

УДК 630\*867.5:674.032.14

*Н.С. Епифанцева, Ю.Я. Симкин*

Сибирский государственный технологический университет

Епифанцева Наталья Сергеевна родилась в 1978 г., окончила в 2000 г. Сибирский государственный технологический университет, кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры безопасности жизнедеятельности. Имеет более 10 печатных работ в области термической переработки древесины.  
E-mail: garant2005@bk.ru



Симкин Юрий Яковлевич родился в 1951 г., окончил в 1973 г. Сибирский технологический институт, докторант, кандидат технических наук, доцент кафедры безопасности жизнедеятельности Сибирского государственного технологического университета. Имеет около 70 печатных работ в области термической переработки древесины.  
E-mail: simkin Yuri51@mail.ru



### **ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ДРЕВЕСИНЫ ЛИСТВЕННИЦ, ПОРАЖЕННЫХ СИБИРСКИМ ШЕЛКОПРЯДОМ, КАК СЫРЬЯ ДЛЯ УГЛЕЖЖЕНИЯ**

Показано, что, в древесине лиственниц, пораженных сибирским шелкопрядом, с длительностью усыхания до 12 лет основные углеобразующие вещества остаются в достаточном количестве, сохраняются клеточный каркас и общий характер процесса термического разложения, создающие необходимые условия для формирования структуры древесных углей и сорбентов.

*Ключевые слова:* лиственница, сибирский шелкопряд, усыхание древесины, химический состав, анатомическое строение, термическое разложение древесины, углеобразующие свойства.

Сибирский шелкопряд является основным вредителем хвойных лесов Сибири и Дальнего Востока. Только за последние 100 лет на территории Красноярского края зарегистрировано 9 крупных вспышек массового размножения вредителя. В результате были повреждены леса на площади более 10 млн га. Только в 1996 г. погибло более 140 тыс. га леса, было потеряно около 50 млн м<sup>3</sup> древесины. Через пять лет из-за нападения на ослабленные деревья большого черного усача площадь усохших лесов удвоилась [1, 4].

Участки тайги, поврежденные сибирским шелкопрядом, превращаются в склады сухой древесины, инициирующие возникновение частых и очень интенсивных пожаров, охватывающих обширные пространства [11]. В отличие от других хвойных пород лиственница обладает способностью к образованию компенсационной хвои и поэтому выдерживает двух-, трехкратное объедание. Например, пихтовые и пихтово-кедровые насаждения, хвоя в которых полностью уничтожена гусеницами сибирского шелкопряда, погибают через год после объедания.

Древесина усыхающих деревьев быстро теряет свои деловые качества под воздействием стволовых вредителей. В настоящее время обширные участки леса Иркутской, Читинской, Амурской областей, Хабаровского и Красноярского краев, занятые шелкопрядами, практически не используются. Вместе с тем, такая древесина может представлять интерес как потенциальное сырье для получения древесных углей и сорбентов. Проведенные ранее исследования показали, что из древесины здоровой лиственницы сибирской *Larix sibirica* Ledeb., произрастающей в Красноярском крае, можно получать древесный уголь-сырец и активные угли, не уступающие вырабатываемым из традиционно используемой стволовой древесины березы [7]. В данном случае основным критерием пригодности древесины поврежденных деревьев является ее качество с точки зрения углежжения.

Цель наших исследований – установить влияние длительности усыхания поврежденных сибирским шелкопрядом лиственниц на химический состав, анатомическое строение и процесс термического разложения древесины.

Для исследования была выбрана древесина из нижней, средней и верхней частей стволов модельных деревьев лиственницы сибирской с периодами усыхания 2, 3, 7 и 12 лет, а также древесина здоровой лиственницы, не подвергшейся воздействию сибирского шелкопряда. Образцы из 18-годовалого слоя нижней части ствола дерева отбирали на высоте 1,3 м, из средней части – на высоте 6 м, из верхней части – 12 м. Выбранные модельные деревья к моменту усыхания были приблизительно одного возраста (34...36 лет) и одинакового развития. Необходимое и достаточное количество модельных деревьев одинаковой продолжительности усыхания, с которых отбирали пробы для определения с вероятностью 95 % характеристик получаемых угольных материалов, составило не менее 5 [2, 3, 5].

По мере увеличения продолжительности усыхания в древесине дерева начинают происходить процессы биологического разложения, которые можно проследить по изменению химического состава. Наибольший интерес для получения твердых продуктов углежжения представляют углеобразующие компоненты древесины: лигнин, трудногидролизуемые (основное содержание которых составляет целлюлоза) и легкогидролизуемые (преимущественно состоящие из гемицеллюлоз) полисахариды. Поскольку характер физических и биологических процессов, происходящих в различных частях дерева, неодинаков, с использованием стандартных методик [5, 9] была изучена динамика изменений химического состава древесины по высоте стволов подверженных усыханию деревьев (табл. 1).

Таблица 1

**Содержание основных веществ (% от абс. сухого вещества)  
в древесине модельных деревьев лиственницы по высоте**

Период усыхания дерева, лет	Часть ствола дерева	Вещества, экстрагируемые горячей	Легкогидролизуемые полисахара-	Трудногидролизуемые полисахара-	Лигнин Класона (в модификации)

		чей водой	риды	риды	Комарова)
0*	Верхняя	13,38±0,30	17,52±0,14	40,29±0,53	28,77±0,35
	Средняя	12,64±0,25	17,48±0,21	37,22±0,16	32,07±0,44
	Нижняя	15,17±0,10	17,15±0,08	38,12±0,82	29,01±0,04
2 года	Верхняя	13,48±0,22	18,34±0,01	39,11±0,17	27,36±0,08
	Средняя	14,91±0,58	17,74±0,13	36,03±0,30	29,47±0,25
	Нижняя	17,19±1,10	16,76±0,17	37,22±0,81	27,24±0,01
3 года	Верхняя	12,07±0,21	18,10±0,44	40,89±0,20	27,13±0,22
	Средняя	17,94±0,59	15,19±0,11	36,39±0,16	27,93±0,92
	Нижняя	17,74±0,24	16,12±0,41	38,80±0,14	25,50±0,10
7 лет	Верхняя	9,84±0,22	25,33±0,12	33,67±0,18	28,20±0,07
	Средняя	12,42±0,38	25,40±0,17	32,50±0,11	27,20±0,13
	Нижняя	16,36±0,15	28,15±0,08	30,96±0,42	26,10±0,31
12 лет	Верхняя	9,90±0,25	24,90±0,15	34,66±0,19	27,10±0,11
	Средняя	13,10±0,51	24,20±0,21	33,94±0,23	25,20±0,19
	Нижняя	17,65±0,24	28,10±0,12	30,10±0,11	24,40±0,24

\* Здоровая древесина.

Из результатов, приведенных в табл. 1, следует, что явные изменения химического состава обнаруживаются в древесине лиственниц с периодами усыхания 7 и 12 лет. Пониженное содержание трудногидролизующихся и повышенное содержание легкогидролизующихся полисахаридов в древесине этих деревьев в сравнении с модельными деревьями можно объяснить деструкцией части трудногидролизующихся полисахаридов и переходом их в легкогидролизующиеся. Наибольшая разница в содержании трудно- и легкогидролизующихся полисахаридов, а также лигнина между нижними и верхними частями стволов деревьев, скорее всего, связана с более высокой влажностью нижних частей стволовой древесины, обуславливающей лучшие условия гидролиза трудногидролизующихся полисахаридов и лигнина по сравнению с верхними частями. В верхних частях стволов этих лиственниц на 3...4 % снижено содержание веществ, экстрагируемых горячей водой, что, видимо, связано с уменьшением содержания крахмала и гемицеллюлозы в верхних частях таких деревьев [8]. Содержание трудно- и легкогидролизующихся полисахаридов и веществ, экстрагируемых горячей водой, в средних частях стволов деревьев занимает промежуточное значение между их содержаниями в верхних и нижних частях. Содержание лигнина в древесине средней части ствола здоровой лиственницы превышает более чем на 3 % нижние и верхние части. По мере усыхания деревьев оно сравнивается с верхними и нижними частями и затем также принимает промежуточное значение между ними.

Из исследуемых деревьев более ярко процессы разложения выражены в древесине лиственниц со сроками поражения 7 и 12 лет. Здесь, наряду со снижением содержания лигнина в средней и нижней частях деревьев относительно верхних частей, становится заметным снижение содержания

трудногидролизуемых и соответственное увеличение содержания легкогидролизуемых полисахаридов. Несмотря на начинающиеся процессы биологической деструкции, изменения химического состава и ослабление связей между древесинными компонентами, итоговая сумма полисахаридов в древесине лиственниц с периодами усыхания до 12 лет изменяется незначительно и содержание лигнина остается на достаточно высоком уровне (24...27 %), что свидетельствует о сохранении этой древесиной высокой углеобразующей способности.

Структура получаемых углей формируется на основе анатомического строения древесины. В связи с этим необходимо было выяснить влияние на него продолжительности усыхания древесины. На рис. 1 представлены снимки ранних трахеид 18-годового кольца поперечных срезов образцов здоровой древесины и древесины усыхающих деревьев, взятых на высоте ствола 6 м. Снимки срезов, полученные с помощью растрового электронного микроскопа РЭМ-100У, показали, что изменения в анатомическом строении древесины лиственницы начинаются после 3 лет усыхания. Появляются пустоты между клеточными стенками, что можно связать с вымыванием и разрушением межклеточного вещества, в клеточных стенках трахеид становятся заметными последствия биологической деструкции. Вместе с тем,

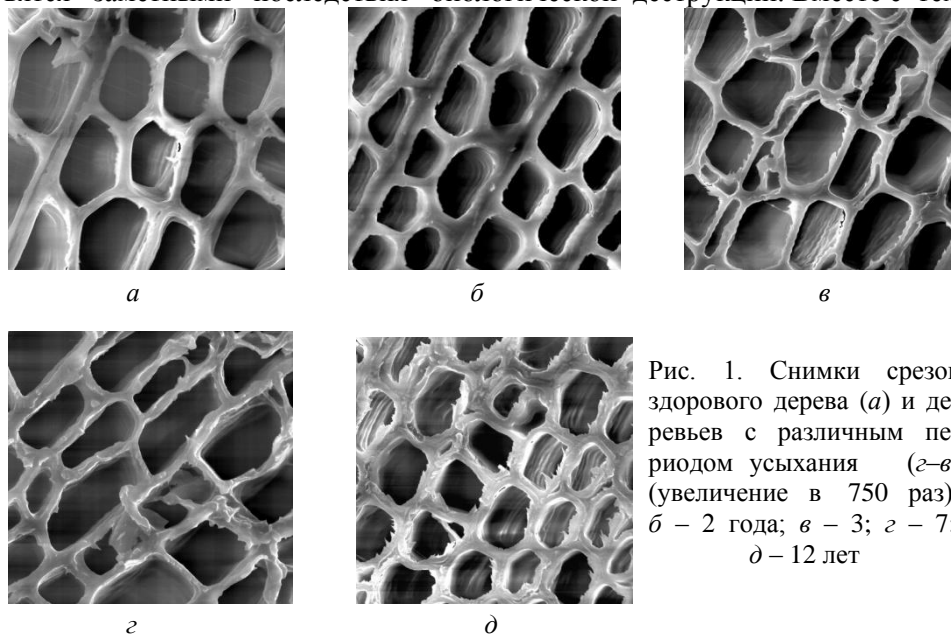


Рис. 1. Снимки срезов здорового дерева (а) и деревьев с различным периодом усыхания (б–в) (увеличение в 750 раз): б – 2 года; в – 3; г – 7; д – 12 лет

даже после 12 лет усыхания капиллярно-пористое строение древесины лиственниц не подверглось коренным изменениям, практически полностью сохранился клеточный каркас, на основе которого формируется внутреннее строение древесных и активных углей.

Изменения химического состава древесины, особенно его целлюлозной и гемицеллюлозной частей и содержания лигнина, влияют на процесс ее

термической деструкции. Результаты термического анализа древесины лиственниц, выполненные на дериватографе системы Ф. Паулик, И. Паулик и Л. Эрдеи, представлены в табл. 2. Они свидетельствуют, что конечная убыль массы древесины возрастает с увеличением продолжительности усыхания деревьев и приводит к снижению выхода твердого остатка. Наблюдается интересная связь между химическим составом исследуемых образцов (табл. 1) и данными табл. 2.

Таблица 2

## Динамика термораспада древесины здоровых и пораженных деревьев

Период усыхания дерева, лет	Убыль массы древесины, %, при температуре пиролиза, °С							
	170	220	270	320	370	420	470	520
0*	5,14	6,17	15,42	52,42	57,56	61,67	62,70	66,81
3	4,03	5,04	19,13	55,39	62,44	68,48	73,52	78,55
12	4,48	6,53	28,91	59,69	65,28	71,81	78,34	83,94

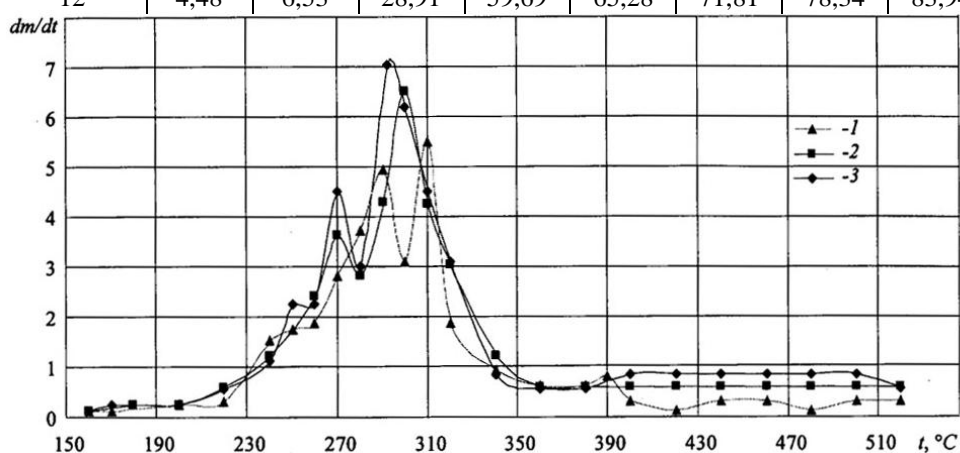


Рис. 2. Скорость потери массы древесиной здорового дерева (1) и деревьев с периодом усыхания 3 (2) и 12 лет (3)

Так, в интервале температур 220...270 °С убыль массы всех образцов возрастает – происходит активное разложение гемицеллюлоз. Потеря массы в этом интервале, для древесины здорового дерева составляющая 15,42 %, для дерева с периодом усыхания 3 года – 19,13 %, 12 лет – 28,91 %, весьма близка к содержанию в древесине этих деревьев легкогидролизуемых полисахаридов (см. табл. 1). Данные, характеризующие опережающую убыль массы древесины дерева с периодом усыхания 12 лет по сравнению с древесиной здорового дерева и дерева с периодом усыхания 3 года, также согласуются с данным по изменению содержания легкогидролизуемых полисахаридов в древесине по мере усыхания деревьев. Зависимость убыли древесной массы от содержания полисахаридов прослеживается и в интервале 270...320 °С,

где разлагается основная масса трудногидролизуемых полисахаридов. Вследствие большего содержания трудногидролизуемых полисахаридов убыль массы древесины здорового дерева на 0,74 и 6,22 % больше, чем у деревьев с периодом усыхания 3 и 12 лет.

Кривые динамики термогидролиза (ДТГ), характеризующие изменение скорости потери массы древесиной здорового и усыхающих деревьев, представлены на рис. 2.

Из сравнения динамики термораспада древесины здорового дерева и деревьев, подверженных усыханию, можно предположить, что по мере усыхания лиственниц термоустойчивость древесинных компонентов снижается за счет ослабления прочности внутренних связей древесинного вещества.

Так, пики максимальных скоростей разложения древесинного вещества, характерных для гемицеллюлоз и целлюлоз, на кривых ДТГ в температурном интервале 230...350 °С (рис. 2) сдвигаются в низкотемпературную область. Пик скорости потери массы древесиной усыхающих деревьев (270 °С), характерный для разложения гемицеллюлоз, смещается на 15 °С по сравнению со здоровым деревом (285 °С); пик скорости потери массы, характерный для разложения целлюлозы дерева с периодом усыхания 3 года (300 °С), смещается на 10 °С относительно здорового дерева (310 °С), а дерева с периодом усыхания 12 лет (290 °С) – на 20 °С. Смещение пиков в сторону меньших температур у пораженной древесины связано, скорее всего, с влиянием на разложение целлюлозы повышенного содержания гемицеллюлоз и меньшего содержания лигнина. Так, Г.Э. Домбург установила [6], что повышенное содержание лигнина в древесине оказывает тормозящее действие на низкотемпературные (200...300 °С) превращения целлюлозы, а гемицеллюлозы, наоборот, ускоряют ее деструкцию. В нашем случае снижение содержания лигнина и повышение содержания гемицеллюлоз у усыхающих деревьев вызвало смещение характерных пиков максимальных скоростей разложения древесинного вещества в сторону низких температур. В интервале конечных температур 390...510 °С характер разложения древесинных компонентов деревьев различных периодов усыхания практически одинаков и заканчивается образованием твердого углеродного остатка, как и в случае здоровой древесины, но с его меньшим выходом.

Результаты дериватографического анализа показывают, что несмотря на смещения температурных пиков термической деструкции отдельных компонентов общий характер термического разложения древесины усыхающих лиственниц, заканчивающегося получением твердого остатка, сохраняется. Вместе с тем, процесс термической деструкции древесины усыхающих деревьев по сравнению со здоровой протекает с большей скоростью. Из литературных данных [10] известно, что повышенные скорости пиролиза древесины способствуют формированию более развитой пористой структуры углей. Данное обстоятельство необходимо учитывать при разработке технологических режимов получения качественных углей.

Исходя из приведенных сравнительных данных химического состава, анатомического строения, термического анализа древесины изучаемых

деревьев можно сделать следующий вывод: в древесине лиственниц с периодом усыхания до 12 лет в достаточной степени сохраняются клеточный каркас, основные углеобразующие компоненты, а также общий характер термического разложения, т.е. имеются необходимые и достаточные условия для формирования структуры древесных углей и сорбентов в процессах пиролиза и активации. Тем не менее, выявленные изменения в древесине усыхающих лиственниц и в характере ее термического разложения необходимо учитывать при пирогагенетической переработке такого сырья в технологиях, ориентированных на использование здоровой древесины.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баранчиков, Ю.Н. Массовые размножения сибирского шелкопряда: система мониторинга и комплексная оценка последствий [Текст] / Ю.Н. Баранчиков, Ю.П. Кондаков // Структурно-функциональная организация и динамика лесов: сб. ст. – Красноярск: Ин-т леса СО РАН, 2004. – С. 256–258.
2. ГОСТ 16483.6–80. Древесина. Метод отбора модельных деревьев и кряжей для определения физико-механических свойств древесины насаждений [Текст]. – Взамен ГОСТ 16483.6–71; введ. 01.01.81. – М.: Изд-во стандартов, 1980. – 6 с.
3. ГОСТ 16483.0–89. Древесина. Общие требования к физико-механическим испытаниям [Текст]. – Взамен ГОСТ 16483.0–78; введ. 01.07.90. – М.: Изд-во стандартов, 1989. – 12 с.
4. Кондаков, Ю.П. Массовые размножения сибирского шелкопряда в лесах Красноярского края [Текст] / Ю.П. Кондаков // Энтомологические исследования в Сибири: сб. ст. – Красноярск: КФ СО РЭО, 2002. – Вып. 2. – С. 25–74.
5. Левин, Э.Д. О представительности проб при изучении химического состава древесины [Текст] / Э.Д. Левин, Л.П. Рубчевская // Химия древесины. – 1980. – № 4. – С.103–106.
6. О влиянии лигнина и гемицеллюлоз на термораспад целлюлозы при пиролизе древесины [Текст] / Г.Э. Домбург [и др.] // Переработка продуктов пиролиза древесины: сб. тр. ЦНИЛХИ. – М.: Лесн. пром-сть, 1976. – С.43–47.
7. Петров, В.С. Основы теории и технологии углей из лесосечных отходов лиственницы и других хвойных пород Сибири [Текст]: дис. ... д-ра техн. наук / В.С. Петров. – Красноярск, 1986. – 340 с.
8. Рожков, А.С. Массовое распространение сибирского шелкопряда и меры борьбы с ними [Текст] / А.С. Рожков – М.: Наука, 1965. – 179 с.
9. Рязанова, Т.В. Химия древесины [Текст] / Т.В. Рязанова, Н.А. Чупрова, Е.В. Исаева. – Красноярск: КГТА, 1996. – 358 с.
10. Симкин, Ю.Я. Влияние факторов пиролиза при получении активных углей [Текст] / Ю.Я. Симкин, В.С. Петров, С.В. Ушанов / Деп. В ВНИПИЭИ леспром - М., 1984. – 8 с. – Деп. в ВИНТИ РАН, № 1184 л.б.
11. Солдатов, В.В. Лесопатологический мониторинг в Красноярском крае [Текст] / В.В. Солдатов // Второй межрегиональный семинар по мониторингу и защите леса: сб. ст. – Красноярск, 2001. – С.41–45.

Поступила 21.04.09

---

*N.S. Epifantsev, Yu.Ya. Simkin*  
Siberian State Technological University

**Quality Assessment of Larch Wood Affected by Siberian Silkmoth as Raw Material for Charcoal Burning**

It is shown that main coal-forming substances in the larch wood of up to twelve years drying duration remain in the sufficient quantity, the cell structure and common character of thermal decomposition process creating the necessary conditions for the formation of the charcoal and sorbents structure are preserved.

Keywords: larch, Siberian silkmoth, wood drying, chemical composition, anatomical organization, thermal decomposition, coal-forming properties.

---