

УДК 676.163.4

DOI: 10.18698/2542-1468-2020-2-88-97

МОЛОДАЯ ТОНКОМЕРНАЯ ДРЕВЕСИНА ОТ РУБОК УХОДА ЗА ЛЕСОМ — РЕЗЕРВ СЫРЬЯ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ЦЕЛЛЮЛОЗЫ И БУМАГИ

Ф.Х. Хакимова, К.А. Синяев, Р.Р. Хакимов, О.А. Носкова

Пермский национальный исследовательский политехнический университет, 614990, г. Пермь, Комсомольский пр., д. 29
oa-noskova@mail.ru

Рассмотрено повышение комплексности использования древесного сырья — одного из важнейших направлений рационального природопользования и охраны окружающей среды, поскольку замена спелой древесины на молодую тонкомерную от рубок ухода за лесом имеет экономическое и экологическое значение. Исследована возможность и целесообразность бисульфитной варки (делигнификации) молодой древесины ели, сосны, березы от рубок ухода за лесом по сравнению со спелой древесиной. Определены оптимальные режимы бисульфитной делигнификации молодой древесины ели, сосны и березы, позволяющие получить целлюлозу с высокими показателями механической прочности. Показано, что целлюлоза из молодой древесины размалывается легче и имеет более высокие показатели механической прочности, чем из спелой; однако целлюлоза из молодой древесины обезвоживается несколько труднее и обладает повышенной водоудерживающей способностью, а рассортировка тонкомерной молодой древесины, заготовленной при рубках ухода, трудоемка и не всегда желательна. Установлена возможность бисульфитной делигнификации технологической щепы из смеси различных пород тонкомерной древесины. Построены диаграммы «породный состав щепы — свойства целлюлозы», которые позволяют прогнозировать бумагообразующие свойства полученной целлюлозы при известном составе древесного сырья. Выявлена возможность добавок в количестве 10...20 % молодой древесины ели, березы и сосны при традиционных бисульфитных варках балансовой еловой древесины, что не вызывает затруднений процесса варки и не снижает качество получаемой целлюлозы.

Ключевые слова: тонкомерная древесина, рубки ухода, бисульфитная варка, целлюлоза, показатели качества, варка смеси пород древесины, варки спелой древесины с добавками молодой

Ссылка для цитирования: Хакимова Ф.Х., Синяев К.А., Хакимов Р.Р., Носкова О.А. Молодая тонкомерная древесина от рубок ухода за лесом — резерв сырья для производства целлюлозы и бумаги // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2020. Т. 24. № 2. С. 88–97. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-2-88-97

Одним из направлений развития химической переработки древесины с получением полуфабрикатов для производства бумаги и картона является комплексное использование древесного сырья, в том числе максимальное вовлечение в переработку некондиционной древесины.

Целлюлозно-бумажная промышленность России, особенно предприятия на ее европейской части, где запасы древесины ограничены, все больше сталкивается с проблемой обеспеченности сырьем. Доставка его из лесодостаточных районов экономически нецелесообразна.

Для снижения и устранения образовавшегося дефицита сырья предлагается проведение следующих мер: снижение требований к диаметру древесины; полное использование лесосечных отходов, отходов лесопиления и деревообработки; создание плантаций быстрорастущих пород древесины и т. д.

Одним из резервов сырья для целлюлозно-бумажной промышленности может служить молодая тонкомерная древесина, получаемая при проведении рубок ухода за лесом (при осветлении, прочистке, прореживании, т. е. в возрасте 10...30 лет). Ресурсы такой древесины настолько велики, что могут значительно покрыть возрастающие потребности отрасли в сырье [1, 2].

При известных способах переработки древесного сырья в целом по России используется около половины биомассы дерева [3].

Особенности морфологического строения молодой тонкомерной древесины, различия плотности и химического состава по сравнению со спелой обуславливают необходимость комплексного исследования ее делигнификации [4].

Основное внимание исследователей в последние годы было обращено на сульфатный способ делигнификации некондиционной древесины как наиболее универсальный, позволяющий использовать низкокачественное сырье. Однако в структуре целлюлозного производства России на долю сульфитной целлюлозы (по варке) приходится до 30 % (такая целлюлоза выпускается на 19 предприятиях России). Быстрое переуплотнение или вывод из баланса отрасли этих производственных мощностей в ближайшие годы невозможно, поэтому в российской целлюлозно-бумажной промышленности и в будущем сохранится крупнотоннажное производство сульфитной (бисульфитной) целлюлозы, в связи с чем представляет интерес производство беленого полуфабриката из молодой тонкомерной древесины разных пород. Существенным преимуществом сульфитного метода варки по сравнению с полу-

чившим широкое распространение за последние годы сульфатным методом является более полное использование древесины — более высокий выход целлюлозы, а также ее легкая белимость [1, 2, 5].

Заготовка тонкомерной древесины — довольно трудоемкая операция. Предприятия, начавшие переработку тонкомерной древесины, столкнулись с необходимостью создания нового оборудования для ее заготовки. Предприятия США, которые одними из первых начали заготовку и переработку тонкомерной древесины, применили для этого имеющиеся окорочные барабаны и рубительные машины. Производительность окорочных барабанов при окорке тонкомера снизилась в 2 раза. В то же время была получена щепа хорошего качества. Во Франции создана специальная окорочная машина для тонкомерной древесины [6].

Работы по созданию и практическому применению комплексных высокомеханизированных установок ведутся во многих странах с развитой целлюлозно-бумажной промышленностью. Например, в связи с потреблением в США больших количеств тонкомерной древесины сосны (возрастом 10...12 лет, при диаметре ствола 10...18 см) рекомендован рациональный высокоэффективный способ ее лесозаготовки [7, 8].

Современным требованием рационального природопользования и охраны окружающей среды является комплексное использование древесного сырья, одним из путей которого является активизация работы лесоперерабатывающих отраслей в направлении ресурсосбережения с помощью максимальной утилизации отходов лесозаготовки и переработки древесного сырья [4, 9, 10].

Замена спелой древесины на молодую тонкомерную древесину от рубок ухода за лесом имеет и экономическое, и экологическое значение [9–11].

Лабораторные испытания, а затем и опытно-промышленные выработки сульфатной целлюлозы из молодой древесины хвойных и лиственных пород подтвердили целесообразность использования такого сырья в качестве добавки к обычной балансовой древесине для получения технической целлюлозы [12]. Однако в России до 30 % целлюлозы вырабатывается сульфитным способом, поэтому интерес представляет изучение возможности использования древесины рубок ухода для получения сульфитной и бисульфитной целлюлозы, пригодной для производства бумаги.

Наиболее часто для производства бисульфитной целлюлозы в нашей стране применяется древесина ели, пихты, осины, березы. При проведении рубок ухода за лесом — прореживании — получают также тонкомерную древесину указанных пород, преимущественно березы, а так как лиственные породы древесины по свойствам,

морфологии и химическому составу значительно отличаются от хвойных, то интерес представляет изучение бисульфитной делигнификации молодой древесины березы по сравнению с ее спелой древесиной в сопоставлении с еловой [12].

Цель работы

Цель работы — исследование возможности и целесообразности бисульфитной варки (делигнификации) молодой древесины ели, сосны, березы от рубок ухода за лесом по сравнению со спелой древесиной.

Материалы и методы исследования

Для исследований использовали древесину ели, сосны, березы, заготовленную при проведении рубок прореживания в Нижне-Кузьинском лесничестве Пермской обл. Заготовленные деревья соответствовали термину «тонкомерная древесина», поскольку их диаметр на пне составлял 6...12 см. Средний возраст отобранной древесины 20...30 лет, т. е. это — молодая древесина. В связи с этим понятия «тонкомерная древесина» и «молодая древесина» в настоящей работе идентичны. Одновременно заготовили и балансовую древесину (возрастом 70...85 лет) соответствующих пород.

Молодая тонкомерная древесина по сравнению со спелой имеет пониженную плотность, более короткие и узкие волокна и меньшую толщину клеточной оболочки [13] (табл. 1).

Древесина молодая тонкомерная всех сравниваемых пород отличается от спелой меньшим содержанием целлюлозы, по Кюршнеру, смол и жиров, но повышенным содержанием лигнина, пентозанов и веществ, экстрагируемых горячей водой.

Особого внимания заслуживает древесина сосны, которая в сульфитцеллюлозном производстве не используется, поскольку ядровая часть сосны, в отличие от заболонной, нормально не варится по сульфитному способу. Тормозящее действие на процесс варки оказывают смолистые вещества (фенолы), которые вступают в реакции конденсации с лигнином [14, 15].

У молодой древесины сосны, получаемой при рубках ухода (возрастом 20...25 лет), размер ядра незначителен, такая древесина содержит меньшее количество смолистых веществ, чем спелая, поэтому сульфитным способом варится без затруднений [14]. Бисульфитным способом можно варить и сосну, содержащую фенолы [15].

В настоящее время на большинстве сульфитцеллюлозных заводов используют варочную кислоту, по составу близкую к варочному раствору для бисульфитной варки целлюлозы. Однако варочный раствор не является чисто бисульфитным,

Физические свойства и химический состав древесины

Physical properties and chemical composition of wood

Показатели	Ель		Сосна		Береза	
	Молодая	Спелая	Молодая	Спелая	Молодая	Спелая
Диаметр на пне, см:						
с корой	5,9	24,8	8,4	27,2	6,8	27,6
без коры	5,6	22,5	8,1	24,5	6,5	26,0
Средневзвешенная плотность, кг/м ³	377	397	370	410	540	560
Массовая доля в древесине, %:						
целлюлозы (по Кюршнеру)	52,3	54,7	51,1	52,5	46,0	48,0
лигнина (по Комарову)	29,4	28,2	31,5	30,6	23,5	22,9
пентозанов	10,2	8,3	9,9	6,6	26,6	25,8
веществ, экстрагируемых горячей водой (90° С)	3,1	2,3	3,0	2,7	2,6	2,4
смола и жиров	1,9	2,3	2,9	4,4	2,3	2,5

в нем всегда есть некоторое количество растворенного диоксида серы (SO₂). Исходя из этого для исследований использовали варочную кислоту на натриевом основании следующего состава: 3,8...4,0 % всего SO₂; 1,75...1,80 % связанного SO₂; pH = 2,5...2,6.

Бисульфитные варки проводили в стационарном автоклаве вместимостью 2 л с электрообогревом без принудительной циркуляции. Гидромодуль составил 5:1. Полученную целлюлозу распускали на волокна в дезинтеграторе, промывали струей водопроводной воды и сортировали.

Для достижения наилучших результатов варки молодой древесины указанных пород были поставлены эксперименты с последующей оптимизацией по показателям, характеризующим в основном результаты варки и качество целлюлозы: выходу от исходного сырья; степени провара; разрывной длине целлюлозы. Эксперименты были поставлены по плану Бокса для $m = 3$ переменных факторов: конечной температуры варки, продолжительности подъема температуры до конечной; продолжительности варки на конечной температуре.

В работе использовали следующие стандартные методы анализа целлюлозы: определение массовой доли влаги по ГОСТ 16932; степени провара (перманганатным методом) по ГОСТ 9109; массовой доли лигнина в целлюлозе по ГОСТ 11960; экстрактивных веществ (смола и жиров) по ГОСТ 6841; пентозанов по ГОСТ 10820; белизны по ГОСТ 7690.

Определяли показатели механической прочности целлюлозы: сопротивления разрыву по ГОСТ 1924–1–96; прочности на излом при многократных перегибах по ГОСТ 13525.2; сопротивления продавливанию по ГОСТ 13525.8.

Показатели механической прочности отливок целлюлозы определяли после размола в мельнице

ЦРА до степени помола 60 градусов Шоппер-Риглера (°ШР). Степень помола массы определяли на аппарате СР-2. Образцы бумаги с массой 75 г/м² получали на листоотливном аппарате ЛА-2 с вакуум-сушильной камерой.

Подготовку образцов к испытаниям (кондиционирование) проводили согласно ГОСТ 13523.

Водоудержание целлюлозы определяли по усовершенствованному методу Джайме [16].

Результаты и обсуждение

Как было указано выше, в процессе исследования варок молодой древесины различных пород поставлены эксперименты по плану Бокса с последующей оптимизацией процессов.

В результате проведения экспериментов получены уравнения регрессии второго порядка по каждому из указанных выше показателей [17].

Оптимизация процесса делигнификации заключалась в получении максимального выхода целлюлозы при ограничениях по:

степени провара, п.е.

для еловой целлюлозы $Y_{c.п.} \leq 110$

для березовой целлюлозы $Y_{c.п.} \leq 100$

для сосновой целлюлозы $Y_{c.п.} \leq 110$

разрывной длине, м

для еловой целлюлозы $Y_{р.д.} \geq 8000$

для березовой целлюлозы $Y_{р.д.} \geq 7400$

для сосновой целлюлозы $Y_{р.д.} \geq 8000$

В качестве целевых функций приняты выход целлюлозы, степень провара и разрывная длина.

В соответствии с указанными исходными данными оптимизации были получены условия варки (табл. 2).

По полученным в результате оптимизации режимам проведены сравнительные варки молодой и спелой древесины ели, березы и сосны, (табл. 3).

Из тонкомерных образцов древесины получена целлюлоза с показателями, соответствующими в основном расчетным. Данные сравнительных варок молодой и спелой древесины показали, что полученные образцы целлюлозы различаются по степени провара, выходу как общему, так и отсортированной массы. Целлюлоза из тонкомерной древесины ели имеет несколько повышенное содержание сучков по сравнению с целлюлозой из спелой древесины; содержание смол и жиров в сравниваемых целлюлозах практически не различается, целлюлоза из тонкомерной ели имеет несколько повышенную долю пентозанов.

Образцы целлюлозы из молодой и спелой ели имеют высокие показатели механической прочности, которые выше у образца из молодой древесины. Целлюлоза из тонкомерной ели отличается повышенным значением водоудержания и, соответственно, более медленной обезвоживаемостью, но легче размалывается.

Сравнивая результаты варок березовой древесины следует отметить, что целлюлоза из молодой тонкомерной березы имеет пониженный выход и большую долю сучков в образце. Такая целлюлоза содержит больше остаточного лигнина и пентозанов, но меньше смол и жиров по сравнению с образцом из спелой березы. Показатели механической прочности целлюлозы из молодой тонкомерной древесины выше, чем показатели целлюлозы из спелой березы. Полученные целлюлозы различаются по белизне: данный пока-

Т а б л и ц а 2
Оптимальные условия варки
молодой древесины
Optimal cooking conditions for young wood

Переменный фактор	Ель	Береза	Сосна
Конечная температура варки, °С	147	142	152
Продолжительность подъема температуры до конечной, мин	100	90	100
Продолжительность варки при конечной температуре, мин	90	80	100

затель выше у образца из тонкомерной березы (на 10 %).

Образцы лиственной целлюлозы, аналогично еловой целлюлозе, различаются также по степени обезвоживаемости, водоудержанию и продолжительности размола до 60° ШР. Хуже обезвоживается и более высокое значение водоудержания имеет целлюлоза из тонкомерной березы, этот образец значительно быстрее размалывается.

Следовательно, тонкомерная береза, как и ель, делигнифицируется несколько труднее, чем спелая, и полученная целлюлоза отличается от целлюлозы из спелой березы пониженным выходом и более высокими показателями механической прочности.

Из тонкомерной сосны возможно получение бисульфитной целлюлозы с показателями, соответствующими в основном расчетным (см. табл. 3).

Т а б л и ц а 3

Результаты сравнительных варок тонкомерной
и спелой древесины по разработанным режимам
Results of comparative tests of thin and ripe wood according to the developed modes

Показатель целлюлозы	Ель		Береза		Сосна	
	1	2	1	2	1	2
Степень провара, п.е.	110	100	96	91	110	126
Выход, % исходной древесины: общий сортированной массы сучков, непровара	53,5	52,2	53,8	54,9	55,3	56,4
	52,3	52,0	52,1	54,9	51,1	49,8
	1,2	0,2	1,7	–	4,2	6,6
Массовая доля в целлюлозе, % : лигнина пентозанов смол и жиров	4,0	3,4	3,7	3,2	4,2	6,0
	5,8	5,2	14,2	12,6	9,6	7,4
	1,5	1,3	2,2	2,6	1,8	2,4
Механическая прочность (75 г/м ² , 60° ШР): разрывная длина, м сопротивление продавливанию, кПа сопротивление излому, ч.д.п.	8820	8600	7860	7500	8740	8700
	480	460	420	370	510	500
	2290	2470	1020	1250	2360	2080
Белизна, %	67,0	65,0	64,0	54,0	66,0	64,0
Обезвоживаемость при 25° ШР, с	17	14	18	16	17	15
Водоудерживающая способность при 25° ШР, %	200	160	280	250	210	170
Продолжительность размола до 60° ШР, мин	52	57	35	45	60	65
<i>Примечание.</i> 1 — тонкомерная древесина, 2 — спелая древесина.						

Целлюлоза из тонкомерной древесины отличается от целлюлозы из балансовой сосны меньшим количеством непровара (в целлюлозе из тонкомерной древесины основная часть непровара — сучки), более низким содержанием остаточного лигнина, смол и жиров, повышенным содержанием пентозанов. Различаются сравниваемые целлюлозы по степени провара, труднее проваривается спелая сосна. Механическая прочность полученных целлюлоз очень высокая и находится примерно на одинаковом уровне. Следовательно, из тонкомерной сосны бисульфитным способом можно получить целлюлозу достаточно хорошей степени провара с высокими прочностными показателями.

Таким образом, молодая древесина делигнифицируется бисульфитным варочным раствором без затруднений, но несколько медленнее по сравнению с соответствующей породой спелой древесины. Молодая древесина сосны, содержащая меньшее количество смолистых веществ, чем спелая, делигнифицируется легче балансовой древесины сосны и может быть использована для получения бисульфитной целлюлозы.

Целлюлоза из молодой древесины размалывается легче и имеет более высокие показатели механической прочности, чем из спелой; однако целлюлоза из молодой древесины обезвоживается несколько труднее и обладает повышенной вододерживающей способностью.

По данным работ [18, 19], зарубежный опыт и отечественные исследования показали достаточную реальность использования тонкомерной древесины ели и березы в производстве беленой целлюлозы и культурных видов бумаги.

Рассортировка тонкомерной молодой древесины, заготовленной при рубках ухода, трудоемка и не всегда желательна. Поэтому важным является вопрос совместной сульфитной (бисульфитной) варки молодой древесины различных пород.

Определено влияние породного состава сырья из молодой древесины (ели, сосны, березы) на свойства бисульфитной целлюлозы. Для изучения свойств данной трехкомпонентной смеси был принят план Шеффе третьего порядка — симплекс-решетчатый план ($q = 3, d = 3$) [17]. В качестве переменных факторов были приняты доли еловой (X_1), сосновой (X_2), и березовой (X_3) фракций в древесном сырье. Свойства получаемой бисульфитной целлюлозы оценивали по следующим параметрам: y_1 — выход целлюлозы, %; y_2 — степень провара, п.е.; y_3 — разрывная длина, м; y_4 — сопротивление продавливанию, кПа.

Анализ полученных данных позволяет сделать вывод о том, что наибольшее влияние на выход и степень провара целлюлозы оказывает доля сосновой древесины в исходном сырье,

а на механическую прочность — доля тонкомерной ели.

Зависимость свойств бисульфитной целлюлозы от породного состава исходного древесного сырья наглядно представляют диаграммы «породный состав древесного сырья — выход целлюлозы» и «породный состав — разрывная длина» (рис. 1, 2).

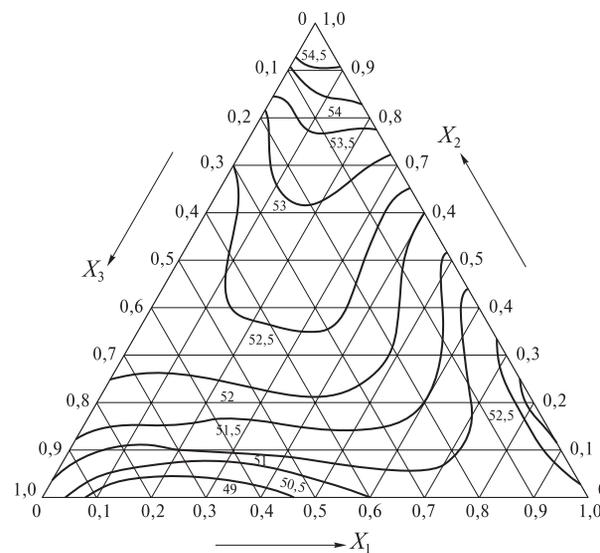


Рис. 1. Диаграмма зависимости выхода бисульфитной целлюлозы от породного состава исходного сырья: X_1 — ель; X_2 — сосна; X_3 — береза

Fig. 1. A diagram of the dependence of bisulfite cellulose yield on the species composition of the feedstock: X_1 — spruce; X_2 — pine; X_3 — birch

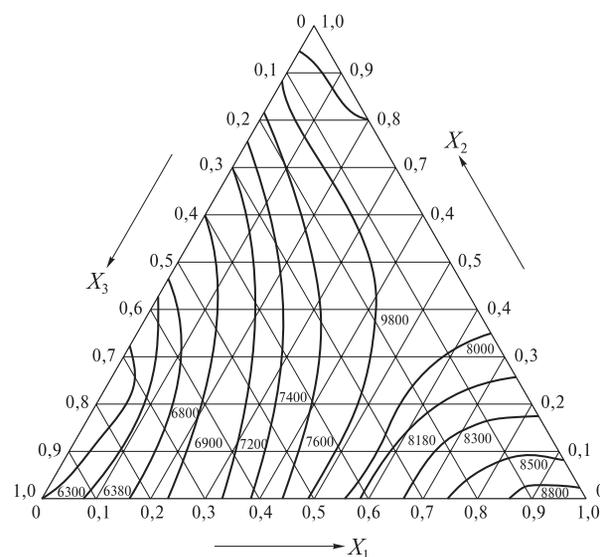


Рис. 2. Диаграмма зависимости механической прочности (разрывной длины) бисульфитной целлюлозы от породного состава исходного сырья: X_1 — ель; X_2 — сосна; X_3 — береза

Fig. 2. Diagram of the dependence of the mechanical strength (breaking length) of bisulfite cellulose on the rock composition of the feedstock: X_1 — spruce; X_2 — pine; X_3 — birch

Т а б л и ц а 4

**Влияние добавки молодой тонкомерной древесины ели, сосны и березы
на результаты бисульфитной варки древесины спелой ели**

The effect of adding young fine spruce, pine and birch wood on the results of bisulfite cooking of ripe spruce wood

Параметры	Состав исходного древесного сырья, %															
	100	90	80	70	60	–	90	80	70	60	–	90	80	70	60	–
Порода древесины:																
ель спелая	100	90	80	70	60	–	90	80	70	60	–	90	80	70	60	–
ель молодая	–	10	20	30	40	100	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
сосна молодая	–	–	–	–	–	–	10	20	30	40	100	–	–	–	–	–
береза молодая	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	10	20	30	40	100
Выход целлюлозы, % исходной древесины:																
общий	52,4	52,6	51,9	52,1	52,8	51,2	52,8	54,0	54,7	54,6	55,3	52,2	52,0	51,4	51,0	51,2
отсортированная древесина	51,1	51,4	50,3	51,0	50,6	50,6	51,6	50,4	50,5	48,8	50,1	50,9	51,3	50,3	50,5	50,0
Механические характеристики:																
разрывная длина, м	8040	8210	8450	8570	8660	8670	7900	8110	8170	8130	8090	8230	8130	7950	7260	7050
сопротивление продавливанию, кПа	400	410	430	430	470	460	380	380	480	470	460	410	400	410	360	340
сопротивление излому, ч.д.п.	2100	2090	2280	2080	2560	2390	2120	2210	2300	2380	2320	2160	1840	1690	1470	1360

Представленные диаграммы подтверждают выводы, сделанные на основании расчетов. По полученным диаграммам можно предсказать направление изменения свойств бисульфитной целлюлозы из молодой древесины (выхода, механической прочности) при известном составе исходного древесного сырья. Возможен и другой вариант использования диаграмм — при определенных требованиях к свойствам бисульфитной целлюлозы можно выбрать оптимальный породный состав исходного сырья.

Одним из вариантов использования молодой тонкомерной древесины в целлюлозно-бумажной промышленности является применение ее в качестве добавки при варке балансовой древесины. Авторы работ [20, 21] показали целесообразность добавок щепы из тонкомерной древесины различных пород к производственной щепе из сосновой древесины при получении сульфатной целлюлозы.

Для изучения влияния добавок тонкомерной древесины на свойства бисульфитной целлюлозы из еловой древесины использовали молодую древесину ели, сосны и березы. Доля добавки тонкомерной древесины к балансовой составляла от 10 до 40 %.

Варки проводили по одинаковому режиму при конечной температуре 150 °С, т. е. при температуре, применяемой на большинстве целлюлозных заводов при варке бисульфитной целлюлозы (табл. 4, рис. 3–5).

Поскольку молодая тонкомерная древесина делигнифицируется медленнее, чем спелая, то и влияние ее добавок при варке спелой древесины скажется, вероятно, на скорости процесса варки. Добавка 20 % тонкомерной ели к спелой практически не сказалась на результатах варки, но дальнейшее увеличение доли тонкомерной древесины в исходном сырье несколько затрудняет процесс делигнификации, т. е. получается более жесткая целлюлоза, особенно при добавке 40 % тонкомерной древесины. В соответствии с изменением степени провара изменяется и выход целлюлозы. С увеличением в смеси доли тонкомерной древесины повышаются все показатели механической прочности целлюлозы (см. табл. 4, рис. 3).

Ранее было показано, что тонкомерная молодая древесина сосны, в отличие от спелой, может быть использована в качестве сырья для производства бисульфитной целлюлозы. Представляет интерес и возможность использования этой древесины в качестве добавки при бисульфитной варке балансовой ели.

Добавка 10 % тонкомерной сосны не оказывает существенного влияния на результаты варки — выход, степень провара и прочностные показатели целлюлозы получены на уровне соответствующих показателей при варке только ели. С увеличением доли сосны несколько повышается общий выход древесного остатка вследствие меньшей степени ее делигнификации, выход отсортированной целлюлозы уменьшается, а доля

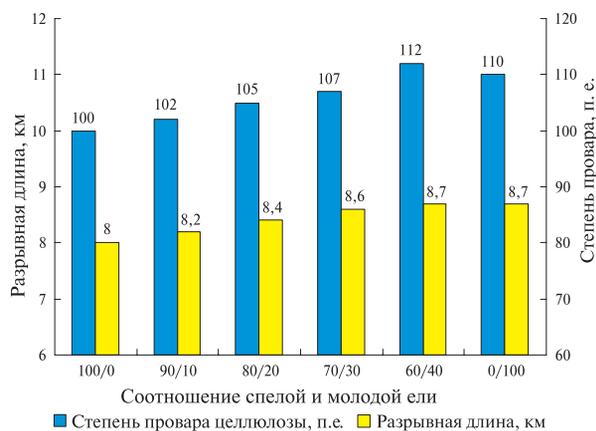


Рис. 3. Влияние добавки древесины молодой тонкомерной ели на результаты бисульфитной варки древесины спелой ели

Fig. 3. The effect of wood additives of young fine-sized spruce on the results of bisulfite pulping of ripe spruce wood

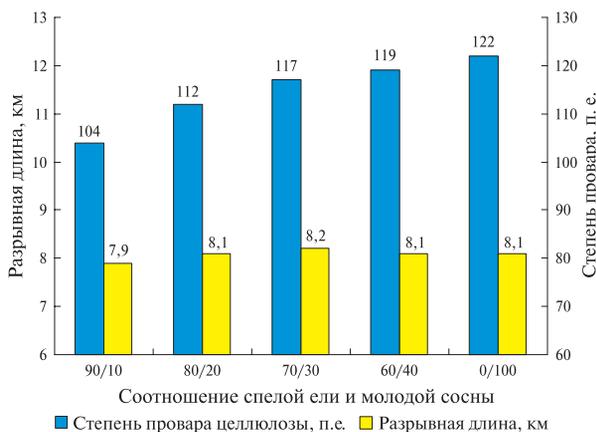


Рис. 4. Влияние добавки древесины молодой тонкомерной сосны на результаты бисульфитной варки древесины спелой ели

Fig. 4. The effect of the additives of young pine wood on the results of bisulfite pulping of ripe spruce wood

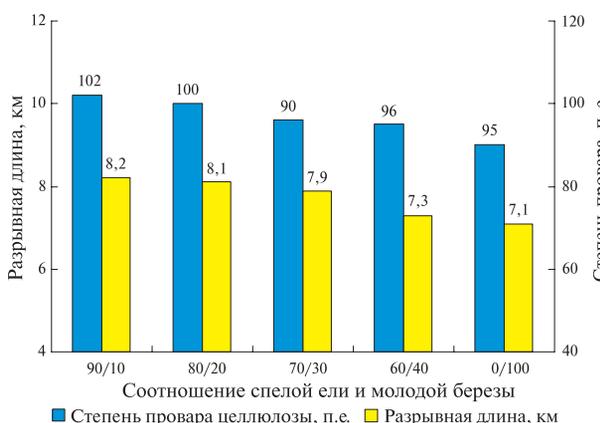


Рис. 5. Влияние добавки древесины молодой тонкомерной березы на результаты бисульфитной варки древесины спелой ели

Fig. 5. The effect of the addition of young birch wood on the results of bisulfite pulping of ripe spruce wood

сучков и непровара возрастает. По прочностным показателям полученные образцы целлюлозы различаются незначительно (см. табл. 4, рис. 4).

Считается, что одной из основных пород древесины, удаляемых при рубках прореживания, является береза. Обычно лиственная древесина, в том числе и спелая березовая, при сульфитной варке делигнифицируется легче, чем древесина ели, что приводит к перевару лиственной целлюлозы при совместной варке древесины хвойных и лиственных пород. Поскольку древесина молодой тонкомерной березы делигнифицируется медленнее, чем спелая, было бы целесообразно использовать ее в качестве добавки при сульфитных (бисульфитных) варках балансовой ели.

Результаты бисульфитных варок смесей древесины спелой ели и молодой березы в различных соотношениях показывает, что добавка 10...20 % тонкомерной березы практически не влияет на выход и качественные показатели целлюлозы, т. е. они соответствуют аналогичным показателям целлюлозы из 100 % ели. С увеличением доли березы в смеси наблюдаются некоторое повышение степени делигнификации целлюлозы (уменьшение жесткости, что связано с более легкой делигнификацией березовой древесины по сравнению с хвойной), незначительное снижение выхода целлюлозы в соответствии со степенью делигнификации, а также снижение показателей механической прочности (см. табл. 4, рис. 5).

Таким образом, анализ полученных результатов показал, что добавка 10...20 % тонкомерной древесины ели, сосны и березы к балансовой ели при бисульфитной варке не ухудшает результаты варки.

Выводы

1. Молодая древесина делигнифицируется бисульфитным варочным раствором без затруднений, но несколько медленнее по сравнению с соответствующей породой спелой древесины. Молодая древесина сосны, содержащая меньшее количество смолистых веществ, чем спелая, делигнифицируется легче балансовой древесины сосны и может быть использована для получения бисульфитной целлюлозы.

2. Определены оптимальные режимы бисульфитной делигнификации молодой древесины ели, сосны и березы, позволяющие получить из этих пород древесины целлюлозу с высокими показателями механической прочности при определенных значениях выхода и степени делигнификации.

3. Установлена возможность бисульфитной делигнификации технологической щепы из смеси различных пород тонкомерной древесины. Построенные диаграммы «породный состав

щепы — свойства целлюлозы» позволяют прогнозировать бумагообразующие свойства полученной целлюлозы при известном составе древесного сырья.

4. Показана возможность добавок 10...20 % молодой древесины ели, березы и сосны при традиционных бисульфитных варках балансовой еловой древесины, что не вызывает затруднений процесса варки и не снижает качество получаемой целлюлозы.

5. Целлюлоза из молодой древесины размалывается легче и имеет более высокие показатели механической прочности, чем из спелой. Однако целлюлоза из молодой древесины обезвоживается несколько труднее и обладает повышенной вододерживающей способностью.

Список литературы

- [1] Гелес И.С. Древесное сырье — стратегическая основа и резерв цивилизации. Петрозаводск: Ин-т леса КарНЦ РАН, 2007. 499 с.
- [2] Гелес И.С., Коржицкая З.А. Биомасса дерева и ее использование. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 1992. 230 с.
- [3] Беловежец Л.А., Волчатова И.В., Медведева С.А. Перспективные способы переработки вторичного лигно-целлюлозного сырья // Химия растительного сырья, 2010. № 2. С. 5–16.
- [4] Ковернинский И.Н., Комаров В.И., Третьяков С.И., Богданович Н.И., Соколов О.М., Кутакова Н.А., Селянина Л.И. Комплексная химическая переработка древесины. Архангельск: АГТУ, 2003. 344 с.
- [5] Непенин Ю.Н., Жалина В.А. Тонкомерная древесина как сырье для целлюлозно-бумажной промышленности // Древесное сырье и возможности его комплексного использования / Ред. И.С. Гелес. Петрозаводск: КФ АН СССР, 1983. С. 101–108.
- [6] Молотков Л.К. Использование в ЦБП отходов древесины лесозаготовок и от рубок ухода за лесом. М.: ВНИПИЭИлеспром, 1987. 41 с.
- [7] Holekamp James A. The efficient harvest, transport and milliard process of smallwood pine // AIChE Symp Ser., 1980, v. 76, no. 195, pp. 12–19.
- [8] McCormack R. A mechanized harvesting system for Pinus radiata thinnings // Appita, 1979, v. 32, no. 4, pp. 291–294.
- [9] Пен Р.З., Рязанова Т.В. Комплексная химическая переработка древесины. Красноярск: СибГТУ, 2012. 158 с.
- [10] Андреева А.А. Ресурсосбережение и использование отходов заготовки и переработки древесного сырья // Фундаментальные и прикладные исследования проблемы и результаты, 2014. № 10. С. 148–155.
- [11] Судакова И.Г., Руденко Н.Б. Получение твердых биотоплив из растительных отходов (обзор) // Журнал Сибирского федерального университета. Химия, 2015. Т. 8. № 4. С. 499–513.
- [12] Гелес И.С., Коржицкая З.А., Агеева М.И. Использование тонкомерной древесины от рубок прореживания в производстве сульфатной целлюлозы // Химия и технология целлюлозы и лигнина: Межвуз. сб. науч. тр. / ред. Ю.Н. Непенин Л.: ЛТА, 1982. С. 29–33.
- [13] Технология целлюлозно-бумажного производства. Справочные материалы. В 3 т. // Сырье и производство полуфабрикатов. СПб.: Политехника, 2002. Т. 1. Ч. 1. 425 с.
- [14] Хакимова Ф.Х., Хакимов Р.Р., Носкова О.А. Молодая древесина ели и березы — полноценное сырье для целлюлозно-бумажной промышленности // Химия растительного сырья, 2018. № 3. С. 261–270.
- [15] Пен Р.З. Технология целлюлозы. В 2 т. // Сульфитные способы получения, очистка, отбелка, сушка целлюлозы. Красноярск: СибГТУ, 2002. Т. 2. 357 с.
- [16] Дулькин Д.А., Миронова В.Г., Южанинова Л.А. Исследование вододерживающей способности волокнистой массы по методу G. Жауме // Теория и технология бумажно-картонной продукции из вторичного волокнистого сырья: науч. тр. 5-й Междунар. науч.-техн. конф. Караваево, 19–21 мая 2004 г. Правда-Караваево, 2004. С. 27–31.
- [17] Пен Р.З. Планирование эксперимента в Statgraphics. Красноярск: СибГТУ, 2003. 246 с.
- [18] Гелес И.С. Древесная биомасса и основы экологически приемлемых технологий ее химико-механической переработки. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2001. 382 с.
- [19] Хакимова Ф.Х. Отбелка бисульфитной целлюлозы из древесины спелой и молодой тонкомерной ели и березы // Химия растительного сырья, 2006. № 2. С. 11–18.
- [20] Гелес И.С., Коржицкая З.А., Агеева М.И. Влияние добавок тонкомерной древесины на свойства сульфатной целлюлозы // Химия и технология целлюлозы: Межвуз. сб. науч. тр. Л.: ЛТА, 1980. С. 20–36.
- [21] Лысяк Т.К., Непенин Ю.Н., Жалина В.А. Влияние добавок щепы из тонкомерной древесины на выход и качество сульфатной целлюлозы // Изв. вузов. Лесной журнал, 1981. № 5. С. 87–90.

Сведения об авторах

Хакимова Фирдавес Харисовна — д-р техн. наук, профессор кафедры «Технология полимерных материалов и порохов» ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», tcbr@pstu.ru

Синяев Константин Андреевич — канд. техн. наук, доцент кафедры «Химические технологии» ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», tcbr@pstu.ru

Хакимов Роман Рашидович — канд. техн. наук, доцент кафедры «Химические технологии» ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», tcbr@pstu.ru

Носкова Ольга Алексеевна — канд. техн. наук, доцент кафедры «Химические технологии» ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», tcbr@pstu.ru

Поступила в редакцию 03.12.2019.

Принята к публикации 19.12.2019.

YOUNG THIN WOOD FROM SANITATION CUTTINGS AS STOCKPILE OF RAW MATERIALS FOR PULP AND PAPER PRODUCTION

F.Kh. Khakimova, K.A. Sinyaev, R.R. Khakimov, O.A. Noskova

Perm National Research Polytechnic University, 29, Komsomolsky prospekt, 614000, Perm, Russia

oa-noskova@mail.ru

The work is devoted to increasing the complexity of the use of wood raw materials — one of the most important directions of solving modern requirements of rational nature management and environmental protection. Replacement of ripe wood with young thin wood from logging of forest care is of economic and ecological importance. The possibility and expediency of bisulfite cooking (delignification) for young spruce, pine, birch wood from logging in comparison with ripe wood is investigated. Young wood is delignified with bisulfite cooking solution without difficulty, but somewhat slower compared to the corresponding breed of ripe wood. Young pine wood, containing less resinous substances than ripe, is delignified more easily than balance pine wood and can be used to produce bisulfite pulp. The optimal modes of bisulfite delignification for young spruce, pine and birch wood, allowing to obtain pulp with high mechanical strength, are determined. It is shown that the pulp of the young wood refining lighter and has a higher mechanical strength than that of ripe; however, the pulp of the young wood is dehydrated somewhat more difficult and has a high water-holding capacity. Sorting out the young small-diameter wood harvested at thinning, time-consuming and not always desirable. The possibility of bisulfite delignification of technological chips from a mixture of different species of thin wood has been established. Diagrams «composition of wood chips — properties of pulp» are constructed, which allow predicting paper-forming properties of the produced pulp with a known composition of wood raw materials. The possibility of adding 10–20 % of young spruce, birch and pine wood during traditional bisulfite cooking of balance spruce wood is shown, which does not cause difficulties in the cooking process and does not reduce the quality of the producing pulp.

Keywords: small-diameter wood, forest thinning, spruce, birch, pine young and ripe wood, bisulfite cooking, pulp, quality indicators, cooking a mixture of wood species, cooking ripe wood with additives young.

Suggested citation: Khakimova F.Kh., Sinyaev K.A., Khakimov R.R., Noskova O.A. *Molodaya tonkomernaya drevesina ot rubok ukhoda za lesom — rezerv syr'ya dlya proizvodstva tsellyulozy i bumagi* [Young thin wood from sanitation cuttings as stockpile of raw materials for pulp and paper production]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2020, vol. 24, no. 2, pp. 88–97. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-2-88-97

References

- [1] Geles I.S. *Drevesnoe syr'e — strategicheskaya osnova i rezerv tsivilizatsii* [Wood raw materials are the strategic basis and reserve of civilization]. Petrozavodsk: Forest Institute, Karelian Research Center of the Russian Academy of Sciences, 2007, 499 p.
- [2] Geles I.S., Korzhitskaya Z.A. *Biomassa dereva i ee ispol'zovanie* [Tree biomass and its use]. Petrozavodsk: Karelian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, 1992, 230 p.
- [3] Belovezhets L.A., Volchatova I.V., Medvedeva S.A. *Perspektivnye sposoby pererabotki vtorichnogo lignotsellyuloznogo syr'ya* [Promising methods of processing secondary lignocellulosic raw materials]. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya* [Chemistry of plant raw materials], 2010, no. 2, pp. 5–16.
- [4] Koverninskiy I.N., Komarov V.I., Tret'yakov S.I., Bogdanovich N.I., Sokolov O.M., Kutakova H.A., Selyanina L.I. *Kompleksnaya khimicheskaya pererabotka drevesiny* [Integrated chemical processing of wood]. Arkhangel'sk: ASTU, 2003, 344 p.
- [5] Nepenin Yu.N., Zhalina V.A. *Tonkomernaya drevesina kak syr'e dlya tsellyulozno-bumazhnoy promyshlennosti* [Fine wood as a raw material for the pulp and paper industry]. *Drevesnoe syr'e i vozmozhnosti ego kompleksnogo ispol'zovaniya* [Wood raw materials and the possibility of its integrated use] Ed. I.S. Geles. Petrozavodsk: CF of the Academy of Sciences of the USSR, 1983, pp. 101–108.
- [6] Molotkov L.K. *Ispol'zovanie v TsBP otkhodov drevesiny lesozagotovok i ot rubok ukhoda za lesom* [The use in the pulp and paper industry of wood waste from logging and from thinning]. Moscow: VNIPIEIllesprom, 1987, 41 p.
- [7] Holekamp James A. The efficient harvest, transport and milliard process of smallwood pine. *AIChE Symp Ser.*, 1980, v. 76, no. 195, pp. 12–19.
- [8] McCormack R. A mechanized harvesting system for Pinus radiata thinnings. *Appita*, 1979, v. 32, no. 4, pp. 291–294.
- [9] Pen R.Z., Ryazanova T.V. *Kompleksnaya khimicheskaya pererabotka drevesiny* [Integrated chemical processing of wood]. Krasnoyarsk: SibGTU, 2012, 158 p.
- [10] Andreeva A.A. *Resursoberezhenie i ispol'zovanie otkhodov zagotovki i pererabotki drevesnogo syr'ya* [Resource Saving and Use of Wastes from the Harvesting and Processing of Wood Raw Materials] *Fundamental'nye i prikladnye issledovaniya problemy i rezul'taty* [Fundamental and Applied Studies of the Problem and Results], 2014, no. 10, pp. 148–155.
- [11] Sudakova I.G., Rudenko N.B. *Poluchenie tverdykh biotopliv iz rastitel'nykh otkhodov (obzor)* [Obtaining solid biofuels from plant waste (review)] *Zhurnal Sibirskogo federal'nogo universiteta. Khimiya* [Journal of the Siberian Federal University. Chemistry], 2015, v. 8, no. 4, pp. 499–513.
- [12] Geles I.S., Korzhitskaya Z.A., Ageeva M.I. *Ispol'zovanie tonkomernoy drevesiny ot rubok prorezhivaniya v proizvodstve sul'fatnoy tsellyulozy* [The use of fine wood from thinning in the production of sulfate cellulose] *Khimiya i tekhnologiya tsellyulozy i lignina: Mezhdvuz. sb. nauchn. tr.* [Chemistry and technology of cellulose and lignin: Interuniversity. Scientific tr.] Ed. Yu.N. Nepenin. Leningrad: LTA, 1982, pp. 29–33.
- [13] *Tekhnologiya tsellyulozno-bumazhnogo proizvodstva. Spravochnye materialy. V 3 t.: Syr'e i proizvodstvo polufabrikatov* [Pulp and paper technology. Reference materials. In 3 t.: Raw materials and production of semi-finished products]. St. Petersburg: Polytechnic, 2002, v. 1, part 1, 425 p.

- [14] Khakimova F.Kh., Khakimov R.R., Noskova O.A. *Molodaya drevesina eli i berezy — polnotsennoe syr'e dlya tsellyulozno-bumazhnoy promyshlennosti* [Young wood of spruce and birch is a complete raw material for the pulp and paper industry] *Khimiya rastitel'nogo syr'ya* [Chemistry of plant raw materials], 2018, no. 3, pp. 261–270.
- [15] Pen R.Z. *Tekhnologiya tsellyulozy. V 2 t.* [Pulp technology. In 2 t.] *Sul'fitnye sposoby polucheniya, ochildka, otbelka, sushka tsellyulozy* [Sulfite production methods, cleaning, bleaching, drying of pulp]. Krasnoyarsk: SibGTU, 2002, v. 2, 357 p.
- [16] Dul'kin D.A., Mironova V.G., Yuzhaninova L.A. *Issledovanie vodouderzhivayushchey sposobnosti voloknistoy massy po metodu G. Jayme* [The study of the water-holding ability of the pulp according to the method of G. Jayme] *Teoriya i tekhnologiya bumazhno-kartonnoy produktsii iz vtorichnogo voloknistogo syr'ya: Nauchn. tr. 5-y Mezhdunar. nauchn.-tekhn. konf.* [Theory and technology of paper and cardboard products from recycled fiber: Scientific. tr 5th International scientific and technical conf.]. Pravda-Karavaevo, 2004, pp. 27–31
- [17] Pen R.Z. *Planirovanie eksperimenta v Statgraphics* [Planning an experiment in Statgraphics]. Krasnoyarsk: SibGTU, 2003, 246 p.
- [18] Geles I.S. *Drevesnaya biomassa i osnovy ekologicheski priemlyemykh tekhnologiy ee khimiko-mekhanicheskoy pererabotki* [Woody biomass and the basics of environmentally acceptable technologies for its chemical-mechanical processing]. Petrozavodsk: Karelian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, 2001, 382 p.
- [19] Khakimova F.Kh. *Otbelka bisul'fitnoy tsellyulozy iz drevesiny speloy i molodoy tonkomernoy eli i berezy* [Bleaching of bisulfite cellulose from ripe and young fine-sized spruce and birch wood] *Khimiya rastitel'nogo syr'ya* [Chemistry of Plant Raw Materials], 2006, no. 2, pp. 11–18.
- [20] Geles I.S., Korzhitskaya Z.A., Ageeva M.I. *Vliyanie dobavok tonkomernoy drevesiny na svoystva sul'fatnoy tsellyulozy* [The effect of fine wood additives on the properties of sulphate pulp] *Khimiya i tekhnologiya tsellyulozy* [Chemistry and technology of cellulose]. Leningrad: LTA, 1980, pp. 20–36.
- [21] Lysyak T.K., Nepenin Yu.N., Zhalina V.A. *Vliyanie dobavok shchepy iz tonkomernoy drevesiny na vykhod i kachestvo sul'fatnoy tsellyulozy* [The effect of additives of chips from fine wood on the yield and quality of sulphate pulp] *Izvestiya vuzov. Lesnoy zhurnal* [News of universities. Forest Journal], 1981, no. 5, pp. 87–90.

Authors' information

Khakimova Firdaves Kharisovna — Dr. Sci. (Tech.), Honored worker of higher school, Professor of the Department «Technology of polymer materials and gunpowder» FSBEI «Perm national research polytechnic university», tcbp@pstu.ru

Sinyaev Konstantin Andreevich — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor of the Department of Chemical technologies, Perm national research polytechnic university, tcbp@pstu.ru

Khakimov Roman Rashidovich — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor of the Department of Chemical technologies, Perm national research polytechnic university, tcbp@pstu.ru

Noskova Olga Alekseevna — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor of the Department of Chemical technologies, Perm national research polytechnic university, tcbp@pstu.ru.

Received 03.12.2019.

Accepted for publication 19.12.2019.