виде, а в составе находящейся в полостях трахеид жидкости, отжимаемой в виде «сока» при интенсивном механическом воздействии. Определены специфические отличия морфологического строения и химического состава лиственницы и сосны. Показано, что различия в химическом составе лиственницы и сосны нивелируются при извлечении водорастворимых веществ. Показана высокая анизотропия строения лиственницы как в радиальном и тангенциальном направлениях, так и внутри годовых колец. Резкие различия внутри годовых слоев между трахеидами ранней древесины (тонкие стенки, большие полости) и трахеидами поздней древесины (толстые стенки, маленькие полости) создают предпосылки для механического отжима находящегося в жидком состоянии комплекса «арабиногалактан-вода» из опилок и щепы лиственницы.

**Теоретическая и практическая значимость работы.** Впервые показана возможность извлечения АГ из древесины лиственницы путем непосредственного отжима опилок или щепы. Предложены инновационные методы извлечения АГ из древесины лиственницы путем механического

воздействия – отжима, а также его сочетания с физико-химическим методом – экстракцией.

На основании результатов исследований для промывки целлюлозы с высоким содержанием в композиции лиственницы разработаны рекомендации по выбору оптимального типа промывного оборудования. Показано, что с учетом морфологических особенностей и компрессионных свойств волокон древесины лиственницы, оптимальным оборудованием для промывки такой целлюлозы являются промывные прессы.

**Обоснованность и достоверность.** Обоснованность и достоверность полученных данных и выводов основана на использовании совокупности современных экспериментальных методов, а также согласуются с результатами теоретических и экспериментальных исследований древесины лиственницы.

**Методы исследования.** Для изучения компрессионных свойств древесины лиственницы использовались методы оценки упруго-релаксационных свойств на установке Instron1121 (на Кафедре ТЦКМ). Исследование морфологических особенностей древесины лиственницы проводилось в Институте высокомолекулярных соединений Российской Академии Наук (ИВС РАН) на сканирующем электронном микроскопе SUPRA 55VP-32-49 фирмы «CarlZeiss». Термогравиметрический анализ образцов древесины лиственницы и комплексов «вода-АГ» проводили в Институте химической физики Российской Академии Наук (ИХФ РАН) на приборе синхронного термического анализа STA 449 F3 Jupiter (NETZSCH, Germany) в динамических условиях при охлаждении жидким азотом до  $-70^{\circ}\text{C}$  со скоростью  $2^{\circ}\text{C}/\text{мин}$ , а затем нагреванием с той же скоростью до  $30^{\circ}\text{C}$  в воздушной среде (скорость продувки 20 мл/мин) в алюминиевых тиглях с крышками (работа проводилась с С.З. Роговиной и Т. Зархиной).

**Апробация работы и публикации.**

**Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на следующих Российских и Международных конференциях:**

- Международной научно-практической конференции «Лучшее в технологии, оборудовании и экологии при производстве целлюлозы и других волокнистых полуфабрикатов». Санкт-Петербургская государственная лесотехническая академия имени С.М. Кирова, 2010;
- Международной научно-практической конференции «Лиственница – проблемы комплексной переработки». 6 октября 2011 года, Лесной форум СПб, 2011;
- Международной научной конференции «Биотехнологии в химико-лесном комплексе», Архангельск, 11-12 сентября 2014 года;
- Конференции «Современные тенденции научных исследований в химии и переработке природных полимеров» С.-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна. СПб. 2015;

- Конференции «Леса России: политика, промышленность, наука, образование», СПб ГТЛУ им. Кирова. 2018;
- Международной научной конференции «Современные тенденции развития химии и технологии полимерных материалов», С.-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна. 2018; Международной научно-практической конференция ПапФор 2018, (г. Санкт-Петербург).

По материалам диссертации опубликовано 16 печатных работ, в том числе 8 статей в журналах, рекомендованных ВАК, 1 статья в иностранных изданиях и 7 тезисов докладов на всероссийских и международных конференциях. Работа выполнена в рамках комплексного проекта «Лиственница» в 2010-2014 гг. (Договор от «07» сентября 2010 г. № 13.G25.31.0014 с Минобрнауки России), как часть научно-исследовательского раздела Проекта.

**Личный вклад автора** заключался в непосредственном участии во всех этапах работы от постановки конкретных задач, планирования и выполнения экспериментов до анализа полученных экспериментальных данных, их интерпретации и обобщении, подготовке докладов и публикаций.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, 4 глав, выводов, списка используемой литературы (172 наименования). Работа изложена на 152 страницах, содержит 10 таблиц и 84 рисунка.

**Автор защищает:**

- результаты исследования компрессионных свойств древесины лиственницы и свойств жидкости, выдавливаемой при сжатии древесины лиственницы;
- совместное использование комплекса методов (одноосного сжатия, сканирующей электронной микроскопии, дифференциальной сканирующей калориметрии) для оценки специфических особенностей древесины лиственницы;
- применение отжимных методов для частичного извлечения АГ из опилок лиственницы.

## **СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Во введении** обоснована актуальность работы, сформулирована цель и задачи исследования, показаны научная новизна и практическая значимость работы.

**В первой главе** приведён обзор литературы: рассмотрены вопросы, связанные с морфологическим строением древесины лиственницы, а также ее химическим составом. Особое место в обзоре уделено исследованию древесины лиственницы и арабиногалактана в рамках проекта «Лиственница».

**Во второй главе** приводятся описания методов сжатия образцов древесины лиственницы, электронно-микроскопического исследования анатомического строения древесины и термогравиметрического

исследования древесины лиственницы, раствора арабиногалактана и отжатого сока лиственницы.

В третьей главе приведены результаты исследования компрессионных свойств древесины лиственницы в условиях одноосного сжатия. Целью данного раздела работы являлось изучение компрессионных свойств древесины лиственницы в различных областях по диаметру спила (сердцевина, заболонь, пограничная область) и в разных направлениях (тангенциальном, торцевом и радиальном), а также изменение компрессионных свойств под действием воды. На представленных на рис. 1 кривых сжатия образцов сердцевинной зоны древесины лиственницы показаны различия в ее компрессионных свойствах в трех направлениях.

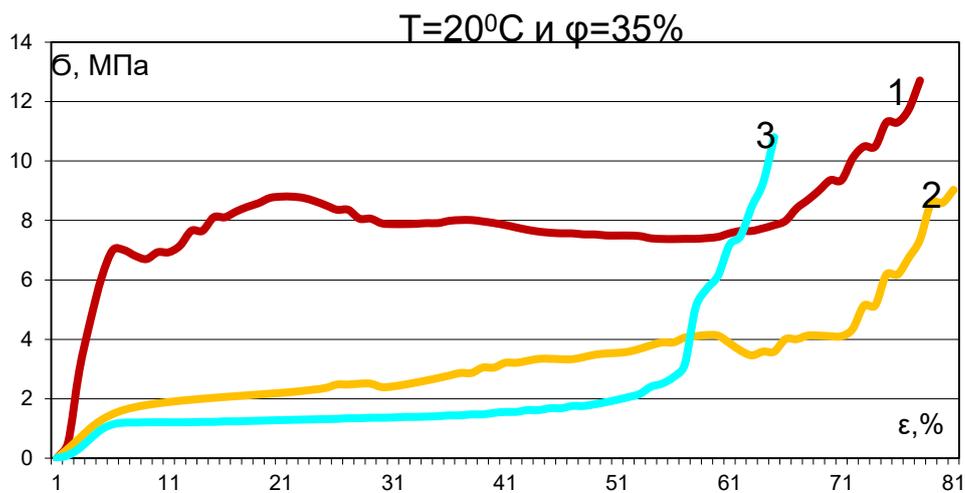
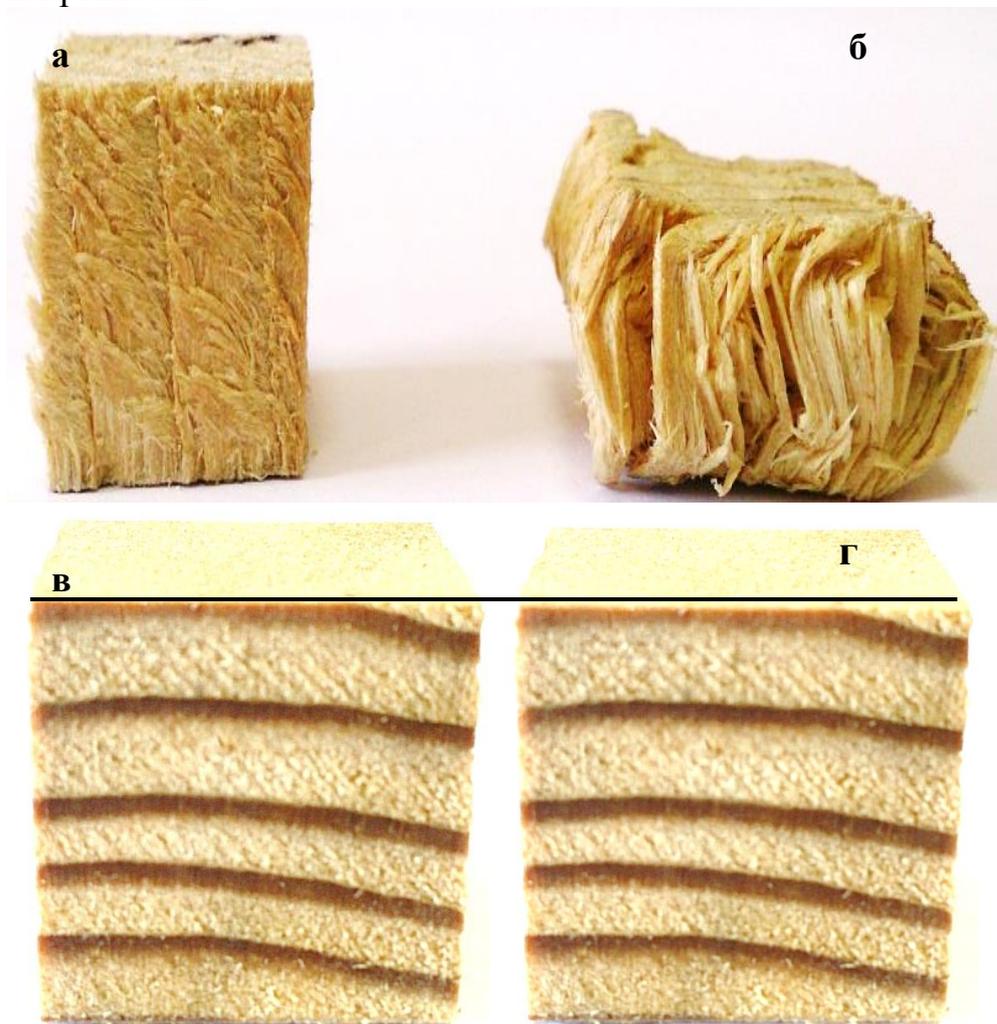


Рисунок 1 - Кривые сжатия образцов сердцевинной зоны древесины лиственницы (при деформировании на воздухе, при 20°C) в различных направлениях: 1-торцевое сжатие (вдоль волокон), 2 – в тангенциальном направлении; 3 - в радиальном направлении

Как и ожидалось, сжатие в продольном направлении (кривая 1, рис. 1) отличается от сжатия в поперечном (тангенциальном - кривая 2 или радиальном - кривая 3) направлениях. Большого внимания заслуживает то, что для лиственницы обнаруживаются существенные различия между компрессионными свойствами в радиальном и тангенциальном направлениях. Напряжение деформации при сжатии в радиальном направлении изначально ниже, чем при сжатии в тангенциальном направлении, однако рост напряжения деформации при сжатии в радиальном направлении начинается раньше, чем при сжатии в тангенциальном направлении, и выражен более резко. Имеет место и разный характер разрушения (рис. 2). При сжатии образцов вдоль волокон разрушение происходит в результате сдвига слоев в плоскости, наклоненной к продольной оси под углом 45÷60°. При сжатии в тангенциальном направлении происходит скол древесины по линиям перехода поздней

древесины в раннюю. При радиальном сжатии, после снятия нагрузки происходит практически полное восстановление образца.

При проведении экспериментов было также установлено, что при сжатии из кубиков древесины выделяется жидкость – «сок лиственницы» (рис. 3), причем наибольшее количество выделяется при сжатии в радиальном направлении.



**Рисунок 2 - Разрушение образцов древесины лиственницы при торцевом деформировании (а,б) и восстановление образцов древесины лиственницы после деформирования в радиальном направлении и снятия нагрузки (в,г)**



**Рисунок 3 - Выделение жидкости при сжатии кубика древесины лиственницы**

Это позволяет предложить отжим как метод извлечения «сока» лиственницы из капиллярно-пористой структуры древесины или опилок лиственницы. При этом отжатые опилки можно использовать для получения брикетов, либо для варки целлюлозы, например, на Усть-Илимском филиале АО «Группа «Илим» существует линия по получению целлюлозы из опилок.

В табл. 1 приведены данные по электропроводности и рН «сока», выделенного при сжатии кубиков из различных областей поперечного среза древесины лиственницы. Как видно из приведенных данных, отжимаемая жидкость имеет кислый рН, особенно в сердцевинной части. Как известно, именно в этой части локализована основная часть АГ.

**Таблица 1 - Электропроводность и рН выделенных жидких фракций**

Область	рН	Электропроводность, $\mu$ S/cm
Серцевинная	3,72	313
Пограничная зона	5,82	327
Заболонь	5,01	382

**Исследование структуры древесины лиственницы и ее морфологических особенностей.** Для объяснения причин различий компрессионных свойств древесины лиственницы в радиальном и тангенциальном направлениях были проведены электронно-микроскопические исследования древесины лиственницы. Попутно рассматривался вопрос локализации АГ. На рис. 4 приведены электронные микрофотографии структуры древесины лиственницы до – «а» и после – «б» удаления АГ, а на рис. 4 «в» и «г» -сопоставление торцевого среза лиственницы «в» и сосны «г». Срез древесины лиственницы после удаления арабиногалактана (рис. 4б) позволяет четко увидеть различия между ранней и поздней древесиной лиственницы. Из анализа снимков до извлечения АГ (рис. 4а) отчетливо видно, что все поверхности древесины покрыты «пленкой», которая исчезает после экстракции водой (рис. 4б). Проведенные электронно-микроскопические исследования древесины лиственницы позволяют предположить, что АГ локализован внутри полостей волокон ранней древесины. Анализ фотографий позволяет объяснить наблюдающиеся на рис.1 различия в кривых. Причиной разницы компрессионных свойств в радиальном и тангенциальном направлениях являются большие различия в морфологии ранних и поздних волокон. Так, при сжатии в радиальном направлении при деформациях до 50-55% сжимаются только слои ранней древесины и лишь затем начинается сжатие слоев поздней древесины. При сжатии в тангенциальном направлении нагрузка распределяется на слои поздней древесины и деформирование слоев ранней древесины практически не сказывается на начальной части кривой. Сопоставление микрофотографий древесины лиственницы и сосны (рис. 4 в и г) показывает, что у лиственницы

и сосны ранняя часть годовичных слоев сформирована тонкостенными трахеидальными волокнами с большой полостью и поздними толстостенными с овальной или щелевидной полостью у лиственницы (рис. 4в), и с квадратной или прямоугольной полостью у сосны (рис. 4г).

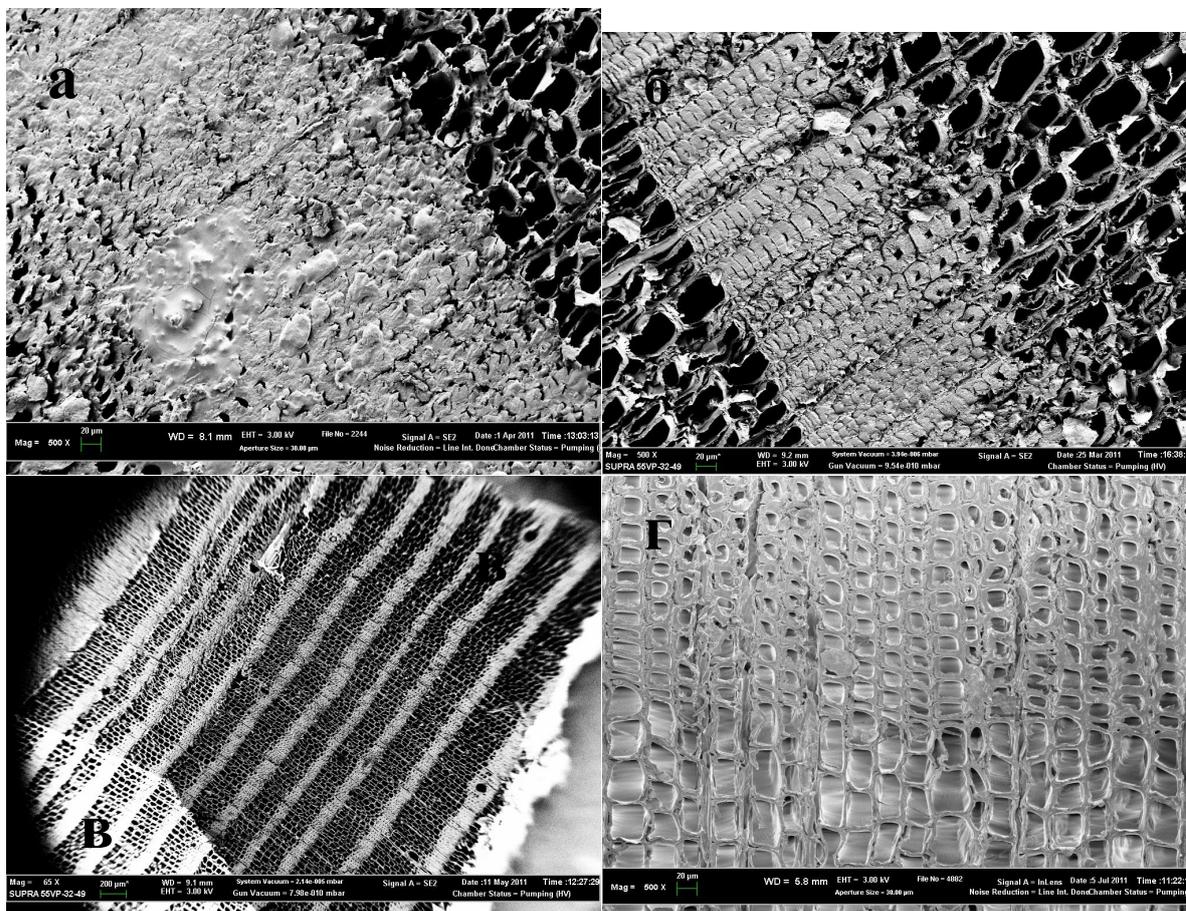


Рисунок 4 - Электронная микрофотография древесины лиственницы до «а» и после «б» удаления АГ и сопоставление торцевого среза лиственницы «в» и сосны «г»

Таблица 2 - Морфологические различия трахеид лиственницы и сосны (на примере одного годовичного 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)	<b>31,7</b> (17 – 41)	2,3 – 3,3
Поздние	21,4 (13 – 28)	<b>14,3</b> (12 – 21)	<b>3,1 – 4,4</b>
Древесина лиственницы			
Ранние	48,4 (40,0 – 54,5)	<b>40,7</b> (29,1 – 47,3)	2,7 – 3,0
Поздние	21,2 (17,3 – 25,4)	<b>4,0</b> (1,8 – 7,3)	<b>7,0 – 9,6</b>

**Таблица 3 - Влияние экстракции водорастворимых веществ (ВРВ) на химический состав древесины лиственницы (Л) и сосны (С)**

	До экстракции		Δ (С-Л)	После экстракции		Δ (С-Л)
	лиственница	сосна		лиственница	сосна	
Целлюлоза, %	45,4	48,7	<b>+3,36</b>	51,4	50,8	<b>-0,62</b>
Лигнин, %	25,0	26,4	<b>+1,3</b>	28,1	27,6	<b>-0,48</b>
ВРВ, %	11,9	4,2	<b>-7,7</b>			

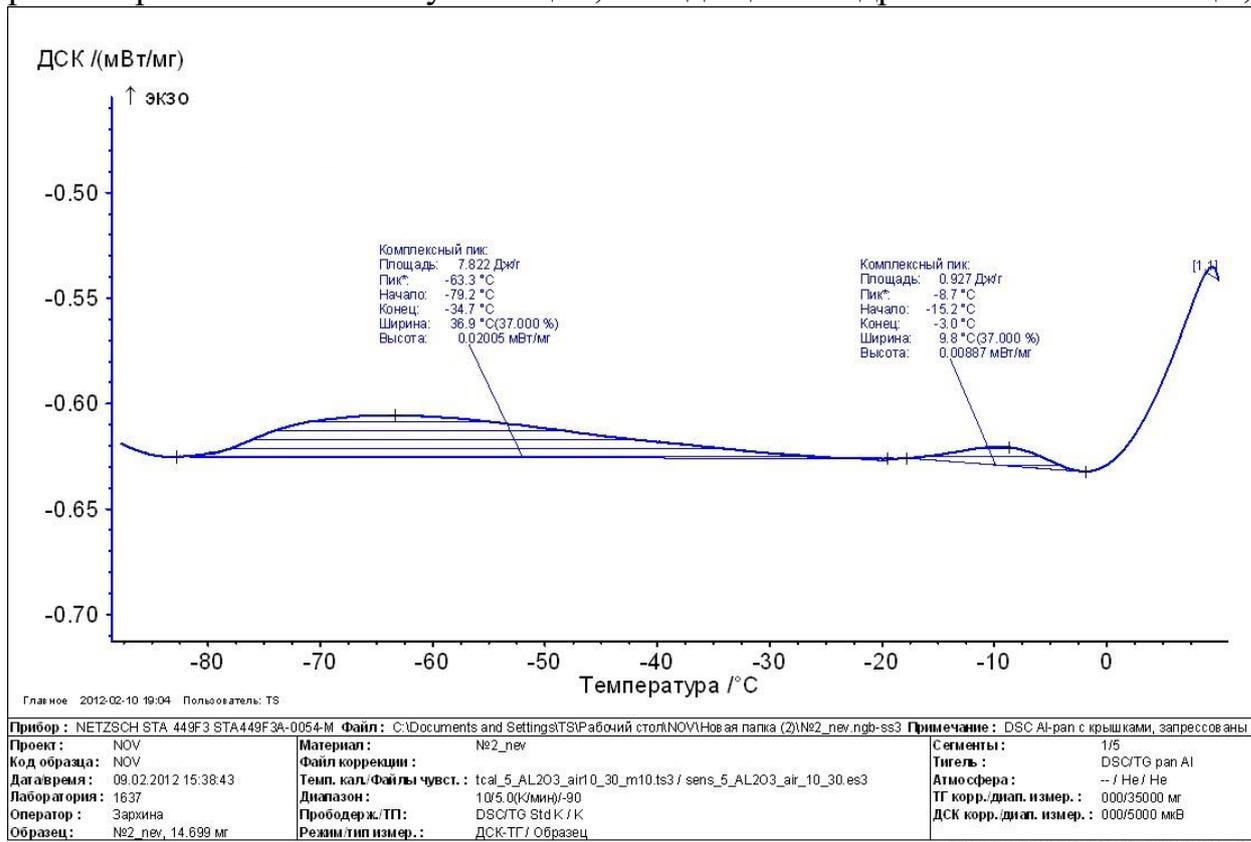
Внутри годичного слоя у сосны ранние трахеиды постепенно переходят в поздние, а у лиственницы в спелой древесине характер перехода ранних трахеид в поздние резкий. В то же время трахеиды лиственницы, особенно поздние, существенно отличаются от поздних трахеид сосны по толщине оболочки (более чем в 2 раза) и ширине полостей 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. 1).

Анализ химического состава лиственницы и сосны показал (табл.3), что основным отличием в химическом составе однородной по возрасту древесины сосны и лиственницы является различное содержание экстрактивных веществ. Экстракция водорастворимых веществ практически нивелирует химические различия в древесине сосны и лиственницы. Тот факт, что предварительное удаление водорастворимых веществ нивелирует различие в химическом составе пород, открывает возможность совместной переработки этих пород. Эти данные объясняют возможность совместной переработки лиственницы и сосны, реализованной на Братском филиале АО «Илим» в 2014 году в рамках проекта «Лиственница».

Выше уже отмечалось, что содержащийся в лиственнице «сок» имеет кислый рН (табл.1). Это приводит к дополнительному расходу активной щелочи при варке непроэкстрагированной древесной щепы или опилок лиственницы. Именно по этой причине в ходе выполнения проекта «Лиственница» было предложено использовать для экстракции черный щелок, или осуществлять экстракцию в две ступени (водой и черным щелоком). При экстракции щепы перед варкой черным щелоком кислые компоненты, обуславливающие это понижение рН, нейтрализуются остаточной щелочью черного щелока, что приводит к экономии при варке активной щелочи. В тоже время, повышенная электропроводность выжимаемой жидкости позволяет использовать метод электропроводности для контроля за процессом водной экстракции при проведении двухступенчатой (водной и черным щелоком) экстракции для перехода ко второй стадии – экстракции черным щелоком.

**Термогравиметрический анализ образцов древесины лиственницы и комплексов «вода-арабиногалактан».** Для исследования свойств жидкой

системы, выдавливаемой из древесины лиственницы при сжатию, для рассмотрения состояния субстанции, находящейся в древесине лиственницы,



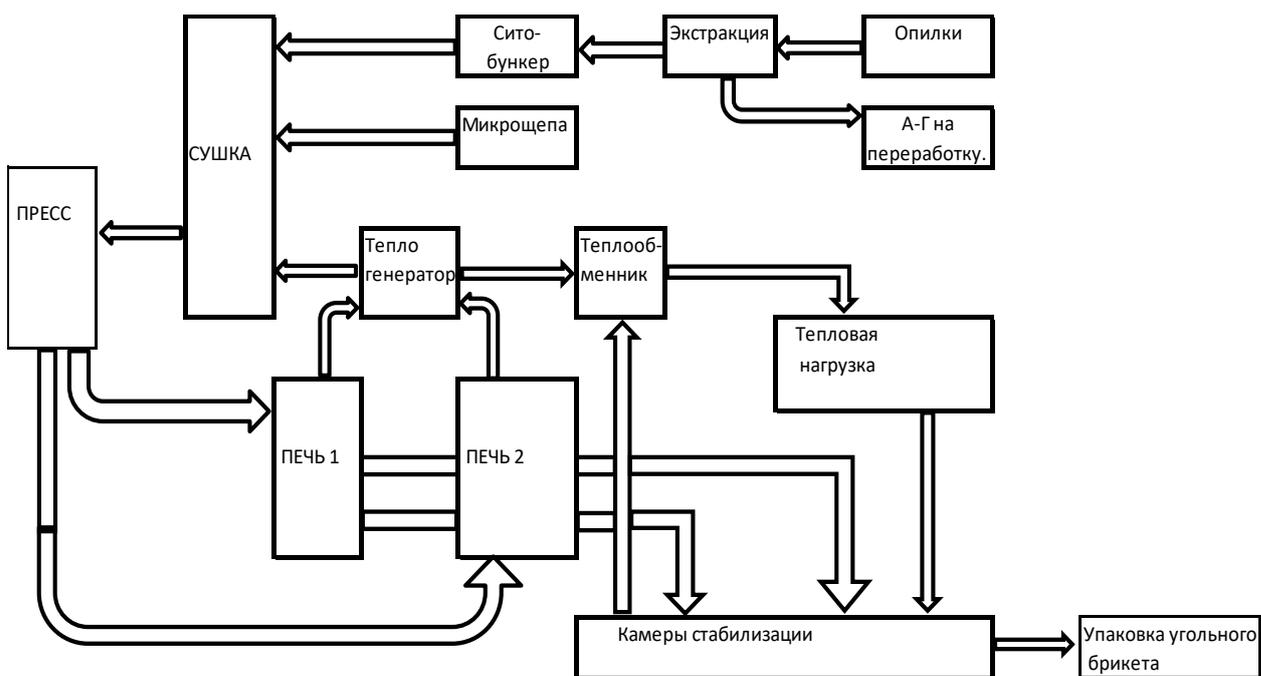
**Рисунок 5 - Термогравиметрический образцов древесины лиственницы – опилок, полученных из средней части ядра**

был использован метод дифференциальной сканирующей калориметрии. Рассмотрим анализ древесины лиственницы и «раствора» арабиногалактана. При проведении сканирующей калориметрии опилок (рис.5) наблюдаются растянутые во времени пики: от  $-15,2^{\circ}\text{C}$  до  $-3,0^{\circ}\text{C}$  и от  $-79,2^{\circ}\text{C}$  до  $-63,3^{\circ}\text{C}$ . Характер пиков значительно отличается от характера пиков при замерзании чистой или соленой воды. Фазовый переход в системе «арабиногалактан-вода» начинается при  $-17^{\circ}\text{C}$  при содержании АГ 26%, и при  $-28,3^{\circ}\text{C}$  при содержании 60%, а в древесине лиственницы - при  $-3^{\circ}\text{C}$  и  $-37^{\circ}\text{C}$ . Эти данные позволяют предполагать, что в лиственнице «сок», содержащий АГ играет роль криопротектора. Они позволяют объяснить, как лиственница произрастает в зоне вечной мерзлоты, а при сильных морозах не «взрывается» (аналогично сосне) из-за замерзания внутренней воды в капиллярах.

**В четвертой главе** приведены технологические рекомендации, вытекающие из результатов исследований, дан анализ роли компрессионных свойств древесины лиственницы при получении из нее арабиногалактана, а также компрессионных свойств волокон, полученных из древесины лиственницы волокнистых полуфабрикатов при выборе промывного оборудования для целлюлозы с высоким

**содержанием волокон лиственницы.** Как было показано выше, арабиногалактан, как основной гемицеллюлозный компонент древесины лиственницы, находится в древесине в жидком состоянии. Важнейшим технологическим следствием из этого является то, что задача извлечения АГ из древесины лиственницы (находящейся в виде щепы или опилок) может рассматриваться как типичная задача разделения твердой и жидкой фаз. Таким образом, при извлечении АГ из опилок лиственницы возможно использование не только метода экстракции, но и отжима арабиногалактаносодержащего «сока», например, с одновременным производством топливных пеллет или брикетов из опилок.

Кроме того, возможна и комбинация методов экстракции и отжима. Таким образом, опилки древесины лиственницы, на долю которых при переработке приходится около 10% от массы заготавливаемой древесины, являются перспективным сырьем для промышленного производства АГ. Объем такого производства будет определяться только реальными потребностями рынка и не будет завязан на производство, например, волокнистых полуфабрикатов из лиственницы.



**Рисунок 6 - Принципиальная схема переработки опилок лиственницы на биотопливо с получением арабиногалактана**

Самостоятельным вопросом является и вопрос о влиянии особенностей морфологического строения волокон лиственницы на важный технологический этап в производстве целлюлозы - промывку. Особенности морфологической структуры древесины лиственницы должны учитываться и при выборе промывного оборудования. В настоящее время, в связи с переходом на наилучшие доступные технологии для целлюлозно-бумажных предприятий России актуален переход на бесхлорную отбелку, важнейшим элементом которой является кислородная делигнификация целлюлозы. Для

эффективной работы ступени кислородной делигнификации и ступеней отбеливания крайне важна эффективная промывка как перед, так и после ступени кислородной делигнификации. Эффективная промывка предотвращает перенос органических загрязнений между ступенями, сокращая потребление реагентов на ступени делигнификации и на ступенях отбеливания. С экологической точки зрения, учитывая расход воды на промывку, наиболее эффективным промывным оборудованием являются промывные прессы. Результаты исследования компрессионных свойств древесины лиственницы позволяют дать рекомендации по использованию промывных прессов для промывки целлюлозы из лиственницы. Современное промывное оборудование по принципу действия разделяется на диффузионное и компрессионное. Структура ранних волокон лиственницы с большими полостями и тонкими стенками однозначно предполагает выбор компрессионного метода промывки, т.к. удаление жидкости, находящейся внутри больших полостей, диффузионным методом затруднено.

### **Выводы по диссертационной работе**

1. На основании исследования компрессионных свойств древесины лиственницы в условиях одноосного сжатия показано, что древесина лиственницы имеет большую анизотропию в различных направлениях (радиальном, тангенциальном и продольном). Установлено, что при сжатии древесины лиственницы на торцах образца наблюдается выделение содержащей арабиногалактан жидкости, имеющей кислый pH и повышенную электропроводность. Это должно учитываться при разработке технологии варки древесины лиственницы.

2. С использованием методов электронной сканирующей микроскопии и дифференциальной сканирующей калориметрии показано, что арабиногалактан находится в древесине лиственницы не в изолированном состоянии, а в виде находящегося в жидком состоянии аквакомплекса «арабиногалактан-вода», локализованного, прежде всего, в слоях ранней древесины сердцевинной части ствола. Поэтому удаление АГ из древесины может быть осуществлено достаточно легко перед варкой.

3. Методом электронной сканирующей микроскопии показана большая разница в структуре слоев ранней и поздней древесины лиственницы и отличие морфологической структуры лиственницы и сосны. Сравнительное изучение изменения химического состава древесины этих пород показало, что предварительное удаление водозэкстрактивных веществ нивелирует различия в химическом составе сосны и лиственницы; это открывает возможность совместной переработки данных пород.

4. На основании исследования компрессионных свойств древесины лиственницы предложены технологические решения и рекомендации по извлечению аквакомплекса «арабиногалактан-вода» в качестве товарного продукта. Показана возможность получения арабиногалактана путем прямого отжима из опилок лиственницы. Это позволяет предложить прямой отжим как метод частичного извлечения арабиногалактана из древесины

лиственницы, а сочетание методов отжима и экстракции – для полного извлечения арабиногалактана.

5. Полученные результаты были использованы при проектировании реконструкции технологической линии производства угледревесных брикетов с добавлением стадии производства арабиногалактана на ООО «Лесная технологическая компания».

**Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:**

**Статьи в рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК:**

1. Виноградов, Н. В. Инновационные технологии для российской ЦБП / Н. В. Виноградов // Целлюлоза. Бумага. Картон. - 2009. - №2. - С. 89-91.
2. Аким, Э. Л. Проект «Лиственница». Электронно-микроскопические исследования анатомического строения древесины лиственницы / Э. Л. Аким, Л. К. Молотков, Н. Н. Сапрыкина, М. В. Коваленко, Ю. Г. Мандре, Л. Г. Махотина, А. Д. Сергеев, Н. В. Виноградов // Целлюлоза. Бумага. Картон. - 2011.- № 7. - С. 2-7.
3. Аким, Э. Л. Проект «Лиственница». Электронно-микроскопические исследования арабиногалактана в древесине лиственницы / Э. Л. Аким, Л. К. Молотков, Н. Н. Сапрыкина, М. В. Коваленко, Ю. Г. Мандре, Л. Г. Махотина, А. Д. Сергеев, Н. В. Виноградов, Ю.Н. Заяц // Целлюлоза. Бумага. Картон. - 2011.- № 10. - С. 26-32.
4. Аким, Э. Л. 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, Н. В. Виноградов, Ю. Н. Заяц, Д. С. Казымов, И. Н. Абрамов, А. А. Таразанов // Целлюлоза. Бумага. Картон. - 2012. - №3. - С. 32-38.
5. Мандре, Ю. Г. Резервы водо-сбережения при реконструкции сульфатцеллюлозных заводов. (Часть 1) / Ю. Г. Мандре, М. В. Коваленко, Н. В. Виноградов, Э. Л. Аким // Целлюлоза. Бумага. Картон. - 2010. - №2. - С. 42-47.
6. Мандре, Ю. Г. Резервы водосбережения при реконструкции сульфатцеллюлозных заводов. (Часть 2) / Ю. Г. Мандре, М. В. Коваленко, Н. В. Виноградов, Э. Л. Аким // Целлюлоза. Бумага. Картон. - 2010. - №3. - С. 30-34.
7. Аким, Э. Л. «Исследование процесса экстракции арабиногалактана из щепы древесины лиственницы» / Э. Л. Аким, Ю. Г. Мандре, А. Д. Сергеев, А. В. Брисюк, А. А. Таразанов, Н. В. Виноградов, М. В. Коваленко, Л. Г. Махотина, Ю. Н. Заяц, Н. Я. Рассказова //Целлюлоза. Бумага. Картон. - 2014. - № 4. - С. 44-49.
8. Аким, Э. Л. Проект «Лиственница». Предварительные гидротермические обработки древесной щепы перед сульфатной варкой / Э. Л. Аким, А. Д. Сергеев, Ю. Г. Мандре, Ю. Н. Заяц, А. В. Брисюк, А. А. Таразанов, Н. В. Виноградов, М. В. Коваленко, Л. Г. Махотина // Целлюлоза. Бумага. Картон. - 2014. - № 8. -С. 40-46.

### **Прочие публикации:**

9. Виноградов, Н. В. Эффективность модернизации с использованием быстроокупаемых технологий / Н. В. Виноградов // Международная научно-практическая конференция «Лучшее в технологии, оборудовании и экологии при производстве целлюлозы и других волокнистых полуфабрикатов». Сборник материалов. Санкт-Петербургская государственная лесотехническая академия имени С. М. Кирова. - 2010. - С. 56-58.
10. Виноградов, Н. В. Промывка хвойной целлюлозы, содержащей в композиции лиственницу. «Инновационные технологии в российском лесном секторе. Путь к «зеленой» экономике»/ Н. В. Виноградов // Организация Объединенных Наций. Нью-Йорк и Женева, 2012. - С. 63-66.
11. Виноградов, Н. В. Перспективы биоконверсии отходов переработки древесины лиственницы и ее компрессионные свойства / Н. В. Виноградов, Э. Л. Аким // Биотехнологии в химико-лесном комплексе: материалы международной научной конференции (11-12 сентября 2014 года). - Архангельск: ИД САФУ, 2014. -С. 109-112.
12. Виноградов, Н. В. Исследование компрессионных свойств древесины лиственницы в ядровой и заболонной зонах / Н. В. Виноградов, О. А. Ерохина, К. А. Батина, Э. Л. Аким // Биотехнологии в химико-лесном комплексе: материалы международной научной конференции (11-12 сентября 2014 года). - Архангельск: ИД САФУ, 2014. - С. 113-117.
13. Смирнов, М. Н. Сочетание локальной и общезаводской биологической очистки стоков при производстве БХТММ в условиях интегрированного ЦБК / М. Н.Смирнов, Ю. Г.Мандре, Н. В. Виноградов // Биотехнологии в химико-лесном комплексе: материалы международной научной конференции (11-12 сентября 2014 года). – Архангельск: ИД САФУ, 2014. - С. 279-282.
14. Виноградов, Н. В. Научные основы компрессионного метода извлечения арабиногалактана из древесины лиственницы, с учетом специфики ее капиллярно-пористой структуры / Н. В. Виноградов, О. А. Ерохина, Н. Я. Рассказова, Э. Л. Аким // Конференция «Современные тенденции научных исследований в химии и переработке природных полимеров».Материалы конференции. - СПб.:СПбГУТД, 2015. - С. 114-116.
15. Виноградов, Н. В. Способы получения арабиногалактана из древесины лиственницы / Н. В. Виноградов, Э. Л. Аким // Леса России: политика, промышленность, наука, образование. Материалы конференции. - СПб.:ГТЛУ им. Кирова, 2018. - т. 2. -С. 83-85. ISBN 978-5-9239-1037-7.
16. Виноградов, Н. В. Исследование свойств жидкой системы, выдавливаемой из древесины лиственницы при сжатии / Н. В. Виноградов, С. З. Роговина, Э. Л. Аким // Международная научно-техническая конференция молодых учёных, специалистов в области ЦБП «Проблемы современной целлюлозно-бумажной промышленности» посвящённая памяти В. А. Чуйко. - 2018 г. - С. 3-10. ISBN 978-5-91646-160-2.