

УДК 676.032

**О ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДРЕВЕСИНЫ УСЫХАЮЩЕЙ ЕЛИ  
ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА БИСУЛЬФИТНОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ  
ВЫСОКОГО ВЫХОДА**

©Ю.В. Севастьянова, канд. техн. наук, доц.

Н.Н. Фетюкова, асп.

И.М. Невзорова, асп.

Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова,  
наб. Северной Двины, д. 17, г. Архангельск, Россия, 163002  
E-mail: y-sevastyanova@yandex.ru

Комплексное исследование свойств волокнистых полуфабрикатов из усыхающей и сухостойной древесины ели позволит более объективно оценить возможность использования фаутной древесины спелых и перестойных ельников Европейского Севера в ЦБП. В настоящее время общий объем пораженной древесины в данном регионе оценивается в 150 млн м<sup>3</sup>.

В качестве сырья для проведения эксперимента использовали технологическую щепу промышленного изготовления из нормальной, сухостойной и усыхающей ели. Варку образцов целлюлозы проводили в лабораторных условиях, дефибрирование и размол массы после варки – на лабораторном центробежно-размалывающем аппарате. Получение полуфабрикатов и оценка их качественных характеристик проведены по стандартным методикам, определение геометрических размеров волокна – на анализаторе волокна FiberTester, комплекс деформационных и ряд прочностных свойств – по методикам, разработанным в САФУ.

В результате исследования образцов сухостойной, усыхающей и нормальной древесины установлено, что при усыхании значительно изменяется только содержание экстрактивных веществ. Содержание лигнина выше в верхней части нормальной древесины, в комлевой части оно практически не меняется. Содержание легкогидролизуемых полисахаридов в нормальной древесине ели по сравнению с сухостойной и усыхающей на 3 % больше в верхней части ствола, на 4 % – в комлевой части. Максимальное содержание трудногидролизуемых полисахаридов обнаружено в усыхающей древесине, при этом оно увеличивается к комлю ствола.

В ходе исследования установлено, что выход целлюлозы из нормальной древесины ели существенно отличается от выхода целлюлозы из фаутной древесины. Разница между выходами целлюлозы из нормальной и усыхающей древесины составляет примерно 10 % по длине ствола, между выходами из нормальной и сухостойной древесины – 12 %. Образцы целлюлозы незначительно отличаются числом Каппа.

По результатам проведенного исследования можно сделать вывод о том, что использование сухостойной и усыхающей древесины ели в производственных условиях для получения бисульфитной целлюлозы экономически менее выгодно из-за существенной разницы в выходе полуфабрикатов.

*Ключевые слова:* сухостойная древесина ели, бисульфитная целлюлоза высокого выхода, структурно-размерные характеристики волокна, стандартные характеристики прочности целлюлозы высокого выхода.

Одной из приоритетных задач министерства природных ресурсов и лесопромышленного комплекса Архангельской области является реализация проекта использования низкокачественной древесины усыхающих ельников и отходов лесопереработки. Имеется ряд работ [1–3, 5], свидетельствующих о том, что усыхающая и сухостойная древесина могут быть использованы для производства целлюлозы. Поэтому переработка сухостойной и усыхающей древесины для получения гофрокартона и его компонентов является одним из рациональных путей ее утилизации.

Цель исследований, проводимых на кафедре технологии целлюлозно-бумажного производства САФУ им. М.В. Ломоносова, – разработать технологию использования сухостойной древесины в ЦБП, комплексно оценить сухостойную древесину ели как сырье для получения сульфатной, бисульфитной целлюлозы.

На первом этапе эксперимента для достижения поставленной цели были реализованы следующие задачи:

исследование химического состава нормальной, усыхающей и сухостойной древесины ели;

получение бисульфитной целлюлозы из исследуемых образцов древесины;

изучение качественных показателей образцов целлюлозы из нормальной, усыхающей и сухостойной древесины ели.

Вначале был проведен подробный химический анализ образцов нормальной, усыхающей и сухостойной древесины ели. Образцы были подготовлены согласно методике, изложенной в учебном пособии А.В. Оболенской [4]. В образцах определяли содержание экстрактивных веществ (ЭВ), лигнина, легко- (ЛГП) и трудногидролизуемых полисахаридов (ТГП). Полученные в ходе эксперимента данные приведены в табл. 1.

Таблица 1

**Химический состав (%) древесины ели**

Часть ствола	Экстрактивные вещества	Лигнин	Легко-гидролизуемые полисахариды	Трудно-гидролизуемые полисахариды
Нормальная древесина				
Верх	1,33	20,81	15,60	44,03
Низ	1,49	21,33	16,58	44,93
Усыхающая древесина				
Верх	1,04	19,73	13,95	42,08
Середина	1,18	20,05	13,16	46,30
Низ	1,07	21,23	13,89	49,75
Сухостойная древесина				
Верх	1,08	19,39	13,72	42,41
Середина	0,93	19,69	13,84	43,47
Низ	1,00	20,99	13,89	45,48

В результате было установлено, что содержание ЭВ в нормальной древесине по всей длине ствола больше примерно на 20 %, чем в усыхающей и сухостойной. Содержание лигнина в нормальной древесине по сравнению с усыхающей и сухостойной на 1,2...1,5 % больше в верхней части ствола, в образцах из комлевой части оно практически одинаково.

Содержание ЛПП в нормальной древесине по сравнению с образцами сухостойной и усыхающей ели примерно на 3 % больше в верхней части ствола, на 4 % – в нижней его части. Максимальное содержание ТПП обнаружено в усыхающей древесине, при этом оно возрастает к комлю ствола.

Анализ изменения химического состава древесины ели в процессе усыхания позволяет сделать вывод о том, что при усыхании в значительной степени изменяется только содержание ЭВ, что свидетельствует о поражении эпителиальной системы древесины.

Элементный состав образцов древесины ели был исследован в условиях ЦКП «Арктика» САФУ имени М.В. Ломоносова, результаты представлены в табл. 2.

Установлено, что содержание углерода в образцах нормальной древесины выше, чем в образцах сухостойной и усыхающей, при этом разница между содержанием углерода в сухостойной и усыхающей древесине не значительная. Содержание водорода в исследуемых образцах древесины находится на одном уровне.

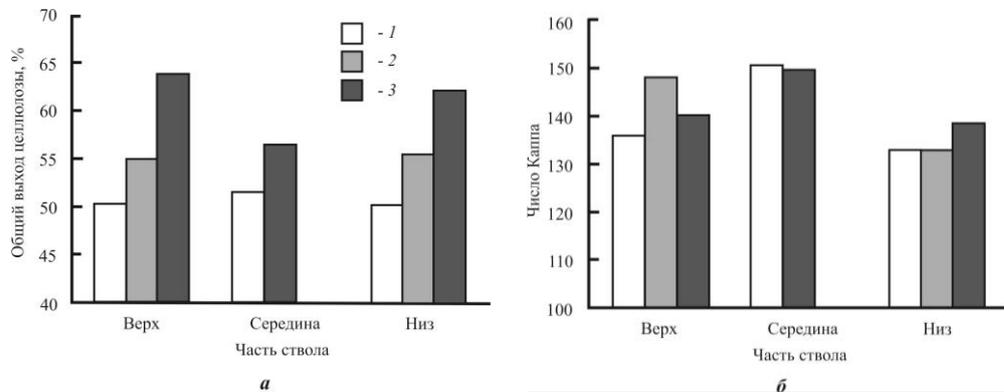
Полученные результаты свидетельствуют о том, что теплотворная способность усыхающей древесины существенно не изменяется, поэтому ее можно успешно использоваться как сырье для производства древесностружечных плит, пеллет, топливных брикетов.

На втором этапе эксперимента были получены образцы бисульфитной целлюлозы из нормальной, усыхающей и сухостойной древесины. Для устранения влияния факторов варки на выход и свойства получаемой целлюлозы

Таблица 2

Элементный состав и влажность (%) древесины ели

Часть ствола	Углерод	Водород	Влажность
Нормальная древесина			
Верх	53,026±2,121	5,666±0,283	6,92
Низ	53,261±2,130	6,067±0,0303	7,17
Усыхающая древесина			
Верх	52,410±2,096	5,936±0,297	6,71
Середина	52,609±2,104	5,971±0,299	7,36
Низ	51,871±2,075	6,056±0,0303	6,44
Сухостойная древесина			
Верх	51,728±2,069	5,990±0,299	7,59
Середина	52,785±2,111	6,119±0,306	5,73
Низ	52,501±2,100	6,001±0,0300	7,47



Общий выход (а) и число Каппа (б) хвойной бисульфитной целлюлозы: 1 – сухостойная древесина; 2 – усыхающая древесина; 3 – нормальная древесина

был выбран одинаковый для всех образцов щепы режим: температура варки – 160 °С; гидромодуль – 5; расход  $\text{SO}_2$  – 12 %; продолжительность варки – 5,0 ч, продолжительность стоянки на конечной температуре – 1,5 ч. В ходе эксперимента были получены образцы бисульфитной целлюлозы высокого выхода с различным числом Каппа. Результаты проведенного эксперимента проиллюстрированы на рисунке.

Выход целлюлозы из нормальной древесины существенно отличается от выхода целлюлозы из усыхающей и сухостойной древесины ели (результаты представлены по трем параллельным варкам). Если разница между выходами из нормальной и усыхающей древесины составляет примерно 10 % по всей длине ствола, то между выходами из здоровой и сухостойной древесины – 12 %. Образцы целлюлозы имеют незначительно отличающиеся друг от друга числа Каппа.

На основании полученных данных можно сделать вывод о том, что использование сухостойной и усыхающей древесины ели в производственных условиях для получения бисульфитной целлюлозы экономически менее выгодно из-за существенной разницы в выходе полуфабрикатов, что обусловлено важнейшим влиянием процессов диффузионной пропитки на ход бисульфитной варки.

На стадии изготовления лабораторных образцов для сравнения их характеристик качества после размолла массы до 30 °ШР были определены основные структурно-морфологические характеристики волокон бисульфитной целлюлозы. Результаты представлены в табл. 3.

Необходимо отметить, что по структурно-морфологическим характеристикам полученные образцы бисульфитной целлюлозы отличаются незначительно. Наибольшей длиной волокна обладают образцы целлюлозы, полученной из сухостойной древесины. Ширина волокон для всех образцов была

Таблица 3

**Структурно-морфологические характеристики  
волокон бисульфитной целлюлозы из древесины ели разного качества**

Часть ствола	Средняя длина волокна, мм	Средняя ширина волокна, мкм	Фактор формы волокон, %	Грубость волокон, дг
Нормальная древесина				
Верх	1,58	34,95	90,87	102,87
Низ	1,61	34,67	91,03	114,77
Усыхающая древесина				
Верх	1,49	34,30	89,40	105,33
Середина	1,59	35,83	90,47	106,40
Низ	1,65	35,87	88,90	115,23
Сухостойная древесина				
Верх	1,65	34,37	86,43	100,23
Середина	1,69	34,17	88,43	107,20
Низ	1,79	33,07	88,33	111,70

практически одинакова и изменялась несущественно. У бисульфитной целлюлозы из нормальной древесины наименее искажена форма волокон.

Грубость волокон бисульфитной целлюлозы из нормальной, усыхающей и сухостойной древесины находится практически на одном уровне при существенной разнице в выходах полуфабрикатов. Наибольшей грубостью обладают волокна целлюлозы, полученной из комлевой части ствола дерева, наименьшей – из верхней.

Согласно действующим ТУ на хвойную бисульфитную небеленую целлюлозу, показатели механической прочности определяли в отливках массой 1 м<sup>2</sup> 125 г из целлюлозы, размолотой до 30 °ШР. Результаты эксперимента представлены в табл. 4.

Таблица 4

**Показатели механической прочности бисульфитной целлюлозы (без проклейки)  
из древесины ели разного качества**

Часть ствола	Разрывная длина, м	Жесткость при растяжении, кН/м	Сопротивление продавливанию, кПа	Сопротивление сжатию короткого образца, Н	Сопротивление сжатию гофрированного образца бумаги, кН/м	Сопротивление плоскостному сжатию гофрированного слоя бумаги, Н
Нормальная древесина						
Верх	8220	741,5	465	3,442	2,35	239
Низ	8500	742,6	540	3,671	2,86	259
Усыхающая древесина						
Верх	6200	679,8	406	3,192	2,13	247
Середина	7400	688,9	465	3,509	2,43	260
Низ	8300	706,2	520	3,669	2,65	266
Сухостойная древесина						
Верх	6700	671,9	425	3,081	2,05	212
Середина	7600	695,2	491	3,317	2,21	235
Низ	9000	717,1	535	3,648	2,53	263

В ходе эксперимента установлено, что разрывная длина образцов бисульфитной целлюлозы значительно изменяется в зависимости от части ствола дерева. Разрывная длина у целлюлозы, полученной из верхней части ствола нормальной древесины, на 20 % выше по сравнению с целлюлозой из сухостойной древесины и на 25 % по сравнению с целлюлозой из усыхающей древесины. В комлевой части этот показатель на 10 % выше у бисульфитной целлюлозы из сухостойной древесины, чем у образцов из нормальной древесины. Разрывная длина у целлюлозы из срединной части усыхающей и сухостойной древесины примерно одинакова.

Сопротивление продавливанию образцов бисульфитной целлюлозы, полученной из верхней части ствола нормальной древесины, выше на 10 %, чем у целлюлозы из сухостойной древесины и на 15 % по сравнению с усыхающей древесиной. У образцов бисульфитной целлюлозы, полученной из нижней и срединной частей ствола, этот показатель различается незначительно.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Воронин В.В.* Усыхающие ельники Архангельской области, проблемы и пути их решения: сб. ст. Архангельск: Департамент лесного комплекса Архангельской области, Центр защиты леса Архангельской области, 2007.
2. *Кортаев Г.Е., Севастьянова Ю.В., Фетюкова Н.Н.* Исследование структурно-размерных и фундаментальных свойств сульфатной небеленой целлюлозы, полученной из нормальной, усыхающей и сухостойной древесины ели // Лесн. журн. 2013. № 1. С. 146 – 151. (Изв. высш. учеб. заведений).
3. *Матюшкина А.П., Агеева М.И.* Свойства древесины и целлюлозы из сухостоя сосны // Физико-химические исследования древесины и ее комплексное использование. Петрозаводск: Изд-во Карельского филиала АН СССР, Институт леса, 1978. С. 24 – 36.
4. *Оболенская А.В., Ельницкая З.П., Леонович А.А.* Лабораторные работы по химии древесины и целлюлозы: учеб. пособие. М.: Экология, 1991. 320 с.
5. *Федоров И.А.* Усыхает 10 % процентов лесов Архангельской области! // ЛесПромИнформ. 2005. №8 (30). С. 42 – 44.

Поступила 20.09.13

#### **On the Possibility of Using Dying Spruce for Production of High Yield Bisulphite Pulp**

*Yu. V. Sevastyanova, Candidate of Engineering, Associate Professor*  
*N.N. Fetyukova, Postgraduate Student*  
*I.M. Nevzorova, Postgraduate Student*

Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Naberezhnaya  
Severnoy Dviny, 17, 163002, Arkhangelsk, Russia  
E-mail: y-sevastyanova@yandex.ru

A comprehensive study of the properties of semi-finished fiber products from dying and dead spruce will allow us to make a more objective assessment of the possible use of

defective wood from mature and overmature spruce forests of the European North in the pulp and paper industry. At present, the volume of damaged wood is estimated at 150 million m<sup>3</sup>.

As raw materials for the experiment we used industrial chips of dying, dead and normal spruce. Pulp samples were cooked in the laboratory. Grinding and refining of pulp were carried out in the centrifugal grinding machine in the laboratory. Semi-products were obtained and their quality was evaluated by standard methods. Geometrical dimensions of fiber were determined using the FiberTester analyzer. Deformation behavior and a number of strength properties were determined by the techniques developed in NArFU.

The chemical analysis of dying, dead and normal wood samples indicates that dying wood has significant changes only in the content of extractives. Lignin content is higher in the upper part of healthy wood, while in the butt its content is almost unchanged. The content of easily hydrolyzed polysaccharides in normal wood is 3 % higher in the top part of the trunk and 4 % higher in the butt, as compared to dying and dead spruce. The maximum content of hard-to-hydrolyze polysaccharides was found in dying wood, increasing in the direction of the butt.

The pulp yield from normal wood differed significantly from that of defective wood. Whereas the difference between the yields from normal and dying wood is about 10 % along the full length of the trunk, the difference between the yields from normal and dead wood is 12 %. The Kappa number of the pulp samples varies slightly.

From the data obtained it may be concluded that the use of dead and dying spruce wood to produce bisulphite pulp is less cost effective due to the substantial difference in the yield of semi-finished products.

*Keywords:* dead spruce, high yield bisulphite pulp, structural-dimensional characteristics of fiber, standard strength characteristics of high yield pulp.

#### REFERENCES

1. Voronin V.V. *Usykhayushchie el'niki Arkhangel'skoy oblasti, problemy i puti ikh resheniya: sb. st.* [Dying Spruce Forests of the Arkhangelsk Region, Problems and Solutions: Collected Papers]. Arkhangelsk, 2007.
2. Korotaev G.E., Sevast'yanova Yu.V., Fetyukova N.N. Issledovanie strukturno-razmernykh i fundamental'nykh svoystv sul'fatnoy nebelenoy tsellyulozy, poluchennoy iz normal'noy, usykhayushchey i sukhostoynoy drevesiny eli [Study of the Structure-Dimensional and Fundamental Properties of Unbleached Sulphate Pulp Obtained from Normal, Dying and Dead Spruce]. *Lesnoy zhurnal*, 2013, no. 1, pp. 146–151.
3. Matyushkina A.P., Ageeva M.I. Svoystva drevesiny i tsellyulozy iz sukhostoya sosny [Properties of Wood and Pulp from Pine Deadwood]. *Fiziko-khimicheskie issledovaniya drevesiny i ee kompleksnoe ispol'zovanie* [Physico-Chemical Studies of Wood and Its Multipurpose Use]. Petrozavodsk, 1978, pp. 24–36.
4. Obolenskaya A.V., El'nitskaya Z.P., Leonovich A.A. *Laboratornye raboty po khimii drevesiny i tsellyulozy* [Laboratory Works on Wood and Cellulose Chemistry]. Moscow, 1991. 320 p.
5. Fedorov I.A. Usykhaet 10 % protsentov lesov Arkhangel'skoy oblasti! [10 % of Arkhangelsk Region Forests Are Dying!]. *LesPromInform*, 2005, no. 8 (30), pp. 42–44.