

УДК 676.163.023.1

ЭФФЕКТИВНЫЙ ВАРИАНТ РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ В СФЕРЕ ЗАГОТОВКИ ДРЕВЕСИНЫ И ПЕРЕРАБОТКИ ЕЕ В ЦЕЛЛЮЛОЗНО- БУМАЖНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

© *Ф.Х. Хакимова**, *О.А. Носкова*, *Р.Р. Хакимов*, *И.И. Фонарёв*

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

Исследована возможность и целесообразность получения и отбелики сульфитной целлюлозы из молодой тонкомерной древесины ели от рубок ухода за лесом (прореживания) в сравнении со спелой древесиной. В процессе прореживания образуется значительное количество молодой тонкомерной древесины, которая может служить существенным резервом древесного сырья для производства целлюлозы и бумаги.

Сульфитными варками из молодой и спелой древесины ели получены по два образца целлюлозы различной степени провара. Сравнительные отбелики целлюлозы проводили по традиционной экономической, но эффективной схеме Д/Х-Щ-Г-Д-К; для сравнения образцы целлюлозы из древесины спелой и молодой ели отбеливали по современной экологичной схеме Пк-Щ₁-Хт₁-Щ₂-Хт₂-К (ECF – технология).

Показано, что молодая тонкомерная древесина ели делигнифицируется сульфитным варочным раствором без затруднений, но несколько медленнее, чем спелая древесина.

Сульфитная еловая целлюлоза, полученная из рубок ухода за лесом, легче размалывается и отбеливается, имеет более высокие показатели механической прочности, чем из спелой древесины.

Отбелкой по схеме Д/Х-Щ-Г-Д-К целлюлозы из молодой тонкомерной древесины ели получена белая целлюлоза, по всем показателям качества соответствующая нормам для марки АК-II (ГОСТ 3914), применяемой главным образом при получении «культурных» сортов бумаги (писчих и печатных).

Сравнительная отбелка целлюлозы примерно одинаковой степени провара из спелой и молодой древесины по технологии ECF с использованием всего двух окислительных отбеливающих реагентов (пероксида водорода и диоксида хлора) существенно повышает эффективность отбелики целлюлозы по всем показателям качества, но расходы на отбелку, в современных условиях, возможно, будут несколько выше, чем по традиционной схеме.

Ключевые слова: древесина спелая, древесина молодая тонкомерная, рубки ухода за лесом, прореживание, сульфитная варка, целлюлоза небеленая, отбелка, схемы отбелики целлюлозы, ECF-технология, экономика, показатели качества.

Для цитирования: Хакимова Ф.Х., Носкова О.А., Хакимов Р.Р., Фонарёв И.И. Эффективный вариант ресурсосбережения в сфере заготовки древесины и переработки ее в целлюлозно-бумажной промышленности // Химия растительного сырья. 2024. №1. С. 320–328. DOI: 10.14258/jcprm.20240113014.

Введение

По объему заготавливаемой древесины, применяемой в лесоперерабатывающей, целлюлозно-бумажной, гидролизной промышленности и экспортируемой, Россия – одна из ведущих стран. При существующих способах переработки древесного сырья в целом по России используется около половины биомассы дерева [1–3].

Работа посвящена повышению комплексности использования древесного сырья – одного из важнейших направлений решения современных требований рационального природопользования и охраны окружающей среды.

Одна из главных задач лесной отрасли – сокращение отходов производства древесины и их переработка, уменьшение потерь от несовершенства технологий. Рациональное использование древесного сырья, вторичное использование древесных отходов, переориентация производства на ресурсосберегающий путь развития считается важнейшим направлением развития отрасли, поскольку такие природные ресурсы, как леса, восстанавливаются медленно и с большим трудом [1, 4].

* Автор, с которым следует вести переписку.

Решению данной задачи отвечает комплексное использование древесного сырья, включающее максимальную утилизацию отходов лесозаготовок и переработки древесного сырья.

Для уменьшения количества отходов необходимо снижать их образование в процессе производства и потребления, внедрять ресурсосберегающие технологии, эффективно проводить рециклинг отходов, осуществлять комплексное управление отходами. Данная система управления нацелена на снижение вредного воздействия отходов на здоровье человека, компоненты окружающей среды, а также сохранение природных ресурсов [1].

Любые отходы можно рассматривать в качестве вторичных материальных ресурсов, причем главной особенностью таких ресурсов является их постоянная воспроизводимость в процессе материального и промышленного производства [4, 5].

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 европейской части, где запасы древесины ограничены, все больше сталкивается с проблемой обеспеченности сырьем. Доставка его из лесодостаточных районов экономически нецелесообразна.

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. возраст 10–30 лет). Ресурсы данной древесины настолько велики, что они могут в значительной степени покрыть возрастающие потребности отрасли в сырье [6, 7].

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%. Быстрое переупрофилирование 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 получившим широкое распространение за последние годы сульфатным методом является более полное использование древесины – более высокий выход целлюлозы, а также легкая белимость целлюлозы [6–8].

Заготовка тонкомерной древесины является довольно трудоемкой операцией. Предприятия, начавшие переработку тонкомерной древесины, столкнулись с необходимостью создания нового оборудования для заготовки такой древесины. 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 щепа была получена 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 (возраста 10–12 лет, диаметр ствола 10–18 см) рекомендован рациональный высокоэффективный способ лесозаготовки такой древесины [7, 8].

Вопросам использования тонкомерной древесины в качестве сырья для производства бумаги и картона уделяется внимание исследователей во всех странах с развитой целлюлозно-бумажной промышленностью, причем резервы такой древесины существенны и вовлечение их в переработку рационально и весьма эффективно.

Понятно, что замена первичного сырья (стволовой древесины) древесными отходами имеет и экономическое, и экологическое значение за счет предотвращения ущерба, наносимого окружающей среде при неиспользуемых отходах. Необходимость полного и комплексного использования всей биомассы дерева очевидна [9–13].

Немалое число работ отечественных и европейских авторов касается вопросов переработки тонкомерной древесины от рубок ухода за лесом. Наиболее часто для переработки тонкомерной древесины ис-

пользуется сульфатный метод как наиболее универсальный, позволяющий делигнифицировать низкокачественное сырье. Исследования и практический опыт работы предприятий показывают реальную возможность применения тонкомерной древесины в производстве сульфатной целлюлозы [14, 15].

Специалисты Германии рекомендуют использовать в целлюлозно-бумажной промышленности тонкомерную древесину сосны, ели, березы, тополя в производстве сульфатной и сульфитной целлюлозы для производства бумаги и картона [16].

Значительный объем работ по исследованию условий и особенностей получения целлюлозы из тонкомерной древесины различных пород по сульфатному и сульфитному методам варки, а также свойств полученных целлюлоз проведен в Институте леса Карелии [17, 18].

Авторы работы в течение ряда лет проводили исследования по получению и отбелке сульфитной целлюлозы из тонкомерной древесины [19]. В настоящее время исследования по этой тематике продолжаются.

Развитие химической технологии в настоящий момент идет по пути комплексного использования сырьевых ресурсов, применения непрерывных и безотходных процессов с учетом экологической безопасности для окружающей среды.

Нерешенность проблемы комплексного использования древесины приводит к большим экономическим потерям и наносит серьезный экологический ущерб [20].

Цель работы – исследование возможности и целесообразности получения и отбелки сульфитной целлюлозы из молодой древесины ели от рубок ухода за лесом в сравнении со спелой древесиной.

Экспериментальная часть

Подготовка и анализ древесины. Для исследований использовали древесину ели, заготовленную при проведении рубок прореживания в лесничестве Пермского края. Возраст заготовленной древесины – 20–30 лет («молодая» древесина), диаметр на пне – 6–12 см («тонкомерная древесина»). Одновременно заготовили и балансовую древесину (возраст 70–85 лет).

Проведение варки целлюлозы. Варку целлюлозы проводили по классической схеме в стационарном автоклаве с электрообогревом, а режимы отдельных стадий были оптимизированы ранее на кафедре. Состав сульфитной кислоты: всего SO_2 – 7.0%, связанного SO_2 – 1.1%. График сульфитной варки: подъем температуры до 105 °С – 1 ч 45 мин, стоянка при температуре 105 °С – 1 ч 30 мин, подъем температуры от 105 до 140 °С – 1 ч 30 мин, стоянка при температуре 140 °С – 1 ч 45 мин.

Полученную целлюлозу распускали на волокна в дезинтеграторе, промывали струей водопроводной воды и сортировали.

Проведение отбелки целлюлозы. Отбелку целлюлозы проводили в фарфоровых стаканах, обогреваемых на водяной бане. Контроль процесса отбелки заключался в контроле pH среды, концентрации остаточных химикатов и температуры. Между ступенями отбелки целлюлозу промывали на вакуум-промывной установке.

Методы анализа небеленой и беленой целлюлозы. В работе использовали следующие стандартные методы анализа целлюлозы: определение массовой доли влаги – ГОСТ 16932; массовой доли лигнина в целлюлозе – ГОСТ 11960; экстрактивных веществ (смола и жиры) – ГОСТ 6841; пентозанов – ГОСТ 10820; белизны – ГОСТ 7690.

Определение показателей механической прочности целлюлозы: сопротивления разрыву – по ГОСТ 1924-1-96 (с перерасчетом на разрывную длину); прочности на излом при многократных перегибах (сопротивление излому) – 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 °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.

Обсуждение результатов

Физические свойства и химический состав использованных образцов древесины приведены в таблице 1.

Древесина молодая тонкомерная отличается от спелой по размерам (диаметру), плотности, а по химическому составу – меньшим содержанием целлюлозы, смол и жиров, но повышенным содержанием лигнина, пентозанов и веществ, экстрагируемых горячей водой.

Результаты сравнительных варок молодой и спелой древесины (табл. 2) показали, что полученные образцы целлюлозы различаются по степени провара; величины выхода отсортированной массы близкие. Целлюлоза из тонкомерной древесины ели имеет повышенное содержание сучков и непровара по сравнению с целлюлозой из спелой древесины; содержание смол и жиров в сравниваемых целлюлозах различается незначительно.

Различия по степени провара показывают, что тонкомерная древесина делигнифицируется несколько труднее, чем спелая. Показатель массовой доли в целлюлозе лигнина – в соответствии со степенью провара.

Далее выполнено сравнительное изучение процесса отбелки сульфитной целлюлозы из тонкомерной и балансовой древесины ели. Для исследований получены по 2 образца сульфитной еловой целлюлозы различной степени провара (табл. 3).

Показатели выхода и качества целлюлоз различной степени провара из молодой и спелой древесины различаются соответственно степени провара примерно с одинаковой зависимостью.

У сравниваемых образцов целлюлозы показатели механической прочности довольно высокие и выше для образцов из молодой тонкомерной древесины.

Все полученные образцы целлюлозы по ГОСТ 6501 соответствуют маркам Ж-1 и Ж-2 сульфитной целлюлозы.

Для отбелки сульфитной целлюлозы из тонкомерной и спелой древесины была принята схема: Д/Х-ЩГ-Г-Д-К (табл. 4), где (Д/Х-ЩГ) – делигнификация целлюлозы последовательной обработкой диоксидом хлора и хлором без промежуточной промывки; (-) – промывка целлюлозы между ступенями отбелки; ЩГ – окислительное щелочение с добавкой гипохлорита натрия; Г – отбелка гипохлоритом натрия; Д – отбелка диоксидом хлора; К – кисловка (не является ступенью отбелки).

Такая схема отбелки (схема 1) принята как традиционная, экономичная и эффективная.

В таблице 4 для сравнения приведены результаты отбелки по схеме 2 (ECF-технология) сульфитной целлюлозы (из спелой и молодой древесины).

Схема отбелки целлюлозы образцов ЕС-3 и ЕМ-3 Пк-Щ₁-ХТ₁-Щ₂-ХТ₂-К по ECF-технологии оригинальная, разработана на кафедре «Технология целлюлозно-бумажного производства» ранее. Отбелка осуществляется с использованием всего двух окислительных отбеливающих реагентов – пероксида водорода и хлорита натрия, отбеливающим агентом которого является диоксид хлора [21]. В схеме предусмотрено чередование кислых и щелочных ступеней обработки как эффективный способ улучшения результатов отбелки.

Таблица 1. Различия свойств и химического состава молодой и спелой древесины ели

Показатели	Древесина ели	
	тонкомерная (молодая)	спелая
Возраст древесины, лет	24	75
Диаметр на пне, см:		
– с корой	5.9	24.8
– без коры	5.6	22.5
Средневзвешенная плотность, кг/м ³	377	397
Массовая доля в древесине, %:		
– целлюлозы	52.3	54.7
– лигнина	29.4	28.2
– пентозанов	10.2	8.3
– смол и жиров	1.9	2.3
– веществ, экстрагируемых горячей водой (90 °С)	3.1	2.3

Таблица 2. Результаты сульфитных варок молодой и спелой древесины ели

Показатели целлюлозы	Результаты варок	
	спелой древесины	тонкомерной древесины
Степень провара, п.е.	108	123
Выход целлюлозы, % от исходной древесины:		
– общий	51.3	52.8
– сортированной массы	50.9	51.3
– сучков, непровара	0.4	1.5
Массовая доля в целлюлозе, %:		
– лигнина	4.5	5.1
– смол и жиров	1.3	1.5

Таблица 3. Характеристика сульфитных небеленых целлюлоз из древесины спелой и молодой ели

Показатели качества целлюлозы	Образцы целлюлозы			
	из спелой ели		из молодой ели	
Образцы целлюлозы	ЕС-1	ЕС-2	ЕМ-1	ЕМ-2
Выход отсортированной целлюлозы, % от исходной древесины	50.9	48.3	51.3	48.0
Степень провара, п.е.	108	78	123	74
Массовая доля в целлюлозе лигнина, %	4.5	2.4	5.1	2.4
Белизна, %	63	65	64	66
Массовая доля в целлюлозе ЭВ (смола и жиров), %	1.3	1.1	1.5	1.3
Показатели механической прочности:				
– разрывная длина, м	8490	8110	8970	8840
– сопротивление продавливанию, кПа	430	400	490	470
– сопротивление излому, ч.д.п.	2190	2260	2210	1980
Продолжительность размола до 60° ШР, мин. (в ЦРА)	57	–	52	–

Таблица 4. Результаты сравнительных отбелок сульфитных целлюлоз из спелой и молодой ели по схемам Д/Х-ЩГ-Г-Д-К и Пк-Щ₁-ХТ₁-Щ₂-ХТ₂-К

Показатели качества целлюлозы	Схема отбели						Нормы для марки АК-II по ГОСТ 3914 (для писчих и печатных видов бумаги)
	Д/Х-ЩГ-Г-Д-К (схема 1)				Пк-Щ ₁ -ХТ ₁ -Щ ₂ -ХТ ₂ -К (схема 2)		
	из спелой ели		из молодой ели		из спелой ели	из молодой ели	
Образцы целлюлозы	ЕС-1	ЕС-2	ЕМ-1	ЕМ-2	ЕС-3	ЕМ-3	
Показатели небеленой целлюлозы							
Степень провара целлюлозы, п.е.	108	78	123	74	108	123	
Белизна, %	63	65	63	65	63	63	
Массовая доля в целлюлозе, %:							
– лигнина	4.5	2.4	5.1	2.4	4.5	5.1	
– смола и жиров	1.3	1.1	1.5	1.3	1.3	1.5	
Разрывная длина, м	8490	8110	8970	8840	8490	8970	
Показатели беленой целлюлозы							
Массовая доля лигнина, %	0.57	0.35	0.54	0.33	0.24	0.24	
Выход беленой целлюлозы, %, от небеленой	92.3	95.4	92.8	96.2	94.8	95.2	
Белизна, %	88	88	89	89	90	90	≥89
Прирост белизны, % белого	25	23	26	24	27	27	
Массовая доля в целлюлозе смола и жиров, %	0.65	0.63	0.48	0.44	0.20	0.22	≤0.6
Обессмоливание по общей смоле, %	50	43	68	66	85	85	
Показатели механической прочности:							
– разрывная длина, м	7810	7610	8370	8090	7800	8210	≥7500
– сопротивление продавливанию, кПа	380	370	420	410	390	420	
– излому, ч.д.п.	1190	1460	1230	1310	1270	1290	≥700

Примечания: в схеме Пк-Щ₁-ХТ₁-Щ₂-ХТ₂-К: (Пк-Щ₁) – делигнификация обработкой пероксидом водорода в кислой среде (процесс катализируемый) с последующей щелочной обработкой; Щ₁, Щ₂ – щелочная обработка; ХТ₁ – продолжение делигнификации и отбелика; ХТ₂ – отбелика (добелка); К – кисловка (не является ступенью отбелика).

В работе делигнификация (Д/Х-ЩГ) использована с применением хлора наряду с диоксидом хлора, широко используемым в мировой практике отбелики целлюлозы.

Общий расход на отбелику хлора (схема 1), пероксида водорода и хлорита натрия (схема 2) принимали в зависимости от содержания остаточного лигнина в исходной небеленой целлюлозе.

Анализ процессов отбелики и полученные результаты показали, что при одинаковом содержании лигнина техническая целлюлоза из молодой ели (образец ЕМ-2) отбеливается легче, чем из спелой (ЕС-2): при одинаковых условиях отбелики целлюлозы показатель белизны из тонкомерной древесины составил 89.0% (соответствие нормам для целлюлозы марки АК-II), а из спелой древесины – 88.0% (не соответствует этим же нормам); в процессе отбелики обессмоливание целлюлозы из молодой ели значительно выше, чем из спелой (массовая доля экстрактивных веществ у целлюлозы из спелой ели 0.65 и 0.63%, а из молодой ели 0.48 и 0.44% при близких значениях их у образцов небеленой целлюлозы) – низкие величины этого показателя весьма важны для процесса получения бумаги; показатели механической прочности беленой целлюлозы из молодой древесины заметно выше соответствующих показателей целлюлозы из спелой древесины.

Величины выхода беленой целлюлозы из молодой тонкомерной древесины также выше, чем из спелой древесины, и размалывается она легче, чем целлюлоза из спелой древесины (табл. 3).

Из результатов отбелки образцов ЕС-3 и ЕМ-3 следует, что схема отбелки 2 (ECF-технология) проявляет по ряду показателей существенные преимущества по сравнению с отбелкой по схеме 1: значительно выше степень делигнификации (т.е. ниже массовая доля в целлюлозе остаточного лигнина), но, несмотря на это, выход беленой целлюлозы на ~2.5% выше (сравнение образцов ЕС-1 и ЕС-3); также выше прирост белизны в результате отбелки.

Особенно обращает внимание высокая степень обессмоливания целлюлозы (отбелка по схеме 2) по общей смоле (85%), что имеет важное значение в процессе получения бумаги.

Все это объясняется особенностями схемы 2 (ECF-технология) – высокая селективность отбелки, мягкое воздействие на углеводную часть целлюлозы реагентов – пероксида водорода и диоксида хлора. К тому же схема отбелки ECF, соответствующая современным требованиям, существенно снижает загрязненность сточных вод и, соответственно, затраты на очистку сточных вод.

Однако общие расходы на отбелку по схеме 2 (ECF-технология), возможно, будут несколько превышать расходы на отбелку целлюлозы по схеме 1 с хлором и гипохлоритом натрия.

При отбелке по схеме 2 различия результатов отбелки целлюлозы из молодой и спелой древесины незначительны.

Выводы

1. Молодая (тонкомерная) древесина ели, образующаяся при рубках ухода за лесом, является значительным резервом древесного сырья для сульфитцеллюлозного производства и может быть успешно утилизирована при производстве сульфитной целлюлозы для получения бумаги и картона.

2. Молодая древесина ели делигнифицируется сульфитным варочным раствором без затруднений, но несколько медленнее, чем спелая древесина.

3. Сульфитная еловая целлюлоза, полученная из рубок ухода за лесом, легче размалывается и отбеливается, имеет более высокие показатели механической прочности, чем целлюлоза из спелой древесины.

4. Отбелкой по схеме Д/Х-ЩГ-Г-Д-К из молодой тонкомерной ели получена белая целлюлоза, по всем показателям качества соответствующая нормам для марки АК-П (по ГОСТ 3914), применяемой главным образом при получении «культурных» сортов бумаги (писчих и печатных).

5. Сравнительная отбелка целлюлозы из молодой и спелой древесины по технологии ECF с использованием всего двух окислительных отбеливающих реагентов (пероксида водорода и диоксида хлора) существенно повышает эффективность отбелки целлюлозы по всем показателям, особенно более высокий выход беленой целлюлозы от небеленой и очень эффективное обессмоливание целлюлозы, но расходы на отбелку в современных условиях, возможно, будут несколько выше, чем по традиционной схеме.

Финансирование

Данная работа финансировалась за счет средств бюджета Пермского национального исследовательского политехнического университета. Никаких дополнительных грантов на проведение или руководство данным конкретным исследованием получено не было.

Конфликт интересов

Авторы данной работы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

Открытый доступ

Эта статья распространяется на условиях международной лицензии Creative Commons Attribution 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), которая разрешает неограниченное использование, распространение и воспроизведение на любом носителе при условии, что вы дадите соответствующие ссылки на автора(ов) и источник и предоставите ссылку на Лицензию Creative Commons и укажете, были ли внесены изменения.

Список литературы

1. Гелес И.С. Древесное сырье – стратегическая основа и резерв цивилизации. Петрозаводск, 2007. 500 с.
2. Гелес И.С., Коржицкая З.А. Биомасса дерева и ее использование. Петрозаводск, 1992. 230 с.
3. Беловежец Л.А., Волчатова И.В., Медведева С.А. Перспективные способы переработки вторичного лигноцеллюлозного 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., Дьякова Е.В. Комплексная химическая переработка древесины. Архангельск, 2003. 344 с.
5. Журавлёва Л.Н., Девятловская А.Н. Основные направления использования древесных отходов // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2007. №18. С. 96–99.
6. Молотков Л.К. Использование в ЦБП отходов древесины лесозаготовок и от рубок ухода за лесом. М., 1987. Вып. 9. 41 с.
7. Holekamp James A. The efficient harvest, transport and millard process of smallwood pine // AIChE Symp Ser. 1980. Vol. 76, no. 195. Pp. 12–19.
8. Непенин Ю.Н., Жалина В.А. Тонкомерная древесина как сырьё для целлюлозно-бумажной промышленности // Древесное сырьё и возможности его комплексного использования. Петрозаводск, 1983. С. 101–108.
9. Пен Р.З., Рязанова Т.В. Комплексная химическая переработка древесины. Красноярск, 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. Васильева Т.В. Обзор сложившихся тенденций использования древесных отходов за рубежом // Лесной вестник. 2002. №4. С. 71–73.
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: межвузовский сборник научных трудов. Л., 1982. С. 29–33.
13. Акбулатов Э.Ш., Любяшкин А.В., Павлов И.Н., Марченко Р.А., Алашкевич Ю.Д. Технология и оборудование химической переработки биомассы растительного сырья // Химия растительного сырья. 2020. №4. С. 309–314. DOI: 10.14258/jcprgm.2020048853.
14. Гелес И.С., Коржицкая З.А., Агеева М.И. и др. Характеристика тонкомерной древесины как сырья для целлюлозно-бумажной промышленности // Проблемы комплексного использования древесного сырья. Петрозаводск, 1981. С. 2–58.
15. Лузина Л.И., Гордеева Г.И., Мильман Г.М. и др. Сульфатная варка окоренной и неокоренной древесины сосны от рубок ухода // Проблемы комплексного использования древесного сырья. Рига, 1984. С. 165–166.
16. Storkan O. Einsatz von ungenugend genutzten Holzmaterialien in der Zellstoffindustrie // Zellstoff und Papier. 1983. Vol. 32, no. 5. Pp. 198–201.
17. Гелес И.С., Коржицкая З.А., Агеева М.И. Свойства сульфитных целлюлоз из тонкомерной древесины // Химия и технология целлюлозы и лигнина: межвузовский сборник научных трудов. Л., 1982. С. 23–29.
18. Гелес И.С., Коржицкая З.А., Агеева М.И. и др. Использование тонкомерной древесины от рубок прореживания в производстве сульфитной целлюлозы // Химия и технология древесной целлюлозы: межвузовский сборник научных трудов. Л., 1983. С. 30–34.
19. Хакимова Ф.Х., Ковтун Т.Н., Хакимов Р.Х. Изучение бисульфитных варок тонкомерной древесины хвойных и лиственных пород // Древесное сырьё и возможности его комплексного использования. Петрозаводск, 1983. С. 92–101.
20. Ефремов А.А., Первышина Г.Г. Комплексная схема переработки отходов растительного сырья // Химия растительного сырья. 2001. №4. С. 123–124.
21. Хакимова Ф.Х., Синяев К.А. Отбелка сульфатной целлюлозы пероксидом водорода и хлоритом натрия // Химия растительного сырья. 2013. №2. С. 57–62. DOI: 10.14258/jcprgm.1302057.

Поступила в редакцию 1 июня 2023 г.

После переработки 10 июля 2023 г.

Принята к публикации 28 августа 2023 г.

*Khakimova F.Kh.**, *Noskova O.A.*, *Khakimov R.R.*, *Fonarev I.I.* AN EFFECTIVE RESOURCE-SAVING OPTION IN THE SPHERE OF WOOD PROCESSING AND ITS PROCESSING IN THE PULP AND PAPER INDUSTRY

Perm National Research Polytechnic University, Komsomolskiy av., 29, Perm, 614000, Russia, oa-noskova@mail.ru

The possibility and expediency of obtaining and bleaching sulfite pulp from young small-sized spruce wood from thinning (thinning) fellings was studied in comparison with ripe wood. In the process of thinning, a significant amount of young small-sized wood is formed, which can serve as a significant reserve of wood raw materials for the production of pulp and paper.

Sulfite pulping from young and ripe spruce wood obtained two samples of pulp of different degrees of penetration.

Comparative pulp bleachings were carried out according to the traditional economical but effective D/C-EG-G-D-A scheme; For comparison, pulp samples from ripe and young spruce wood were bleached according to the modern ecological scheme Pa-E-Ch₁-E-Ch₂-A (ECF technology).

It is shown that young small-sized spruce wood is delignified by sulfite cooking solution without difficulty, but somewhat more slowly than ripe wood.

Sulfite spruce pulp obtained from thinnings is easier to grind and bleach, has higher mechanical strength than from ripe wood. Bleached pulp was obtained from young thin spruce wood by bleaching according to the scheme D/C-EG-G-D-A of pulp from young thin spruce wood, which in all quality indicators meets the standards for grade AK-II (GOST 3914), which is used mainly in the production of "cultural" grades of paper (written and printed). Comparative bleaching of pulp of approximately the same degree of penetration from ripe and young wood using ECF technology using only two oxidative bleaching agents (hydrogen peroxide and chlorine dioxide) significantly increases the efficiency of pulp bleaching in all quality indicators, but the cost of bleaching, in modern conditions, may be slightly higher than in the traditional scheme.

Keywords: ripe wood, young thin wood, thinning, sulphite pulping, unbleached pulp, bleaching, pulp bleaching schemes, ECF technology, economics, quality indicators.

For citing: Khakimova F.Kh., Noskova O.A., Khakimov R.R., Fonarev I.I. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2024, no. 1, pp. 320–328. (in Russ.). DOI: 10.14258/jcprm.20240113014.

References

- Geles I.S. *Drevesnoye syr'ye – strategicheskaya osnova i rezerv tsivilizatsii*. [Wood raw materials are the strategic basis and reserve of civilization]. Petrozavodsk, 2007, 500 p. (in Russ.).
- Geles I.S., Korzhitskaya Z.A. *Biomassa dereva i yeye ispol'zovaniye*. [Wood biomass and its use]. Petrozavodsk, 1992, 230 p. (in Russ.).
- Belovezhets L.A., Volchatova I.V., Medvedeva S.A. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2010, no. 2, pp. 5–16. (in Russ.).
- Koverninskiy I.N., Komarov V.I., Tret'yakov S.I., Bogdanovich N.I., Sokolov O.M., Kutakova N.A., Selyanina L.I., D'yakova Ye.V. *Kompleksnaya khimicheskaya pererabotka drevesiny*. [Complex chemical processing of wood]. Arkhangelsk, 2003, 344 p. (in Russ.).
- Zhuravlova L.N., Devyatlovskaya A.N. *Aktual'nyye problemy lesnogo kompleksa*, 2007, no. 18, pp. 96–99. (in Russ.).
- Molotkov L.K. *Ispol'zovaniye v TsBP otkhodov drevesiny lesozagotovok i ot rubok ukhoda za lesom*. [Use of wood waste from logging and forest maintenance in pulp and paper industry]. Moscow, 1987, no. 9, 41 p. (in Russ.).
- Holekamp James A. *AIChE Symp Ser.*, 1980, vol. 76, no. 195, pp. 12–19.
- Nepenin Yu.N., Zhalina V.A. *Drevesnoye syr'ye i vozmozhnosti yego kompleksnogo ispol'zovaniya*. [Wood raw materials and possibilities for their integrated use]. Petrozavodsk, 1983, pp. 101–108. (in Russ.).
- Pen R.Z., Ryazanova T.V. *Kompleksnaya khimicheskaya pererabotka drevesiny*. [Complex chemical processing of wood]. Krasnoyarsk, 2012, 158 p. (in Russ.).
- Andreyeva A.A. *Fundamental'nyye i prikladnyye issledovaniya problemy i rezul'taty*, 2014, no. 10, pp. 148–155. (in Russ.).
- Vasil'yeva T.V. *Lesnoy vestnik*, 2002, no. 4, pp. 71–73. (in Russ.).
- Geles I.S., Korzhitskaya Z.A., Ageyeva M.I. *Khimiya i tekhnologiya tsellyulozy i lignina: mezhvuzovskiy sbornik nauchnykh trudov*. [Chemistry and technology of cellulose and lignin: interuniversity collection of scientific papers]. Leningrad, 1982, pp. 29–33. (in Russ.).
- Akbulatov E.Sh., Lyubyashkin A.V., Pavlov I.N., Marchenko R.A., Alashkevich Yu.D. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2020, no. 4, pp. 309–314. DOI: 10.14258/jcprm.2020048853. (in Russ.).
- Geles I.S., Korzhitskaya Z.A., Ageyeva M.I. et al. *Problemy kompleksnogo ispol'zovaniya drevesnogo syr'ya*. [Problems of integrated use of wood raw materials]. Petrozavodsk, 1981, pp. 2–58. (in Russ.).
- Luzina L.I., Gordeyeva G.I., Mil'man G.M. et al. *Problemy kompleksnogo ispol'zovaniya drevesnogo syr'ya*. [Problems of integrated use of wood raw materials]. Riga, 1984, pp. 165–166. (in Russ.).
- Storkan O. *Zellstoff und Papier*, 1983, vol. 32, no. 5, pp. 198–201.
- Geles I.S., Korzhitskaya Z.A., Ageyeva M.I. *Khimiya i tekhnologiya tsellyulozy i lignina: mezhvuzovskiy sbornik nauchnykh trudov*. [Chemistry and technology of cellulose and lignin: interuniversity collection of scientific papers]. Leningrad, 1982, pp. 23–29. (in Russ.).
- Geles I.S., Korzhitskaya Z.A., Ageyeva M.I. et al. *Khimiya i tekhnologiya drevesnoy tsellyulozy: mezhvuzovskiy sbornik nauchnykh trudov*. [Chemistry and technology of wood pulp: interuniversity collection of scientific papers]. Leningrad, 1983, pp. 30–34. (in Russ.).

* Corresponding author.

19. Khakimova F.Kh., Kovtun T.N., Khakimov R.Kh. *Drevesnoye syr'ye i vozmozhnosti yego kompleksnogo ispol'zovaniya*. [Wood raw materials and possibilities for their integrated use]. Petrozavodsk, 1983, pp. 92–101. (in Russ.).
20. Yefremov A.A., Pervyshina G.G. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2001, no. 4, pp. 123–124. (in Russ.).
21. Khakimova F.Kh., Sinyaev K.A. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2013, no. 2, pp. 57–62. DOI: 10.14258/jcprm.1302057. (in Russ.).

Received June 1, 2023

Revised July 10, 2023

Accepted August 28, 2023

Сведения об авторах

Хакимова Фирдавес Харисовна – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры технологии полимерных материалов и порохов, oa-noskova@mail.ru

Носкова Ольга Алексеевна – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры химической технологии, oa-noskova@mail.ru

Хакимов Роман Рашидович – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры химической технологии, roman_etf@mail.ru

Фонарёв Илья Игоревич – аспирант, fonaryov22@yandex.ru

Information about authors

Khakimova Firdaves Kharisovna – Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Technology of Polymer Materials and Powders, oa-noskova@mail.ru

Noskova Olga Alekseevna – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Chemical Technology, oa-noskova@mail.ru

Khakimov Roman Rashidovich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Chemical Technology, roman_etf@mail.ru

Fonarev Ilya Igorevich – graduate student, fonaryov22@yandex.ru